

ผลกระทบของลักษณะเฉพาะของความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีต่อ
คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบาง FeSi_2 ที่เตรียมโดยวิธีดีซี
แมกนีตรอนสปัตเตอริง

EFFECT OF MAGNETIC FIELD STRENGTH ON PHYSICAL
PROPERTIES OF FeSi_2 THIN FILMS PREPARED BY DC
MAGNETRON SPUTTERING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2559
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF MAGNETIC FIELD STRENGTH ON PHYSICAL
PROPERTIES OF FeSi_2 THIN FILMS PREPARED BY DC
MAGNETRON SPUTTERING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดทอนหรือเผยแพร่เอกสารนี้ออกไป
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อโครงการพิเศษ

ผลกระทบของลักษณะเฉพาะของความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบาง FeSi_2 ที่เตรียมโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง

Effect of Magnetic Field Strength on Physical Properties of FeSi_2 Thin Films Prepared by DC Magnetron Sputtering

ชื่อนักศึกษา

นายเพชร มานิตย์ รหัสนักศึกษา 56051170

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์





ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาทราย เล็กขุ่ม ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.กฤษกร โล่เจริญรัตน์ กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ผลกระทบของลักษณะเฉพาะของความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบาง FeSi_2 ที่เตรียมโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง
ชื่อนักศึกษา	นายเพชร มานิตย์ รหัสนักศึกษา 56051170
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส

บทคัดย่อ

ฟิล์มบาง FeSi_2 ที่ถูกเตรียมด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแม่เหล็กภายนอกที่มีรูปแบบแตกต่างกันอาทิเช่น แม่เหล็กวงแหวนขนาดเล็ก แม่เหล็กวงแหวนขนาดใหญ่ แม่เหล็กริงผิวงเล็ก และริงผิวงขนาดใหญ่ โดยคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบางถูกตรวจสอบด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) และการวัดมุมสัมผัส จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ได้แสดงถึงพิคกว้างที่มุม $40^\circ - 55^\circ$ ซึ่งเป็นผลจากการซ้อนทับกันของพิคของระนาบหลากหลายรูปแบบของ FeSi_2 และความไม่เป็นระเบียบของการจัดเรียงตัวของโครงผลึก เป็นผลให้มีโครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง FeSi_2 มีความคล้ายกับรูปแบบของอะมอร์ฟัส ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้แสดงถึงขนาดเกรน และความหนาของฟิล์มบาง FeSi_2 โดยใช้แม่เหล็กริงผิวงขนาดเล็ก คือ 44 นาโนเมตร และ 196 นาโนเมตร ตามลำดับ และจากการศึกษาพื้นผิวของฟิล์มบาง FeSi_2 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม พบว่าความขรุขระของฟิล์มบาง FeSi_2 มีค่ามากที่สุดที่เงื่อนไขของแม่เหล็กรูปแบบริงผิวงขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาด 6.310 นาโนเมตร นอกจากนี้ผลของการศึกษาสภาพการเปียกน้ำของฟิล์มบาง FeSi_2 พบว่าที่เงื่อนไขแม่เหล็กรูปแบบริงผิวงขนาดเล็กมีความไม่ชอบน้ำมากที่สุดโดยมีมุมสัมผัสของหยดน้ำ คือ 80.7°

คำสำคัญ : ฟิล์มบางไวโรนไดซิลไซด์ วงแหวนตัวนอก สนามแม่เหล็ก หัวแมกนีตรอน คุณสมบัติทางฟิสิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Effect of Magnetic Field Strength on Physical Properties of FeSi ₂ Thin Films Prepared by DC Magnetron Sputtering
Student	Mr Pachara Manit Student ID 56051170
Degree	Bachelor of science (Applied Physics)
Department	Applied Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Assist.Prof.Dr. Nathaporn Promros

Abstract

Iron silicide (FeSi₂) thin films were prepared by dc magnetron sputtering with changing the outer magnet such as small magnet, big magnet, small beehive and big beehive. The physical properties of the films were examined by x-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), atomic force microscopy (AFM) and contact angle measurements. The XRD patterns for all prepared films exhibited a broad peak at 2θ angle between 40° and 55° which should be because of overlapping of β-FeSi₂ diffracting peaks. The prepared films were possibly amorphous FeSi₂ films. From the SEM images, the grain size and thickness of the FeSi₂ thin films prepared by using the small beehive magnet were 44 nm and 196 nm, respectively. According to the AFM results, the root mean square roughness of FeSi₂ thin films prepared using small beehive magnet was the highest value of 6.310 nm. From contact angle measurement, the contact angle of the films prepared by using the small beehive magnet was the highest value of 80.7 °.

Keywords : FeSi₂ thin films, Outer magnet, Magnetic field, Magnetron sputtering source, Physical properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่คอยแนะนำสั่งสอน และได้มอบหมายหัวข้อโครงการวิจัยนี้แก่ผู้วิจัยได้ศึกษาตามความถนัดความสามารถ สนับสนุนด้านอุปกรณ์ แนวคิด รวมถึงสถานที่ปฏิบัติงานจนโครงการวิจัยสำเร็จจุลวงตามวัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ รศ.สาทร่าย เล็กช่อม ผศ.ดร.กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้งคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สละเวลาและให้เกียรติอย่างมากในการเป็นคณะกรรมการสอบวิชาโครงการพิเศษนี้ รวมถึงให้คำแนะนำเพื่อมาปรับปรุง ทั้งการนำเสนอ การเขียนเนื้อหาโครงการวิจัยให้สอดคล้องกับทฤษฎีทางฟิสิกส์

ขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ทางด้านฟิสิกส์ให้แก่ผู้วิจัยเพื่อนำไปใช้ในการดำเนินชีวิตและประกอบอาชีพในอนาคตได้

ขอขอบคุณนายพงศภัค สิทธิมาตร รุ่นพี่ปริญญาโท นายอดิสร นพจรจุล รุ่นพี่ปริญญาเอก ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงการวิจัย

ขอขอบคุณสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและ AUN/SEED-Net ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง FeSi_2

ผลงานวิจัยนี้จะสำเร็จไปได้ถ้าขาดบิดา มารดา คุณครู ญาติมิตร ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่สนับสนุนเป็นแรงผลักดันเป็นกำลังใจ สั่งสอน อบรม ด้วยความรักความเมตตาตลอดมา

พชร มานิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษา	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง (Thin film deposition process)	4
2.1.1 ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง	4
2.2 สเป็ตเตอริง (sputtering)	5
2.3 ดีซีแมกนีตรอนสเป็ตเตอริง (DC magnetron sputtering)	6
2.4 สนามแม่เหล็กที่หน้าหน้าผิวเป้า	9
2.4.1 แมกนีตรอนแบบสมมาตร	9
2.4.2 แมกนีตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 1	10
2.4.3 แมกนีตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 2	11
2.5 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง	12
2.5.1 คุณสมบัติโครงสร้างของ β -FeSi ₂	12
2.5.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	13
2.5.3 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม	14
2.5.4 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	15
2.5.5 การวัดมุมสัมผัส	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	19
3.1 การออกแบบอุปกรณ์การทดลองโดยโปรแกรม Solid Works	19
3.1.1 ขั้นตอนการออกแบบ 3 มิติ	19
3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบ 2 มิติ	23
3.2 ระบบดีซีแมกนีตรอนสเป็ตเตอริง	25
3.2.1 ระบบสุญญากาศ	25
3.2.2 ระบบจ่ายไฟฟ้า	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.3 ระบบทำความเย็น	25
3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง	26
3.3.1 ถังสุญญากาศ	26
3.3.2 ปัมกลโรตารี	27
3.3.3 เกทวาล์วระหว่างปั๊มแพร่ไอกับภาชนะสุญญากาศ	27
3.3.4 ปั๊มแพร่ไอ	28
3.3.5 วาล์วเข็ม	28
3.3.6 เกจวัดความดัน	29
3.2.7 ก๊าซอาร์กอน	29
3.2.8 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	29
3.2.9 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน	30
3.4 การเตรียมกระจกสไลด์	30
3.5 ขั้นตอนการวัดความเข้มข้นแม่เหล็กบริเวณผิวหน้าเป้า	31
3.6 เป้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง	33
3.7 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง	33
3.8 การวัดค่าคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายการทดลอง	37
4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง	37
4.2 ลักษณะของตลับใส่แม่เหล็กชนิดต่างๆ	38
4.3 การตรวจสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้า	39
4.4 เจือไนซ์ในการเคลือบฟิล์มบาง	44
4.5 กำลังไฟฟ้าสปีดเตอริงจากลักษณะเฉพาะของความเข้มสนามแม่เหล็ก	45
4.6 ผลการทดลองจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	47
4.7 ผลการทดลองจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม	48
4.8 ผลการทดลองของการศึกษามุมสัมผัส	50
4.9 ผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	51
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการทดลอง	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก	56
ประวัติผู้จัดทำวิทยานิพนธ์	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	2
3.1 แสดงอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง	26
4.1 แสดงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กตัวนอก	40
4.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองของวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก	44
4.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองของวงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่	44
4.4 แสดงเงื่อนไขการทดลองของแม่เหล็กแบบริงฝิ่งขนาดเล็ก	45
4.5 แสดงเงื่อนไขการทดลองของแม่เหล็กแบบริงฝิ่งขนาดใหญ่	45
4.6 แสดงกำลังไฟฟ้าของการสปีดเตอริง	46
4.7 แสดงขนาดเกรน ความหนาและอัตราการผลิตฟิล์มบาง FeSi_2	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการเกิดฟิล์มบาง	4
2.2 แผนภาพกระบวนการสร้างฟิล์มบางด้วยไอทางกายภาพ	5
2.3 กระบวนการสปีดเตอริง	5
2.4 ระบบการเคลือบแบบสปีดเตอริง	5
2.5 ระบบดีซีไดโอดสปีดเตอริงขณะทำการสปีดเตอริง	6
2.6 แสดงลักษณะของการเกิดแรงลอเรนซ์และการเคลื่อนที่แบบเกลียวของอิเล็กตรอน ทุติยภูมิภายใต้อิทธิพลของแรงลอเรนซ์	8
2.7 แสดงรูปแบบของเส้นแรงแม่เหล็กและลักษณะพลาสมาหน้าผิวเป้าของแมกนีตรอน แบบสมมาตร	10
2.8 แสดงรูปแบบของเส้นแรงแม่เหล็กและลักษณะของพลาสมาหน้าผิวเป้าของแมกนี ตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 1	10
2.9 แสดงรูปแบบของเส้นแรงแม่เหล็กและลักษณะของพลาสมาหน้าผิวเป้าของแมกนี ตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 2	11
2.10 โครงสร้างของ FeSi ₂	12
2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	13
2.12 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM	14
2.13 เครื่อง AFM	14
2.14 หลักการทำงานของเครื่อง AFM	15
2.15 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก	15
2.16 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	16
2.17 รูปแสดงหยดน้ำบนใบบัว	17
2.18 แสดงการเปียกและมุมสัมผัสค่าต่างๆ	18
3.1 แสดงการใช้โปรแกรม solid works	19
3.2 แสดงการเลือก Part สร้างชิ้นงาน 3 มิติ	20
3.3 แสดงรูปแบบเบื้องต้นก่อนสร้างชิ้นงาน	21
3.4 แสดงขนาดวงแหวนวงนอกและวงแหวนวงใน	21
3.5 แสดงช่องใส่แม่เหล็ก	22
3.6 ตลับใส่แม่เหล็กริงฟุ้งขนาดเล็ก แบบ 3 มิติ	22
3.7 ตลับใส่แม่เหล็กริงฟุ้งขนาดใหญ่ แบบ 3 มิติ	23
3.8 การเลือกขนาดกระดาดแสดงภาพ 2 มิติ	23
3.9 แสดงการเปิดไฟล์ 2 มิติ	24
3.10 แผนภาพ drawing จากโปรแกรม Solid works ของตลับริงฟุ้งขนาดเล็ก	24
3.11 แผนภาพ drawing จากโปรแกรม Solid works ของตลับริงฟุ้งขนาดใหญ่	25
3.12 เครื่องดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงที่ใช้ในการทดลอง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

	หน้า
3.13 ถังสุญญากาศ	27
3.14 บั้มกลโรตารี	27
3.15 เกทวาล์ว	28
3.16 บั้มแพร์ไอรูน WDP-4Z ของบริษัท WOOSUNG VACUUM	28
3.17 วาล์วเข็ม	28
3.18 เกจวัดแรงดัน	29
3.19 ถังบรรจุก๊าซอาร์กอน	29
3.20 แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	29
3.21 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนยี่ห้อ MARCH COOL รุ่น Small Cooling Bath 5000 BTU	30
3.22 กระจกสไลด์	30
3.23 เครื่องอุตราโซนิก	31
3.24 กระจกสไลด์ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง	31
3.25 วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก	32
3.26 วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่	32
3.27 แม่เหล็กแบบรังผึ้งขนาดเล็ก	32
3.28 แม่เหล็กแบบรังผึ้งขนาดใหญ่	32
3.29 หัววัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก Combi B Sensor S probe	33
3.30 เป้า FeSi ₂ ที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม	33
3.31 แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น	34
3.32 แสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	34
3.33 แสดงลำของพลาสมาขนาดเกิดการสปีดเตอริง	35
3.34 ตู้ควบคุมความชื้น	35
3.35 เครื่องวัดค่ามัมส์	36
4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง	37
4.2 รูปถ่ายตัดลึบใส่แม่เหล็กแบบต่างๆ	38
4.3 หัววัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก Combi B Sensor S probe	39
4.4 แสดงตำแหน่งในแนวรัศมีในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กบริเวณหน้าผิวเป้า	41
4.5 กราฟแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กกับรัศมีแม่เหล็ก (ก) และ (ข)	42
4.6 กราฟแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กกับรัศมีแม่เหล็ก (ค) และ (ง)	43
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแส	46
4.8 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi ₂ ตามเงื่อนไขของวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก	47
4.9 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi ₂ ตามเงื่อนไขของวงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
4.10 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขของแม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดเล็ก	47
4.11 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขของแม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดใหญ่	48
4.12 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง FeSi_2	50
4.13 แสดงลักษณะมุมสัมผัสของ FeSi_2	51
4.14 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง FeSi_2	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
E_k	พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน
E_j	พลังงานการแตกตัวเป็นไอออนของอะตอม
SY	สปีตเตอริงยิลด์
N_{atom}	ปริมาณเฉลี่ยของอะตอมที่หลุดออกจากเป้า
N_{ion}	ปริมาณไอออนที่เคลื่อนที่ชน
q	ประจุไฟฟ้า
v	ความเร็ว
B	สนามไฟฟ้า
F_B	แรงสนามแม่เหล็ก
F_C	แรงสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่แบบวงกลม
F_L	แรงลอเรนซ์
q_e	ประจุของอิเล็กตรอน
m	มวลของอิเล็กตรอน
\bar{v}	ความเร็วของอิเล็กตรอน
\bar{E}	สนามไฟฟ้า
\bar{B}	สนามแม่เหล็ก
L	ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด
V_c	ความต่างศักย์ที่จ่ายระหว่างขั้วอิเล็กโทรด
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส
λ	ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
V_v	ปริมาตรของไอ
P_e	ความดันสมดุล (Equilibrium pressure)
I.D.	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน
O.D.	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก
\emptyset	เส้นผ่านศูนย์กลาง
h	ความสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศมีความสำคัญมากขึ้นเนื่องจากการเคลือบผิววัสดุมีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงสมบัติของวัสดุให้เป็นไปตามที่ต้องการ ทั้งนี้การปรับปรุงคุณภาพผิววัสดุวิธีหนึ่ง คือ การเคลือบด้วยสารที่มีลักษณะเป็นชั้นเคลือบบาง ที่เรียกว่า “ฟิล์มบาง (thin film)” บนผิววัสดุ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันการเคลือบผิวชิ้นงานส่วนใหญ่จะนิยมใช้วิธีทางเคมี เช่น การเคลือบด้วยไฟฟ้า (electroplating) แต่การเคลือบวิธีนี้มีข้อเสียคือคุณภาพของผิวเคลือบต่ำอีกทั้งยังมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีการวิจัยและพัฒนาเทคนิคการเคลือบใหม่ทดแทนได้แก่ การเคลือบในสุญญากาศ (vacuum coating) เนื่องจากการเคลือบนี้เกิดขึ้นเฉพาะในสุญญากาศและไม่ใช้สารเคมีที่จะทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในกระบวนการเคลือบ [1] การเคลือบในสุญญากาศมีหลายวิธีแต่วิธีสปีตเตอริง (sputtering) เป็นที่นิยมกันอย่างมาก ทั้งในระดับงานวิจัยและทางอุตสาหกรรมหลายแห่งในประเทศ ในด้านการวิจัยของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ได้ทำการศึกษาการเคลือบในสุญญากาศเพื่อใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง ซึ่งสอดคล้องกับอุตสาหกรรมกรรมการเคลือบ ได้แก่ ไดโอด ดีเทคเตอร์ และโซล่าเซลล์ วิธีสปีตเตอริงเป็นวิธีหนึ่งที่ได้ทำการศึกษา ซึ่งประกอบไปด้วยภาชนะสุญญากาศ (vacuum chamber) ส่วนสร้างสภาวะสุญญากาศที่ประกอบด้วยเครื่องสูบลูกโรตารี (rotary pump) เครื่องสูบบแบบแพร่ไอน้ำมัน (diffusion pump) แผ่นกั้นไอน้ำมัน (baffle) มาตรวัดความดัน (pressure gauge) วาล์ว (valve) และข้อต่อต่างๆ ส่วนการเคลือบประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดหัวแมกนีตรอน (magnetron sputtering source) ที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์สูง และแผ่นรองรับ (substrate) ซึ่งในการทำงานแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์สูงจะถูกจ่ายให้กับหัวแมกนีตรอนเพื่อทำการสปีตเตอริง ในสภาวะสุญญากาศที่ความดันประมาณ 5×10^{-3} ทอร์ ทั้งนี้หัวแมกนีตรอนสามารถเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กบริเวณผิวหน้าเป้า ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนขนาดของแม่เหล็ก ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กบริเวณผิวหน้าเป้าส่งผลต่อลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของฟิล์มบาง ทั้งนี้ยังได้ใช้เป้าเป็นสารกึ่งตัวนำในการเคลือบฟิล์มบางทำให้เกิดชั้นฟิล์มที่เป็นชั้นของสารกึ่งตัวนำและยังสามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการเคลือบฟิล์มบาง FeSi_2 โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงโดยเปลี่ยนความเข้มข้นแม่เหล็ก
2. วัดความเข้มข้นแม่เหล็กและศึกษาลักษณะของสนามแม่เหล็กบริเวณผิวหน้าเป้า
3. ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง FeSi_2 ที่ถูกเคลือบโดยการเปลี่ยนความเข้มข้นแม่เหล็กจากวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยศึกษาการเคลือบฟิล์มบาง FeSi_2 โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง วัดลักษณะเฉพาะของความเข้มข้นแม่เหล็กจากการเปลี่ยนแม่เหล็กด้านนอกของหัวแมกนีตรอนสปัตเตอริงและตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง FeSi_2

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา							
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ศึกษาข้อมูล หลักการทำงาน และอุปกรณ์ที่ใช้โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง	←→							
จัดหาอุปกรณ์การทดลอง และออกแบบตลับใส่แม่เหล็ก		←→						
ตรวจวัดลักษณะเฉพาะของความเข้มข้นแม่เหล็กบริเวณหัวหน้าเป้า			←→					
ทดสอบการทำงานของภาชนะสุญญากาศในการเคลือบฟิล์มบาง FeSi_2				←→				
เคลือบฟิล์มบาง FeSi_2 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นแม่เหล็ก				←→				
ตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มบาง FeSi_2					←→			
เรียบเรียงเนื้อหาและทำเล่ม						←→		

เอกสารโครงการพิเศษสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้ในการเคลือบฟิล์มบาง FeSi_2 ในสุญญากาศโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง
2. ทราบถึงลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่จ่ายให้กับแหล่งกำเนิดหัวแมกนีตรอนสปัตเตอริง
3. ได้ฝึกทักษะและความรู้ในการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works เพื่อนำภาพมาประกอบการเรียนรู้
4. ได้รับความรู้จากผลการตรวจสอบคุณสมบัติของฟิล์มบางที่เคลือบจากหัวแมกนีตรอนโดยการเปลี่ยนความเข้มข้นแม่เหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

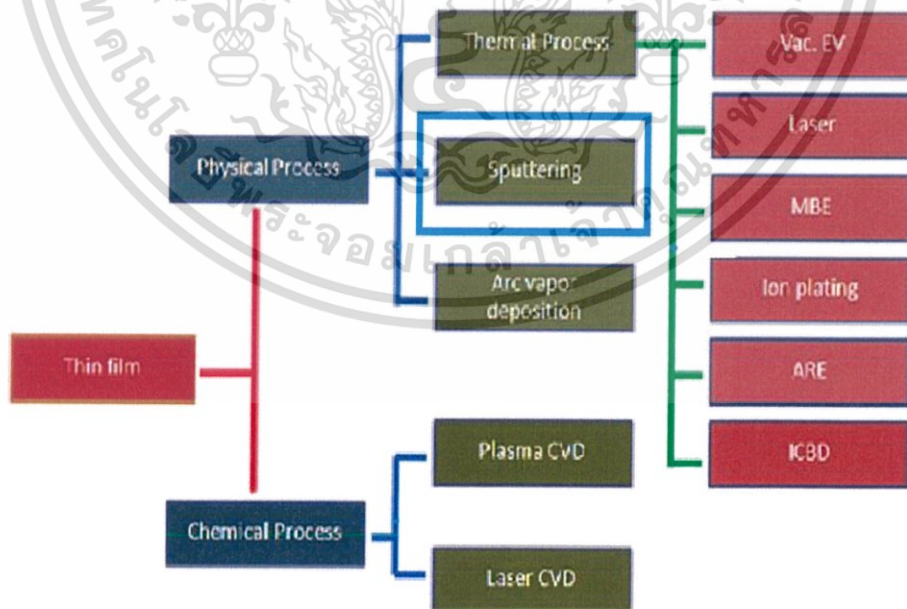
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มสนามแม่เหล็กบริเวณหัวแมงนิตรอนของวิธีดีซีแมงนิตรอนสปีดเตอริงที่มีผลต่อคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบาง FeSi_2 ผู้วิจัยขออธิบายหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยเริ่มต้นจากหลักการที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบฟิล์ม วิธีดีซีแมงนิตรอนสปีดเตอริง การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก จากนั้นจะอธิบายหลักการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง

2.1 กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง (Thin film process) [2]

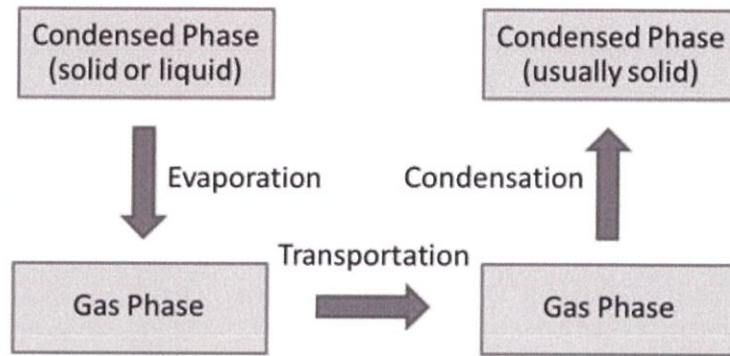
2.1.1 ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง

วิธีการเคลือบฟิล์มบางแบ่งได้ 2 แบบ ดังรูป 2 คือ กระบวนการเคลือบโดยไอเชิงฟิสิกส์ (physical vapor deposition process: PVD) และกระบวนการเคลือบโดยไอเชิงเคมี (chemical vapor deposition process: CVD) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแต่ละวิธีก็มีแยกย่อยออกไปอีก และผู้วิจัยจะเน้นทางด้าน PVD ซึ่งเป็นเทคนิคการสร้างฟิล์มบางที่ใช้กลไกทางกายภาพ เช่น สปีดเตอริงและการระเหย (evaporation) เพื่อให้สารตั้งต้นกลายเป็นไอ จากนั้นไอ (ซึ่งเป็นได้ทั้งอะตอมหรือไอออน) ที่เกิดขึ้นจะตกเคลือบบนชิ้นงาน (ภาพที่ 2.2) ปัจจุบันมีการใช้เทคนิค PVD อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการเคลือบกระจก อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพราะมีจุดเด่นที่กระบวนการเคลือบใช้ความร้อนต่ำ ใช้แก๊สที่ไม่เป็นพิษ และไม่ซับซ้อน



รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดฟิล์มบาง

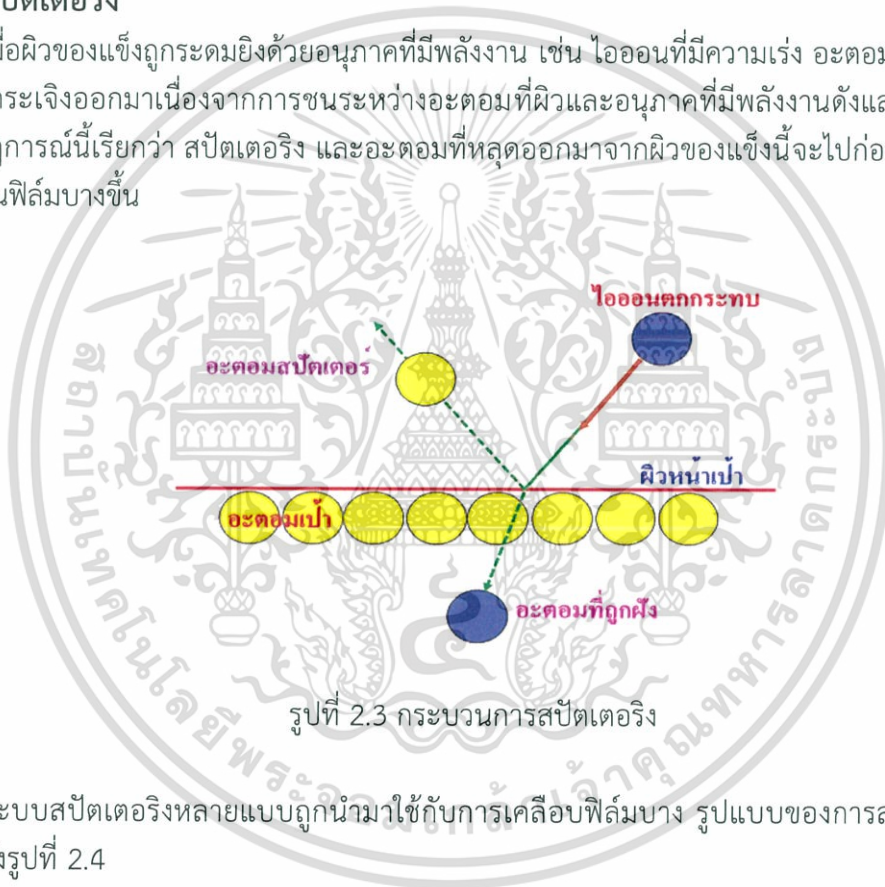
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แผนภาพกระบวนการสร้างฟิล์มบางด้วยไอทางกายภาพ

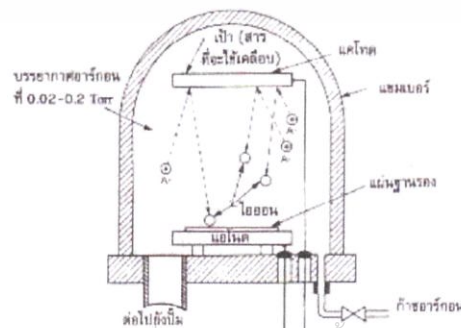
2.2 สปีดเตอริง

เมื่อผิวของแข็งถูกระดมยิงด้วยอนุภาคที่มีพลังงาน เช่น ไอออนที่มีความเร็ว อะตอมที่ผิวของแข็ง จะถูกกระเจิงออกมาเนื่องจากการชนระหว่างอะตอมที่ผิวและอนุภาคที่มีพลังงานดังแสดงดังรูป 2.3 ปฏิกิริยานี้เรียกว่า สปีดเตอริง และอะตอมที่หลุดออกมาจากผิวของแข็งนี้จะไปก่อตัวบนชิ้นงาน เกิดเป็นฟิล์มบางขึ้น



รูปที่ 2.3 กระบวนการสปีดเตอริง

ระบบสปีดเตอริงหลายแบบถูกนำมาใช้กับการเคลือบฟิล์มบาง รูปแบบของการสปีดเตอริงได้แสดงดังรูปที่ 2.4

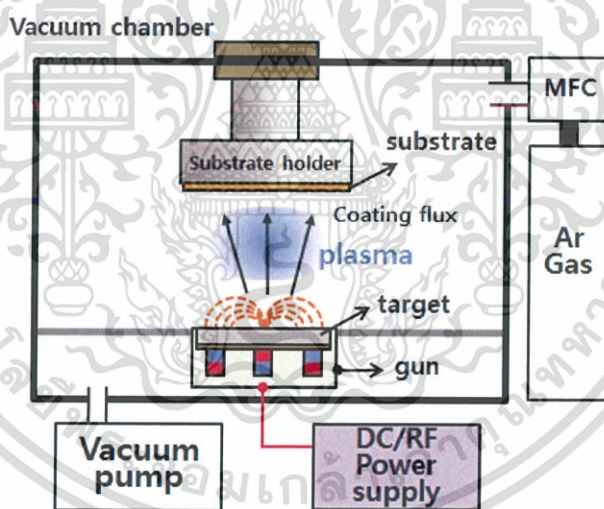


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีรูปที่ 2.4 ระบบการเคลือบแบบสปีดเตอริง เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคสปีดเตอริงสามารถใช้กับวัสดุใดๆก็ได้รวมทั้งโลหะ ฉนวนและวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีจุดหลอมละลายสูง นอกจากนี้ยังสามารถทำการสปีดเตอริงพวกสารประกอบและอัลลอยด์ได้

2.3 ดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง (DC magnetron sputtering)

ระบบดีซีไดโอดสปีดเตอริงจะประกอบด้วยขั้วคาโทดและขั้วแอโนด ทั้งสองขั้วไฟฟ้าจะถูกติดตั้งไว้ในภาชนะสุญญากาศ โดยวัสดุที่ใช้เป็นเป้าในการสปีดเตอริงจะถูกยึดติดที่ด้านหน้าของขั้วคาโทด และแผ่นรองรับที่ต้องการเคลือบจะถูกยึดติดไว้ที่ขั้วแอโนด โดยภายในภาชนะสุญญากาศจะถูกทำให้มีความดันที่เหมาะสมและเต็มไปด้วยก๊าซที่จะใช้ในการสปีดเตอริง โดยเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังสองขั้วไฟฟ้า จะก่อให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมขั้วไฟฟ้า เป็นผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าซึ่งสนามไฟฟ้านี้จะไปเร่งอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ไปชนอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปีดเตอริงและเกิดการแตกตัวเป็นไอออน โดยที่ไอออนบวกของก๊าซที่ได้จากการแตกตัวเป็นไอออนจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วคาโทดแล้วพุ่งชนอะตอมที่หน้าผิวเป้าให้หลุดออกมาและเคลือบเป็นฟิล์มบางที่แผ่นรองรับ พร้อมกับมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิออกมา โดยที่การเปล่งแสงดิสชาร์จจะยังคงอยู่ได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วยอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้เนื่องจากอิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณที่เกิดพลาสมาและทำให้เกิดการชนกับอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปีดเตอริง และเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกเพิ่มขึ้นมา ก่อนที่อิเล็กตรอนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ขั้วแอโนด



รูปที่ 2.5 ระบบดีซีไดโอดสปีดเตอริงขณะทำการสปีดเตอริง

วิธีดีซีสปีดเตอริงเป็นวิธีที่ทำให้เกิดพลาสมาจากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้ว และจากการที่มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิในขณะที่จะอะตอมของเป้าหลุดออกมาเนื่องจากถูกชนด้วยไอออนบวก ดังนั้นถ้าหากสามารถที่จะกักเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่หน้าผิวเป้า และเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้มากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ออกาสในการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมของก๊าซที่ใช้ในการสปีดเตอริงเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของโอกาสในการชนจะส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของการแตกตัวเป็นไอออนบวกและถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้เคลื่อนที่เข้าชนเป้ามากขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้อัตราของการสปีดเตอริงมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้การกักเก็บอิเล็กตรอนและการเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนให้เพิ่มขึ้นนั้นสามารถทำได้โดยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางที่เหมาะสมให้กับระบบดีซี

สปัตเตอร์ และเมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ในทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า B จะเกิดแรงกระทำกับอนุภาคนั้น [3] ซึ่งมีค่าเป็นไปตามสมการ

$$F_B = qv \times B \sin\theta = qvB \quad 2.3.1$$

เมื่ออนุภาคที่มีประจุรวม m เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็กในทิศทางที่ตั้งฉากกันก็จะได้รับอิทธิพลของแรงสนามแม่เหล็ก (F_B) ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคนั้นเคลื่อนที่เป็นวงกลม เมื่อวัตถุหรืออนุภาคใดๆ มีการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะทำให้เกิดแรงสู่ศูนย์กลาง ซึ่งมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 2.3.2

$$F_c = \frac{mv^2 \sin\theta}{r} = \frac{mv^2}{r} \quad 2.3.2$$

เมื่อแรงสนามแม่เหล็กทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมจะได้ว่า

$$F_B = F_c \quad 2.3.3$$

เมื่อ F_B เป็นแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กและ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่แบบวงกลมดังสมการที่ 2.3.4

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \quad 2.3.4$$

เมื่อทำการย้ายข้างสมการที่ 2.3.4 จะได้สมการที่มีค่ารัศมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็น

$$r = \frac{mv}{qB} \quad 2.3.5$$

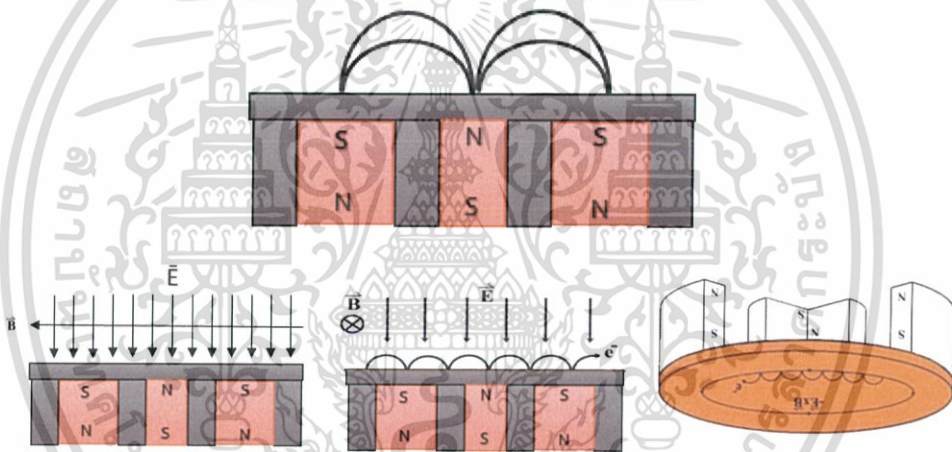
ซึ่งเรียกรัศมีนี้ว่ารัศมีรัศมีลาร์มอร์ (Larmor's radius) โดยที่ในเรื่องการสปัตเตอร์อนุภาคอิเล็กตรอนจะได้รับผลกระทบจากแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กนี้ในทางกลับกันไอออนซึ่งมีมวลมากจะได้รับอิทธิพลจากแรงนี้น้อยมาก ดังนั้นเราจึงไม่คิดปัจจัยที่เกิดจากไอออนที่มีมวลมากและจากความเร็วเชิงเส้นเมื่อเทียบกับความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่เราก็จะทราบถึงความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อ $v = \omega r$ จะได้ว่า

$$\omega = \frac{qB}{m} \quad 2.3.6$$

และหากพิจารณาอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ได้จากอะตอมของเป้าที่หลุดออกมาเนื่องจากถูกชนด้วยไอออนพลังงานสูง ซึ่งจะเคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางที่มีทิศทางตั้งฉากกัน ซึ่งจะเกิดแรงทางไฟฟ้าที่กระทำต่ออิเล็กตรอนทุติยภูมินี้ โดยที่ผลรวมของแรงจากสนามไฟฟ้ากับแรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอิทธิพลต่ออนุภาคที่มีประจุคือแรงลอเรนซ์ ซึ่งมีค่าเป็นไปตามสมการดังนี้ไปใช้

$$F_L = F_E + F_B = q_e(\vec{v} \times \vec{B} + \vec{E}) \quad 2.3.7$$

โดยที่ F_L เป็นแรงลอเรนซ์ q_e เป็นประจุของอิเล็กตรอน m เป็นมวลของอิเล็กตรอน \vec{v} เป็นความเร็วของอิเล็กตรอน \vec{E} เป็นสนามไฟฟ้า \vec{B} เป็นสนามแม่เหล็ก และเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางที่มีทิศทางตั้งฉากกันจะทำให้อิเล็กตรอนถูกกักไว้ที่หน้าผิวเป้าและมีการเคลื่อนที่เป็นรูปเกลียววงกลมด้วยความเร็วเชิงมุม $\omega = qB/m$ ไปในเส้นทางของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางที่มีทิศทางตั้งฉากกัน ซึ่งจุดศูนย์กลางของการเคลื่อนที่วงกลมแบบเลื่อนลอยในทิศทางของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามขวางที่มีทิศทางตั้งฉากกันซึ่งแสดงในรูป 2.6 การเคลื่อนที่ในรูปแบบนี้ของอิเล็กตรอนจะเพิ่มโอกาสในการชนกันระหว่างอะตอมของก๊าซกับอิเล็กตรอนซึ่งจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวเป็นไอออนบวกสูงชันที่หน้าผิวเป้าเป็นผลให้ปริมาณไอออนบวกที่ถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าให้ไปชนเป้ามีปริมาณมากขึ้นซึ่งจะเป็นผลโดยตรงที่ทำให้อัตราการสปีดเตอริงมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีซีไอโอตสปีดเตอริง เป็นเหตุผลให้วิธีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงถูกใช้ในการเคลือบฟิล์มบางกันอย่างแพร่หลายทั้งในงานวิจัยและในงานอุตสาหกรรม [4]



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของการเกิดแรงลอเรนซ์และการเคลื่อนที่แบบเกลียวของอิเล็กตรอนทุติยภูมิภายใต้อิทธิพลของแรงลอเรนซ์

จากความเร็วที่เกิดขึ้นโดยการเร่งจากสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอที่เกิดจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมขั้วอิเล็กโทรดจะได้ว่า

$$E_k = E_{ef} \quad 2.3.8$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = qV \quad 2.3.9$$

ซึ่งเมื่อย้ายข้างสมการใหม่จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \sqrt{\frac{2qV}{m}} \quad 2.3.10$$

เมื่อเราแทนค่า $r = mv/qB$ ลงในสมการที่ 2.3.10 เพื่อหาค่ารัศมีการเคลื่อนที่แบบเกลียวแล้วแทนค่าคงที่มวล m ของอิเล็กตรอน และค่าคงที่ประจุ q ของอิเล็กตรอนลงในสมการที่ 2.3.11 แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้ค่ารัศมีการเคลื่อนที่แบบวงกลมเกลียวภายใต้อิทธิพลของแรงลอเรนซ์ของอิเล็กตรอนดังนี้

$$r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{q}} = 0.33 \times 10^{-5} \frac{\sqrt{V}}{B} \quad 2.3.11$$

โดยที่ผลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อการดิสซาร์จ จะสามารถพิจารณาได้จากสนามแม่เหล็กยับยั้ง (Cut-off magnetic field: B_{CB}) สนามแม่เหล็กจะมีผลต่อการดิสซาร์จก็ต่อเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็กที่บริเวณหน้าผิวเข้ามีค่ามากกว่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งยับยั้ง [4] ซึ่งมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 2.3.11 ซึ่งสมการนี้ใช้กับขั้วอิเล็กโทรดแบบแผ่นราบ โดยที่ L เป็นระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและ V_C เป็นความต่างศักย์ที่จ่ายระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

$$B_{CB} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{2mV_C}{e}} \quad 2.3.12$$

2.4 สนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเข้า [5]

ลักษณะเฉพาะของพลาสมาและอัตราการเคลือบของฟิล์ม รวมทั้งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบางที่ได้จากวิธีการดีซีแมกนีตรอนสเปตเตอร์จะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กในระบบดีซีแมกนีตรอนสเปตเตอร์หรืออาจบอกได้ว่าตัวแปรค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่บริเวณหน้าผิวเข้านั้นเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สามารถกำหนดลักษณะเฉพาะของพลาสมาหรือคุณสมบัติของฟิล์มที่เคลือบได้ โดยที่ลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่บริเวณหน้าผิวเข้าสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

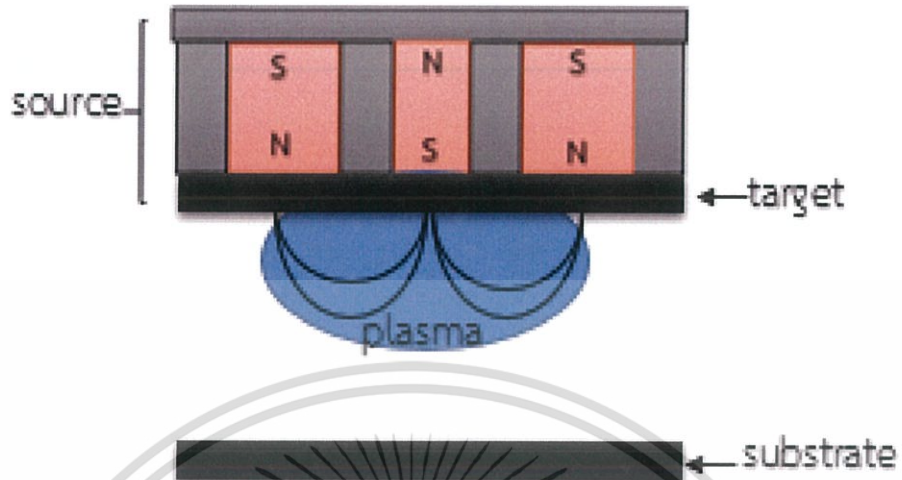
2.4.1. แมกนีตรอนแบบสมมาตร (Conventional magnetron)

โดยที่จะมีความเข้มของแม่เหล็กตรงกลางเท่ากับแม่เหล็กด้านนอก โดยอิเล็กตรอนจะถูกกักไว้ที่บริเวณหน้าผิวเข้าโดยสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไป และเคลื่อนที่เป็นเกลียวกลมในเส้นทางเลื้อยของสนามไฟฟ้าด้วยแรงลอเรนซ์ เป็นผลให้ออกาสในการชนกับอะตอมที่เป็นกลางและเกิดการกระบวนกรแตกตัวเป็นไอออนบวกสูงขึ้น และจะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าไปยังเป้าที่ยึดติดไว้ที่ขั้วคาโทดแล้วเคลื่อนที่เข้าชนกับอะตอมที่หน้าผิวเข้าทำให้เกิดการสเปตเตอร์ของเป้าพร้อมทั้งมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิออกมาด้วย ซึ่งอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกเร่งกลับเข้าไปยังบริเวณที่มีการดิสซาร์จ และอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกกักไว้ภายใต้อิทธิพลของแรงลอเรนซ์เป็นผลให้เกิดการแตกตัวอะตอมของก๊าซในปริมาณสูงขึ้นก่อนที่หายไป ด้วยเหตุผลนี้จะทำให้พลาสมาที่บริเวณหน้าผิวเข้ามีความหนาแน่นสูงจะส่งผลกระทบต่ออย่างมากถ้าฟิล์มบางหรือชิ้นงานถูกเคลือบในบริเวณนี้ โดยที่โครงสร้างและคุณสมบัติของฟิล์มบางหรือชิ้นงานจะถูกควบคุมโดยการระดมยิงของไอออน ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และจะดำเนินการฟ้องดำเนินคดีตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

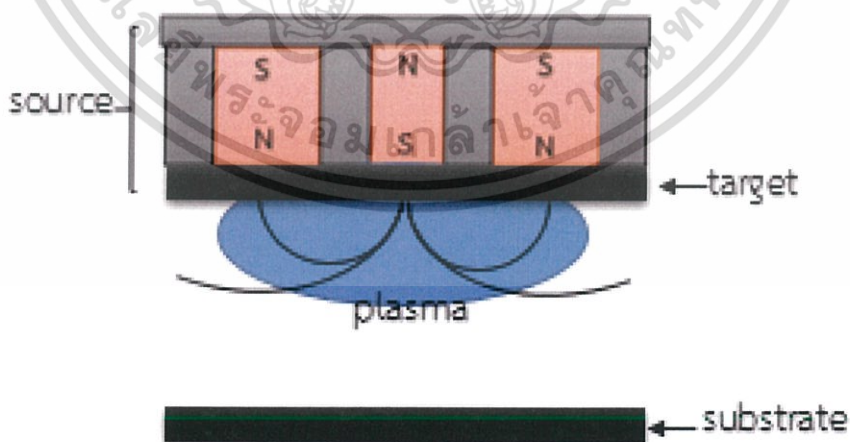
เป็นการยากที่จะเคลือบฟิล์มให้หนาแน่นเต็มที่ในบริเวณกว้างในการใช้แมกนีตรอนแบบสมมาตรซึ่งแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของเส้นแรงแม่เหล็กและลักษณะพลาสมาหน้าผิวเป้าของแมกนีตรอนแบบสมมาตร

2.4.2. แมกนีตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 1 (Unbalanced magnetron type 1)

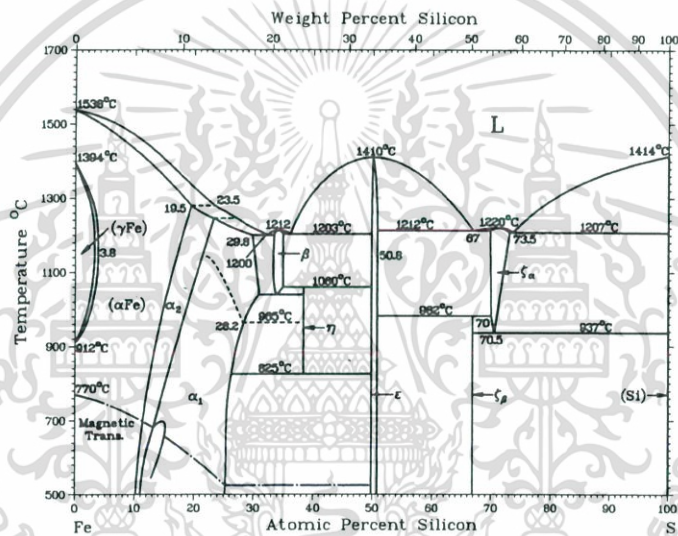
แมกนีตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 1 ความเข้มของแม่เหล็กตรงกลางมากกว่าแม่เหล็กด้านนอกซึ่งในแมกนีตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 1 นี้แรงแม่เหล็กส่วนหนึ่งจะเชื่อมปิดกันระหว่างแม่เหล็กด้านนอกกับแม่เหล็กตรงกลาง และเส้นแรงแม่เหล็กที่เหลือจะมีทิศทางไปยังผนังของภาชนะสุญญากาศ เป็นผลทำให้ทิศทางของอิเล็กตรอนและพลาสมาห่างไปจากแผ่นรองรับ ทำให้ความหนาแน่นของพลาสมาในบริเวณแผ่นรองรับมีค่าต่ำ ด้วยเหตุนี้แมกนีตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 1 จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ เพราะการให้ผลของกระแสไอออนต่ำที่แผ่นรองรับ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.8



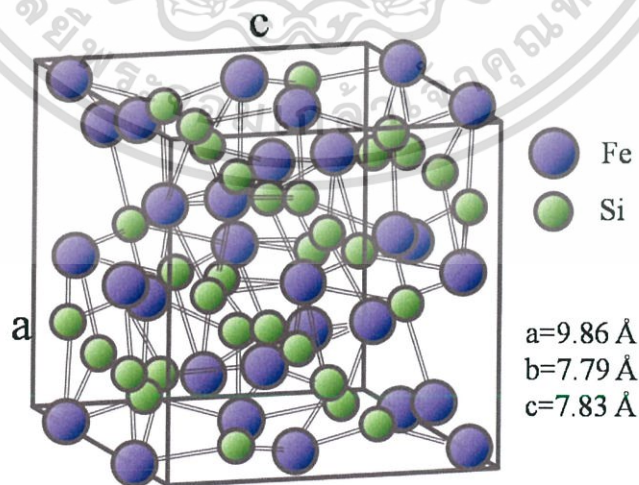
รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบของเส้นแรงแม่เหล็กและลักษณะของพลาสมาหน้าผิวเป้าของแมกนีตรอนแบบไม่สมมาตรชนิดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FeSi₂ (ออร์โธโรมบิก) และ α -FeSi₂ (เตตระโกนอล) ในส่วนของ FeSi₂ ประกอบไปด้วย เตตระโกนอล α -FeSi₂ ออร์โธโรมบิก β -FeSi_{2 และ คิวบิก γ -FeSi₂ [6] คิวบิก γ -FeSi₂ เป็นเฟสอุณหภูมิต่ำที่เกิดขึ้นได้ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ β -FeSi₂ ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เฟสโลหะ α -FeSi₂ สามารถปลูกที่อุณหภูมิสูงและมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิในช่วง 950°C ถึงจุดหลอมเหลว [7,8] เฟส β จะถูกเปลี่ยนไปยังเฟส α เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 970°C และมีเสถียรภาพที่ต่ำกว่า 937°C จากเฟสของ ซิลิไซด์ทั้งหมดมีเพียงแค่ออร์โธโรมบิก β -FeSi₂ ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาผลึกออร์โธโรมบิก (β -FeSi₂) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีศักยภาพในการนำไปใช้ในทาง ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ [9,10] β -FeSi₂ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Fe และ Si) ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ในธรรมชาติและไม่เป็นพิษ [11,12] มีโครงสร้างที่มีค่าคงที่ของ $a = 0.986$ nm $b = 0.778$ nm และ $c = 0.788$ nm ผลึกของโครงสร้างอะตอมประกอบด้วยอะตอม 48 อะตอม Fe 16 อะตอมและ Si 32 อะตอม ดังแสดงในรูป 2.10}



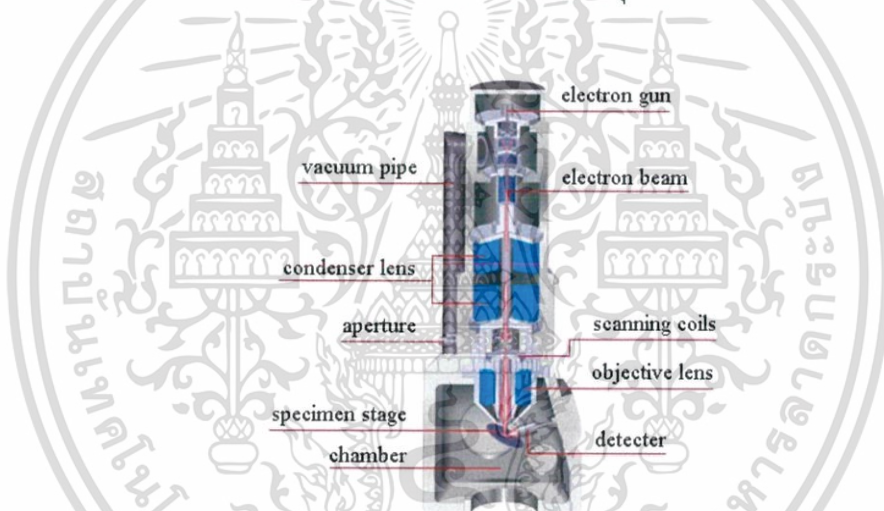
(ก)

รูปที่ 2.10 (ก) แผนภาพเฟสของ Fe-Si และ (ข) โครงสร้างผลึกของ β -FeSi₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกการดำเนินการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) [14]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่า ลักษณะสัณฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้วัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



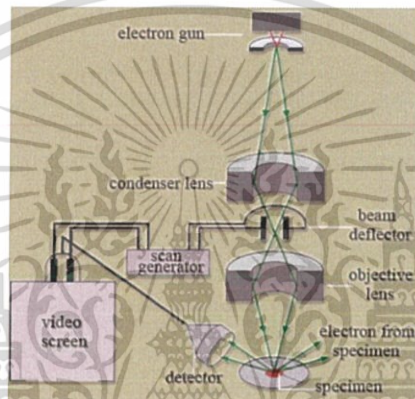
รูปที่ 2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องเป็นตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

ข้อดีของเครื่อง SEM เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง TEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ ในขณะที่ภาพจากเครื่อง TEM จะให้ภาพลักษณะ 2 มิติ อีกทั้งวิธีการใช้งานเครื่อง SEM จะมีความรวดเร็วและใช้งานง่ายกว่าเครื่อง TEM มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

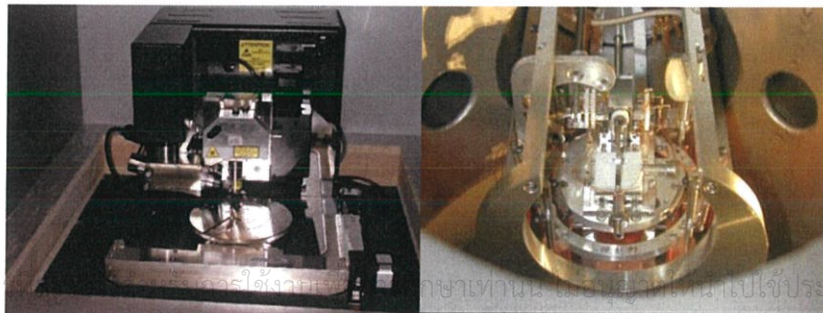
หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน [15] ซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM

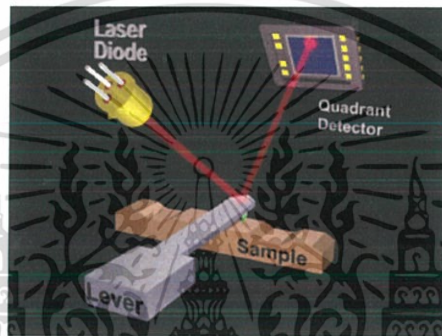
2.5.3 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope) [16]

เป็นเครื่องมือที่ใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนโดยเฉพาะเช่นเดียวกับ STM แต่เครื่อง AFM ถูกพัฒนาขึ้นมาหลังจากเครื่อง STM และสร้างขึ้นมาด้วยหลักการพื้นฐานเดียวกับกับเครื่อง STM โดยเครื่อง AFM จะสามารถทำงานได้โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจหรือโพรบ (probe) ที่มีปลายแหลมเล็ก (เหมือนกันกับเครื่อง STM) ซึ่งติดอยู่กับคานย่น (cantilever) ที่สามารถโก่งงอตัวได้ เคลื่อนที่สัมผัสไปบนพื้นผิวของวัตถุ (ซึ่งสามารถที่จะวัด แรงกระทำที่ปลายแหลมของโพรบได้แม้ว่าจะมีขนาดน้อยมากในระดับนาโนก็ตาม) และคุณประโยชน์ของเครื่อง AFM ที่มีมากกว่าเครื่อง STM ก็คือ สามารถที่จะตรวจวัดพื้นผิวที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ เช่น พื้นผิวโพลีเมอร์ เซรามิก คอมโพสิต กระจก หรือแก้วหรือโมเลกุลทางชีวภาพต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... วิชาการ... ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปรรูปที่ 2.13 เครื่อง AFM ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

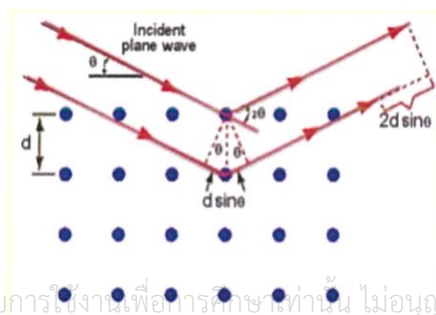
หลักการการทำงานของ AFM คือ การผ่านแสงเลเซอร์ไปที่กับส่วนปลายแหลม (tip) ของคานยื่นที่มีขนาดระดับอะตอมในระยะใกล้ ซึ่งส่วนปลายแหลมของคานนั้นจะไปสัมผัสแบบกระดกในทิศทางขึ้นและลงกับพื้นผิวของวัตถุ และเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายแหลมผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับปลายแหลมจะดึงคานทำให้คานโก่งงอตัว ทำให้สามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิสัมพันธ์ ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ (ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นได้) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณรวมกันเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวที่เป็นลักษณะเชิงโครงสร้างระดับอะตอม ที่มีกำลังการขยายสูงไปแสดงบนจอภาพที่เป็นมอนิเตอร์เช่นเดียวกันกับเครื่อง STM (และโดยหลักการเดียวกันนี้ก็สามารถที่ใช้ปลายแหลมของคานนี้ในการสร้างแรงผลักเพื่อเคลื่อนย้ายอะตอมแต่ละตัวของโครงสร้างวัสดุได้เช่นเดียวกันอีกด้วย)



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของเครื่อง AFM

2.5.4 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer: XRD) [17]

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของวัสดุที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่ว่าเมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบ รังสีเอกซ์ บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ จากหลักการของ W.L. Bragg ทำให้มีการศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกจนมีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ขึ้นในปีค.ศ. 1948 และพัฒนาจนกระทั่งมีการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงาน และวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อให้เกิดความรวดเร็วแม่นยำยิ่งขึ้น นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักเคมีวิทยา วัสดุศาสตร์ธรณีวิทยาและโลหวิทยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 2.15 วงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึกของสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สามารถทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (Crystalline Structure) ของสารประกอบที่มี อยู่ในสารตัวอย่าง ได้ทั้งในรูปแบบผง (Powder) และแบบฟิล์มบาง ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD จะให้รายละเอียด เกี่ยวกับโครงสร้างผลึก และระนาบผลึกของสารตัวอย่าง โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับ ข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละ ชนิดมีรูปแบบโครงสร้างผลึกและระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอมสารประกอบแต่ละ ชนิดจะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัว เปรียบเสมือนลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน

หลักการการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ประกอบด้วยหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่เป็นหลอดปิดและอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งรังสีเอกซ์จะถูกสร้างขึ้นโดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้น ลวดฟิลาเมนต์ (Filament) ที่อยู่ภายในหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวด อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจากเส้นลวดฟิลาเมนต์ที่เป็นขั้วแคโทดเข้าขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้ไอเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุด ออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัด มา (L- และ M-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอกซ์ออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะ ถูกตรวจจับด้วย อุปกรณ์ตรวจจับรังสีเอกซ์ (detector)



รูปที่ 2.16 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

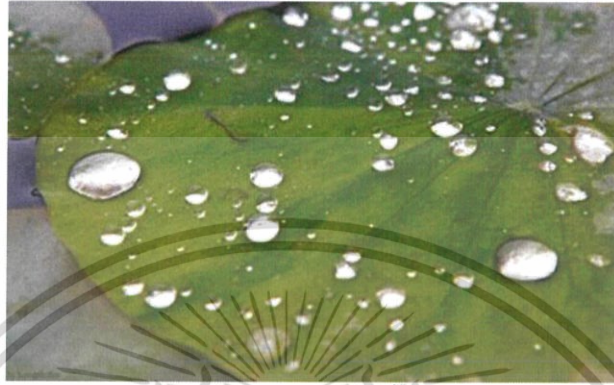
2.5.5 มุมสัมผัส (Contact Angle) [18]

การเปียก หรือ Wetting คือลักษณะของของเหลวที่จะยึดเกาะอยู่บนผิวของของแข็ง การที่ของเหลวจะเปียกบนของแข็งได้ดีหรือไม่นั้นจะเกี่ยวข้องกับแรงสองแรงหลักๆ ได้แก่

แรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกัน ในที่นี้คือแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเองเป็นหยด

แรงยึดติด (Adhesive force) คือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงถึงแรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็ง ซึ่งเป็นแรงที่ตรงข้ามกับแรงเชื่อมแน่นคือแรงยึดติดที่ไม่พยายามทำให้หยดของของเหลวแตกออกจากกัน และกระจิกยแนบไปกับผิวของของแข็งการนำไปใช้

ถ้าพิจารณาน้ำกับวัสดุชนิดหนึ่ง ขณะที่น้ำเกาะอยู่บนผิวของของแข็งจะเกิดสภาพสมดุลของแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นถ้าแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นอย่างมาก น้ำจะกระจายแนบติดบนผิวของของแข็งในที่สุด ในทางตรงข้าม ถ้าแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ น้ำจะไม่เกาะแต่จะหลุดออกจากผิว แล้วรวมกันเป็นหยดกลิ้งไปมาได้บนผิวของของแข็งเหมือนกับหยดน้ำบนใบบัว



รูปที่ 2.17 รูปแสดงหยดน้ำบนใบบัว

ในการพิจารณาการเปียกของของเหลวบนผิวของของแข็ง สภาพสมดุลของแรงสองแรงจะนำไปสู่ปริมาณที่สำคัญอีกปริมาณหนึ่ง ที่นิยมใช้วัดความเปียกเรียกว่า มุมสัมผัส คือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกัน และนักวิทยาศาสตร์ใช้เจ้ามุมนี้เป็นเกณฑ์แบ่งการเปียกของเหลวบนของแข็งว่าเปียกได้ดีหรือไม่ดี เกณฑ์มีดังนี้

1. มุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา คือการเปียกอย่างสมบูรณ์หรือชอบน้ำแบบยิ่งยวด ซึ่งเป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิวของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบางๆ ครอบคลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด แสดงในรูป ก

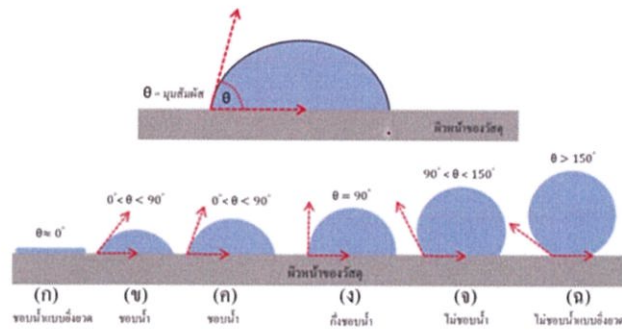
2. มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา คือ เกิดการเปียกได้ดีหรือชอบน้ำ ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้างแต่ก็ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง แสดงในรูป ข และ ค

3. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 90 องศา คือ ผิวเปียกหรือกึ่งชอบน้ำ เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าเท่ากับแรงเชื่อมแน่นมากๆ ดังนั้นเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงครึ่งทรงกลม จะมีหยดน้ำมากที่สุด แสดงในรูป ง

4. มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 แต่ไม่ถึง 150 องศา เรียกว่าผิวเปียกยากหรือไม่ชอบน้ำ คือของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม จะมีบริเวณเล็กๆ ที่ฐานของหยดที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของแข็งดังแสดงในรูป จ

5. มุมสัมผัสมีค่ามากกว่า 150 องศา เรียกว่าผิวไม่เปียกหรือไม่ชอบน้ำยิ่งยวด เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลมบริเวณที่ของเหลวแตะกับผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุดเมื่อเป็นแบบนี้ของเหลวสามารถกลิ้งไปมาบนผิวได้อิสระเหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบดังแสดงในรูป ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงการเปียกและมุมสัมผัสค่าต่างๆ

Polar/dispersive properties คือ การศึกษาสมบัติความเป็นขั้วของวัสดุ โดยอาศัยสมบัติความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำของวัสดุ (Hydrophilicity and Hydrophobicity) ซึ่งใช้แสดงการยึดเกาะของหยดน้ำบนพื้นผิว อธิบายโดยอาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพื้นผิวของวัสดุ และการทำมุมของหยดน้ำ โดยพื้นผิวที่เป็น Hydrophilic surface จะมีมุมสัมผัสระหว่างน้ำกับพื้นผิวน้อย น้ำจึงสามารถแผ่กระจายบนพื้นผิวได้ ทำให้พื้นผิวมีความเปียก ส่วนผิวที่มีสมบัติเป็น Hydrophobic surface จะมีมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมาก ทำให้หยดน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ส่วนการดำเนินงานวิจัยของบทนี้จะเริ่มต้นอธิบายการออกแบบอุปกรณ์การทดลองด้วยโปรแกรม Solid Works อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ระบบตีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง การเตรียมฟิล์มบาง วิธีวัดลักษณะเฉพาะของความเข้มของสนามแม่เหล็กที่บริเวณหน้าผิวเป้า ลักษณะผิวเป้าที่ใช้ในการเคลือบ ตามด้วยการทดสอบการเปลี่ยนความเข้มของสนามแม่เหล็กกับการเคลือบฟิล์มบาง $FeSi_2$ ในการทำงานของระบบตีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง

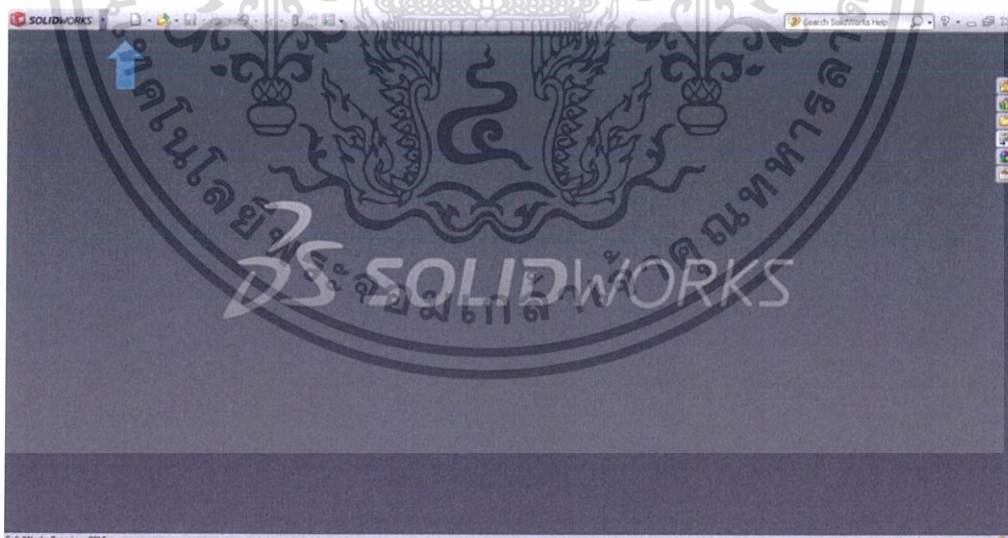
3.1 การออกแบบอุปกรณ์การทดลอง โดยโปรแกรม Solid Works

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Solid Works เพื่อใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Solid works เป็นโปรแกรมเขียนแบบและออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบเฟอร์นิเจอร์และออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล 3 มิติ

3.1.1 ขั้นตอนการออกแบบ 3 มิติ

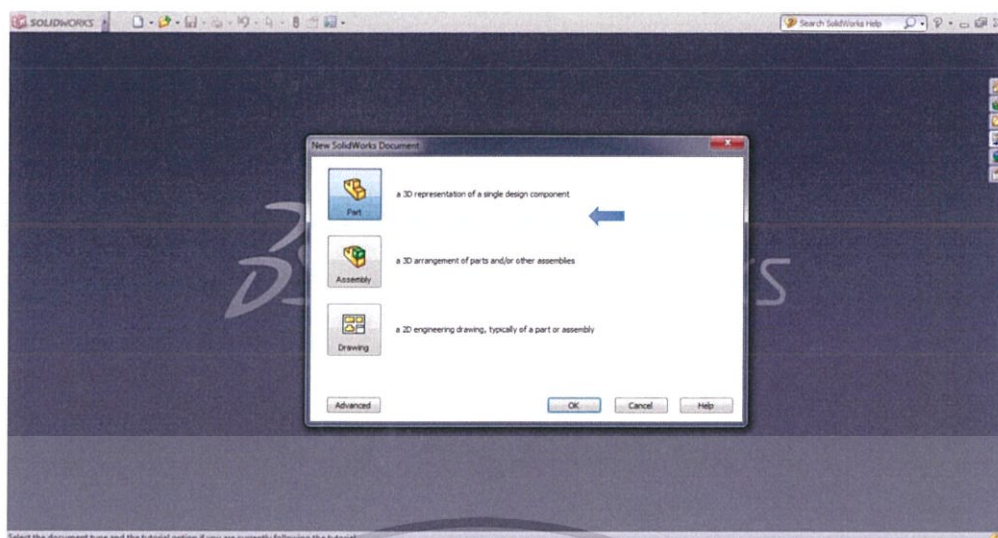
1 เมื่อเปิดโปรแกรม Solid works จะมีวินโดว์หรือหน้าต่างดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีเมนูหลักคล้าย โปรแกรม Microsoft office คลิกเปิดโปรแกรม Solid works ในหน้า desktop

- New เป็นไอคอนที่คลิกเมื่อต้องการเริ่มสร้างงานใหม่จะประกอบด้วยไฟล์หลาย ๆ ไฟล์ให้เลือกใช้ตามวัตถุประสงค์ของงานที่จะทำซึ่งจะกล่าวต่อไป
- Open เป็นไอคอนที่คลิกเมื่อต้องการเปิดไฟล์ที่สร้างแล้วบันทึกเก็บไว้



รูปที่ 3.1 แสดงการใช้โปรแกรม solid works

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

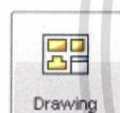


รูปที่ 3.2 แสดงการเลือก Part สร้างชิ้นงาน 3 มิติ

2 เมื่อคลิกไอคอน New ก็จะมีปรากฏหน้าต่างรูปที่ 3.2 ซึ่งประกอบด้วยไฟล์ที่มีนามสกุลต่างๆตามลักษณะการใช้งานดังนี้



เป็นไฟล์ที่ใช้สร้างชิ้นส่วน (part) หนึ่งไฟล์จะมีเพียงชิ้นส่วนประกอบเดียวเท่านั้น สามารถสร้างให้เป็น 2 มิติหรือ 3 มิติก็ได้ส่วนใหญ่นิยมสร้างเป็นชิ้นส่วน 3 มิติ



เป็นไฟล์ที่ใช้สำหรับนำชิ้นส่วนเดี่ยวหรือไฟล์ชิ้นส่วนประกอบย่อย (Sub assemblies) มาประกอบกัน

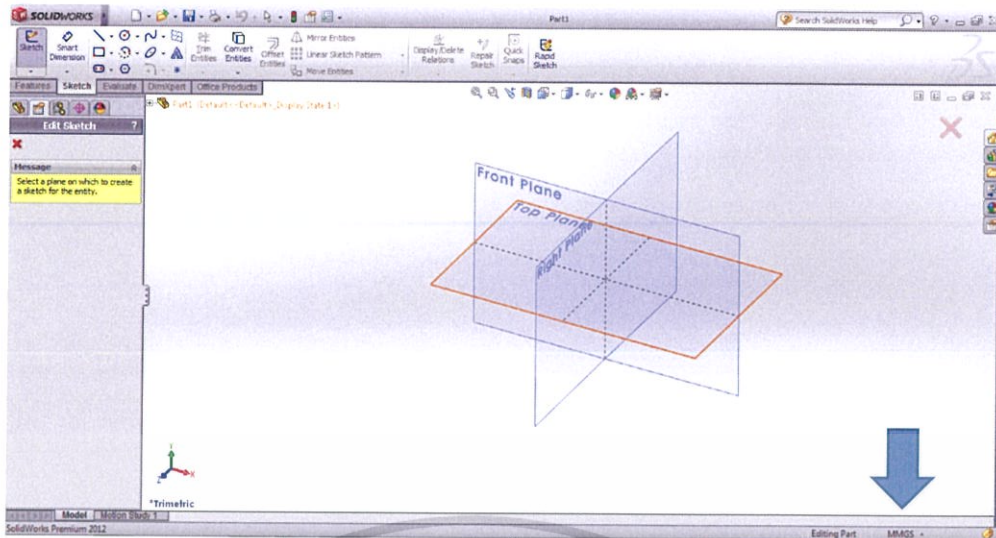


เป็นไฟล์ที่ใช้สร้างงานเขียนแบบสั่งงานผลิต (Drawing) โดยการนำไฟล์ part หรือไฟล์ Assembly มาวางในไฟล์นี้สามารถกำหนดขนาดและสัญลักษณ์ในการเขียนแบบต่าง ๆ เพื่อนำไปสั่งงานผลิตชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้

3 มีหน้าต่างปรากฏขึ้นมาทำการกดเลือกชื่อ a 3D representation of a single design component เพื่อทำการออกแบบรูป 3 มิติ คลิก ok เพื่อยืนยัน มารูปที่ 3.2

4 ทำการออกแบบโดยเริ่มจะคลิกที่ top plane และกด ellipse ใช้สร้างวงรีโดยจุดแรกที่คลิกคือจุดศูนย์กลางของวงรีจุดต่อไปคือด้านยาวและด้านสั้นของวงรีตามลำดับของโปรแกรม Solid works ตามรูปที่ 3.3 และ รูปที่ 3.4

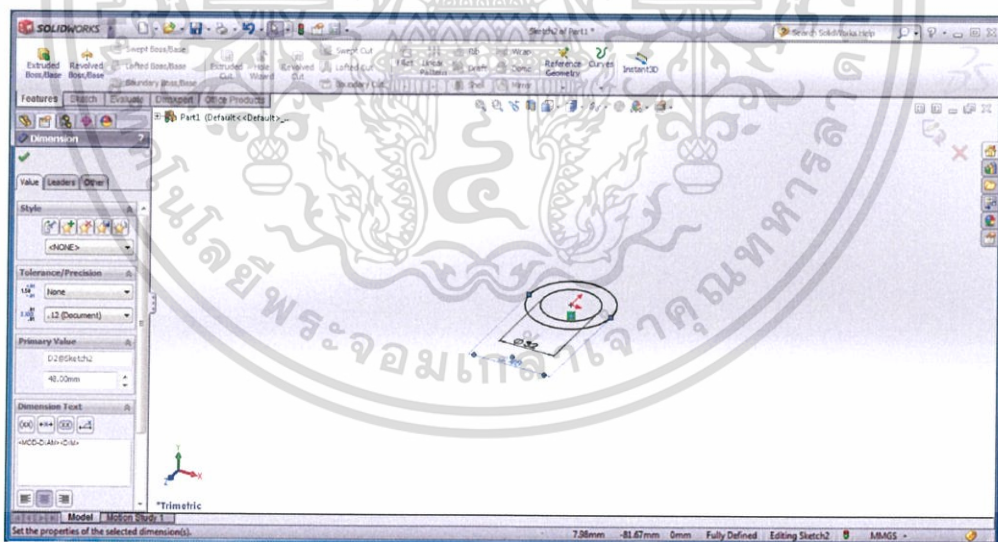
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบเบื้องต้นก่อนสร้างชิ้นงาน

5 ตั้งค่าหน่วยการออกแบบ 3 มิติให้เป็นรูปแบบมิลลิเมตร เพื่อง่ายต่อการออกแบบ ชื่อว่า MMGS (millimeter gram second) ดังรูปที่ 3.3

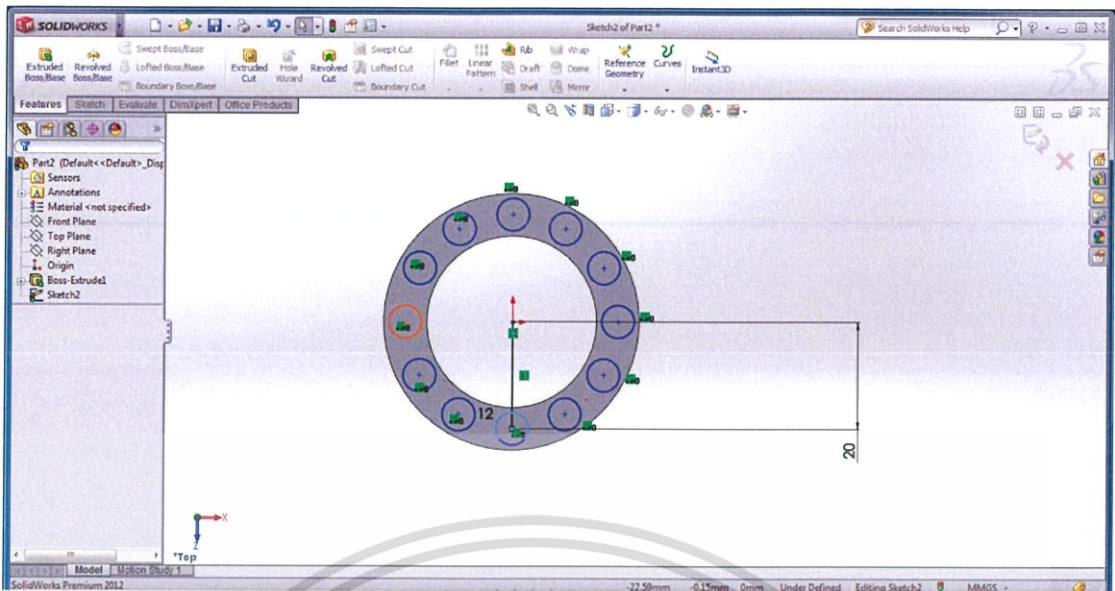
6 ใช้คำสั่ง Smart Dimension ใช้บอกขนาดของวัตถุในแนวต่างๆ ที่ทำการกำหนดไว้ โดยตลับแม่เหล็กริงฝั้ขนาดเล็ก มีรัศมีด้านในเท่ากับ 32 มิลลิเมตร รัศมีด้านนอกเท่ากับ 48 มิลลิเมตร และตลับแม่เหล็กริงฝั้ขนาดใหญ่ มีรัศมีด้านในเท่ากับ 32 มิลลิเมตร รัศมีด้านนอกเท่ากับ 48 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดวงแหวนวงนอกและวงแหวนวงใน

7 ใช้คำสั่ง Extrude ใช้ยึดเนื้อวัตถุออกมาตามรูปเส้นรอบนอก (Profile) ที่สเกตซ์ไว้ สามารถยึดออกในทิศทางบวกหรือลบก็ได้ โดยยึดทางบวก 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

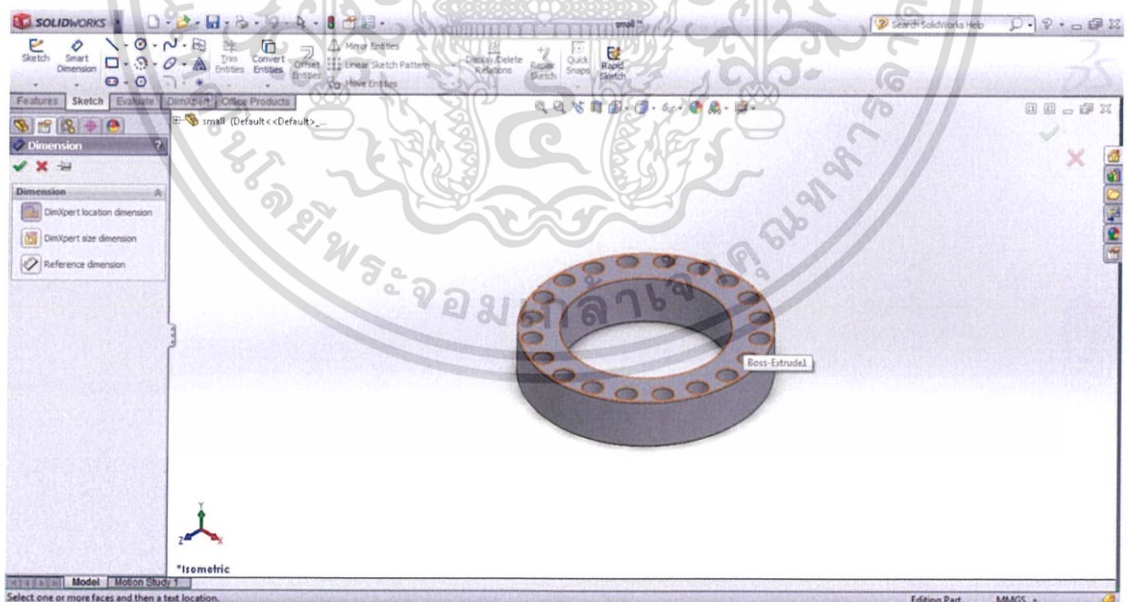


รูปที่ 3.5 แสดงช่องใส่แม่เหล็ก

8 ทำวงกลมรอบนอกโดยใช้คำสั่ง ellipse วาดวงกลมตามด้วยคำสั่ง Circular Pattern ใช้คัตลอก Feature ตามแนวรัศมีรอบแกนหมุนที่เลือกในจำนวนที่ต้องการ โดยวงแหวนรั้งฝั่งขนาด เล็กใช้ 20 วง วงแหวนขนาดใหญ่ใช้ 12 วง

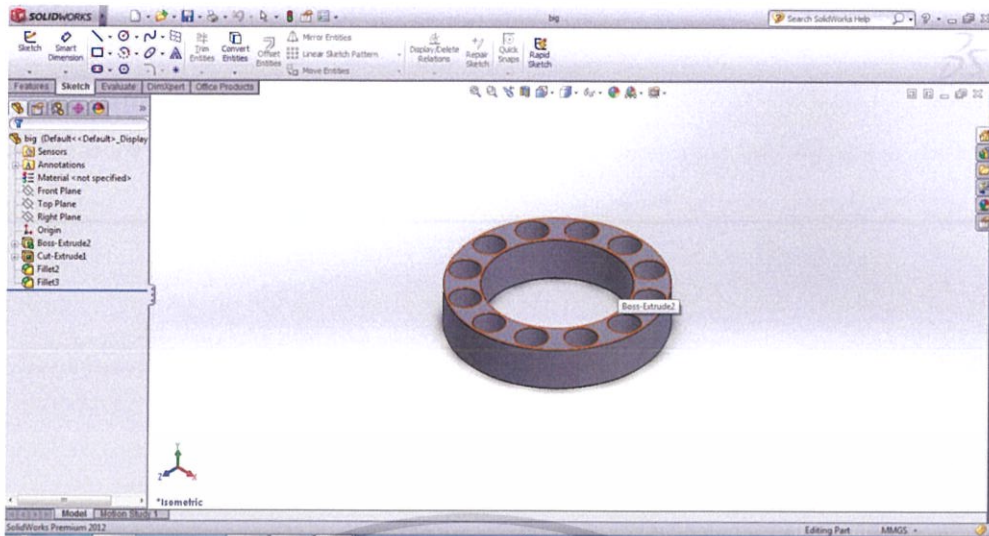
9 ทำการตัดขอบวงแหวนด้วยคำสั่ง Fillet ใช้ลบมุมชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นรัศมีโค้งตาม ขนาดที่กำหนด ขนาด 0.2 มิลลิเมตร

10 บันทึกไฟล์ จะได้แบบ 3 มิติ แสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7





รูปที่ 3.6 ตลับใส่แม่เหล็กรั้งฝั่งขนาดเล็กแบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ตลับใส่แม่เหล็กครึ่งผิวงขนาดใหญ่แบบ 3 มิติ

3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบ 2 มิติ

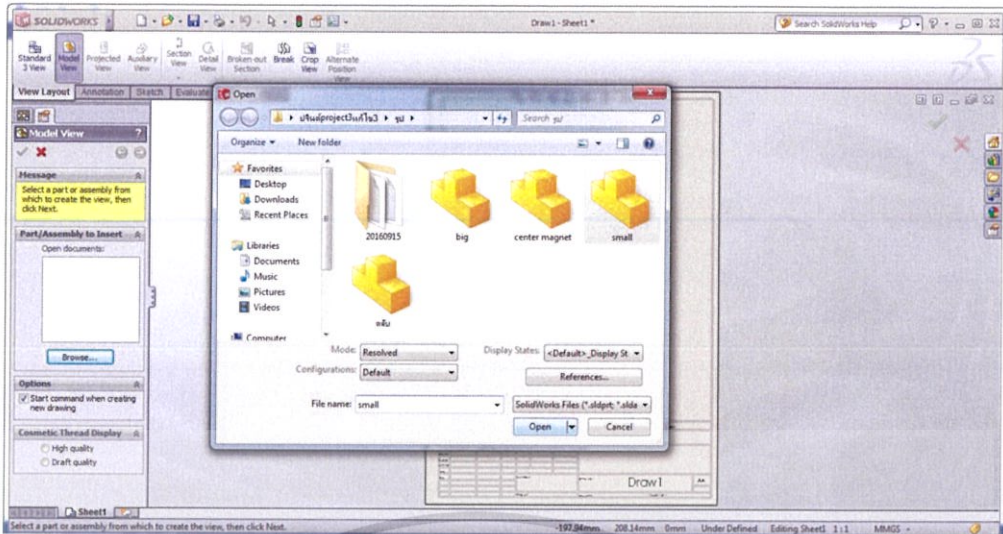
- 1 การสร้างภาพเขียนแบบ 2 มิติจากไฟล์ชิ้นส่วน (Part) เปิดโปรแกรม Solid works เลือกคลิกไอคอน New  จะมีหน้าต่างขึ้นมา เปิดไฟล์ drawing แล้วดับเบิลคลิกที่ไอคอน 
- 2 โปรแกรม Solid works จะมีมาตรฐานกระดาษเขียนแบบขนาดต่างๆ ให้ เลือก A4-iso และออปชั่นต่างๆ ดังรูปที่ 3.7 คลิกปุ่ม OK



รูปที่ 3.8 การเลือกขนาดกระดาษแสดงภาพ 2 มิติ

3 คลิกหน้าต่าง Drawing เป็นไฟล์ที่ใช้สร้างงานเขียนแบบสั่งงานผลิต (Drawing) โดยการนำไฟล์ part หรือไฟล์ Assembly มาวางในไฟล์นี้สามารถกำหนดขนาดและสัญลักษณ์ในการเขียนแบบต่างๆ เพื่อนำไปสั่งงานผลิตชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



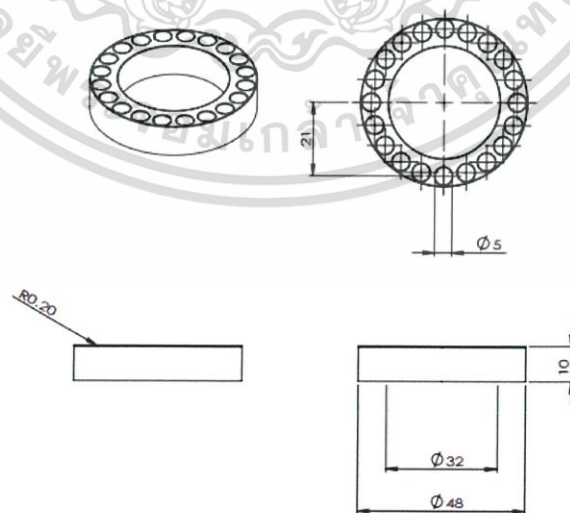
รูปที่ 3.9 แสดงการเปิดไฟล์ 2 มิติ

4 โปรแกรมจะเข้าคำสั่ง Model View โดยอัตโนมัติคลิกปุ่ม เพื่อหาไฟล์ small เป็นชื่อที่ผู้วิจัยตั้งไว้ ที่นักศึกษาสร้างและบันทึกเก็บไว้ในตัวอย่างของหัวข้อการประกอบชิ้นงานและคลิกปุ่ม Open แล้วลากเมาส์มาคลิกตำแหน่งดังรูปที่ 3.8 คลิกปุ่ม OK

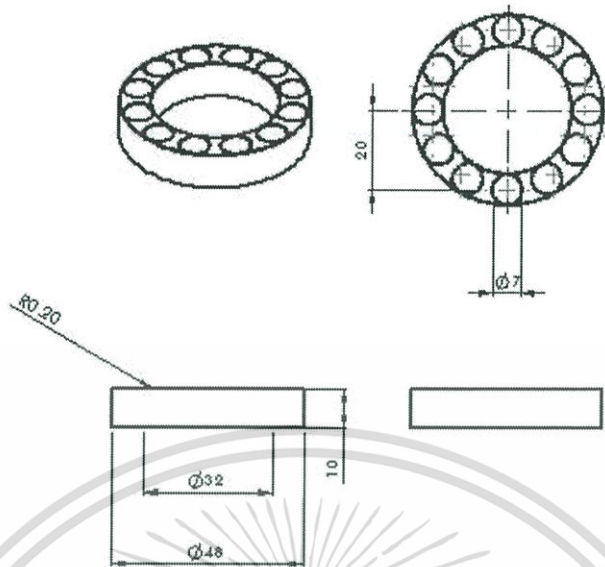
5 คลิกที่ไอคอนไปคลิกที่ภาพ Model View (ตำแหน่งที่ 1) แล้วลากเมาส์ลงมาด้านล่าง (ตำแหน่งที่ 2-4) คลิกที่ละเมาส์ 1 ครั้ง จะได้ภาพ ดังรูปที่ 3.9 หลังจากนั้นให้เลือก Display Style แบบ Hidden Lines visible แล้วคลิกปุ่ม ok

6 คลิก Smart Dimension ใช้บอกขนาดของวัตถุในแนวต่างๆ ที่ทำการกำหนดไว้

7 บันทึกไฟล์ จะได้แบบ 2 มิติ แสดงในรูป 3.10 small และ รูป 3.11 big



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.10 แผนภาพ drawing จากโปรแกรม Solid works ของดัลบั้งรังผึ้งขนาดเล็กด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนภาพ drawing จากโปรแกรม Solid works ของตลับรังกิ่งขนาดใหญ่

3.2 ระบบตีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง

เทคนิคตีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบางชนิดหนึ่ง การเคลือบฟิล์มบางจะถูกเคลือบจากสารกึ่งตัวนำ $FeSi_2$ เครื่องตีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริงประกอบไปด้วยระบบสุญญากาศ ระบบจ่ายไฟฟ้า และระบบทำความเย็น ซึ่งใช้อุปกรณ์หลายชนิดตามเงื่อนไขของระบบดังนี้

3.2.1 ระบบสุญญากาศ

ระบบสุญญากาศเป็นระบบหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง $FeSi_2$ โดยใช้เทคนิคสปีดเตอร์ริง ขณะทำการทดลอง ระบบสุญญากาศประกอบไปด้วย ถังสุญญากาศ ปั๊มกลโรตารี ปลั๊กวาล์วคั่นระหว่างปั๊มแพร่ไอ ปั๊มแพร่ไอ วาล์วเข็ม เกจวัดความดัน และถังอาร์กอน ตามลำดับ โดยถังสุญญากาศเป็นบริเวณที่มีความดันอากาศต่ำ และเป็นบริเวณเคลือบฟิล์มบาง บริเวณนี้จะถูกปิดสนิท ปั๊มกลโรตารี ทำหน้าที่ในการสูบอากาศออกทำให้ความดันภายในลดลงและมีเกจวัดความดันทำหน้าที่ในการบอกความดันภายในให้ผู้วิจัยทราบ เกทวาล์วคั่นระหว่างปั๊มแพร่ไอและถังสุญญากาศ วาล์วเข็มจะทำหน้าที่ในการควบคุมหรือปรับแรงดันภายใน และถังอาร์กอนทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายก๊าซอาร์กอน

3.2.2 ระบบจ่ายไฟฟ้า

ระบบจ่ายไฟฟ้าหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่เครื่องตีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริง จะใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ GW Instek รุ่น GPR-100H05D สามารถปรับความต่างศักย์ให้คงที่ได้ตั้งแต่ 0-1000 โวลต์ โดยจะแรงดันไปที่ขั้วเอาโนดและขั้วคาโทด

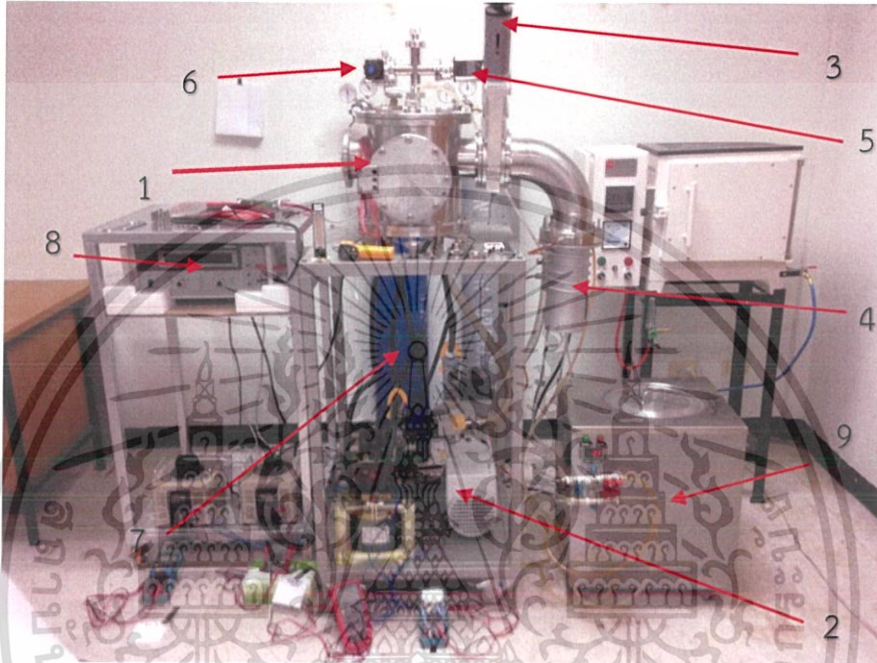
3.2.3 ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นใช้เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนยี่ห้อ MARCH COOL รุ่น Small Cooling Bath 5000 BTU ทำหน้าที่ในการผลิตน้ำเย็นหรือปรับอุณหภูมิน้ำให้เย็นลงและส่งไปยังภายนอก โดยเครื่องทำน้ำเย็นจะมีถังบรรจุน้ำขนาด $\phi 30 \times 23$ (ในการใช้งานจริงจะใช้น้ำเพียง 13-14 ลิตร)

ลิตร เหมาะสมที่สุด) ระบบจะทำให้เกิดน้ำเย็น และส่งน้ำเย็นไหลผ่านบริเวณหัวแมกนีตรอน ซึ่งหัวแมกนีตรอนจะมีช่องระบายความร้อนอยู่ระหว่างเป้ากับวงแหวนแม่เหล็ก

3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง

ในส่วนอุปกรณ์ในการทดลองนี้ จะนำเสนอรายละเอียดต่างๆ ของอุปกรณ์เครื่องแมกนีตรอน สปีดเตอร์ริงในภาชนะสุญญากาศ ดังนี้



รูปที่ 3.12 เครื่องดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริงที่ใช้ในการทดลอง

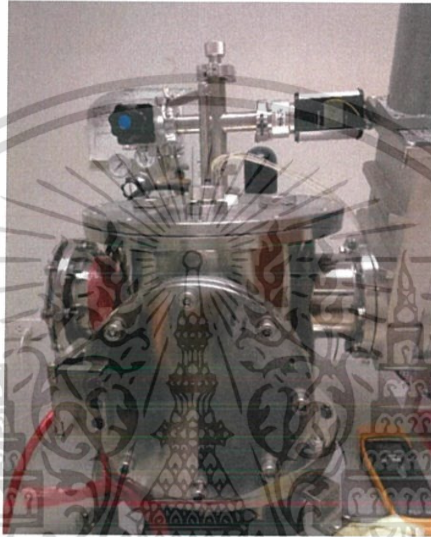
ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอร์ริงที่ใช้เคลือบฟิล์มบางตามระบบที่ใช้งานดังนี้

ระบบสุญญากาศ	ระบบจ่ายไฟฟ้า	ระบบทำความเย็น
1 ถังสุญญากาศ	8 คาบิตไฟฟ้ากระแสตรง	9 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน
2 บีมกลโรตารี		
3 ปลีกวาล์วคั่นระหว่างปั๊มแพร่ไอ		
4 ปั๊มแพร่ไอ		
5 เกจวัดความดัน		
6 วาล์วเข็ม		
7 ถังก๊าซอาร์กอนที่บรรจุก๊าซอาร์กอนเพื่อป้องกันเข้าสู่ถังสุญญากาศ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ถังสุญญากาศ

ถังสุญญากาศเป็นภาชนะที่ใช้ในการควบคุมความดันให้อยู่ในสถานะสุญญากาศ ถังสุญญากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกขนาด 335 มิลลิเมตร เส้นศูนย์กลางด้านในขนาด 257.4 มิลลิเมตรและถังสุญญากาศมีความสูงขนาด 300 มิลลิเมตร บริเวณโดยรอบด้านข้างของถังสุญญากาศมีท่อรอบถังสุญญากาศ 4 ท่อ แต่ละท่อทำหน้าที่ต่างกันไป ดังนี้ ท่อที่ 1 มีอะคริลิกปิดถังสุญญากาศสามารถมองเห็นการเกิดพลาสมาในขณะที่ทำการสปัตเตอร์ได้ ท่อที่ 2 มีหน้าแปลนปิดไว้สามารถนำชิ้นงานออกจากถังสุญญากาศ ท่อที่ 3 เป็นท่อที่เชื่อมต่อระหว่างถังสุญญากาศกับปั๊มแพรโอและท่อที่ 4 เป็นหน้าแปลนที่ปิดไว้เพื่อให้ระบบเป็นสุญญากาศ



รูปที่ 3.13 ถังสุญญากาศ

3.3.2 ปั๊มกลโรตารี

ปั๊มโรตารี เบอร์ 8 Two state ของบริษัท Edwards ทำหน้าที่ในการสูบอากาศออกจากถังสุญญากาศ



รูปที่ 3.14 ปั๊มกลโรตารี

3.3.3 เกทวาล์วระหว่างปั๊มแพรโอกับภาชนะสุญญากาศ

วาล์วทำหน้าที่คั่นระหว่างปั๊มแพรโอกับภาชนะสุญญากาศหรือเรียกว่า เกทวาล์ว หน้าที่หลักของเกทวาล์วคือควบคุมอัตราการปั๊มดังแสดงตามรูปที่ 3.15

เอกสารนี้ไปออกจากรีเส่งว่าไว้ซึ่งรั้วควี่ใช้ทางเพื่อกำลักรัดกั้นทวามน ไม่นุญาติให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 เกทวาล์ว

3.3.4 ปั๊มแพร้อ

ปั๊มแพร้อรุ่น WDP-4Z ของบริษัท WOOSUNG VACUUM มีกำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 220 โวลต์ ระบายความร้อนด้วยระบบไหลเวียนน้ำเย็นและใช้น้ำมันรุ่น DC704EU ของบริษัท Provac



รูปที่ 3.16 ปั๊มแพร้อรุ่น WDP-4Z ของบริษัท WOOSUNG VACUUM

3.3.5 วาล์วเข็ม

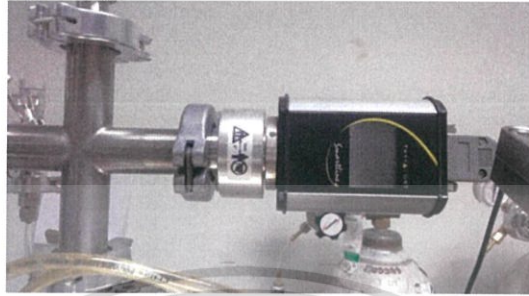
วาล์วเข็มเป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ในการปรับอัตราของก๊าซเข้าไปในถังสุญญากาศมีค่าความละเอียดมาก เมื่อเทียบกับการใช้วาล์วเปิด-ปิดทั่วไป โดยที่ตัววาล์วจะมีสเกลบอกความละเอียด ดังที่แสดงในรูปที่ 3.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 3.17 วาล์วเข็ม

3.3.6 เกจวัดความดัน

เกจวัดความดันในการทดลองใช้รุ่น Smartline โดยสามารถวัดความดันได้ตั้งแต่ความดันบรรยากาศ ถึง 10^{-7} มิลลิบาร์ โดยจะมีหน้าจอแสดงค่าความดันอยู่ที่ตัวเกจวัดความดันดังที่แสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เกจวัดความดัน

3.3.7 ถังก๊าซอาร์กอน

ก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซเฉื่อยที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีความบริสุทธิ์อยู่ในระดับ Ultra High Purity Grade (UHP) โดยจะถูกป้อนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศในขณะที่ทำการสเปกโตรริง



รูปที่ 3.19 ถังบรรจุก๊าซอาร์กอน

3.3.8 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

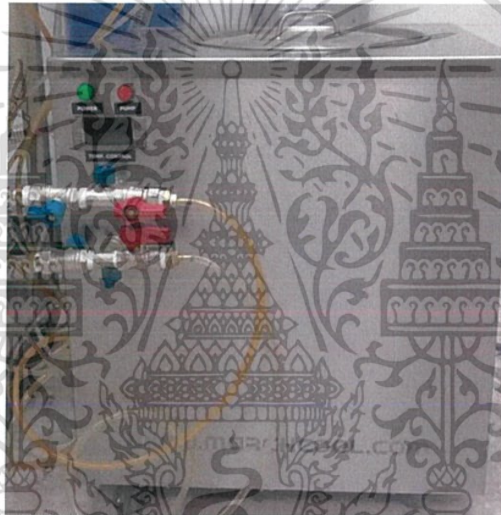
งานวิจัยนี้ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ GW Instek เครื่องจ่ายไฟ รุ่น GPR-100H05D สามารถปรับความต่างศักย์ให้คงที่ได้ตั้งแต่ 0-1000 โวลต์ และมีการจำกัดกระแสตั้งแต่ 0-0.6 แอมแปร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยการศึกษาด้านการทดลองเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 3.20 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยี่ห้อ GW Instek รุ่น GPR-100H05D การนำไปใช้

3.3.9 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียน

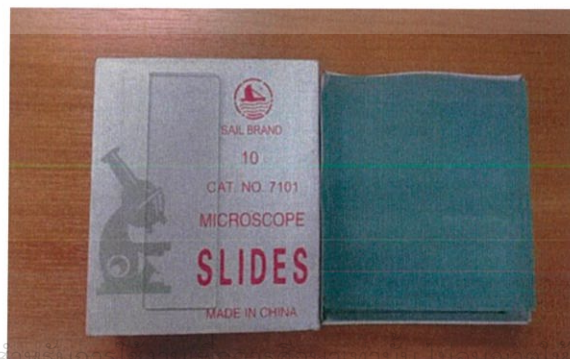
ตัวอ่างภายนอกทำจากโลหะไร้สนิม (Stainless Steel 304-316) ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ขนาดมิติโครงภายนอก : กว้าง x ลึก x สูง : 47 x 42 x 51 เซนติเมตร (ไม่รวมขาล้อ) ปริมาตรอ่างน้ำรูปทรงกระบอกขนาดสูงสุด 15 ลิตร (น้ำเต็มอ่าง) อ่างขนาด $\varnothing 30 \times 23$ (ในการใช้งานจริงจะใช้น้ำเพียง 13-14 ลิตร เหมาะสมที่สุด) ตัวเครื่องขนาดเล็กเคลื่อนย้ายไปมาได้สะดวกด้วยขาตั้งเป็นแบบล้อหมุน บุนนวมชั้นในและนอกด้วยโฟม 2 นิ้ว ฝาปิดแบบกลมทำจากโลหะไร้สนิม สวิตช์ปิด-เปิด เครื่องพร้อมไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่องสวิตช์ ปิด-เปิด ปุ่ม และวาล์วสำหรับจ่ายน้ำเข้า 1 ชุด และจ่ายน้ำออก 1 ชุด (ท่อน้ำขนาด 0.5 นิ้ว) ป้อนน้ำมีอัตราการไหลประมาณ 6 ลิตร/นาที่ สามารถทำความเย็นได้ในช่วง (+5 ถึง +25 °C) Temp. Control มีความละเอียดที่ ± 1 °C (เป็นแบบ Digital Display) ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 10 °C ดิจิตอลจะแสดงผลตัวเลขเป็นแบบมีทศนิยม 1 ตำแหน่ง ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 10 °C ดิจิตอลจะแสดงผลตัวเลขแบบไม่มีทศนิยมใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 1/2 แรงม้า น้ำยาทำความเย็นชนิด Non-CFC ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต 15 แอมป์



รูปที่ 3.21 เครื่องทำน้ำเย็นหมุนเวียนยี่ห้อ MARCH COOL รุ่น Small Cooling Bath 5000 BTU

3.4 การเตรียมกระจกสไลด์

1. กระจกสไลด์ขนาด 25.4 x 76.2 มิลลิเมตร หนา 1-1.2 มิลลิเมตร นำมาตัดให้ได้ขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าประมาณ 12 x 25 มิลลิเมตร ด้วยปากกาหัวเพชร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.22 กระจกสไลด์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำกระจกสไลด์มาล้างทำความสะอาดบริเวณผิวหน้ากระจกสไลด์ด้วยน้ำยาล้างจาน ต่อด้วยน้ำเปล่า
3. ทำความสะอาดกระจกสไลด์ด้วยอะซิโตน โดยนำแผ่นกระจกที่ตัดได้ขนาดมาใส่ในบีกเกอร์ พร้อมทั้งใช้เครื่องอุตราโซนิกช่วยในการล้างเป็นเวลา 5 นาที
4. ทำความสะอาดกระจกสไลด์ด้วยเอทานอล พร้อมทั้งใช้เครื่องอุตราโซนิกช่วยในการล้างเป็นเวลา 5 นาที
5. ทำความสะอาดกระจกสไลด์ด้วยน้ำปลอดประจุ พร้อมทั้งใช้เครื่องอุตราโซนิกช่วยในการล้างเป็นเวลา 5 นาที



รูปที่ 3.23 เครื่องอุตราโซนิก

6. นำกระจกสไลด์มาผึ่งให้แห้งบนแผ่นฟอย
7. ตัดแผ่นฟอยขนาดประมาณ 20 × 40 มิลลิเมตร ห่อกระจกสไลด์เพื่อใช้ในการสังเกตรังสีฟิล์มบาง



รูปที่ 3.24 กระจกสไลด์ที่ใช้ในการทดลองเคลือบฟิล์มบาง

3.5 ขั้นตอนการวัดความเข้มข้นแม่เหล็กบริเวณผิวหน้าเป้า

1. นำแม่เหล็กทั้ง 4 แบบ ซึ่งเป็นแม่เหล็กแบบนีโอไดเมียม ไอรอน โบรอน (Neodymium iron boron) เพราะแม่เหล็กประเภทนี้จะมีแรงดึงดูดสูง มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติสูงที่สุดในประเภทของแม่เหล็กถาวร
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก



รูปที่ 3.26 วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่



รูปที่ 3.27 แม่เหล็กแบบริงฟั้งขนาดเล็ก



รูปที่ 3.28 แม่เหล็กแบบริงฟั้งขนาดใหญ่

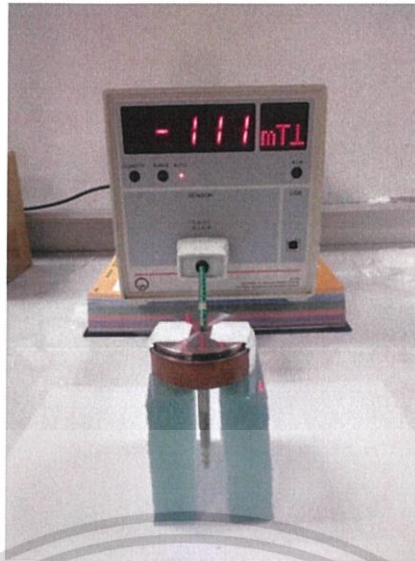
2. นำวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางผ่านใน 29 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 39 มิลลิเมตร ประกอบกับแผ่นระบายความร้อนของหัวแมกนีตรอน พร้อมทำการวัดด้วย Combi B Sensor S probe 3 บริเวณ ได้แก่แม่เหล็กบริเวณจุดศูนย์กลาง แม่เหล็กระหว่างจุดศูนย์กลางกับแม่เหล็กวงนอกและแม่เหล็กวงนอก จากนั้นเปลี่ยนระยะห่างระหว่าง Combi B Sensor S probe กับแม่เหล็กทีละ 1 มิลลิเมตร ตั้งแต่ 0 มิลลิเมตร ถึง 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

3. นำวงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางผ่านใน 30 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 มิลลิเมตร ประกอบกับแผ่นระบายความร้อนของหัวแมกนีตรอน พร้อมทำการวัดด้วย Combi B Sensor S probe 3 บริเวณ ได้แก่แม่เหล็กบริเวณจุดศูนย์กลาง แม่เหล็กระหว่างจุดศูนย์กลางกับแม่เหล็กวงนอกและแม่เหล็กวงนอก จากนั้นเปลี่ยนระยะห่างระหว่าง Combi B Sensor S probe กับแม่เหล็กทีละ 1 มิลลิเมตร ตั้งแต่ 0 มิลลิเมตร ถึง 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

4. นำแม่เหล็กริงฟั้งขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางผ่านใน 30 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 52 มิลลิเมตร ประกอบกับแผ่นระบายความร้อนของหัวแมกนีตรอน พร้อมทำการวัดด้วย Combi B Sensor S probe 3 บริเวณ ได้แก่จุดศูนย์กลางบริเวณแม่เหล็ก แม่เหล็กระหว่างจุดศูนย์กลางกับแม่เหล็กวงนอกและแม่เหล็กวงนอก จากนั้นเปลี่ยนระยะห่างระหว่าง Combi B Sensor S probe กับแม่เหล็กทีละ 1 มิลลิเมตร ตั้งแต่ 0 มิลลิเมตร ถึง 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

5. นำแม่เหล็กริงฟั้งขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางผ่านใน 30 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 มิลลิเมตร ประกอบกับแผ่นระบายความร้อนของหัวแมกนีตรอน พร้อมทำการวัดด้วย Combi B Sensor S probe 3 บริเวณ ได้แก่แม่เหล็กบริเวณจุดศูนย์กลาง แม่เหล็กระหว่างจุดศูนย์กลางกับแม่เหล็กวงนอกและแม่เหล็กวงนอก จากนั้นเปลี่ยนระยะห่างระหว่าง Combi B Sensor S probe กับแม่เหล็กทีละ 1 มิลลิเมตร ตั้งแต่ 0 มิลลิเมตร ถึง 7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

เอกสาร S probe กับแม่เหล็กทีละ 1 มิลลิเมตร ตั้งแต่ 0 มิลลิเมตร ถึง 7 มิลลิเมตร ตามลำดับประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 Combi B Sensor S probe

6. หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างวงแหวนแม่เหล็กกับความเข้มสนามแม่เหล็กจาก Combi B Sensor S probe

3.6 เป้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง



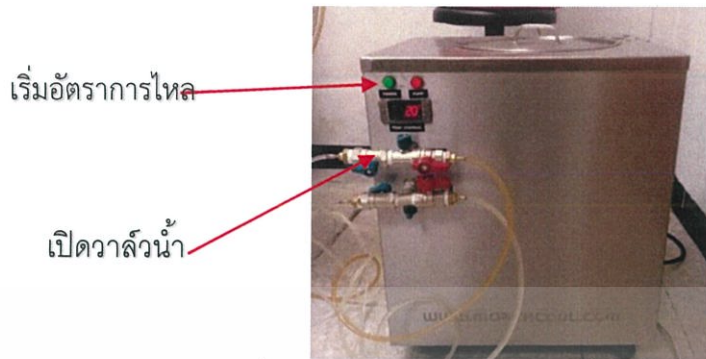
รูปที่ 3.30 เป้า FeSi₂ 99.9% เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนา 0.125 นิ้ว

3.7 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะความเข้มของสนามแม่เหล็กบริเวณผิวหน้าเป้า

1. ทำความสะอาดเครื่องสเปกโตรริงบริเวณถังสุญญากาศเช็ดโดยใช้เอทานอล
2. ทำความสะอาดหัวแมกนีตรอนและวงแหวนแม่เหล็กโดยเอทานอล
3. ติดตั้งหัวแมกนีตรอนด้วยวงแหวนขนาดเล็กในระบบดีซีการสเปกโตรริงที่ฝาปิดด้านบนภาชนะสุญญากาศ
4. ตั้งระยะห่างระหว่างฐานวางกระจกสไลด์กับหัวแมกนีตรอนที่ระยะ 7 เซนติเมตร
5. นำกระจกสไลด์ที่ทำการล้างแล้วใส่บริเวณฐานรองรับพร้อมปิดฝาของถังสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ได้โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เปิดระบบน้ำทำความเย็นเพื่อระบายความร้อนผ่านปั๊มแพร์ไอและหัวแมกนีตรอน กด open สีเขียว ระบบจะเริ่มทำความเย็น



รูปที่ 3.31 แสดงการทำงานของเครื่องทำความเย็น

7. เปิดปั๊มกลโรตารีตามด้วยสับเปิดปั๊มแพร์ไอเพื่อสูบอากาศในท่อสูบอากาศออกประมาณ 10 นาที อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 100 องศา
8. เปิดวาล์วเพื่อให้ปั๊มกลโรตารีสูบอากาศในสถานะสุญญากาศ ตามด้วยเปิดเครื่องวัดความดันเพื่อดูความดันภายในสถานะสุญญากาศจนกระทั่งมีค่าประมาณ 10^{-2} ทอร์
9. เปิดวาล์วเพื่อให้ปั๊มกลโรตารีสูบอากาศออกพร้อมกับปั๊มแพร์ไอ ปั๊มกลโรตารีจะทำให้ลดความดันภายในสถานะสุญญากาศมีค่าน้อยกว่า 5×10^{-5} ทอร์
10. เปิดวาล์วก๊าซอาร์กอนที่ถังอาร์กอน จากนั้นเปิดระบบควบคุมการไหลของก๊าซด้วยเครื่องควบคุมการไหลของก๊าซ
11. เปิดวาล์วเข็มเพื่อให้ก๊าซอาร์กอนเข้าไปในสถานะสุญญากาศ โดยเปิดทิ้งไว้จนความดันลดลงประมาณ 1 นาที จากนั้นปิดวาล์วเข็มเพื่อให้ปั๊มกลโรตารีสูบอากาศออกเพื่อให้การกระจายตัวของโมเลกุลของก๊าซอาร์กอนได้โมเลกุลอื่นออกไป จากนั้นเปิดวาล์วเข็มแล้วปล่อยให้ก๊าซภายในสถานะถูกดูดออกมาอีก 1 นาที โดยทำขั้นตอนนี้ 3 ครั้ง
12. ค่อยปรับเกจวาล์วเพื่อควบคุมอัตราการไหลระหว่างปั๊มแพร์ไอกับสถานะสุญญากาศ
13. เปิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยตั้งค่าความต่างศักย์ที่จะจ่ายกระแสเข้าไปในระบบที่ความต่างศักย์ 500 โวลต์



ปั๊ม Output
แหล่งจ่ายไฟ
กระแสตรง

รูปที่ 3.32 แสดงการทำงานของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับ 14. กดปุ่ม output แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า ทำให้ระบบดีซีแมกนีตรอน
ไม่ว่ากรณีใดสปีดเตอร์จึงทำงานมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ปรับวาล์วเข็มและแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ตรงตามเงื่อนไข ชัตเตอร์ยังปิดไม่ให้พลาสมาถูกชิ้นงาน



รูปที่ 3.33 แสดงลำของพลาสมาขนาดเกิดการสปีดเตอริง

16. เมื่อพลาสมาคงที่แล้วเปิดชัตเตอร์ทิ้งไว้ประมาณ 45 นาที พร้อมทั้งจับเวลาเพื่อทำการเคลือบฟิล์มบาง
17. เมื่อได้เวลาในการเคลือบที่กำหนดแล้ว จากนั้นทำการปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับแรงดันไฟฟ้าให้กลับมาที่ค่าเริ่มที่ 0 โวลต์ และปิดแหล่งจ่ายแรงดัน
18. ปิดระบบปล่อยก๊าซอาร์กอน โดยเริ่มปิดวาล์วเข็ม ปิดวาล์วที่ถังอาร์กอน
19. ปิดปั๊มแพร่ไอเพื่อทำให้อุณหภูมิลดลงจนอุณหภูมิคงที่ จากนั้นปิดปั๊มโรตารี
20. ปิดเครื่องทำความเย็น ขั้นตอนนี้ยังไม่เปิดภาชนะสุญญากาศเนื่องจากความต่างของอุณหภูมิมักเกินไปจะทำให้ชิ้นงานอาจเสียหาย รอให้อุณหภูมิชิ้นงานอยู่ในอุณหภูมิห้องถึงจะนำชิ้นงานออกมา
21. ทำการเคลือบตามเงื่อนไขข้างต้นกับแม่เหล็กอีก 3 แบบ
22. เมื่อได้ฟิล์มบาง $FeSi_2$ จากการทดลองแล้ว นำไปเก็บในเครื่องควบคุมความชื้น โดยตั้งค่าความชื้นที่ 40 rh% อุณหภูมิที่ 25 องศา



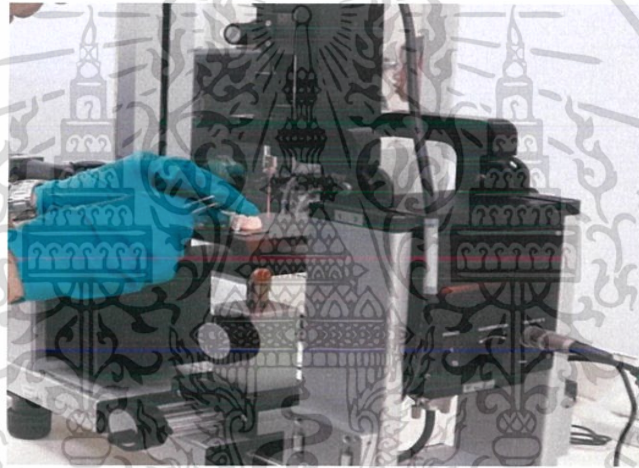
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.34 ตู้ควบคุมความชื้นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การวัดคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง

สำหรับการวัดคุณสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบาง FeSi_2 ที่ได้จากการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กได้ตรวจวัดดังนี้ ตรวจสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้า กำลังไฟฟ้าขนาดสปีดเตอริง ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม และศึกษาผลจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ผลการทดลองข้างต้นผู้ทดลองได้นำมาวิเคราะห์ผล สำหรับการวัดค่ามุมสัมพัทธ์ผู้วิจัยได้ทำการวัดด้วยตนเอง ดังนี้

1 การวัดค่ามุมสัมพัทธ์ ผู้วิจัยได้ศึกษาและได้คำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญในการวัดค่าดังกล่าวเองจากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ของสถาบัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 2 ล้างมือให้สะอาดและใส่ถุงมือไนไตรป้องกันสารเคมี 13 นิ้ว (สีเขียว)
- 3 ตั้งค่าอัตราการหยดน้ำที่ 1 หยด ต่อการทำงานหนึ่งครั้ง
- 4 นำฟิล์มบางที่ได้จากการทดลองวางที่ตำแหน่งหยดน้ำ
- 5 กดเริ่มทำงานโปรแกรม
- 6 ทำการวัดฟิล์มบางตัวอย่างซ้ำอีก 3 แบบ และบันทึกไฟล์



รูปที่ 3.35 เครื่องวัดค่ามุมสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

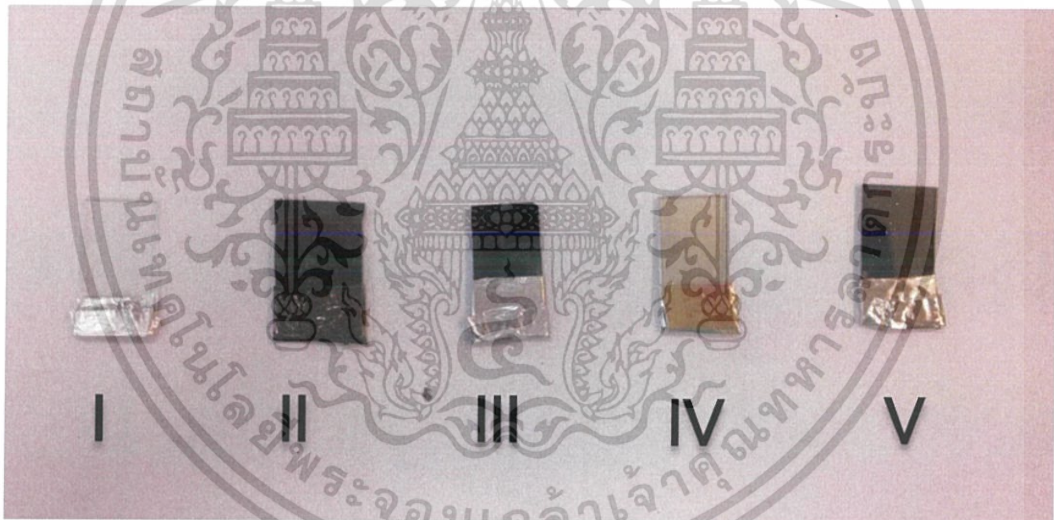
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ได้ทดสอบการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ด้วยวิธีซีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นในการสปัตเตอริงฟิล์มบาง โดยผลการวิเคราะห์การทดลองมีดังต่อไปนี้ ผลความเข้มของสนามแม่เหล็กที่บริเวณหน้าผิวเป้า เงื่อนไขในการสปัตเตอริงฟิล์มบาง FeSi_2 กำลังไฟฟ้าของการสปัตเตอริง และการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของฟิล์มบาง FeSi_2 ซึ่งแบ่งย่อยได้ 4 ส่วนของผลการทดลอง โดยประกอบไปด้วยการศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของฟิล์มบาง FeSi_2 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ศึกษาความราบเรียบของผลึกจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบาง และผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ซึ่งจะถูกอธิบายดังนี้

4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง

จากการเคลือบฟิล์มบางโดยเทคนิคแมกนีตรอนสปัตเตอริง แสดงลักษณะของฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้



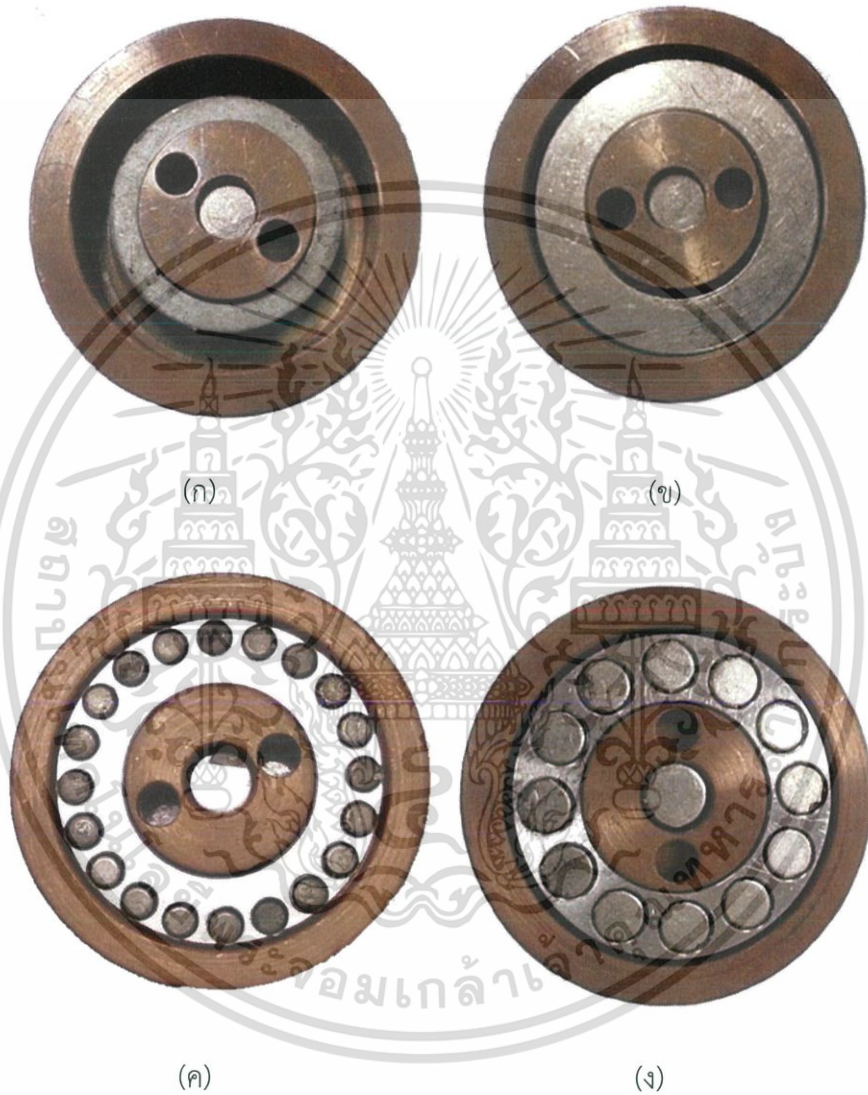
รูปที่ 4.1 ลักษณะของฟิล์มบาง

- I. กระจกสไลด์
- II. กระจกสไลด์เคลือบโดยวงแหวนแม่เหล็กตัวเล็ก
- III. กระจกสไลด์เคลือบโดยวงแหวนแม่เหล็กตัวใหญ่
- IV. กระจกสไลด์เคลือบโดยแม่เหล็กแบบรังผึ้งขนาดเล็ก
- V. กระจกสไลด์เคลือบโดยแม่เหล็กแบบรังผึ้งขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ลักษณะของตลับใส่แม่เหล็กชนิดต่างๆ

ลักษณะของตลับใส่แม่เหล็กที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นด้วยทองแดงเพื่อใส่ขนาดของแม่เหล็กทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการสปีดเตอริงฟิล์มบาง FeSi_2 โดยลักษณะตลับใส่แม่เหล็กเป็นไปตามแบบของผู้วิจัยได้ทำการออกแบบไว้



รูปที่ 4.2 รูปถ่ายตลับใส่แม่เหล็กแบบต่างๆ

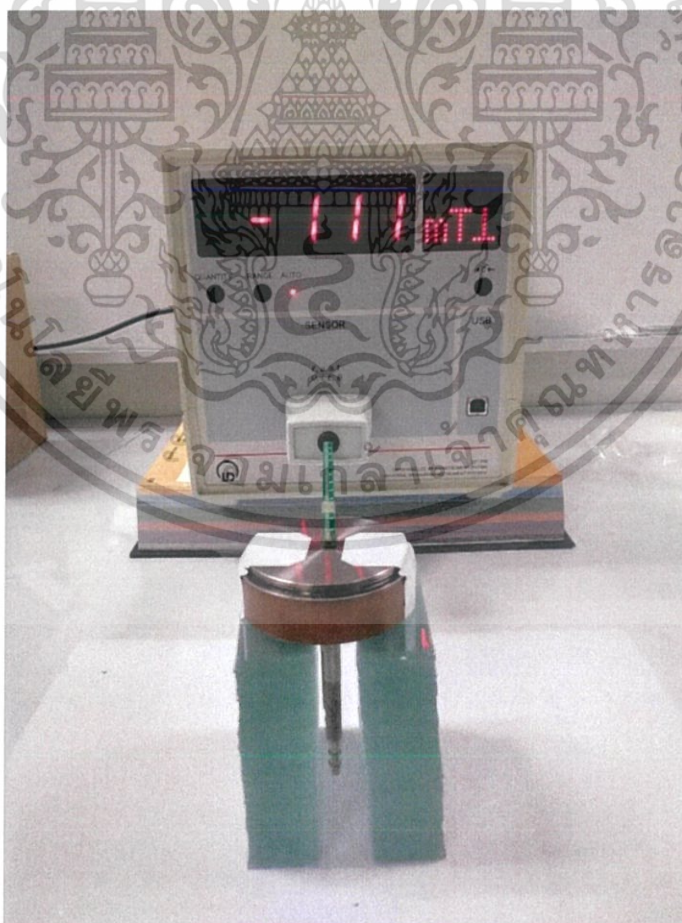
แม่เหล็กชนิดต่างๆ จะมีค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ต่างกันตามขนาดของแม่เหล็ก สำหรับตลับใส่แม่เหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 64 มิลลิเมตร หนา 16 มิลลิเมตร มีช่องสำหรับใส่แม่เหล็ก 2 ช่อง โดยช่องในมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 16 มิลลิเมตร ช่วงระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.8 มิลลิเมตร กับเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.3 หนา 2 มิลลิเมตร ช่องนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 28.8 มิลลิเมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50.3 มิลลิเมตร สูง 16 มิลลิเมตร ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเจาะรู 2 รูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.4 มิลลิเมตร เพื่อใส่ตัลัมแม่เหล็กกับท่อน้ำขาเข้าและออก ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2 โดยในส่วนรูป (ก) วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 29 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 39 มิลลิเมตร (ข) วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 มิลลิเมตร (ค) แม่เหล็กริงฝั้ขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 32 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 มิลลิเมตร (ง) แม่เหล็กริงฝั้ขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 32 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 มิลลิเมตร

4.3 การตรวจสอบความเข้มของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้า

ในการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กที่หน้าผิวเป้าที่มีผลต่อการดิซซาร์จันนั้นได้มีการปรับเปลี่ยนเฉพาะขนาดของแม่เหล็กตัวนอกเพื่อปรับเปลี่ยนลักษณะเฉพาะของสนามแม่เหล็กบริเวณหน้าพื้นผิวเป้าที่ระยะห่างต่างๆกัน

โดยในการวัดลักษณะความเข้มของสนามแม่เหล็กได้ใช้ Combi B Sensor S probe ต่อเข้ากับจอแสดงผล โดยงานวิจัยนี้ใช้หน่วยในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็น มิลลิเทสลา ซึ่งค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ระยะห่างต่างๆ จะถูกแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4 จากรูปที่ 4.3 แสดงรูป Combi B Sensor S probe ที่ใช้ในงานวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 Combi B Sensor S probe

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มแม่เหล็กของแม่เหล็กตัวนอก ขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ รังผึ้งขนาดเล็ก และ รังผึ้งขนาดใหญ่

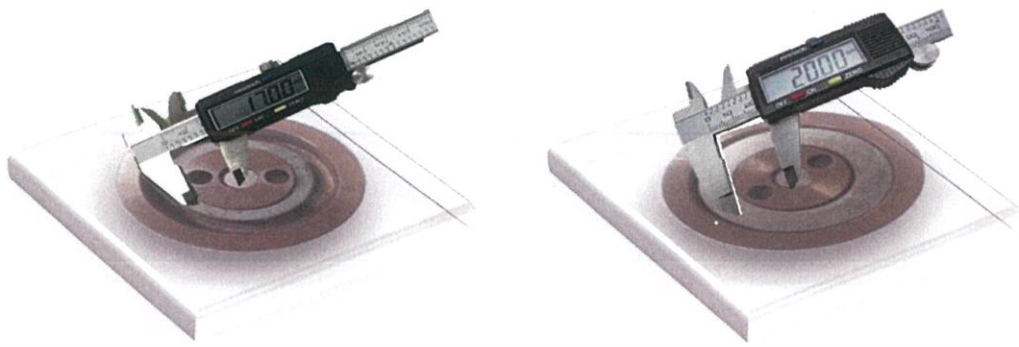
ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่หน้าเป้า (มิลลิเทสลา)	ระยะห่างระหว่างหัววัดกับวงแหวนแม่เหล็ก (มิลลิเมตร)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
จุดศูนย์กลาง $\text{Ø}10 \times h10$	-107.76	-101.06	-97.70	-75.43	-55.43	-42.23	-31.00	-21.83
แม่เหล็กวงแหวนขนาดเล็ก	22.45	18.76	15.12	14.68	19.32	20.21	14.93	16.33
	121.12	103.67	87.23	75.54	65.90	57.94	51.99	47.04
แม่เหล็กวงแหวนขนาดใหญ่	11.20	17.80	24.43	26.43	29.03	31.23	24.98	22.63
	190.11	157.59	133.67	108.98	98.76	85.76	75.11	66.12
แม่เหล็กรังผึ้งขนาดเล็ก	4.61	6.17	6.84	5.79	6.45	4.14	1.26	0.44
	52.22	42.00	38.45	32.45	28.29	24.21	21.57	19.27
แม่เหล็กรังผึ้งขนาดใหญ่	0.29	2.97	9.33	10.79	12.53	12.11	12.72	13.77
	74.52	66.24	57.54	47.65	40.65	36.33	31.00	27.14

โดย 0-7 คือ ระยะห่างระหว่างผิวหน้าเป็นกับหัววัดสนามแม่เหล็ก
 Ø คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง หน่วยมิลลิเมตร
 เครื่องหมาย - คือ ทิศของสนามแม่เหล็ก ณ ที่นี้ให้เป็นทิศใต้
 เครื่องหมาย + คือ ทิศของสนามแม่เหล็ก ณ ที่นี้ให้เป็นทิศเหนือ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่บริเวณหน้าผิวเป้าโดยการเปลี่ยนขนาดของแม่เหล็กตัวนอก 4 แบบ คือ 1.แม่เหล็กวงแหวนขนาดเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 29 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 39 มิลลิเมตร 2.แม่เหล็กวงแหวนขนาดใหญ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 30 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 มิลลิเมตร 3.แม่เหล็กรังผึ้งขนาดเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 32 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 มิลลิเมตร 4.แม่เหล็กรังผึ้งขนาดใหญ่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 32 มิลลิเมตรและเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 48 มิลลิเมตร โดยใช้แม่เหล็กตัวในทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และ สูง 10 มิลลิเมตร ซึ่งในการวัดจะแม่เหล็กทรงกระบอกตัวในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร ซึ่งในการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจะวัดในระยะต่างๆนั้นจะวัดอยู่สองทิศทาง

ไม่ว่าการนี้... อื่นๆ อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



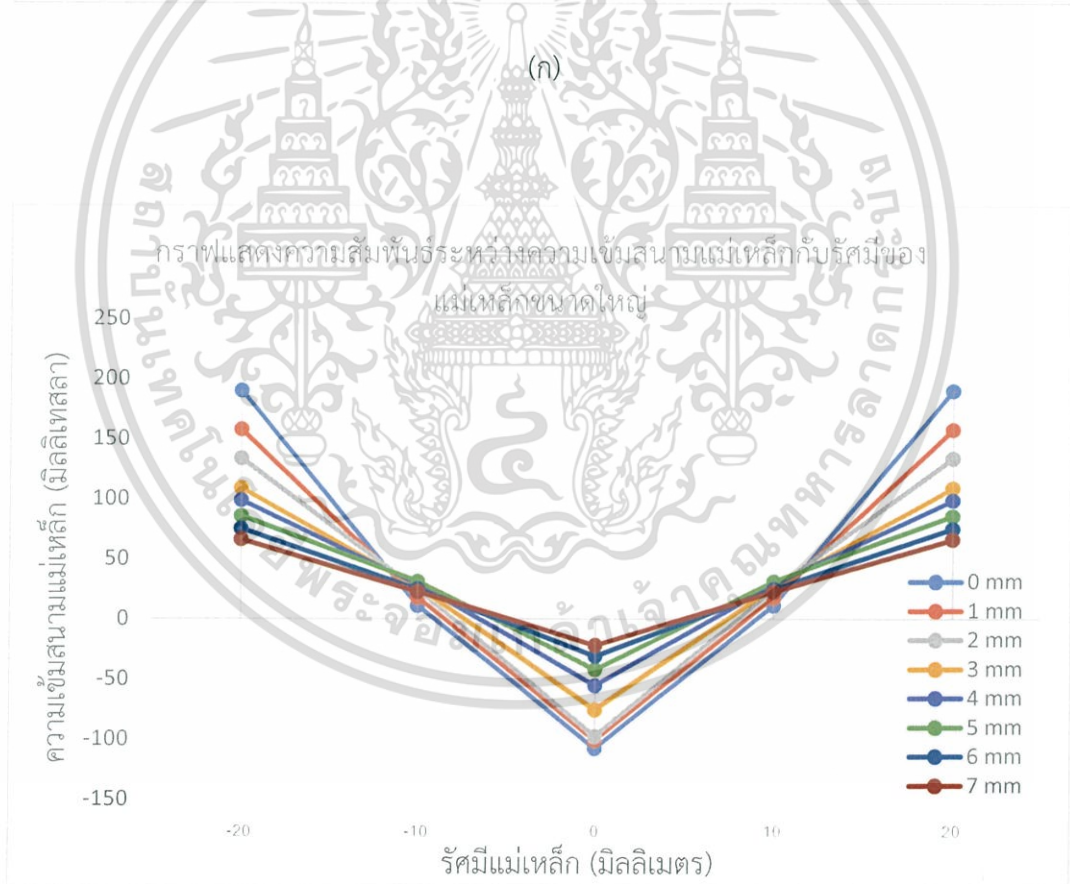
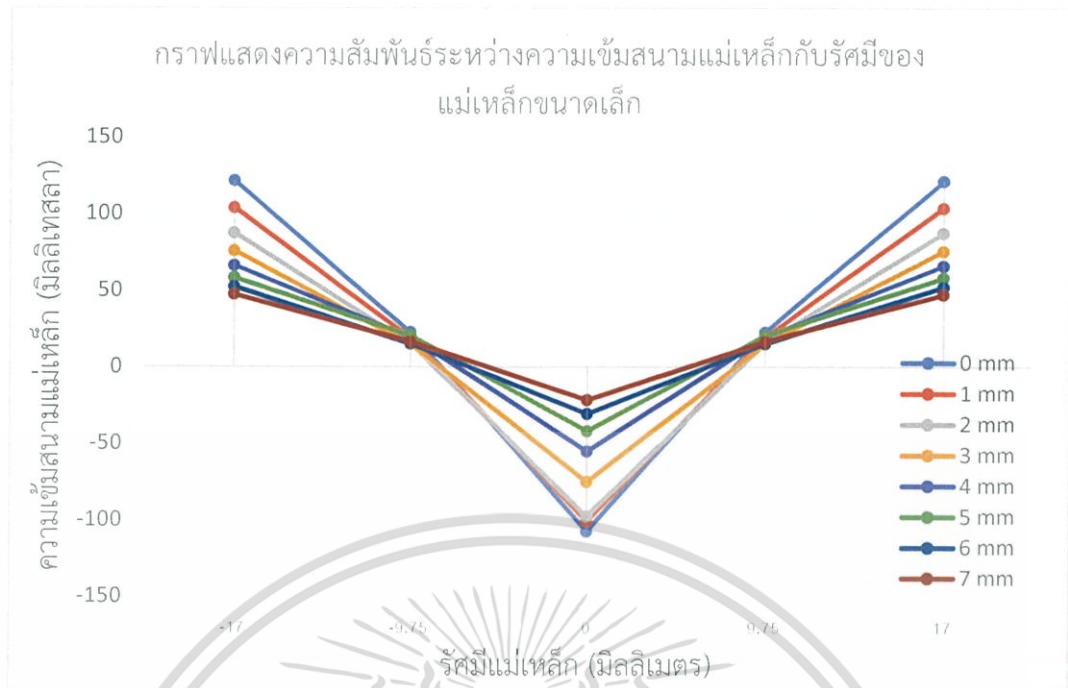
(ค)

(ง)

รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งในแนวรัศมีในการวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กบริเวณหน้าผิวเข้าโดยที่ (ก) ใช้แม่เหล็กตัวนอกขนาดเล็ก (ข) ใช้แม่เหล็กตัวนอกขนาดใหญ่ (ค) ใช้แม่เหล็กตัวนอกในรูปแบบของรังผึ้งเล็ก และ(ง) ใช้แม่เหล็กตัวนอกในรูปแบบของรังผึ้งใหญ่

โดยผลจากการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กบริเวณพื้นผิวสนามแม่เหล็กจาก Combi B Sensor S probe ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กหน่วยวัดมิลลิเทสลา ในแนวแกน y แสดงระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางเพิ่มขึ้นตามรัศมีที่เพิ่มขึ้นของหัวแมกนีตรอน ในแนวแกน x แสดงระยะห่างหัววัดสนามแม่เหล็กกับแม่เหล็กแต่ละชนิดตามระยะห่าง 0-7 มิลลิเมตร ทำให้ทราบขนาดและลักษณะเฉพาะของแม่เหล็กที่หน้าผิวเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

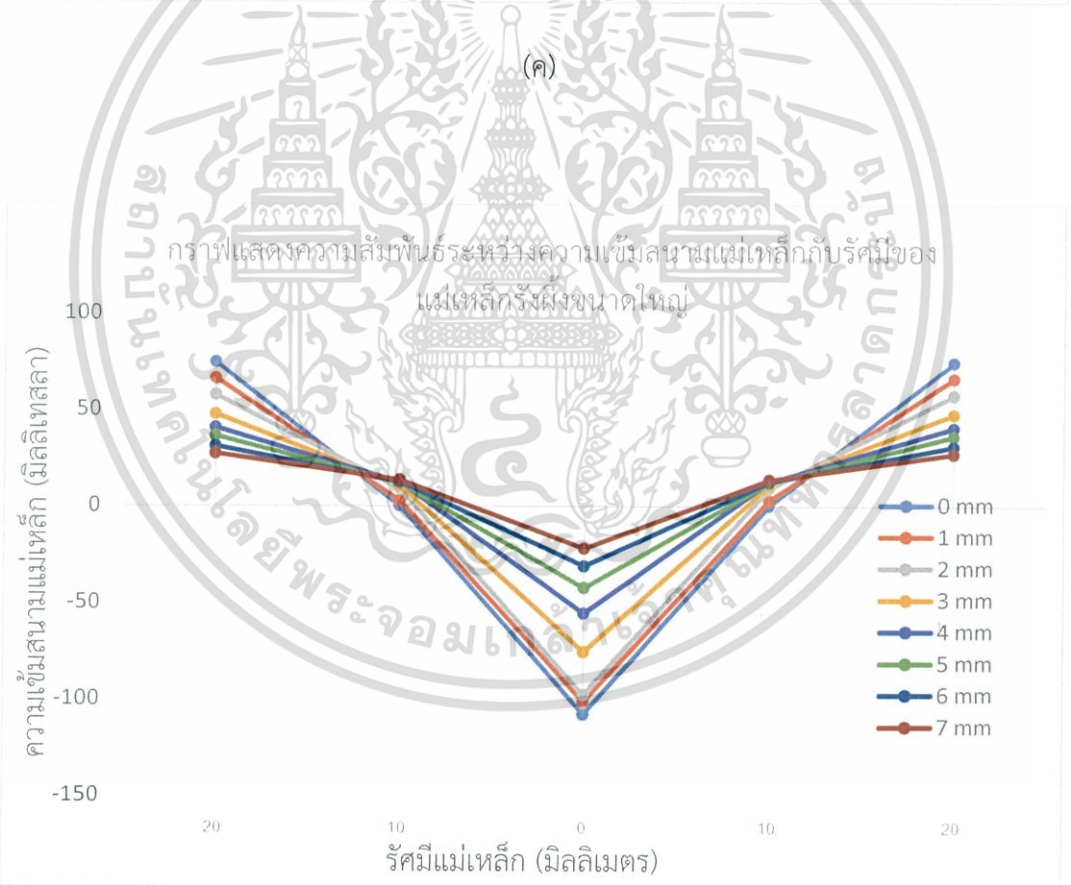
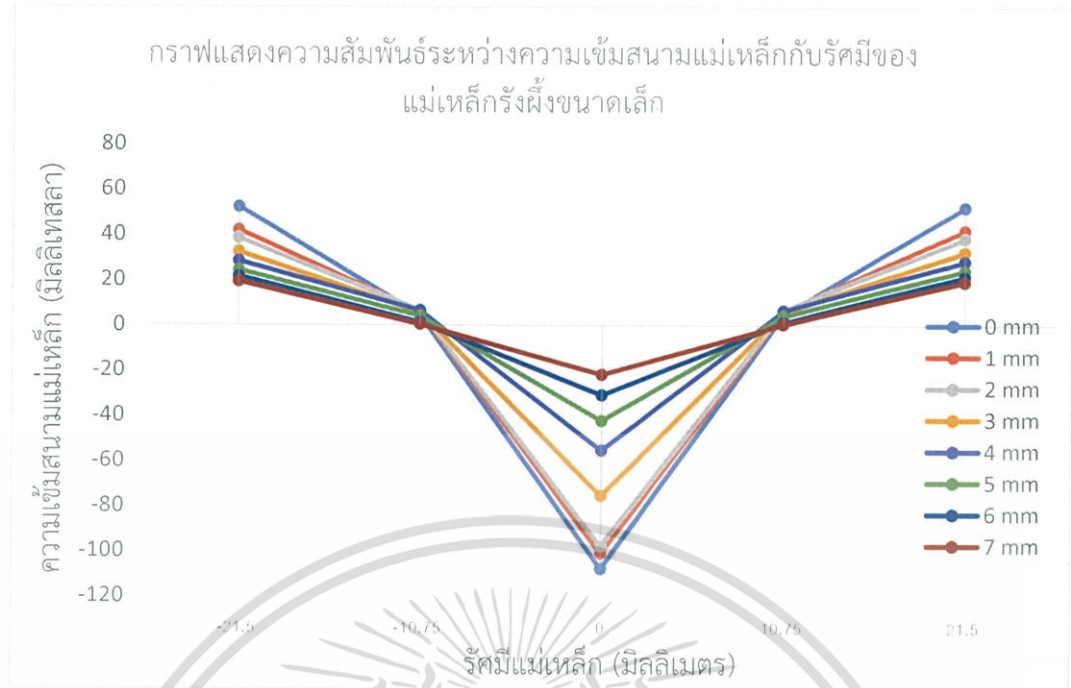


(ข)

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเข้มข้นแม่เหล็กกับรัศมีแม่เหล็ก (ก) ความเข้มข้นแม่เหล็กขนาดเล็ก

(ข) ความเข้มข้นแม่เหล็กขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กกับรัศมีของแม่เหล็ก (ค) ความเข้มสนามแม่เหล็กริงฟุ้งขนาดเล็ก (ง) ความเข้มสนามแม่เหล็กริงฟุ้งขนาดใหญ่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็กกับรัศมีแม่เหล็ก พบว่าจากขั้นตอนการสปีดเตอริงแม่เหล็กศูนย์กลางจะถูกกำหนดให้เป็นขั้วเหนือและแม่เหล็กวงนอกจะเป็นขั้วใต้ ทำให้ในพิกัด (0,0) ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นค่าลบ -107.67 เพิ่มตามระยะห่างหัววัดแม่เหล็กกับหัวแม่เหล็กเล็ก จุดศูนย์กลางถึงแม่เหล็กวงนอกพบว่าเป็นจุดตัดของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กกับรัศมีแม่เหล็ก และค่าสนามแม่เหล็กวงนอกจะมีค่าเป็นบวก และพบว่าขนาดความเข้มสนามแม่เหล็กลดลง 0-7 มิลลิเมตร ตามระยะห่างระหว่างหัววัดแม่เหล็กกับรัศมีแม่เหล็ก

4.4 เงื่อนไขในการเคลือบฟิล์มบาง

ในงานวิจัยนี้ได้นำเป้าสารกึ่งตัวนำ FeSi_2 มาใช้ในการเคลือบฟิล์มบางบนกระจกสไลด์ จากผลการทดลองเคลือบฟิล์มบาง FeSi_2 เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดคือความต่างศักย์ 500 โวลต์ เวลา 45 นาที ความดันก่อนสปีดเตอริง $< 5 \times 10^{-5}$ ทอร์ แสดงในตารางสรุปผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองของวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก

ชื่อสารตัวอย่าง	1 FeSi_2 09/09/16
ลักษณะสนามแม่เหล็ก	วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก
ชนิดฐานรอง	กระจกสไลด์
แหล่งกำเนิด	สปีดเตอริง
สารที่ใช้	FeSi_2
ความดันก่อนสปีดเตอริง	$< 5 \times 10^{-5}$ ทอร์
ความดันในการสปีดเตอริง	3×10^{-3} ทอร์
กระแส	0.026 แอมแปร์
ความต่างศักย์	500 โวลต์
เวลา	45 นาที

ตารางที่ 4.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองของวงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่

ชื่อสารตัวอย่าง	2. FeSi_2 10/09/16
ลักษณะสนามแม่เหล็ก	วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่
ชนิดฐานรอง	กระจกสไลด์
แหล่งกำเนิด	สปีดเตอริง
สารที่ใช้	FeSi_2
ความดันก่อนสปีดเตอริง	$< 5 \times 10^{-5}$ ทอร์
ความดันในการสปีดเตอริง	3×10^{-3} ทอร์
กระแส	0.053-0.055 แอมแปร์
ความต่างศักย์	500 โวลต์
เวลา	45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงเงื่อนไขการทดลองของวงแหวนแม่เหล็กแบบรั้งฝิ่งขนาดเล็ก

ชื่อสารตัวอย่าง	3 FeSi ₂ 12/09/16
ลักษณะสนามแม่เหล็ก	แม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดเล็ก
วันที่	12/09/16
ชนิดฐานรอง	กระจกสไลด์
แหล่งกำเนิด	สปัตเตอร์ริง
สารที่ใช้	FeSi ₂
ความดันก่อนสปัตเตอร์ริง	$< 5 \times 10^{-5}$ ทอร์
ความดันในการสปัตเตอร์ริง	3×10^{-3} ทอร์
กระแส	0.028 แอมแปร์
ความต่างศักย์	500 โวลต์
เวลา	45 นาที

ตารางที่ 4.5 แสดงเงื่อนไขการทดลองของวงแหวนแม่เหล็กแบบรั้งฝิ่งขนาดใหญ่

ชื่อสารตัวอย่าง	4 FeSi ₂ 12/09/16
ลักษณะสนามแม่เหล็ก	แม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดใหญ่
วันที่	12/09/16
ชนิดฐานรอง	กระจกสไลด์
แหล่งกำเนิด	สปัตเตอร์ริง
สารที่ใช้	FeSi ₂
ความดันก่อนสปัตเตอร์ริง	$< 5 \times 10^{-5}$ ทอร์
ความดันในการสปัตเตอร์ริง	3×10^{-3} ทอร์
กระแส	0.027-0.037 แอมแปร์
ความต่างศักย์	500 โวลต์
เวลา	45 นาที

4.5 กำลังไฟฟ้าสปัตเตอร์ริงจากลักษณะเฉพาะของความเข้มสนามแม่เหล็ก

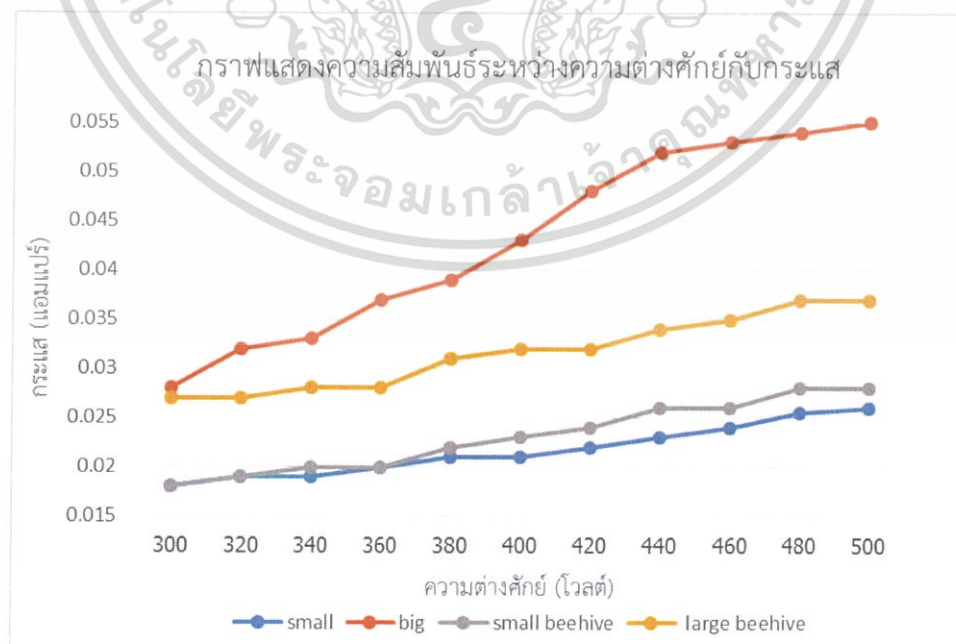
จากตารางแสดงกำลังไฟฟ้าของการสปัตเตอร์ริงโดยใช้ลักษณะเฉพาะของหัวแมกนีตรอนแบบต่างๆ ได้แก่วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่ แม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดเล็ก และแม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดใหญ่ ระหว่างการสปัตเตอร์ริงใช้ความต่างศักย์ 500 โวลต์ ก่อนการเคลือบฟิล์มบาง FeSi₂ จะเพิ่มความต่างศักย์ 0-500 โวลต์ เพื่อสังเกตกระแสที่เกิดขึ้นของแต่ละวงแหวน และทำการบันทึกความต่างศักย์ 300-500 โวลต์ เพื่อหากำลังไฟฟ้าในการทำงานของเทคนิคแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงตามสมการ $P = IV$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงกำลังไฟฟ้าของการสปีดเตอริง

แรงดันไฟฟ้าขนาด สปีดเตอริง (โวลต์)	กำลังไฟฟ้าขนาดสปีดเตอริง (วัตต์)			
	วงแหวน แม่เหล็กขนาด เล็ก	วงแหวน แม่เหล็กขนาด ใหญ่	แม่เหล็กรั้งผึ้ง ขนาดเล็ก	แม่เหล็กรั้งผึ้ง ขนาดใหญ่
300	5.40	8.40	5.40	8.10
320	6.08	10.24	6.08	8.64
340	6.46	11.22	6.80	9.52
360	7.20	13.32	7.20	10.08
380	7.98	14.82	8.36	11.78
400	8.40	17.20	9.20	12.8
420	9.24	20.16	10.08	13.44
440	10.12	22.88	11.44	14.96
460	11.04	24.38	11.96	16.10
480	12.24	25.92	13.44	17.76
500	13.00	27.50	14.00	18.50

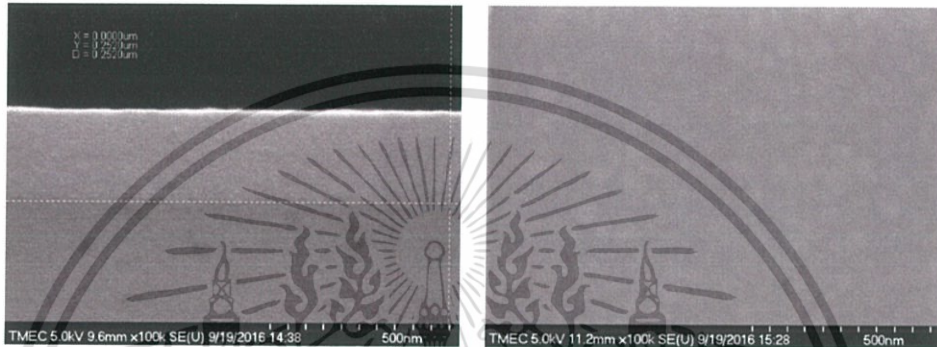
จากผลการทดลองตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าในการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีแมกนีตรอนสปีดเตอริง วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่มีแรงดันไฟฟ้าขนาดสปีดเตอริง 27.50 วัตต์ สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแม่เหล็กอื่นๆ และวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็กมีแรงดันไฟฟ้าขนาดสปีดเตอริง 13 วัตต์ ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแม่เหล็กอื่นๆ เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ให้หัวแมกนีตรอนกระแสจะเพิ่มขึ้นตามดังแสดงในรูปที่ 4.7



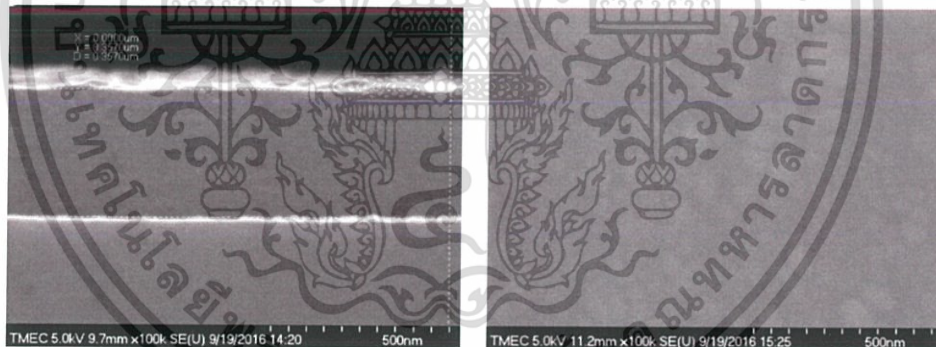
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการศึกษาโครงสร้างเชิงพื้นผิวของ FeSi_2 จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

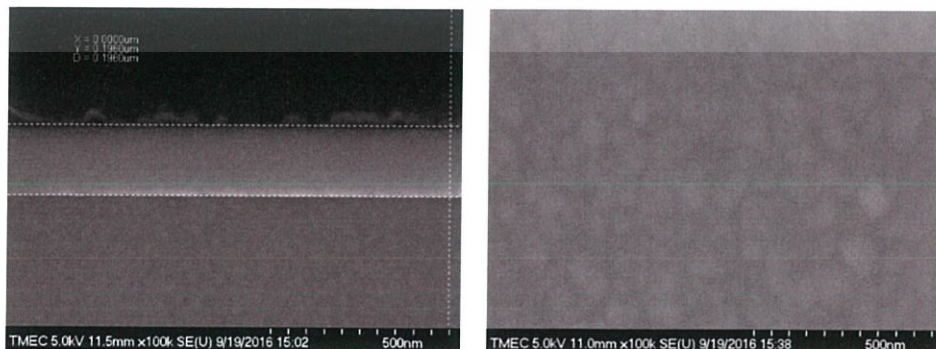
จากผลการศึกษากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผู้วิจัยต้องการศึกษาความหนา และลักษณะผิวหน้าของชั้นฟิล์มบาง FeSi_2 จากความเข้มแม่เหล็กที่ต่างกัน โดยมีลักษณะดังนี้ วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่ แม่เหล็กเรียงขนาดเล็กลง และแม่เหล็กเรียงขนาดใหญ่ออกมาตามลำดับ ทำการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดยี่ห้อ Hitachi S-4700 Scanning Electron Microscope มีกำลังขยาย 50000 เท่า ของศูนย์ไทยไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Thai Micro Electronic Center: TMEC) แสดงผลการทดลองดังนี้



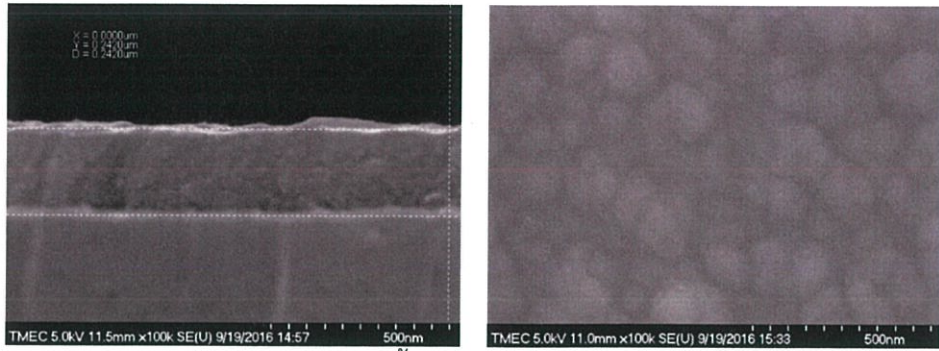
รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขของวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก



รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขของวงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่



รูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขของแม่เหล็กเรียงขนาดเล็กลงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางและพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของฟิล์มบาง FeSi_2 ตามเงื่อนไขของแม่เหล็กริงฟิ่งขนาดใหญ่

ผลการทดลองพบว่าภาพตัดขวางของวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็กมีความหนาเท่ากับ 252 นาโนเมตรและมีขนาดเกรนประมาณ 21 นาโนเมตร วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่มีความหนาเท่ากับ 357 นาโนเมตรและมีขนาดเกรนประมาณ 38 นาโนเมตร แม่เหล็กริงฟิ่งขนาดเล็กมีความหนาเท่ากับ 196 นาโนเมตรและมีขนาดเกรนประมาณ 44 นาโนเมตร และแม่เหล็กริงฟิ่งขนาดใหญ่มีความหนาเท่ากับ 242 นาโนเมตรและมีขนาดเกรนประมาณ 78 นาโนเมตร ซึ่งใช้เวลาในการเคลือบ 45 นาที สามารถคำนวณอัตราการเคลือบได้จากความหนาของฟิล์มบางหารด้วยเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง

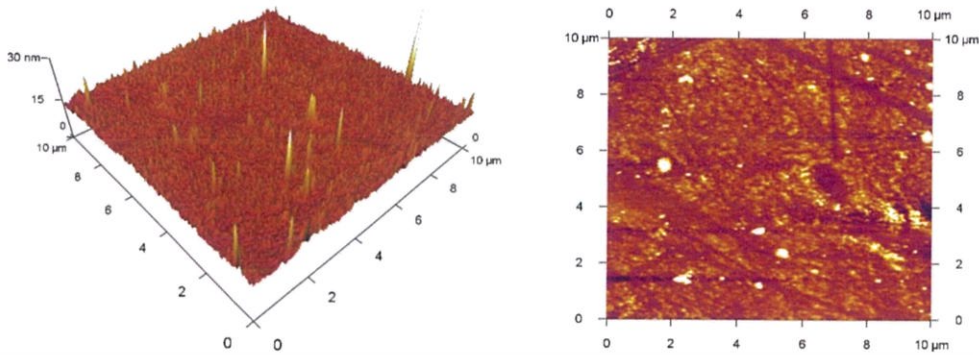
ตารางที่ 4.7 แสดงขนาดเกรน ความหนาและอัตราการเคลือบฟิล์มบาง FeSi_2

ลักษณะความเข้มสนามแม่เหล็กชนิดต่างๆ	ขนาดเกรน (นาโนเมตร)	ความหนา (นาโนเมตร)	อัตราการเคลือบฟิล์มบาง (นาโนเมตรต่อนาที)
วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก	21	252	5.60
วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่	38	357	7.93
แม่เหล็กริงฟิ่งขนาดเล็ก	44	196	4.36
แม่เหล็กริงฟิ่งขนาดใหญ่	78	242	5.37

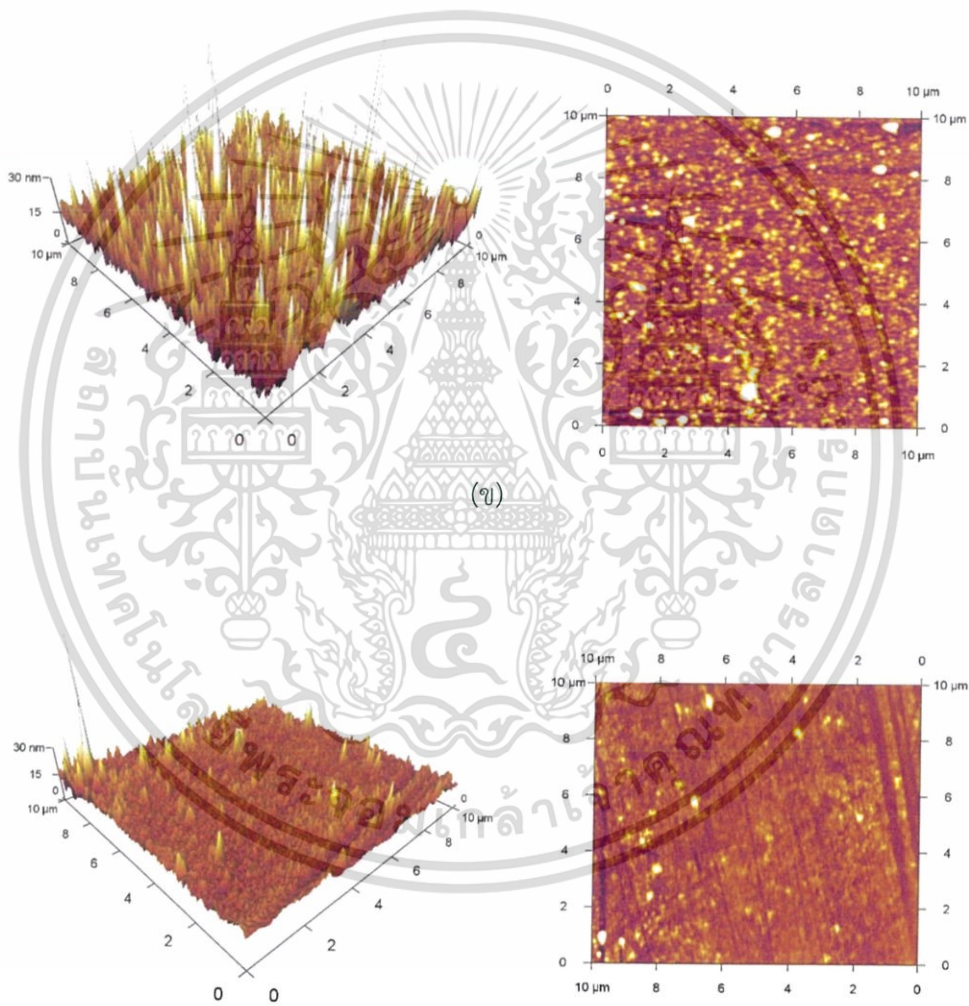
4.7 ผลการศึกษาความขรุขระของฟิล์มบาง FeSi_2 โดยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความขรุขระของฟิล์มบาง FeSi_2 โดยวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความขรุขระเท่ากับ 1.693 nm วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่มีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความขรุขระเท่ากับ 5.363 nm แม่เหล็กริงฟิ่งขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความขรุขระเท่ากับ 6.310 nm และแม่เหล็กริงฟิ่งขนาดใหญ่มีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความขรุขระเท่ากับ 2.255 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

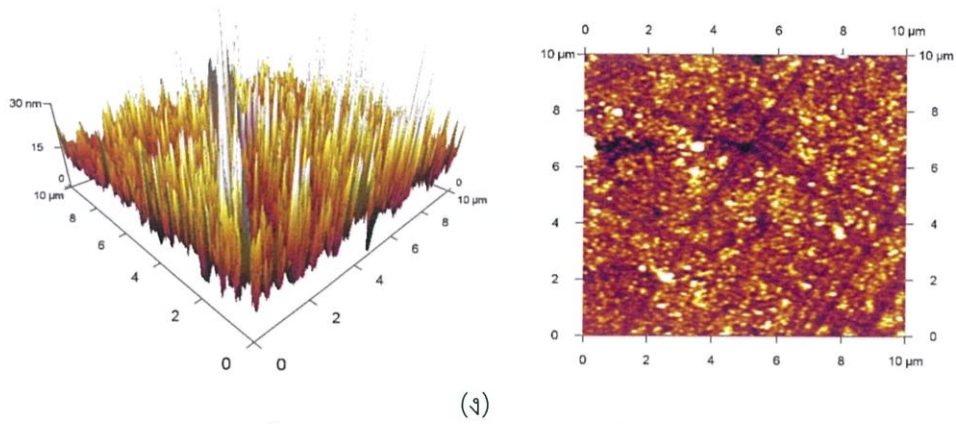


(ก)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 4.12 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง FeSi_2 โดยที่ (ก) แม่เหล็กวงแหวนขนาดเล็ก (ข) แม่เหล็กวงแหวนขนาดใหญ่ (ค) แม่เหล็กริงฟิ่งขนาดเล็ก และ(ง) แม่เหล็กริงฟิ่งขนาดใหญ่

4.8 ผลการทดลองของการศึกษามุมสัมผัส

เครื่องวัดมุมสัมผัส สามารถวัดค่ามุมสัมผัส ของของเหลวเมื่อสัมผัสกับผิววัสดุซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท

1. แบบไม่ชอบน้ำ หรือ hydrophobic หรือ non-wetting แสดงสมบัติแบบไม่ชอบน้ำ เมื่อของเหลวสัมผัสกับผิววัสดุทำมุมมากกว่า 90 องศา
2. แบบชอบน้ำ หรือ hydrophilic หรือ wetting แสดงสมบัติแบบชอบน้ำ เมื่อของเหลวสัมผัสกับผิววัสดุทำมุมน้อยกว่า 90 องศา

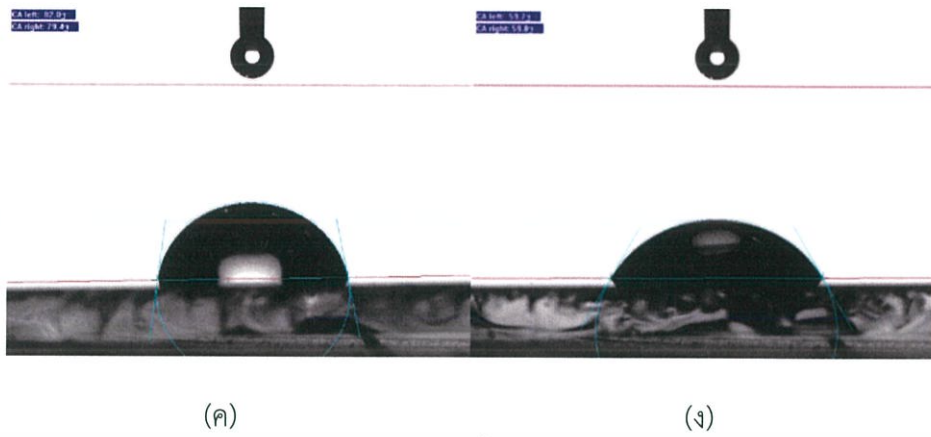
จากผลการทดลองวัดค่ามุมสัมผัสได้โดยเครื่องวัดมุมสัมผัส โดยการหยดน้ำไปบนผิวฟิล์มบาง FeSi_2 มุมสัมผัสที่ได้ถูกคำนวณโดยค่าเฉลี่ยของค่ามุมสัมผัสด้านซ้ายและค่ามุมสัมผัสด้านขวา พบว่า มุมสัมผัสขนาดวงแหวนขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.05 องศา มุมสัมผัสของวงแหวนขนาดใหญ่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.25 องศา มุมสัมผัสของริงฟิ่งขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 80.70 องศา และมุมสัมผัสของริงฟิ่งขนาดใหญ่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.75 องศา จากมุมสัมผัสที่ได้สามารถสรุปได้ว่าแม่เหล็กริงฟิ่งขนาดเล็กมีความไม่ชอบน้ำมากที่สุด



(ก)

(ข)

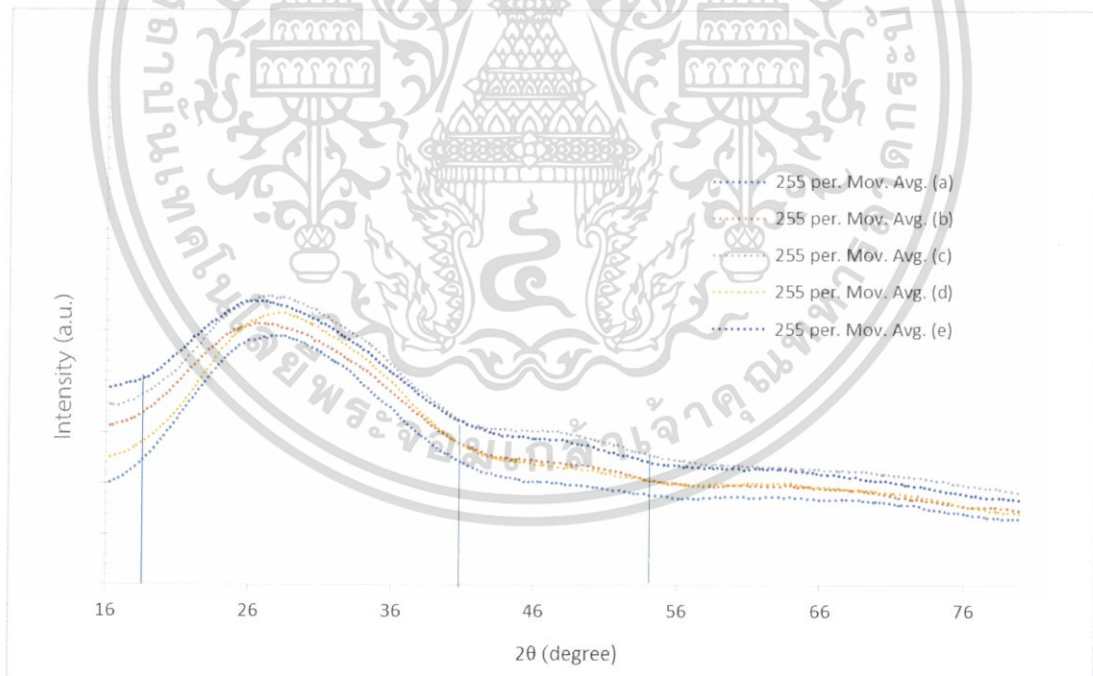
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะมุมสัมผัสของ FeSi_2 ดังนี้ (ก) แม่เหล็กวงแหวนขนาดเล็ก (ข) แม่เหล็กวงแหวนขนาดใหญ่ (ค) แม่เหล็กริงฝิ่งขนาดเล็กและ (ง) แม่เหล็กริงฝิ่งขนาดใหญ่

4.9 ผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า มีพีคกว้างปรากฏที่มุม $20^\circ - 40^\circ$ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากกระจกสไลด์ ที่มุม $40^\circ - 55^\circ$ มีพีคกว้างปรากฏขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการซ้อนทับกันหลายๆ พีคของ $\beta\text{-FeSi}_2$ และความไม่เป็นระเบียบของการจัดเรียงตัว ซึ่งเป็นผลให้มีโครงสร้างเป็นแบบอะมอร์ฟัส



รูปที่ 4.14 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง FeSi_2 (a) กระจกสไลด์ (b) วงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก (c) วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่ (d) แม่เหล็กริงฝิ่งขนาดเล็ก (e) แม่เหล็กริงฝิ่งขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ผลของงานวิจัยลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กโดยเทคนิคสเปกโตรสโกปี ผู้วิจัยได้ศึกษาการใช้อุปกรณ์ การสร้างผลงาน และการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษาต่างๆ เพื่อพัฒนาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ โดยวัสดุข้างต้นมีดังนี้

- แม่เหล็กแบบต่างๆ ซึ่งจะมีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน
- ลักษณะของการเคลือบฟิล์มบางอยู่ในสุญญากาศ
- เป้าในการสเปกโตรสโกปี ใช้ FeSi_2 ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำ
- ฟิล์มบาง FeSi_2 จะถูกทำปฏิกิริยาเคมีกับพื้นฐานทางฟิสิกส์

จากนั้นผู้วิจัยได้นำวงแหวนแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพลาสมาและชั้นฟิล์มบาง โดยคณะผู้วิจัยได้สรุปผลการศึกษาเป็นหัวข้อดังนี้

- I. ลักษณะความเข้มสนามแม่เหล็กถูกวัดโดย Combi B Sensor S probe พบว่าเมื่อทำการวัดวงแหวนแม่เหล็กขนาดเล็ก วงแหวนแม่เหล็กขนาดใหญ่ แม่เหล็กแบบรั้งฝิ่งขนาดเล็ก และแม่เหล็กแบบรั้งฝิ่งขนาดใหญ่ ขนาดวงแหวนแม่เหล็กตัวนอกที่มีขนาดใหญ่จะมีความเข้มสนามแม่เหล็กมากที่สุด
- II. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้แสดงถึงขนาดเกรน และความหนาของฟิล์มบาง FeSi_2 โดยใช้แม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดเล็ก คือ 44 นาโนเมตร และ 196 นาโนเมตรตามลำดับ
- III. ผลการศึกษาความขรุขระของฟิล์มบาง FeSi_2 โดยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม พบว่าแม่เหล็กรั้งฝิ่งขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความขรุขระมากที่สุด ซึ่งมีขนาด 6.310 นาโนเมตร
- IV. ผลของการศึกษาสภาพการเปียกน้ำของฟิล์มบาง FeSi_2 พบว่าที่เงื่อนไขแม่เหล็กแบบรั้งฝิ่งขนาดเล็กมีความไม่ชอบน้ำมากที่สุดโดยมีมุมสัมผัสของหยดน้ำ คือ 80.7 องศา
- V. จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่าที่มุม $40^\circ - 55^\circ$ มีพีคกว้างปรากฏขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการซ้อนทับกับหลายๆ พีคของ $\beta\text{-FeSi}_2$ และความไม่เป็นระเบียบของการจัดเรียงตัว

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าวงแหวนแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กต่าง ๆ กันถูกสร้างขึ้นโดยตัวใส่แม่เหล็กใช้วัสดุทองแดง ตลับใส่แม่เหล็กเป็นสแตนเลส แม่เหล็กที่ใช้เป็นนีโอไดเมียมไฮดรอน โบรอน ทำโดยเทคนิคสเปกโตรสโกปี สามารถควบคุมตามเงื่อนไขได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรตรวจวัดลักษณะของฟิล์มบางไฮดรอนไดซัลไฟด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคอื่นเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การเคลือบผิววัสดุ,ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง,ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา [Online].Avilable: http://vttf.buu.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=22&Itemid=34
- [2] กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง,บริษัท วีทีซัน จำกัด, [Online].Avilable: http://www.vtsun.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=9&lang=th
- [3] Chapman, B. 1980. Glow Discharge Processes Sputtering and Plasma Etching. U.S.A. John Wiley & Sons.
- [4] Wasa, K., and Hayakawa, S. 1992. Handbook of Sputter Deposition Technology. Noyes Publications.
- [5] พงศภัค สิทธิมาตร ณีรัฐาทิพย์ ป่าธนู, 2557. การออกแบบและสร้างหัวแมกนีตรอนสเปคโตรริงขนาดเล็กและลักษณะเฉพาะของหัว ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] Victor E. Borisenko, Semiconducting Silicides, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000.
- [7] L. J. Chen, Silicide Technology for Intregrated Circuits, The institution or Engineering and Technology, United Kingdom 2004.
- [8] Z. Yang and K. P. Homewood, Appl. Phys. Lett. 79 (1996) 4312.
- [9] M. Shaban, K. Nomoto, K. Nakashima, and T. Yoshitake, Jpn. J. Appl. Phys. 47 (2008) 3444.
- [10] C. H. Olk, S. M. Yalisove, and G. L. Doll, Phys. Res. B. 52 (1995) 1692.
- [11] M. Shaban, K. Nakashima, and T. Yoshitake, Jpn. J. Appl. Phys. 46 (2007) 7708.
- [12] M. Z. Hossain, T. Mimura, N. Miura, and S. Uekusa, Appl. Surf. Sci. 256 (2009) 1227.
- [13] N. E. Christensen, Phys. Rev. B 42 (1990) 7148.
- [14] กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน,ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง [Online].Avilable:<http://web2.mfu.ac.th/center/stic/micro-analysis-instrument/menu/item/96-scanning-electron-microscrope.html>
- [15] การสร้างโครงสร้างนาโนโดยเทคโนโลยีปัจจุบัน,สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล : [Online].Avilable:<http://www.il.mahidol.ac.th/ emedia/nano/Page/Unit4-5.html>
- [16] การสร้างโครงสร้างนาโนโดยเทคโนโลยีปัจจุบัน,สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล[Online].Avilable: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page /Unit4-3.html>
- [17] การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบสารด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์(X-ray driffraction),ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
 เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธนบุรี [Online]. Available: <http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/physics/16-x-ray-diffraction>

[18] wetting, [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wetting>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

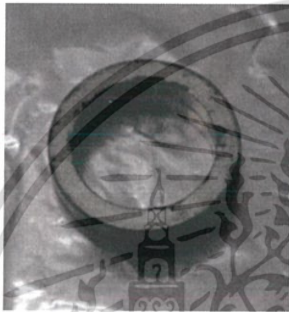
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

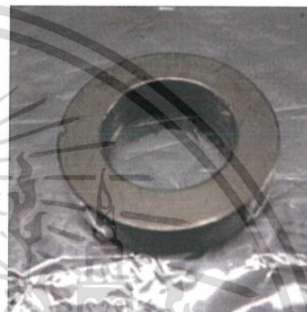
ก. ลักษณะแม่เหล็กที่ใช้งาน



รูปที่ ก.1 แม่เหล็กศูนย์กลางวงแหวน



รูปที่ ก.2 แม่เหล็กวงแหวนขนาดเล็ก



รูปที่ ก.3 แม่เหล็กวงแหวนขนาดใหญ่



รูปที่ ก.4 ตัวแม่เหล็กขนาดเล็กที่ใส่ในรังผึ้ง



รูปที่ ก.5 ตัวแม่เหล็กขนาดใหญ่ที่ใส่ในรังผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติ

ชื่อ นาย พชร มานิตย์
 ชื่อเล่น เบ็นด์
 เกิดวันที่ 9 พฤศจิกายน 2536
 ที่อยู่ 15 หมู่ 2 ถนน สันทรายป่าเหมือด ตำบล สันทราย
 หลวง อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ 50210
 งานอดิเรก ดูสารคดีวิทยาศาสตร์ เล่นหุ้น ซ่อมอุปกรณ์ที่เสีย
 เช่น โทรศัพท์ คอม และทั่วไป
 เบอร์ 0622869576
 E-mail bent.wksslmpkmitl@gmail.com Pacharamanit@gmail.com
 บิดา นาย กันตภณ มานิตย์ อาชีพ รับจ้าง
 มารดา นาง ศิราพร สุนันตะ อาชีพ - (เสียชีวิต)



ระดับการศึกษา	ชื่อการศึกษา
อนุบาล	โรงเรียน วีรยา เชียงใหม่
ประถมศึกษา-มัธยมศึกษาปีที่ 3	โรงเรียน สันทรายหลวง
มัธยมศึกษาปีที่ 4-6	โรงเรียน นวมินทราชูทิศ พายัพ
ปริญญาตรี	สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ เอก Solid state Electronic คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหาร ลาดกระบัง

ทุนที่เคยได้ ทุนขาดแคลนทุนทรัพย์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

1. พนักงานบีกชีซูเปอร์เซ็นเตอร์ สาขา ดอนจัน
2. พนักงานPC บริษัท ยูนิลีเวอร์ จำกัดมหาชน
3. พนักงานกีฟซ้อป ห้าง เซ็นทรัลเฟสติวัล เชียงใหม่
4. สอนพิเศษ ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ ทุกชั้นเรียน

เคยสอน นักเรียนโรงเรียนมหิตลวิทยานุสรณ์ ชั้น ม.6 คณิตศาสตร์ ฟิสิกส์


เคยสอน นักเรียนโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ชั้น ม.1-ม.3 คณิตศาสตร์

เคยสอน นักเรียนโรงเรียนเซนต์ดอมินิก ชั้น ม.3 คณิตศาสตร์ ฯลฯ

5. ผู้ช่วยสอนวิชา INTERMEDIATE PHYSICS LABORATORY 1 คณะวิทยาศาสตร์ (เทอร์
มิสเตอร์, เอมโอล์ชเรโซแนน) 2559

6. ปัจจุบัน สอนพิเศษที่ KUMON ลาดกระบัง สาขา พาซิโอ มอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกียรติบัตร	รูป
เกียรติบัตรแสดงว่าเป็นผู้มีคุณธรรม จริยธรรมและบำเพ็ญประโยชน์เพื่อสังคม จังหวัดเชียงใหม่	

- บุคคลอ้างอิง

ผศ.ดร.ณัฐพร พรหมรส อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้