

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงที่มีต่อสมบัติ
ฟิล์มบาง CoFeB

INFLUENCE OF PROCESS CONDITION OF DC MAGNETRON SPUTTERING
ON PROPERTIES OF CoFeB THIN FILM



จาก
256387

เลขหมู่..... 2057
เลขทะเบียน..... 133795
วัน,เดือน,ปี. 3.0.ค.ค. 2557

b. 12644444
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557

KMITL-2014-DS-M-001-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INFLUENCE OF PROCESS CONDITION OF DC MAGNETRON
SPUTTERING ON PROPERTIES OF CoFeB THIN FILM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION AND SYSTEM ENGINEER
COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภา **KMITL-2014-DS-M-001-01** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2014

COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้หันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง CoFeB
Thesis Title INFLUENCE OF PROCESS CONDITION OF DC MAGNETRON SPUTTERING ON PROPERTIES OF CoFeB THIN FLIM
นักศึกษา นางชุลีรัตน์ อิบูกิ
รหัสประจำตัว 54690351
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบและข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ราชศักดิ์ ศักดานภาพ
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2014-DS-M-001-01

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา เกตุแก้ว	จิตรา เกตุแก้ว
ดร.ราชศักดิ์ ศักดานภาพ	ราชศักดิ์ ศักดานภาพ
ดร.วรวิทย์ มรรคเจริญ	วรวิทย์ มรรคเจริญ
ดร.วินิตดา วงศ์วิริยะพันธ์	วินิตดา วงศ์วิริยะพันธ์
ดร.สิรพัฒน์ ประโชนเทพ	สิรพัฒน์ ประโชนเทพ

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 17 มีนาคม 2557 เวลา 16.30 - 18.30 น.

สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)
คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของปัจจัยในกระบวนการดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบาง CoFeB
นักศึกษา	นางชุลีรัตน์ อิบูกิ
รหัสประจำตัว	54690351
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบและข้อมูล
พ.ศ.	2557
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.ราชศักดิ์ ศักदानุภาพ

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งหมายที่จะศึกษาถึงเงื่อนไขในกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาเป็นวัสดุชั้นฟิล์มบางในอุปกรณ์ชนิด Tunnel Magnetoresistance (TMR) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยทำการเตรียมฟิล์มบางลงบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ (โครงสร้างอสมมาตร) และซิลิกอนเวเฟอร์ (โครงสร้างผลึก) พบว่าโครงสร้างของวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มและเงื่อนไขในกระบวนการเตรียมฟิล์ม ได้แก่ กำลังไฟฟ้าในการเคลือบ การให้ความร้อนกับวัสดุรองรับ และการใช้สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน (In plane) และทิศทางตั้งฉาก (Out of plane) ในขณะเตรียมฟิล์มนั้นมีผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิว การยึดเกาะและการนำไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB รวมถึงสมบัติทางแม่เหล็ก จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) แสดงว่าฟิล์มบาง CoFeB จะแสดงโครงสร้างที่เป็นผลึกมากขึ้นเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าในการเตรียมที่สูงขึ้น เนื่องจากกำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่สูงขึ้นจะเข้าไปช่วยเพิ่มพลังงานจลน์ของอะตอมในกระบวนการสปีดเตอริงให้เข้าไปทับถมกันได้เร็วและมากขึ้น ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบอะตอม (Atomic Force Microscopy) แสดงว่าความหยาบ ขนาดเกรนและความเป็นเอกรูปในการจัดเรียงโครงสร้างบนพื้นผิวนั้นมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้า สนามแม่เหล็กและวัสดุรองรับที่ใช้ในกระบวนการเตรียมฟิล์ม โดยฟิล์มบางที่เตรียมโดยใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์จะให้พื้นผิวที่ละเอียดและขนาดเกรนที่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับฟิล์มบางที่เตรียมโดยไม่มีสนามแม่เหล็กบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ นอกจากการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมจะช่วยลดค่าความหยาบของฟิล์มที่เตรียมได้แล้ว ยังช่วยลดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางอีกด้วย แต่การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมฟิล์มนั้นกลับไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ต่อลักษณะโครงสร้างของฟิล์มบาง จากการทดสอบสภาพการยึดเกาะโดยวิธีการลอกเทปกาว (Sticky Tape Test) พบว่าวัสดุรองรับกระจกสไลด์และกำลังไฟฟ้าที่สูงในการเตรียมฟิล์มนั้นทำให้ประสิทธิภาพของการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบางกับวัสดุรองรับนั้นลดลง ทั้งนี้อาจเกิดมาจากโครงสร้างผลึกของวัสดุรองรับนั้นส่งผลต่อพันธะอะตอมและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มนั้นส่งผลต่อความเครียดภายในของฟิล์มบาง CoFeB สมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ให้ผลเป็น superparamagnetic เนื่องจากฟิล์มมีขนาดเกรนที่เล็กในระดับนาโนเมตร และการเกิดสารประกอบออกไซด์บนฟิล์มบาง

คำสำคัญ : ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ฟิล์มบาง CoFeB, ดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง, หัวอ่านชนิดที่เอ็มอาร์ (Tunneling magnetoresistance, TMR), สมบัติของฟิล์มบาง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Influence of Process Condition of DC Magnetron Sputtering on Properties of CoFeB Thin Film
Student	Ms.Chuleerat Ibuki
Student ID.	54690351
Degree	Master of Engineering
Program	Information and System Engineering
Year	2014
Thesis Advisor	Dr.Rachsak Sakdanuphab

ABSTRACT

This study aims to investigate the conditions in CoFeB thin films deposited by DC magnetron sputtering which affecting to the thin film properties, in order to guide to improve thin film materials of Tunnel Magnetoresistance (TMR) device in hard disk drives. CoFeB thin films were deposited on glass substrate (Amorphous) and Si (Crystal) substrate. From investigating, found that substrate structure and conditions of CoFeB thin film deposition including sputtering power, heating and magnetic field applying (in plane and out of plane directions) affect to the properties of structure, morphology, adhesion and electrical resistivity of thin film, as well as magnetig property. From X-ray diffraction result shows that higher sputtering power would increase more crystalline structure of CoFeB thin films as high sputtering power helps to increase kinetic energy of atoms in sputtering process to deposit on substrate faster and thicker. Atomic Force Microscopy images show that rough, grain size and uniformity of structure relate to sputtering power, magnetic field and substrate applied for thin film deposition. CoFeB thin film deposited with magnetic field on glass shows finer surface and smaller grain than thin film deposited without magnetic field on Si. In addition to applying magnetic field for deposition helps to decrease roughness, also decrease electrical resitivity of thin film. However the magnetic field is not affecting to the structural properties of thin film. The Sticky Tape Test result indicates that glass substrate and high sputtering power affect the effective of adhesion property between thin film and substrate decreased. As the crystalline structure of substrate affects to atom bonding and sputtering power affects to the internal stress of thin film. The result of magnetic property of thin film shows the superparamagnetic property as thin film has nano grain size and oxide compound on surface.

Keywords: HDD (Hard Disk Drive), CoFeB thin film, DC magnetron sputtering, TMR (Tunneling magnetoresistance), Thin film properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้เป็นอย่างดีต้องขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี ตลอดจนให้อิสระในการทำงานแก่ผู้เขียนตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในวิทยาลัย นวัตกรรมจัดการข้อมูล ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับผู้เขียน และขอกราบขอบพระคุณ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ และขอกราบขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อเครื่องวัดทางแม่เหล็กแบบเส้นตัวอย่าง และขอกราบขอบพระคุณ ภาคฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องวัดทางแม่เหล็กแบบเส้น ตัวอย่าง และขอขอบพระคุณศูนย์ปฏิบัติการภาคธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการภาค ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือวัดโพรมีทซ์ และหน่วยวิจัยและศูนย์เครื่องมือ กลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือในการทดลองและการ วิเคราะห์ และขอขอบคุณพี่น้องนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอก ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในวิทยาลัย นวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านสำหรับ ความรู้ คำแนะนำและกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ซึ่งเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุน แก่ข้าพเจ้าอย่างเต็มที่ในการศึกษาครั้งนี้

ชุลีรัตน์ อิบูกิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำหรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในงานวิจัย	2
1.3 ความสำคัญของการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
1.5 คำถามในการวิจัยและสมมติฐานการวิจัย	4
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการวิจัย	6
2.1 การเคลือบฟิล์มบาง	6
2.2 สเปคเตอรืง (Sputtering)	7
2.2.1 กระบวนการเกิดการสเปคเตอรืง	7
2.2.2 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ	8
2.2.3 แมกนีตรอน (Magnetron)	10
2.2.4 กระบวนการโกลดิสซิง	12
2.3 เทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสเปคเตอรืง (DC Magnetron Sputtering)	14
2.4 การก่อเกิดฟิล์มบาง	16
2.5 สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุ	21
2.5.1 กลไกการเกิดสมบัติความเป็นแม่เหล็กในฟิล์มบาง	23
2.5.2 ฮิสเทอรีซิสลูป (Hysteresis loop)	24
2.5.3 วัสดุแม่เหล็กถาวรและวัสดุแม่เหล็กอ่อน	24
2.6 ปรากฏการณ์แมกนีโตรซิสเทนซ์	25
2.6.1 ชนิดของปรากฏการณ์ MR	25
2.6.2 การประยุกต์ปรากฏการณ์ MR ในเซนเซอร์	29
2.6.3 การประยุกต์ใช้การวัดปริมาณ	30
2.6.4 โครงสร้างของแผ่นดิสก์ (Magnetic Recording Film Configuration)	32
2.6.5 โครงสร้างเซนเซอร์หัวอ่านชนิด TMR	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ทฤษฎีเบื้องต้นในการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม.....	34
2.7.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD).....	34
2.7.2 เทคนิคแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง (Vibrating Sample Magnetometer :VSM).....	37
2.7.3 เทคนิค Atomic Force Microscopy (AFM).....	37
2.7.4 เทคนิคโพรบวัดสี่ขั้ว (4-point probe)	38
2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	44
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.3 สถานที่ดำเนินงานวิจัย.....	53
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	53
3.5 ระยะเวลาการทำวิจัย.....	63
3.6 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	64
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	65
4.1 ผลของกำลังไฟฟ้าต่ออัตราการเคลือบของฟิล์มบาง CoFeB.....	65
4.2 ผลของความดันก๊าซอาร์กอนและกำลังไฟฟ้าต่อการสภาพการยึดเกาะ ของฟิล์มบาง CoFeB.....	71
4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบน รังสีเอ็กซ์ (XRD).....	75
4.3.1 อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง.....	75
4.3.2 อิทธิพลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง.....	78
4.3.3 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง.....	82
4.4 ผลการศึกษาความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม CoFeB ด้วยกล้องจุลทรรศน์ แรงอะตอม (AFM).....	85
4.4.1 อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าต่อความขรุขระของพื้นผิว.....	85
4.4.2 อิทธิพลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อความขรุขระของพื้นผิว.....	87
4.4.3 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อความขรุขระของพื้นผิว.....	90
4.5 ผลการศึกษาสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการลอกเทป.....	92
4.5.1 อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าต่อสมบัติการยึดเกาะ.....	92
4.5.2 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อสมบัติการยึดเกาะ.....	94
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคโพรบวัดสี่ขั้ว.....	96
4.6.1 อิทธิพลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า.....	100
4.6.2 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.7 ผลการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง	102
4.7.1 อิทธิพลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อสมบัติทางแม่เหล็ก	104
4.7.2 อิทธิพลของการอบร้อนต่อสมบัติทางแม่เหล็ก	105
4.7.3 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อสมบัติทางแม่เหล็ก	106
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	109
เอกสารอ้างอิง	114
ภาคผนวก	117
ประวัติผู้เขียน	138



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเกิดปรากฏการณ์ MR	29
3.1 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่เหมาะสม	59
3.2 สภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์ม CoFeB ให้ได้ค่าความหนาที่ต้องการ (5000Å)	59
3.3 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง CoFeB	60
3.4 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง CoFeB	61
4.1 แสดงตารางสภาวะเงื่อนไขเพื่อหาเวลาในการเตรียมฟิล์มเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ (5000Å)	66
4.2 ค่าอัตราการเคลือบที่คำนวณได้จากค่าความหนาของฟิล์มบางที่วัดได้ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน	69
4.3 เวลาที่คำนวณได้เพื่อใช้ในการเคลือบฟิล์มบางตามความหนาที่ต้องการ	69
4.4 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้ในสภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อหาช่วงความดันก๊าซที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB	71
4.5 สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน	75
4.6 แสดงค่าความหยวบที่วัดได้จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยกำลังไฟฟ้าที่ต่างกัน	79
4.7 แสดงค่าความหยวบ (R_q ; nm) ที่วัดได้จาก AFM ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกัน (ทิศทางขนานกับทิศทางตั้งฉาก)	87
4.8 แสดงผลของปริมาณอนุภาคฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ จากการทดสอบสมบัติการยึดเกาะด้วยเทคนิคการลอกเทปกาวเป็นอัตราส่วนร้อยละ	88
4.9 ผลเป็นอัตราส่วนร้อยละของปริมาณอนุภาคฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ จากการทดสอบสมบัติการยึดเกาะด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว	94
4.10 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรมิสซ์	95
4.11 แสดงค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิมิตัว (B_s) ค่าความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (H) ค่าการอิมิตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแม่เหล็กคงค้าง (M_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force : H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์	99
4.12 แสดงค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิมิตัว (B_s) ค่าความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (H) ค่าการอิมิตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแม่เหล็กคงค้าง (M_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force) (H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
2.1 ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศ.....	6
2.2 การเกิดสปัตเตอร์ริง.....	8
2.3 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ.....	9
2.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก.....	10
2.5 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก.....	11
2.6 ระบบตีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง.....	12
2.7 ขั้นตอนการเกิดฟิล์ม.....	14
2.8 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ขณะมีการรวมกันของกลุ่มอะตอม และหลังการรวมกันของ กลุ่มอะตอม.....	15
2.9 รูปแบบขณะเกิดการรวมกันของกลุ่มอะตอม.....	17
2.10 โครงสร้างของการเกิดฟิล์มในรูปแบบต่างๆ.....	18
2.11 ภาพแสดงการทำงานของหน่วยเก็บความจำทั่วไปเปรียบเทียบกับหน่วยเก็บความจำที่ใช้วัสดุ ตัวกลางแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัทไอบีเอ็ม.....	18
2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetization (M) กับค่าความเข้มของ สนามแม่เหล็ก (H) ของวัสดุต่างๆ.....	20
2.13 เส้นทางเคลื่อนที่ของอนุภาคมีประจุภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก.....	22
2.14 การกระเจิงของอิเล็กตรอน ในวัสดุแม่เหล็กเฟอร์โร.....	23
2.15 ทิศแมกนีโตเซชันของฟิล์มบางหลายชั้น.....	23
2.16 ไดอะแกรมแสดงการทะลุผ่านที่ขึ้นกับสปินของอิเล็กตรอน.....	24
2.17 ออกไซด์ของแมงกานีสที่เจือด้วยโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์.....	25
2.18 ส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีเซนเซอร์ GMR เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก.....	26
2.19 เปรียบเทียบหัวอ่าน GMR และหัวอ่าน TMR.....	26
2.20 โครงสร้างของหัวอ่าน GMR และหัวอ่าน TMR.....	27
2.21 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์.....	28
2.22 หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ภายในโครงผลึกตามเงื่อนไขของ Bragg's Law.....	28
2.23 X-ray diffraction และ Intensity peak.....	31
2.24 หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์.....	31
2.25 การเกิดรังสีเอ็กซ์.....	32
2.26 โครงสร้างหลักของ VSM (Vibrating Sample Magnetometer).....	32
2.27 ส่วนประกอบต่างๆในการทำงานของเครื่อง AFM.....	33
2.28 Constant Current Source.....	35
2.29 Multimeter.....	35
2.30 4-point probe.....	36
2.31 หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์.....	36

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
2.33 โครงสร้างหลักของ VSM (Vibrating Sample Magnetometer)[16]	37
2.34 ส่วนประกอบต่างๆในการทำงานของเครื่อง AFM [8]	38
2.35 Constant Current Source	39
2.36 Multimeter.....	39
2.37 4-point probe.....	39
3.1 เครื่องสเปกโตรริง ระบบดีซี แมกนีตรอนสเปกโตรริงที่ใช้ในการทดลอง	45
3.2 ระบบของเครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบดีซี แมกนีตรอน สเปกโตรริง.....	48
3.3 อ่างล้างความถี่สูง Elmasonic รุ่น E30H.....	49
3.4 ตู้ดูดอากาศ.....	49
3.5 ตู้ดูดความชื้น	50
3.6 เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน.....	50
3.7 เครื่องวัดความหนาฟิล์ม.....	51
3.8 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม.....	51
3.9 เครื่องวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์.....	52
3.10 เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น.....	52
3.11 ชุดเครื่องมือวัดโพรมิวดิสก์.....	53
3.12 วัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์.....	54
3.13 แผนภาพไคอะแกรมแสดงการทำควมสะอาดกระจกขึ้นงาน.....	55
3.14 แผนภาพไคอะแกรมแสดงการทำควมสะอาดขึ้นงานซิลิกอน เวเฟอร์.....	56
3.15 ระบบดีซีแมกนีตรอนสเปกโตรริง.....	58
3.16 ไคอะแกรมการเตรียมฟิล์มภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กระหว่างการเคลือบฟิล์ม.....	61
4.1 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W001 ...	66
4.2 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W002 ...	67
4.3 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W003 ...	67
4.4 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W004 ...	68
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB.....	70
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน	72
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน.....	73
4.8 การทดสอบสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่ความดันก๊าซอาร์กอนต่างกัน.....	74
4.9 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์.....	77
4.10 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์.....	78
4.11 กราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์.....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
4.12 กราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบด้วย Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์	80
4.13 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบที่กำล้งไฟฟ้าต่าง ๆ บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์	80
4.14 ลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่กำล้งไฟฟ้าต่างกัน ..	81
4.15 ลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่กำล้งไฟฟ้าต่างกัน	82
4.16 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์จาก AFM	83
4.17 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์จาก AFM	86
4.18 ภาพพื้นผิวที่ได้จาก AFM ของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งถูกเคลือบที่กำล้งไฟฟ้าต่างกันบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์	87
4.19 ภาพพื้นผิวที่ได้จาก AFM ของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ โดยไม่ใส่สนามแม่เหล็ก	88
4.20 เปรียบเทียบผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เตรียมโดยใช้กำล้งไฟฟ้าต่างกันระหว่างก่อนและหลังการลอกเทปกาว	89
4.21 ผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว	90
4.22 การยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมที่กำล้งไฟฟ้าต่างกันบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ก่อนและหลังการทดสอบ	91
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว	93
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว	93
4.25 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti	95
4.26 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้วของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่เคลือบด้วย Ti	97
4.27 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส (Hysteresis Loop) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่แตกต่างกัน	99
4.28 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมภายใต้เงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากกับวัสดุรองรับ (a) กระจกสไลด์ และ(b) ซิลิกอนเวเฟอร์ ..	100
4.29 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับ (a) กระจกสไลด์ และ(b) ซิลิกอนเวเฟอร์ที่เตรียมโดยการอบร้อนก่อนการเคลือบ	101

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
4.30 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมปกติ.....	103
4.31 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็ก (a) ทิศทางขนานและ (b) ทิศทาง ตั้งฉากกับวัสดุรองรับ.....	104
4.32 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการอบร้อน.....	105
4.33 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์...106	
4.34 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็ก (a) ทิศทางขนานและ (b) ทิศทาง ตั้งฉากกับวัสดุรองรับ.....	107
4.35 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการอบร้อน.....	108



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive Industry) เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเป็นที่ต้องการเป็นอย่างมากสำหรับผู้บริโภค เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้เพียงในคอมพิวเตอร์เท่านั้น แต่ยังมีการนำไปใช้ในอุปกรณ์พกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล เป็นต้น เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในการใช้ประโยชน์จากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทางผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องลดขนาดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงรวมถึงเพิ่มขีดความสามารถในการบันทึกข้อมูลให้มากขึ้น ซึ่งได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาใช้ โดยหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่น่าสนใจอยู่ก็คือ การพัฒนาเทคโนโลยีหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยอาศัยปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแทนซ์ (Magnetoresistance Effect) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า ปรากฏการณ์ MR ซึ่งกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุประเภทโลหะตัวนำในสนามแม่เหล็ก ปรากฏการณ์ MR ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางด้านเทคโนโลยีบันทึกข้อมูล เช่น หน่วยความจำเข้าถึงแบบสุ่ม (Random access memories) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ในอุปกรณ์แมกเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensors) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งมีจุดเด่นที่สำคัญ เช่น

- มีความแม่นยำสูง เนื่องจากเซนเซอร์ MR มีฮิสเตอร์ซิสน้อย และมีความเป็นเชิงเส้นสูง ทำให้สามารถวัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
- มีความแน่นอนของสัญญาณสูง และอายุการใช้งานยาวนาน เนื่องจากเป็นเซนเซอร์แบบของแข็งที่สามารถรับสัญญาณได้โดยไม่ต้องสัมผัสสำหรับการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย
- มีความไวสูง เซนเซอร์ MR มีความไวและมีสัญญาณขาออกสูงกว่าเซนเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall-effect sensor) ทำให้เซนเซอร์ MR สามารถนำไปใช้วัดขนาดของสนามแม่เหล็กโลกได้

ปัจจุบันเซนเซอร์ MR ได้มีการนำไปใช้เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก จากแผ่นบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเซนเซอร์ MR ได้ทำให้เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีความก้าวหน้าที่สำคัญ และเพิ่มขีดความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้มากขึ้น การพัฒนาของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์แบบ MR นั้นเริ่มต้นจากเซนเซอร์การเหนี่ยวนำ โดยหัวอ่านแบบแรกเป็นแบบ Anisotropic MR ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมระหว่างกระแสไฟฟ้า และทิศทางแมกนีโตเซชันของวัสดุ อันเป็นผลจากอันตรกิริยาระหว่างสปินและออร์บิต ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก ต่อมาได้มีการพัฒนาหัวอ่านเป็นแบบ Giant MR โดยมีโครงสร้างแบบฟิล์มบางหลายชั้นที่ประกอบด้วยชั้นฟิล์มแม่เหล็กเพอร์โร ที่สลับด้วยฟิล์มโลหะที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก ทิศทางแมกนีโตเซชันของชั้นฟิล์มแม่เหล็กเพอร์โร แต่ละชั้นจะมีทิศสวนทางกัน และเมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกจะทำให้ทิศแมกนีโตเซชันของชั้นฟิล์มแม่เหล็กเพอร์โร จัดเรียงไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางลดลง ในปัจจุบันหัวอ่านได้พัฒนาเป็นแบบ TMR โดยมีข้อได้เปรียบกว่าหัวอ่านแบบ GMR คือให้สัญญาณที่ดีกว่า ความไวที่สูงกว่า และที่สำคัญมีขนาดเล็กกว่ามาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของสื่อบันทึกข้อมูลเพิ่มสูงมาก ซึ่งปรากฏการณ์ TMR นั้น สามารถเกิดขึ้นได้ในวัสดุที่มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นของวัสดุที่เป็นฉนวน (Insulator) บางในระดับนาโนเมตรแทรกระหว่างชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร

ชั้นของฟิล์มบางที่เป็นหัวใจสำคัญของ TMR คือ ฟิล์มบางแม่เหล็กเฟอร์โร และฟิล์มบางฉนวนไฟฟ้าของ ซึ่งจากการวิจัยพบว่าโครงสร้างของฟิล์มบางฉนวน MgO ที่มี CoFeB เป็นฟิล์มบางแม่เหล็กเฟอร์โรนั้นให้ค่า Tunnel Magneto Resistance (TMR) ที่กว้างมาก และมีศักยภาพสูงมากในการนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์ TMR สิ่งสำคัญที่จะทำให้อัตราส่วนของ TMR มีค่าสูงนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของฟิล์มบางที่ทำการเตรียมได้เช่น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง เป็นต้น โดยทางผู้วิจัยเองได้สนใจในกระบวนการการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการเคลือบโดยใช้เทคนิคซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering) และมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษารายละเอียดของการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่เหมาะสมและให้ผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง รวมถึงการศึกษาดังผลของวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่มีต่อสมบัติดังกล่าวข้างต้น ด้วยการเคลือบโดยใช้เทคนิคซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง ที่อุณหภูมิต่ำ [1]

1.2 วัตถุประสงค์ในงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยเทคนิคซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง ที่อุณหภูมิต่ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาเทคนิคในการวิเคราะห์หลักคุณสมบัติเฉพาะของฟิล์มบาง CoFeB เช่น เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เทคนิควัดทางแม่เหล็กโดยอาศัยการสั่นตัวอย่าง (VSM) เป็นต้น

1.2.3 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สภาวะเงื่อนไขในกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่เหมาะสมต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิว สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น

1.2.4 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงผลของวัสดุรองรับที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิว สมบัติการนำไฟฟ้าและสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

1.3.1 การพัฒนาเทคโนโลยีหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบ TMR มีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.3.2 ฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร CoFeB มีความสำคัญอย่างมากในอุปกรณ์บันทึกข้อมูลโดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น RAM และแมกนีติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensor) เป็นต้น เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 สภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มและเทคนิคในการปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติแม่เหล็ก นั้นมีความสำคัญต่อการพัฒนาฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โรในการเพิ่มค่า MR ให้สูงขึ้นได้

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร CoFeB เป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมสำหรับหัวอ่านสัญญาณแม่เหล็ก เนื่องจากให้ค่า MR ที่สูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยวิธีดีซีแมกนิตรอนสปัตเตอริง ในสภาวะและเงื่อนไขของการเตรียมที่แตกต่างกัน ได้แก่ กำลังไฟฟ้า และความดัน เป็นต้น ซึ่งเงื่อนไขเริ่มต้นในการเตรียมฟิล์มนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลสำคัญต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบางที่เตรียมได้ โดยการเลือกสภาวะและเงื่อนไขที่ดีและเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในงานนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการนำฟิล์มบางไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นกรอบแนวคิดในงานวิจัยนี้คือ การศึกษาและปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิว สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติการยึดเกาะและสมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มค่า MR โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางหรือการเตรียมฟิล์มภายใต้สนามแม่เหล็กนั้นสามารถปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวของฟิล์มบาง CoFeB ได้ ซึ่งสมบัติต่าง ๆ นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction: XRD) เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ภายในโครงสร้างของตัวอย่างเพื่อใช้วิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างที่มีอยู่ในฟิล์มบาง CoFeB และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับสมบัติเชิงโครงสร้างผลึกและระนาบของฟิล์มบางที่เตรียมได้

1.4.2 การตรวจวิเคราะห์ความหยาบหรือความขรุขระของพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscopy: AFM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB โดยอาศัยหลักการของอันตรกิริยาของแรงระหว่างอะตอม (atomic force) ระหว่างหัวเข็มวัดในระดับนาโนกับพื้นผิวของสาร และจะทำการประมวลผลออกในลักษณะของภาพพื้นผิว

1.4.3 การตรวจวิเคราะห์การยึดเกาะของฟิล์มบางกับแผ่นรองรับด้วยเทคนิคการลอกฟิล์มด้วยเทปขาว (Sticky Tape Test) ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดเชิงคุณภาพ (Qualitative measure) การยึดเกาะของการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่ง่ายและรวดเร็วที่สุดวิธีหนึ่ง

1.4.4 การตรวจวิเคราะห์สมบัติการนำไฟฟ้าของฟิล์มเคลือบด้วยเทคนิคแบบสี่จุด (4-point probe) เป็นการวัดกระแสเพื่อหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยโพรบวัดกระแส (Current probe) โดยให้กระแสในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก ผ่านการจ่ายกระแสจากเครื่อง Current Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.5 การวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง (Vibrating Sample Magnetometer: VSM) ใช้เพื่อศึกษาหาสมบัติฮิสเทอรีซิสเชิงแม่ของฟิล์มบาง CoFeB ในการตรวจสอบความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่าง

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าในฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์นั้นสามารถวิเคราะห์หาสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติไฟฟ้า สมบัติการยึดเกาะและสมบัติความเป็นแม่เหล็กได้จากทั้ง 5 เทคนิคดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นหากเราสามารถทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่แตกต่างกันได้ เราก็จะสามารถเลือกเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำฟิล์มบางไปประยุกต์ใช้งานในหัวอ่านฮาร์ดดิสก์แบบ TMR ได้ด้วย

1.5 คำถามในการวิจัยและสมมติฐานการวิจัย

1.5.1 คำถามในงานวิจัย

1. สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติไฟฟ้า สมบัติการยึดเกาะและสมบัติความเป็นแม่เหล็กที่ดีและเหมาะสมของฟิล์มบาง CoFeB สำหรับทำหน้าที่เป็นชั้นแม่เหล็กเฟอร์โรในอุปกรณ์ TMR ควรมีลักษณะอย่างไร
2. การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ ในสภาวะหรือเงื่อนไขใดที่ให้แนวโน้มของสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติไฟฟ้า สมบัติการยึดเกาะและสมบัติความเป็นแม่เหล็กได้ดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับฟิล์มบาง CoFeB
3. วัสดุรองรับ (Substrate) นั้นเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB หรือไม่ อย่างไร

1.5.2 สมมติฐานการวิจัย

1. การปรับกำลังไฟฟ้าและความดันก๊าซอาร์กอนให้เหมาะสมเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติไฟฟ้า สมบัติการยึดเกาะและสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ได้
2. การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเข้าไปในกระบวนการเคลือบฟิล์มระบบสปัตเตอร์ขณะทำการเตรียมฟิล์มจะส่งผลในการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ให้ดีขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่ค่า MR ที่สูงขึ้นได้
3. การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB สามารถทำได้บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (Amorphous) โดยไม่มีการอบร้อนที่อุณหภูมิห้อง
4. การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างผลึก (Crystal: ซิลิกอนเวเฟอร์) จะให้ฟิล์มบางที่มีสมบัติในด้านต่าง ๆ ได้ดีกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous: กระจกสไลด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องสปีดเตอริงที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB
- 1.6.2 ศึกษาและวิเคราะห์สภาวะเงื่อนไขที่ใช้และเกี่ยวข้องในกระบวนการการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB
- 1.6.3 ศึกษาขั้นตอนและหลักการในกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง
- 1.6.4 ศึกษาและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ (สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติแม่เหล็ก) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ และวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง ที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมที่ทำการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ กำลังไฟฟ้า ความดัน และการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะทำการเตรียมฟิล์ม
- 1.6.5 ศึกษาและวิเคราะห์ผลของวัสดุรองรับ (Substrate) ได้แก่ กระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบางเพื่อใช้ทำอุปกรณ์ TMR .
- 1.6.6 ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เทคนิควัดทางแม่เหล็กโดยอาศัยการสั่นตัวอย่าง (VSM) และเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การเคลือบฟิล์มบาง (Thin film deposition)

วิธีการเตรียมฟิล์มบางที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน [2] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี ปริมาณและคุณภาพของฟิล์มบางที่ต้องการตามความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางนั้นแบ่งได้ 2 วิธีดังรูปที่ 2.1 คือ



รูปที่ 2.1 ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบางในสูญญากาศ [3]

1. วิธีทางเคมี (Chemical process) เป็นการเคลือบที่อาศัยการแตกตัวของสารเคมีในสภาพของก๊าซและเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นสารใหม่ตกเคลือบบนแผ่นรองรับ ซึ่งรวมถึงการพ่นสเปรย์ ไพโรไลซิส (Spray pyrolysis) กระบวนการเคลือบไอเคมี (Chemical vapor deposition) และวิธี โซลเจล (Sol-gel)

2. วิธีทางกายภาพ (Physical process) เป็นการเคลือบที่อาศัยการทำให้อะตอมของสารเคลือบหลุดออกจากผิวแล้วฟุ้งกระจายหรือวิ่งเข้าไปจับและยึดติดกับผิวของแผ่นรองรับ โดยการใช้ความร้อน (Thermal evaporation) และระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron beam evaporation) รวมถึงวิธีการใช้แสงเลเซอร์ (Laser ablation) และวิธีการสปัตเตอริง (Sputtering)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของวิธีทางกายภาพที่ส่วนใหญ่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1. การเคลือบฟิล์มโดยวิธีระเหยสาร (Evaporation) เป็นกระบวนการที่ง่ายที่สุด อาศัยการพอกพูนของชั้นฟิล์มบางของสารเคลือบที่ทำให้ระเหยกลายเป็นไอในสภาวะสุญญากาศ โดยการให้ความร้อนที่มากพอที่จะทำให้สารเคลือบกลายเป็นไอ ซึ่งไอสารเคลือบนี้จะพุ่งไปกระทบกับวัสดุรองรับ (substrate) ที่มีอุณหภูมิเหมาะสมก็จะเกิดการควบแน่นของสารเคลือบและพอกพูนโตเป็นชั้นของฟิล์มบางต่อไป ข้อเสียของการเคลือบวิธีนี้ คือแรงยึดติดระหว่างสารเคลือบและแผ่นรองรับจะไม่สูง
2. การเคลือบฟิล์มโดยวิธีสปัตเตอริง (Sputtering) เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่อาศัยการพอกพูนของชั้นฟิล์มบางของสารเคลือบจากกระบวนการสปัตเตอริง ซึ่งการเคลือบด้วยวิธีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไอออนสารเคลือบจากกระบวนการสปัตเตอริงวิ่งชนแผ่นรองรับและมีการพอกพูนเป็นฟิล์มบางเนื่องจากไอออนที่ได้จากกระบวนการสปัตเตอริงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าวิธีการระเหยสารมาก ดังนั้น เมื่อไอออนของสารเคลือบวิ่งเข้ากระทบแผ่นรองรับก็จะฝังตัวแน่นลงในแผ่นรองรับมากกว่าวิธีการระเหยสาร ดังนั้นการเคลือบด้วยวิธีสปัตเตอริง จะทำให้การยึดเกาะระหว่างสารเคลือบกับแผ่นรองรับดีกว่าวิธีการระเหยสาร

2.2 สปัตเตอริง (Sputtering)

2.2.1 กระบวนการเกิดการสปัตเตอริง

กระบวนการสปัตเตอริงเป็นกระบวนการที่จะดอมผิวหน้าของวัสดุที่ต้องก่อรูปฟิล์มบางถูกทำให้หลุดออกมาด้วยการชนของอนุภาคพลังงานสูง โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงานและโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมที่ผิววัสดุตั้งกล่าว กระบวนการนี้อนุภาคที่วิ่งเข้าชนอาจเป็นกลางทางไฟฟ้า หรือมีประจุก็ได้ ดังรูปที่ 2.2 [2] แต่เนื่องจากการท่อนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงเพื่อใช้ในกระบวนการสปัตเตอริงทำได้ค่อนข้างยาก จึงนิยมใช้วิธีเร่งอนุภาคที่มีประจุภายใต้สนามไฟฟ้าซึ่งยังสามารถควบคุมระดับพลังงานของไอออนได้ตามต้องการ อนุภาคพลังงานสูงนี้จะต้องถูกผลิตขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อให้กระบวนการเคลือบสารเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องจนได้ความหนาฟิล์มสารเคลือบตามต้องการซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น โดยการใช้ลำอนุภาคจากปืนไอออน (ion gun) ที่มีปริมาณการผลิตไอออนในอัตราสูง หรือผลิตได้จากใช้กระบวนการโกลว์ดีสชาร์จ (Glow discharge) ซึ่งนำไปใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มด้วยวิธี ดีซีแมกเนตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering) เป็นต้น ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นในกระบวนการ สปัตเตอริงได้แก่

- สารเคลือบหรือเป้า (Target) ให้อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนจนมีการปลดปล่อยอะตอมของสารเคลือบลงบนแผ่นวัสดุรองรับ (substrate)

- อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนเป้าสารเคลือบ โดยปกตินุภาคพลังงานสูงนี้อาจเป็นกลางทางไฟฟ้า เช่น นิวตรอน หรืออะตอมของธาตุต่าง ๆ แต่การทำให้อนุภาคที่เป็นกลางมีพลังงานสูงเกิน 10 อิลีคตรอนโวลท์ (eV) เพื่อใช้ในกระบวนการสปัตเตอริงนั้นทำได้ค่อนข้างยาก วิธีการหนึ่งที่นิยมทั่วไป คือการเร่งอนุภาคประจุภายใต้สนามไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมระดับพลังงานของไอออนได้ตามต้องการอิลีคตรอนเป็นอนุภาคประจุชนิดหนึ่งที่ย่อยต่อการผลิตและเร่งให้มีพลังงานสูงภายใต้สนามไฟฟ้าได้แต่อิลีคตรอนมีมวลน้อยกว่าอะตอมของสารเคลือบมาก ทำให้การถ่ายโอนพลังงานและ

เอกสโมเมนตัมต่ออะตอมสารเคลือบเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และไม่สามารถทำให้กระบวนการการ

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สปัตเตอร์เกิดขึ้นได้ตามทฤษฎีทางฟิสิกส์ การชนระหว่าง 2 อนุภาค ที่ให้การส่งถ่ายพลังงานและโมเมนตัมดีที่สุดเมื่อมวลของอนุภาคทั้งสองมีค่าเท่ากัน ดังนั้นเราจึงเลือกการเร่งไอออนของก๊าซในสนามไฟฟ้าเป็นอนุภาควิ่งชนเป้าสารเคลือบ ซึ่งให้อัตราการปลดปล่อยเป้าสารเคลือบสูงเพียงพอกับความ ต้องการ ในกระบวนการจริงใช้ก๊าซอาร์กอนทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวเป็นไอออนด้วยไฟฟ้า

• อนุภาคพลังงานสูงนี้ต้องถูกผลิตขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการเคลือบสารเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องจนได้ความหนาของฟิล์มบางเคลือบตามต้องการซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ลำอนุภาคจากปืนไอออน (Iron gun) เนื่องจากปืนไอออนมีราคาค่อนข้างสูง และให้ไอออนได้ในพื้นที่แคบ กระบวนการสปัตเตอร์ทั่ว ๆ ไปในระดับอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้กระบวนการโกลว์ดีสชาร์จ (Glow discharge) ในการให้ไอออนในกระบวนการเคลือบอย่างต่อเนื่อง ในการชนของไอออนกับเป้าจะเกิดอิเล็กตรอนซึ่งอิเล็กตรอนจะทำให้อาร์กอนเกิดการแตกตัวอีกครั้ง



รูปที่ 2.2 การเกิดสปัตเตอร์ [4]

2.2.2 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ

เมื่อไอออนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนผิวหน้าของเป้าสารเคลือบจะเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.3 ดังนี้

• การสะท้อนที่ผิวหน้าของไอออน (Reflected ions and neutrals) ไอออนอาจสะท้อนกลับจากผิวหน้าซึ่งส่วนใหญ่จะสะท้อนออกมาในรูปของอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้าอันเกิดจากการรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ผิวเป้าสารเคลือบ

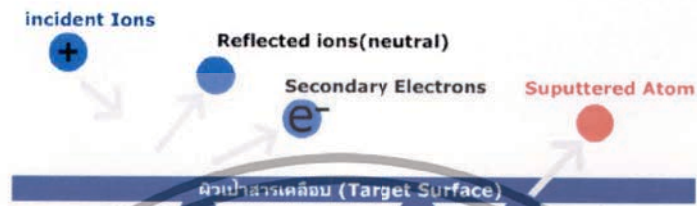
• การปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สอง (Secondary electron emission) จากการชนของไอออนอาจทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สองจากเป้าสารเคลือบ ถ้าไอออนนั้นมีพลังงานสูงพอ

• การฝังตัวของไอออน (Ion implantation) ไอออนที่วิ่งชนเป้าสารเคลือบนั้น ไอออนอาจฝังตัวลงในสารเคลือบ โดยความลึกของการฝังตัวจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานไอออน ซึ่งมีค่าประมาณ 10 อังสตรอมต่อพลังงานไอออน (1 keV) สำหรับไอออนของก๊าซอาร์กอนที่ฝังตัวบนเป้า

Target

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

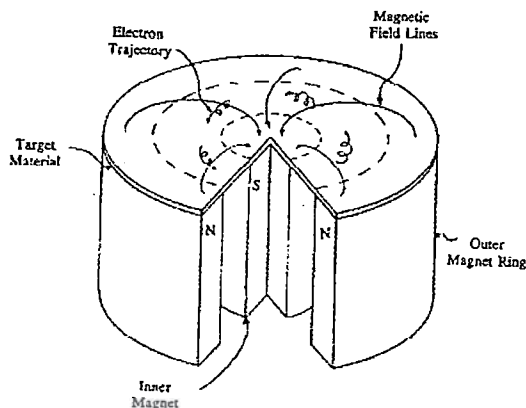
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวสารเคลือบ การชนของไอออนบนผิวสารเคลือบทำให้เกิดการเรียงตัวของอะตอมที่ผิวสารเคลือบใหม่และเกิดความบกพร่องของโครงสร้างผลึก (Lattice defect) เราเรียกการจัดตัวใหม่ของโครงสร้างผิวหน้านี้ว่า Altered surface layers
- การสปัตเตอร์ การชนของไอออนอาจทำให้เกิดกระบวนการชนแบบต่อเนื่องระหว่างอะตอมของเป้าสารเคลือบอันทำให้เกิดการปลดปล่อยอะตอมจากเป้าสารเคลือบ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า สปัตเตอร์ริง



รูปที่ 2.3 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ [5]

ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB นั้น จะอาศัยการสปัตเตอร์ริงดังกล่าวข้างต้น โดยมีเป้าสารเคลือบเป็นวัสดุ CoFeB สำหรับก๊าซที่ใช้ในระบบ คือก๊าซอาร์กอนโดยที่ไอออนของก๊าซเฉื่อยอาร์กอนจะมีหน้าที่ทำให้เกิดการสปัตเตอร์ริง โดยที่บริเวณเป้าจะมีสนามแม่เหล็กให้มีทิศทางขนานกับผิวหน้าของเป้าสารเคลือบและมีทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าจะช่วยกักทางเดินของอิเล็กตรอนให้อยู่บนผิวหน้าของเป้าสารเคลือบ อำนาจของสนามแม่เหล็กทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง ดังรูปที่ 2.4 ทำให้การไอออไนซ์ที่เกิดจากการชนระหว่างอิเล็กตรอนกับก๊าซเฉื่อยมีค่าสูงขึ้นส่งผลถึงอัตราในการเคลือบสูงขึ้น นอกจากนี้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ายังทำให้เกิดความต่อเนื่องที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นลักษณะการชนผิวเป้าสารเคลือบซ้ำ ๆ ทำให้เกิด Secondary electron ในปริมาณที่มากขึ้น และยังพบว่า การเพิ่มสนามแม่เหล็กด้วยความเข้มสนามเพียง 500 เกาส์ ทำให้ไอออนในระบบเพิ่มขึ้น ผลคือระบบมีอัตราการเคลือบสูงกว่าเดิม 10 เท่า ในขณะที่สภาวะดิสชาร์จเกิดได้ที่ความดันต่ำประมาณ 10^{-3} ถึง 10^{-2} ทอร์ อันมีผลทำให้ฟิล์มมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นไปปริมาณก๊าซเฉื่อยแทรกตัวในฟิล์มน้อยลง การเพิ่มสนามแม่เหล็กให้กับระบบการเคลือบแบบนี้เรียกว่า แมกนีตรอน สปัตเตอร์ริง (Magnetron Sputtering)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



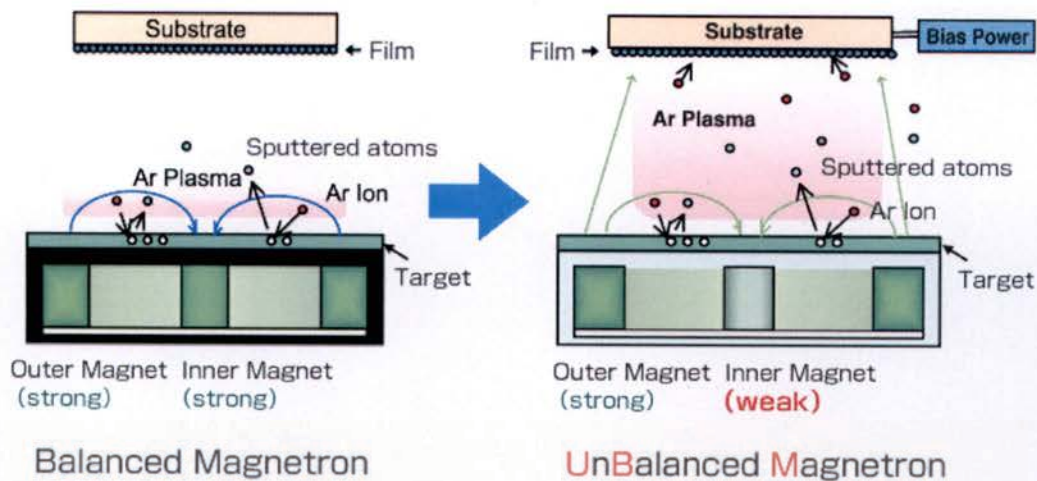
รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก [6]

2.2.3 แมกนีตรอน (Magnetron)

เพื่อให้ไอเล็ตรอนที่หลุดออกจากแคโทดชนกับก๊าซแล้วทำให้เกิดการแตกตัวก่อนที่มันจะไปถึงแอโนดในกระบวนการสปัตเตอริงนั้นจะกำหนดโดยระดับของความดันก๊าซเพื่อทำการรักษาสภาพพลาสมาเอาไว้ โดยที่แม่เหล็กเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการทำงานและพัฒนากระบวนการสปัตเตอริง โดยมีหลักการพื้นฐานคือ แม่เหล็กจะสร้างสนามในแนวขวางเหนือขั้วแคโทดซึ่งจะทำให้การบังคับอิเล็กตรอนให้วิ่งในกรอบวงโคจรเพื่อเพิ่มระยะทางก่อนที่จะหลุดไปยังแอโนด เนื่องจากเส้นทางเดินของอิเล็กตรอนนั้นยาวกว่าระยะของอิเล็กโทรดมาก ระดับของความดันที่ทำการรักษาสภาพพลาสมาจะต่ำกว่าระบบสปัตเตอริงแบบเดิม และอนุภาคที่หลุดออกมาจะรักษาพลังงานจลน์ทั้งหมดไว้เพื่อให้สามารถไปถึงฐานรองรับ ดังนั้นพลังงานนี้จะมีผลต่อโครงสร้างในฟิล์ม และอัตราการปลูกก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการกระเจิงของอะตอมลดลงและประสิทธิภาพของการใช้อิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้น

โดยเมื่อพิจารณาอนุภาคของเป้าสารเคลือบที่มีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า จำเป็นต้องมีพลังงานจลน์ที่เพียงพอในการทำให้เกิดฟิล์มที่ฐานวัสดุรองรับ และสำหรับอนุภาคที่มีประจุสนามแม่เหล็กหรือวัสดุสารที่เป็นแม่เหล็กนั้นจะทำการสปัตเตอริงได้ยากกว่าวิธีการแมกนีตรอนโดยทั่วไป เนื่องจากวัสดุสารดังกล่าวนี้จะดูดซึมและเข้าไปรบกวนสนามแม่เหล็กในแมกนีตรอนซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการปลูกฟิล์มช้า และฟิล์มบางที่ได้ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน [22] ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการใช้เป้าสารเคลือบวัสดุสารแม่เหล็กที่มีความบางมากกว่า และอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้กันคือเทคนิคการวางแม่เหล็กแบบไม่สมดุล (Unbalanced Magnetron Sputtering) [27] ดังรูปที่ 2. 5 โดยที่แม่เหล็กตำแหน่งตรงกลางจะมีความแรงของแม่เหล็กที่มีขนาดเล็กกว่าแม่เหล็กที่วางเป็นวงแหวนรอบนอกเพื่อให้เส้นสนามแม่เหล็กบางส่วนหลุดออกไปยังฐานรองรับ และเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ขนานไปกับสนามแม่เหล็กสนามจะไม่มีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอน ซึ่งทำให้อนุภาคหลุดไปยังฐานรองรับได้ และไอออนบวกจะถูกดึงโดยขั้วไฟฟ้าทั้งสองซึ่งวิธีนี้เป็นารเพิ่มฟลักซ์บริเวณฐานรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

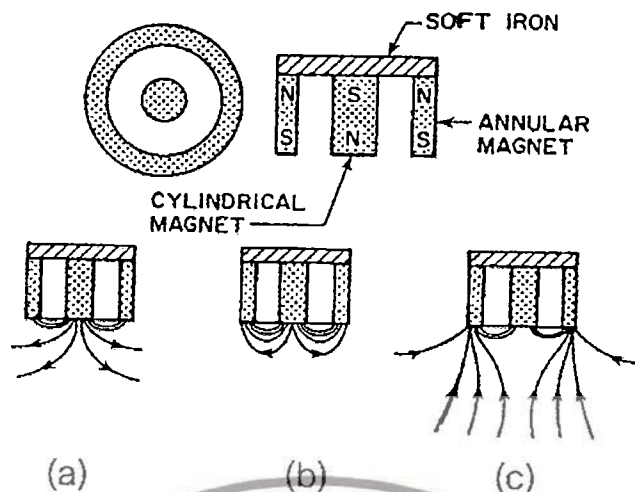


รูปที่ 2.5 รูปแบบการไหลของพลาสมาจากเป้าสารเคลือบไปยังฐานรองรับในระบบแม่เหล็กแบบไม่สมดุล [29]

Window และ Savvides ได้คิดค้นและเผยแพร่ระบบอานาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (Unbalanced Magnetron Sputtering) ครั้งแรกในปี ค.ศ.1986 โดยทั้งสองพบว่า การติดตั้งแม่เหล็กที่คาโทดของระบบสปัตเตอร์ริงปกติ หากทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กด้านใดด้านหนึ่งมากกว่าอีกด้านหนึ่งแล้วสนามแม่เหล็กที่คาโทดจะมีลักษณะไม่สมมาตร ทำให้ปริมาณไอออนที่วิ่งเข้าชนหรือระดมยิงวัสดุรองรับมีปริมาณมากกว่าปกติ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของฟิล์มที่เคลือบได้โดยตรง สำหรับการจัดแม่เหล็กของระบบนี้ อาจแบ่งเป็น 3 แบบ คือ ความเข้มสนามของแม่เหล็กที่ด้านในมากกว่าด้านนอก (รูปที่ 2.6 (a) ; type I) หรือกลับกัน (รูปที่ 2.6 (c) ; type II) หรือใกล้เคียงกัน (รูปที่ 2.6 (b))

ระบบแม่เหล็กนีตรอนสปัตเตอร์ริงปกติ นั้น จะติดตั้งแม่เหล็กไว้ที่คาโทด โดยให้ความเข้มสนามแม่เหล็กมีลักษณะสมมาตร แต่ถ้าสนามแม่เหล็กที่ติดตั้งนี้ มีความเข้มไม่เท่ากัน โดยความเข้มสนามแม่เหล็กส่วนกลางเข้มกว่าด้านนอก หรือกลับกันก็จะทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นไม่สมมาตรที่เรียกว่า ระบบอานาลานซ์แมกนีตรอน สปัตเตอร์ริง อย่างไรก็ตามเส้นแรงแม่เหล็กนี้ก็ยังคงเชื่อมโยงกันตลอด แต่จะมีเส้นแรงแม่เหล็กบางส่วนที่มากกว่าปกติที่ไม่โยงไปหาขั้วใดขั้วหนึ่ง ซึ่งจะแผ่กระจายออกไปรอบคาโทด หากพิจารณาระบบแม่เหล็กนีตรอน สปัตเตอร์ริง พบว่าอิเล็กตรอนจะถูกอำนาจของสนามแม่เหล็กทำให้มีการเคลื่อนที่เป็นทางโค้งอยู่ในสนามแม่เหล็ก โดยอิเล็กตรอนที่ถูกจับนี้จะทำให้เกิดพลาสมาความหนาแน่นสูงบริเวณหน้าเป้าสารเคลือบทำให้มีอัตราเคลือบสูง แต่ก็จะมีอิเล็กตรอนพลังงานสูงบางส่วนซึ่งสามารถจะหลุดจากอำนาจสนามแม่เหล็กนี้ได้ สำหรับระบบอานาลานซ์แมกนีตรอน สปัตเตอร์ริง อิเล็กตรอนพลังงานสูงที่หลุดจากสนามแม่เหล็ก จะถูกยึดไว้ด้วยเส้นแรงแม่เหล็กส่วนเกินของระบบ แล้วเคลื่อนที่เป็นทางโค้งไปตามเส้นแรงแม่เหล็กจากนั้นจะชนกับอะตอมของแก๊สและเกิดการไอออไนซ์เป็นพลาสมาชุดที่สองชั้นบริเวณวัสดุรองรับ ซึ่งมีผลให้ความหนาแน่นกระแสที่วัสดุรองรับมีค่าสูงมากกว่าระบบแม่เหล็กนีตรอน สปัตเตอร์ริง มาก ประมาณ 5-10 mA cm⁻² (ปกติมีค่าน้อยกว่า 1 mA cm⁻²) โดยพลาสมาที่เกิดขึ้นนี้ จะมีส่วนช่วยในการเคลือบที่ เรียกว่า ion-assisted deposition (IAD) ซึ่งจะให้ฟิล์มที่มีความหนาแน่นสูงและมีการยึดติดดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอันนาแลนซ์ แมกนีตรอน สปีดเตอร์ริง [28]

2.2.4 กระบวนการโกลด์ดิสชาร์จ

ในการผลิตอนุภาคที่มีพลังงานสูงนั้น วิธีที่นิยมและใช้กันมาก ได้แก่ กระบวนการ โกลด์ดิสชาร์จ [2] โดยในกระบวนการโกลด์ดิสชาร์จจะเกิดขึ้นโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้ขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว ที่วางห่างกันในทิศทางที่ตรงกันข้ามภายใต้ความดันบรรยากาศต่ำ ($10^{-3} - 10^{-1}$ Torr) เมื่อเริ่มต้นความต่างศักย์ไฟฟ้าน้อย กระแสไฟฟ้าจะเกิดจากอิเล็กตรอนและไอออนบวก ซึ่งได้จากการแตกตัวก๊าซ เนื่องจากเกิดการชนกันเองหรือถูกชนโดยรังสีคอสมิกอิเล็กตรอน จะวิ่งเข้าหาขั้วบวก (Anode) และไอออนบวกจะวิ่งเข้าหาขั้วลบ (Cathode) ซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองแต่กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าต่ำมาก เมื่อทำการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดจนถึงแรงดันพังทลาย (Breakdown voltage) พลังงานของประจุจะถูกเร่งภายใต้สนามไฟฟ้าจนมีค่าสูงขึ้น สามารถชนกับโมเลกุลของก๊าซที่อยู่ในภาชนะสุญญากาศ ทำให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนและไอออนบวก เรียกว่าการไอออไนซ์ของก๊าซ โดยไอออนบวกจะวิ่งเข้าหาขั้วคาโทดที่ติดเป่าสารเคลือบไว้ด้านบน ทำให้อิเล็กตรอนชุดที่สองและอะตอมที่ผิวหน้าของเป่าสารเคลือบถูกชนหลุดออกมาจากเป่าสารเคลือบด้วยการถ่ายเทโมเมนตัม โดยอะตอมของเป่าสารเคลือบที่ถูกชนจะฟุ้งกระจายภายในระบบสุญญากาศ ซึ่งพร้อมที่จะตกลงบนแผ่นรองรับส่วนอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่เข้าสู่ขั้วแอโนดและทำให้เกิดการไอออไนซ์ก๊าซอย่างต่อเนื่อง ทำให้กระแสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณไอออนมากพอที่จะผลิตอิเล็กตรอนได้ในจำนวนคงที่เพื่อรักษาสภาวะโกลด์ดิสชาร์จต่อไป หลังจากการไอออไนซ์ของก๊าซไอออนซึ่งมีมวลมากกว่าอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าทำให้บริเวณขั้วคาโทดมีประจุบวกเกาะกลุ่มกัน (Positive space charge) เกิดขึ้นสูง ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่สู่อโนดอย่างรวดเร็วทำให้สนามไฟฟ้าบริเวณขั้วคาโทดมีค่าสูง ศักย์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ตกคร่อมบริเวณนี้ เมื่อพ้นจากบริเวณคาโทดสนามไฟฟ้าจะมีค่าต่ำลง อิเล็กตรอนหลังการไอออไนซ์หลาย ๆ ครั้งบริเวณใกล้คาโทดจะสูญเสียพลังงานไปมากไม่สามารถเพิ่มพลังงานให้กับตัวเองภายใต้สนามไฟฟ้าที่ต่ำนี้เพื่อให้มีพลังงานสูงเพียงพอที่จะไอออไนซ์ก๊าซครั้งต่อไปได้ จึงเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดโดยระหว่างนี้อาจทำได้เพียงกระตุ้น (Excited) อะตอมของก๊าซเท่านั้น เมื่ออะตอมของก๊าซที่อยู่ใน

ในสภาวะกระตุ้นกลับสู่กราวด์สแตทจะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออก จึงเกิดเป็นสีต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

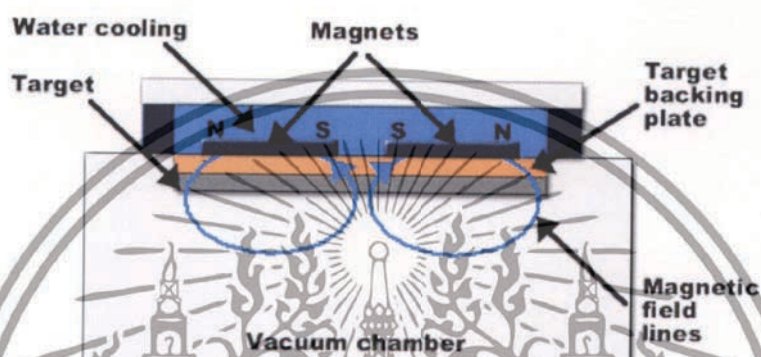
ตามชนิดของก๊าซ เรียกว่าเกิดโกลว์ดิซซาร์จ ส่วนไอออนบวกที่วิ่งเข้าสู่คาโทดจะเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่คาโทดให้เป็นกลางทางไฟฟ้าและกลับจากสภาวะไอออนสู่กราวด์สเตท โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของอะตอมของก๊าซจากสภาวะไอออนสู่กราวด์สเตทนี้มีความถี่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตทำให้เกิดเป็นบริเวณมืด และบริเวณมืดนี้เกิดขึ้นในช่วงระยะปลอดการชนจากผิวคาโทดโดยเป็นระยะปลอดการชนเฉลี่ย (Mean free path) ระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมของก๊าซ โดยระยะของแถบมืดจะเปลี่ยนแปลงไปตามความดันบรรยากาศภายในและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดพบว่าผลคูณระหว่างความดันกับระยะของแถบมืดมีค่าคงที่ เมื่อความดันลดลงแถบมืดจะมีระยะยาวขึ้น ทำให้การผลิตไอออนในระบบมีปริมาณน้อยลง กระแสลดลง ดังนั้นอะตอมที่ถูกสปีดเตอริงจะมีปริมาณลดลงด้วย แต่เมื่อความดันเพิ่มขึ้นแถบมืดจะมีค่าลดลง การผลิตไอออนมีปริมาณสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเพิ่มขึ้นทำให้ขบวนการสปีดเตอริงสูงขึ้นตามความดันก๊าซ ขณะที่ความดันก๊าซในระบบสูงขึ้นระยะปลอดการชนจะมีค่าลดลง อะตอมของสารเคลื่อนที่หลุดออกจากเป้าสารเคลื่อนที่จะถูกส่งผ่านลงเคลื่อนบนแผ่นรองรับได้ยากขึ้น เนื่องจากการชนกันกับโมเลกุลของก๊าซและเคลื่อนที่ย้อนกลับสู่เป้าสารเคลื่อนหรือสูญเสียสปีดเนื่องจากชนอะตอมของก๊าซทำให้ค่าyieldของการสปีดเตอริงมีค่าลดลงเมื่อมีความดันสูงขึ้น ดังนั้นอัตราการผลิตสปีดเตอริงจะขึ้นอยู่กับความดันก๊าซ และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรด แรงดันไฟฟ้าทั้งหลายในขบวนการโกลว์ดิซซาร์จจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปกับระยะทางระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและระยะปลอดการชนระหว่างอิเล็กตรอนชุดที่สองกับโมเลกุลของก๊าซ (ระยะปลอดการชนจะแปรผกผันกับความดันก๊าซ) ถ้าความดันก๊าซต่ำเกินไป หรือระยะทางระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมีค่าน้อยเกินไป อิเล็กตรอนชุดที่สองจะไม่สามารถผลิตไอออนให้มากพอก่อนการชนกับอากาศ ถ้าความดันก๊าซสูงเกินไปหรือระยะทางระหว่างขั้วอิเล็กโทรดมากเกินไป อิเล็กตรอนชุดที่สองจะไม่สามารถเพิ่มพลังงานให้กับตัวเองในสนามไฟฟ้าได้มากพอในการไอออนก๊าซ ดังนั้นทั้งสองกรณีนี้จะต้องใช้แรงดันไฟฟ้าทั้งหลายที่มีค่าค่อนข้างสูง

เนื่องจากการรักษาสภาวะโกลว์ดิซซาร์จขึ้นกับปริมาณของอิเล็กตรอนที่ถูกผลิตขึ้นบริเวณคาโทดจากการชนของไอออนที่ถูกผลิตบริเวณแคโทด โกลว์ จึงพบว่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งแอโนดเพียงเล็กน้อยจะไม่มีผลต่อกระบวนการโกลว์ดิซซาร์จ และเมื่อเลื่อนแอโนดเข้าหาคาโทดจนพ้นช่วงมืดฟาราเดย์และเข้าสู่ในกาที่โกลว์จนเข้าสู่ช่วงคาโทดคาร์คสเปซ ทำให้ปริมาณไอออนที่ถูกผลิตจากอิเล็กตรอนชุดที่สองปริมาณสูงขึ้นซึ่งจะส่งผลถึงปริมาณไอออนที่ถูกผลิตสูงขึ้นด้วย การโกลว์ลักษณะนี้เรียกว่าสองมีปริมาณน้อยลง การรักษาสภาพโกลว์ดิซซาร์จไว้จำเป็นต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นในการเร่งไอออนเข้าชนคาโทดด้วยพลังงานสูง และเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สองปริมาณสูงขึ้นซึ่งจะส่งผลถึงปริมาณไอออนที่ถูกผลิตสูงขึ้นด้วย การโกลว์ลักษณะนี้เรียกว่า Obstructed grow เมื่อเลื่อนแอโนดเข้าใกล้คาโทดต่อมาจนพ้นขอบของคาโทด คาร์คสเปซ ซึ่งมีระยะทางสั้นกว่าระยะทางปลอดการชนของอิเล็กตรอนจะไม่มีการผลิตไอออน และกระบวนการโกลว์ดิซซาร์จสิ้นสุด แม้จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นอีกก็ไม่สามารถคงสภาพโกลว์ดิซซาร์จไว้ได้ และถ้าหากมีสิ่งสกปรกบริเวณคาโทดก็อาจเกิดการอาร์คเกิดขึ้นได้โดยไม่เกิดการโกลว์ดิซซาร์จก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering)

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริงภายใต้ระบบโกลวดิสชาร์จและใช้สนามแม่เหล็กช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสปัตเตอริง โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง และอาเอฟ แมกนีตรอน สปัตเตอริง ซึ่งระบบดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง เป็นการสปัตเตอริงโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง เหมาะสำหรับการสปัตเตอริงเคลือบฟิล์มบางที่เป็นโลหะ และมีอัตราการเคลือบฟิล์มสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนระบบอาเอฟ แมกนีตรอน สปัตเตอริงนั้นสปัตเตอริงโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ เหมาะสำหรับการสปัตเตอริงเคลือบฟิล์มบางที่เป็นสารกึ่งตัวนำหรือฉนวน

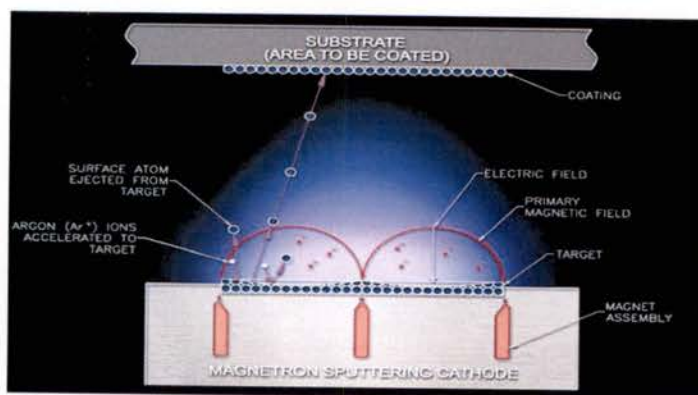


รูปที่ 2.7 ระบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง [8]

ในช่วงต้นของการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริงใช้ระบบดีซีไดโอดสปัตเตอริงซึ่งเป็นแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งมีอัตราการเกิดสปัตเตอริงที่แปรผันตรงกับอัตราสปัตเตอริงและปริมาณไอออนที่วิ่งเข้าชนเป้าสารเคลือบ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณไอออนที่วิ่งชนเป้าสารเคลือบในระบบดีซีไดโอดสปัตเตอริงสามารถทำได้โดยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าและความดันก๊าซ โดยค่าความดันก๊าซที่ต้องใช้ในการทำงานมีค่าที่ค่อนข้างสูง (10^{-2} - 10^{-1} mbar) ทำให้ค่าระยะปลอดภัยของเคลือบมีค่าต่ำกว่า 10 mm เป็นผลให้อะตอมจากเป้าที่หลุดออกมาเกิดการชนกับอะตอมของก๊าซในระบบมาก และค่าอิมพีแดนซ์ของพลาสมามีค่าที่สูง ทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ให้กับระบบจำเป็นต้องมีค่าสูงด้วย (อยู่ในระดับ KV) อัตราการสปัตเตอริงในการเคลือบฟิล์มจึงมีค่าที่ต่ำเมื่อใช้ระบบการสปัตเตอริงแบบนี้

ในการแก้ปัญหานี้จึงมีการใช้สนามแม่เหล็กมาช่วยทำให้ระบบการดีสชาร์จดีขึ้น โดยสนามแม่เหล็กดังกล่าวจะมีผลทำให้อิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่แบบไซโคลอิดในพลาสมาก่อนที่จะเคลื่อนที่ไปถึงขั้วแอโนด ซึ่งเป็นการทำให้เพิ่มระยะเวลาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในพลาสมา ทำให้โอกาสในการที่อิเล็กตรอนจะไปชนและเกิดการไอออไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าระบบที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก และค่าความดันก๊าซที่ใช้จะมีค่าต่ำกว่าความดันก๊าซที่ใช้ในระบบไดโอดดีสชาร์จโดยมีค่าความดันอยู่ในช่วงประมาณ 10^{-2} ถึง 10^{-4} mbar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก [7]

ระบบสปัตเตอริงที่ใช้สนามแม่เหล็กช่วยเพิ่มปริมาณไอออนนั้น ถ้าสนามแม่เหล็กมีทิศทางขนานกับสนามไฟฟ้าจะเรียกว่า สนามตามยาว (Longitudinal field) จะทำให้ประสิทธิภาพการเพิ่มไอออนไม่สูงนัก แต่ก็ไม่ทำให้แนวการเกิดโคจรวัดิสซาร์จเปลี่ยนแปลงไปและยังคงสามารถรักษาความสม่ำเสมอของฟิล์มบางไว้ได้ดี กรณีของสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าเรียกว่า สนามตามขวาง (Transverse field) โดยกระบวนการเพิ่มปริมาณไอออนเกิดขึ้นดังนี้ หลังจากที่ไอออนบวกชนกับเป้าสารเคลือบและเกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สองออกมา อิเล็กตรอนชุดที่สองจะเคลื่อนที่ซึ่งจะทำให้ไอเล็กตรอนออกก็อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กใกล้คาโทด และลอยอยู่ตามแนวผิวหน้าของคาโทด ดังรูปที่ 2.8 ทำให้ไอเล็กตรอนมีโอกาสนชนกับโมเลกุลแก๊สบริเวณผิวหน้าเป้าสารเคลือบมากขึ้นจนเพิ่มปริมาณไอออนสูงมากใกล้ผิวเป้าสารเคลือบ อิเล็กตรอนตัวใดที่ไม่ชนโมเลกุลของแก๊สจะเดินทางเป็นวงโค้งเข้าชนเป้าสารเคลือบและผลิตอิเล็กตรอนชุดที่สองมากขึ้นเป็นผลทำให้ไอออนถูกผลิตในปริมาณสูงมากและเกิดใกล้ผิวคาโทด ทำให้เกิดสเปซชาร์จ (Space charge) จากไอออนบวกสูงที่ผิวคาโทดซึ่งอาจสั้นกว่าระยะปลอดการชนในดีซี สปัตเตอริง ที่ความดันใช้งานมาก แรงเคลื่อนไฟฟ้าเกือบทั้งหมดจะตกคร่อมบริเวณนี้และมีค่าสนามไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณดาร์กสเปซ (Dark space) ในดีซีสปัตเตอริง ขณะไม่มีสนามแม่เหล็กมากทำให้ความต้องการแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรดของระบบแมกนีตรอนสปัตเตอริง ลดลงทั่วไปมีค่าประมาณ 300-800 V ถ้าใช้สนามแม่เหล็กกับแมกนีตรอนทรงกระบอกจะเรียกว่า แมกนีตรอนสปัตเตอริงทรงกระบอก (Cylindrical magnetron sputtering) และถ้าใช้สนามแม่เหล็กกับระบบดีซี สปัตเตอริงที่ใช้เป้าแบบแผ่นราบจะเรียกว่า พลาแนร์แมกนีตรอนสปัตเตอริง (Planar magnetron sputtering)

ประสิทธิภาพการเพิ่มไอออนที่สูงมากในระบบแมกนีตรอนและพลาสมาที่เกิดขึ้นจะเข้มข้นมาก บริเวณเป้าสารเคลือบทำให้อัตราการสปัตเตอริงของระบบนี้มีค่าสูง ขณะที่ความดันในระบบจะมีค่าต่ำ แรงดันไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดมีค่าเกือบคงที่ที่ทุกค่าของอัตราการสปัตเตอริง แมกนีตรอนสปัตเตอริงทรงกระบอกทั่วไปมีอัตราการสปัตเตอริงสูงกว่า $1.0 \mu\text{m}/\text{min}$ และมีอัตราเคลือบสูงกว่า $0.2 \mu\text{m}/\text{min}$ ความหนาแน่นกระแสที่ผิวคาโทด ประมาณ $20.0 \text{ mA}/\text{cm}^2$ แรงดันไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดมีค่าระหว่าง 300-800 V ที่ความดันประมาณ $5 \times 10^{-5} \text{ mbar}$ ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบสูงขึ้นกว่า 10 เท่าตัว นอกจากนี้ยังสามารถขยายสเกลใช้กับระบบสปัตเตอริงขนาดใหญ่ได้ง่ายเมื่อออกแบบใช้งานร่วมกับไดโอดสปัตเตอริง ระบบสามารถเคลือบได้ที่ความดันต่ำถึง 10^{-5} mbar ส่วนข้อเสียของระบบแมกนีตรอนสปัตเตอริง คือแรงดันไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโตรดมีค่าต่ำ จึงมีข้อจำกัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

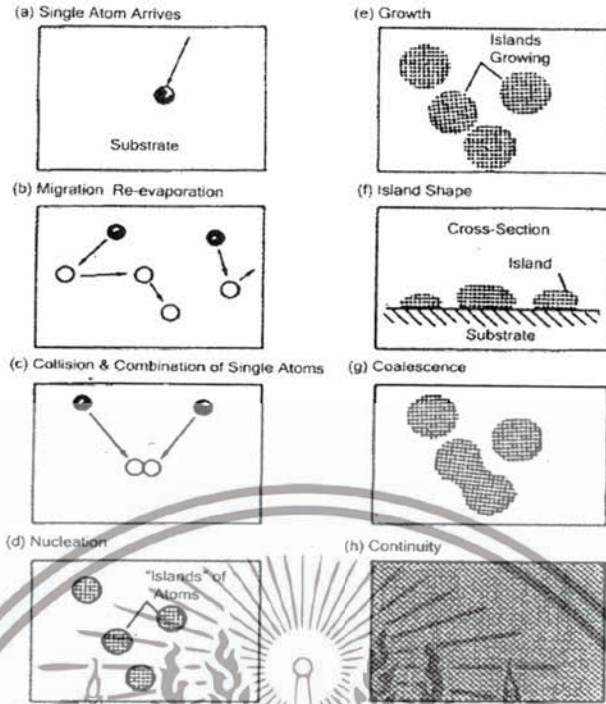
ในการเคลือบวัสดุบางชนิดที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อควบคุมคุณภาพฟิล์มแต่มีข้อได้เปรียบที่ระบบแมกนีตรอนสเปดเตอร์ริงนี้ สามารถควบคุมอิเล็กตรอนส่วนใหญ่ให้อยู่ภายในกรอบสนามแม่เหล็ก จึงมีอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาและวิ่งเข้าสู่วัสดุรองรับปริมาณน้อยจึงลดปัญหาความร้อนบนวัสดุรองรับ เนื่องจากการชนของอิเล็กตรอนลงได้อย่างมาก

2.4 การก่อเกิดฟิล์มบาง

ฟิล์มบาง (Thin film) คือ ชั้นบาง ๆ ของวัสดุที่มีความบางมากอยู่ในระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร ($\text{nm}:10^{-9}\text{ m} - \text{mm}:10^{-6}\text{ m}$) สามารถผลิตได้ความบริสุทธิ์สูงถึง 99.99% ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ด้าน เช่น อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สารกึ่งตัวนำ ฟิล์มตัวนำ และฟิล์มตัวต้านทาน หรืออุปกรณ์ทางแสง เช่น เลนส์กระจกเลเซอร์ กระจกสะท้อนแสง กระจกกรองแสงเฉพาะบางช่วงความถี่ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคการเคลือบฟิล์มบางในการเตรียมสารตัวอย่างที่เป็นฟิล์มบางและมีความเป็นระเบียบสำหรับใช้ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุต่างๆ ในรูปของฟิล์มบาง ซึ่งสมบัติบางประการไม่สามารถวัดได้เมื่ออยู่ในสภาพเป็นก้อน ข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์มากในการพัฒนาวัสดุเพื่อนำเอาไปใช้ในทางอุตสาหกรรมฟิล์มบาง (Thin film)

การเคลือบในสุญญากาศ [9] สารเคลือบที่ตกกระทบผิวแผ่นรองรับส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอะตอมหรือโมเลกุลดังรูปที่ 2.9(a) โดยพลังงานพันธะ (Bonding energy) ระหว่างอะตอมสารเคลือบกับแผ่นรองรับและอณูหุ้มของแผ่นรองรับจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการแพร่ของสารเคลือบบนผิวแผ่นรองรับอะตอมสารเคลือบตกกระทบผิววัสดุในตำแหน่งที่เรียกว่าตำแหน่งการดูดจับ (Absorption site) และเกิดการเกาะติดหรือถ้ามีพลังงานมากพอก็อาจฝ่าเข้าไปยังบริเวณที่อยู่ติดกันหรือหลุดออกจากตำแหน่งนั้นไป ในรูปที่ 2.9(b) อะตอมสารเคลือบอาจถูกชนจากอะตอมที่เข้ามาใหม่หรืออาจเกิดการระเหยกลับและรวมตัวกันระหว่างอะตอมที่มีการแพร่ เมื่ออะตอมรวมตัวกันอาจเกิดเป็นอะตอมคู่ดังรูปที่ 2.9(c) ซึ่งมีความเสถียรมากกว่าอะตอมเดี่ยว ทั้งนี้การรวมตัวกันของอะตอมจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอะตอมเดี่ยวและอัตราการเคลือบ (Deposition rate) อะตอมคู่ที่เกิดขึ้นอาจมีการรวมตัวกับอะตอมเดี่ยวเกิดเป็นสามอะตอม (Triplets) สี่อะตอม (Quadruplets) หรืออื่น ๆ การรวมตัวกันในลักษณะนี้เรียกว่าการเกิดนิวเคลียส ดังในรูปที่ 2.9(d) ซึ่งจะทำให้เกิดกลุ่มอะตอมกึ่งเสถียร (Quasi-stable islands) จากนั้นกลุ่มอะตอมจะเริ่มเติบโตขึ้นจนกลายเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเรียกว่า การโตเป็นกลุ่มก้อน (Islands growth) ดังรูปที่ 2.9(e) และ รูปที่ 2.9(f) กลุ่มอะตอมจะโตขึ้นไปเรื่อย ๆ จนเกิดการแตะและชนกับกลุ่มข้าง ๆ และจะเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของกลุ่มอะตอมซึ่งเรียกว่า การรวมกันของกลุ่มอะตอม (Coalescence) ดังรูปที่ 2.9(g) ขณะที่กลุ่มอะตอมรวมกัน พบว่าอะตอมจะมีพฤติกรรมคล้ายกับของเหลว (Liquid like behavior) ในระหว่างการรวมกันของกลุ่มอะตอมจะมีการจัดเรียงตัวในเชิงผลึกวิทยา (Crystallographic orientation) การรวมกลุ่มของอะตอมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (น้อยกว่า 0.1 วินาที) หลังจากการรวมกันของกลุ่มอะตอมพบว่า พื้นที่ของอะตอมที่รวมกลุ่มกันบนแผ่นรองรับ (Projected area) มีขนาดน้อยลงดังรูปที่ 2.10 แต่ความสูงของกลุ่มอะตอมจะมีค่ามากขึ้นดังรูปที่ 2.11

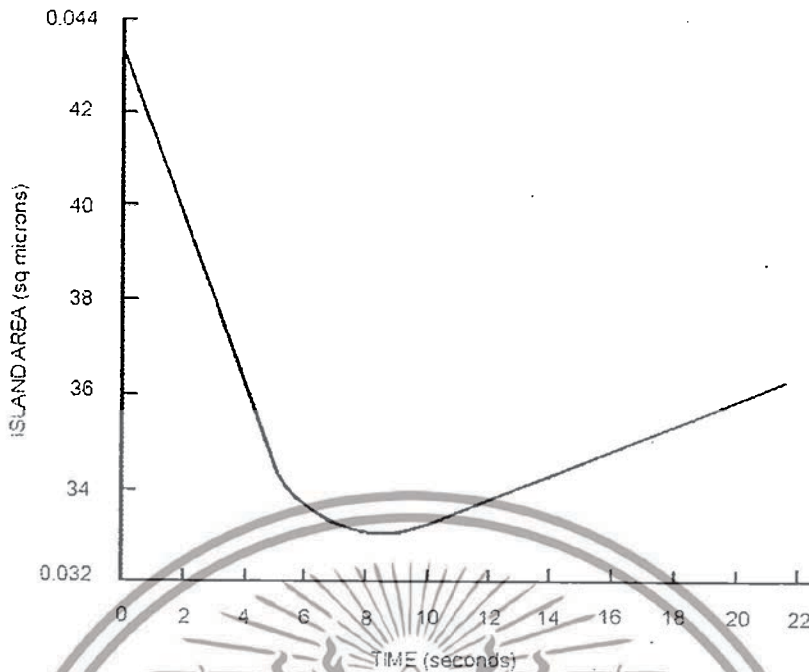
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเกิดฟิล์ม [10]

การรวมกันของกลุ่มอะตอมจะเกิดขึ้นจนกระทั่งฟิล์มเกิดการเชื่อมต่อกันอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.9(h) ในบางกรณีการเชื่อมต่อกันของฟิล์มจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เมื่อฟิล์มมีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 400-500 nm ลักษณะหนึ่งของฟิล์มโดยทั่วไปในขณะเกิดการรวมกลุ่มของอะตอมจะมีลักษณะเป็นหุบเขาและเนินเขา การเกิดฟิล์มในสถานะที่เป็นกลุ่มอะตอม (Island) พบว่าแต่ละกลุ่ม อาจจะเป็นผลึกเดี่ยวหรือมีจำนวนผลึกประกอบกันเพียง 2-3 ผลึก โดยถ้าเคลือบลงบนวัสดุรองรับ ที่เป็นหลายผลึกทิศทางการจัดเรียงตัว (Orientation) ของแต่ละกลุ่มอะตอมจะเป็นแบบสุ่ม จะทำให้ได้ฟิล์มที่มีโครงสร้างเป็นหลายผลึกด้วย แต่ถ้าเคลือบลงบนแผ่นรองรับที่เป็นผลึกเดี่ยว การจัดเรียงตัวของฟิล์มจะเป็นไปตามโครงสร้างของวัสดุรองรับทำให้ได้ฟิล์มที่มีลักษณะเป็นผลึกเดี่ยว เรียกกระบวนการนี้ว่า เอพิแทกซี (Epitaxy) ในขณะเคลือบฟิล์มอะตอมจะมีการเคลื่อนที่เพื่อเลือกไปอยู่ในตำแหน่งที่มีพลังงานต่ำกว่า โดยความสามารถในการเคลื่อนที่จะมีมากขึ้นถ้าอุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุรองรับมีค่าสูงและพบว่าเมื่ออัตราการเคลือบลดลงจะช่วยทำให้การโตของผลึกเกิดได้ดีขึ้น อุณหภูมิของผิววัสดุรองรับที่สูงและอัตราการเคลือบที่ต่ำจะทำให้ฟิล์มเคลือบมีขนาดเกรนใหญ่และมีความบกพร่อง (Defect) ในเกรนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ขณะมีการรวมกันของกลุ่มอะตอมและหลังการรวมกันของกลุ่มอะตอม [2]



รูปที่ 2.11 รูปแบบขณะเกิดการรวมกันของกลุ่มอะตอม [2]

การเคลือบฟิล์มด้วยวิธีสปัตเตอริงนั้น สารเคลือบที่ตกกระทบผิวรองรับส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของอะตอมหรือโมเลกุล และเกิดการฟอร์มตัวจนพอกพูนเป็นชั้นฟิล์มบางขึ้น ในช่วงเวลานั้น การฟอร์มตัวของฟิล์มบางจะมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น พลังงานจลน์ของอะตอมสารเคลือบ พลังงานพันธะระหว่างอะตอมสารเคลือบ (Bonding energy) กับวัสดุแผ่นรองรับและอะตอมสารเคลือบด้วยกัน อุณหภูมิของแผ่นรองรับ (Substrate temperature) และตำแหน่งของอะตอมสารเคลือบที่ตกกระทบ การเกิดและการโตของฟิล์มบาง สามารถแบ่งออกเป็นลำดับขั้นได้ดังนี้

1. อะตอมจากเป้าสารเคลือบที่ถูกชนด้วยไอออนบวกที่มีพลังงานสูง จะหลุดออกและเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ผ่านระบบสุญญากาศ ที่มีอนุภาคของก๊าซ และพลาสมาบรรจุอยู่
2. เมื่ออะตอมตกลงมาที่ผิวแผ่นรองรับ อะตอมที่ตกลงมาจะมีพลังงานที่ได้รับจากการถ่ายเทโมเมนตัมจากการชน ทำให้อะตอมมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของพื้นผิว (Surface mobility) ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยให้อะตอมสามารถเคลื่อนที่ไปบนผิวแผ่นรองรับได้ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมกับการเกิดนิวเคลียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากที่จะอะตอมเคลื่อนที่ไปบนผิวรองรับ อะตอมจะเกิดการรวมตัวเป็นนิวเคลียสได้หลายรูปแบบดังนี้

3.1 เกิดปฏิกิริยากับผิวแผ่นรองรับ โดยอะตอมที่ตกลงมาเกิดพันธะเคมีกับผิวแผ่นรองรับอะตอมต่ออะตอม ถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมกับผิวแผ่นรองรับแข็งแรง การเคลื่อนตัวของอะตอมที่ผิวหน้าจะมีค่าต่ำ ทำให้เกิดเป็นนิวเคลียสและอะตอมอื่นบนผิวจะสามารถเข้ามารวมตัวกับนิวเคลียสที่เกิดขึ้นแล้ว เพื่อลดแรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างฟิล์มเคลือบกับวัสดุแผ่นรองรับ

3.2 ถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมกับวัสดุแผ่นรองรับมีค่าต่ำ อะตอมก็มีค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของพื้นผิวสูง ทำให้สามารถเคลื่อนที่มารวมตัวกัน ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการเกิดนิวเคลียส คือเป็นตำแหน่งที่สามารถสร้างพันธะได้แข็งแรงกว่า โดยตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการเกิดนิวเคลียสนั้นได้แก่ ลักษณะพื้นผิวที่ไม่ต่อเนื่องหรือรอยขีด ความบกพร่องของระนาบบนผิวแผ่นรองรับ อะตอมแปลกลอบบนผิวแผ่นรองรับ บริเวณที่มีประจุบนผิวแผ่นรองรับที่เป็นฉนวน พื้นผิวที่มีความแตกต่างทางเคมีหรือเรียงตัวของผลึกที่แตกต่างออกไป เป็นต้น

3.3 เกิดนิวเคลียสจากการที่อะตอมเคลื่อนที่ไปชนกับอนุภาคอื่นที่เคลื่อนที่และอยู่บนผิวแผ่นรองรับ และฟอร์มตัวกันเป็นนิวเคลียสที่เสถียร เมื่ออะตอมเกิดการรวมตัวกันเป็นนิวเคลียสแล้ว ถ้าทำการเคลือบต่อไปก็จะมีจำนวนนิวเคลียสต่อพื้นที่ หรือความหนาแน่นของนิวเคลียสมากขึ้น ซึ่งนิวเคลียสจะเริ่มเชื่อมต่อกันเป็นฟิล์ม และครอบคลุมพื้นที่ผิวทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ความหนาแน่นของนิวเคลียสจะขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวของวัสดุแผ่นรองรับ หรือลักษณะการเรียงตัวของผลึกของผิววัสดุแผ่นรองรับสามารถเพิ่มความหนาแน่นของนิวเคลียสที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิเคลือบ เพิ่มอัตราการเคลื่อน เปลี่ยนแปลงส่วนผสมทางเคมีของผิว เพิ่มการชนเพื่อเพิ่มความบกพร่องในระนาบหรือเพื่อให้ผิวแผ่นรองรับขรุขระ เป็นต้น

4. กลไกการโตของนิวเคลียสแบ่งออกเป็น 3 ประเภท โดยแยกตามความแตกต่างของการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมสารเคลือบและวัสดุแผ่นรองรับ

4.1 กลไกการเกิดการโตแบบชั้นต่อชั้น

4.2 กลไกการเกิดนิวเคลียสแบบ 3 มิติ (Three Dimension Volmer-Weber) เกิดขึ้นเนื่องจากค่าพลังงานพื้นผิว (Surface energy) ของชิ้นงานกับวัสดุเคลือบแตกต่างกันและโตขึ้นทุกทิศทาง

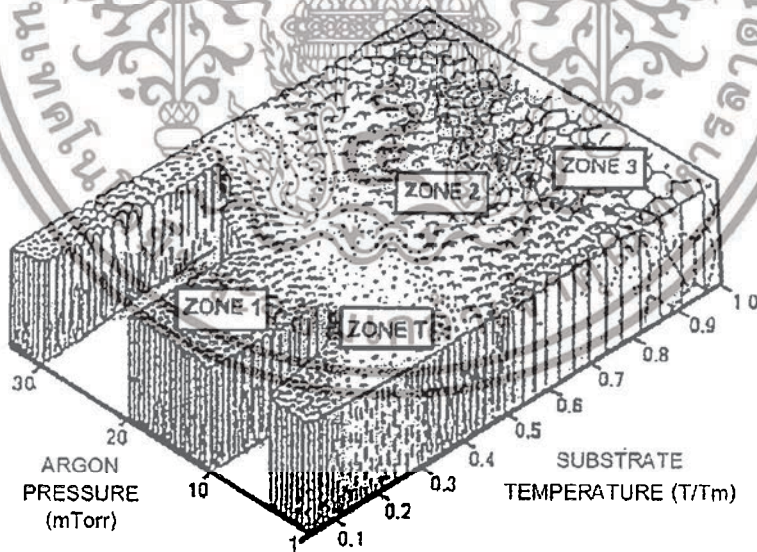
4.3 กลไกการเกิดนิวเคลียส โดยการฟอร์มตัวกันระหว่างชั้นของแผ่นรองรับกับวัสดุเคลือบส่วนใหญ่มักเกิดกับการเคลือบฟิล์มโลหะบนแผ่นรองรับโลหะ ที่อุณหภูมิต่ำ ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของพื้นผิวก็ต่ำด้วย ในเงื่อนไขการโตของนิวเคลียสจะขึ้นอยู่กับเทอร์โมไดนามิก กับพลังงานพื้นผิวของผิวงานนั้น พิจารณาการเกิดนิวเคลียสแบบ 3 มิติ พบว่าเมื่อเกิดการสะสมของอะตอมที่แพร่ไปบนผิวแผ่นรองรับ และเริ่มเกาะตัวกันเป็นนิวเคลียส การโตของนิวเคลียสในแนวอนจะมีแรงยึดเหนี่ยวทางพันธะเคมีกับผิว ที่เรียกว่าการเติบโตแบบเวตติง (Wetting growth) เช่น ทองบนคาร์บอน อลูมินา ซิลิกอนออกไซด์และโพลีเมอร์ การโตและการรวมตัวกันของนิวเคลียสสามารถลดช่องว่างระหว่างรอยต่อหรือความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างที่รอยต่อของแผ่นรองรับได้ เพราะเกิดแรงยึดเหนี่ยวทางพันธะเคมีระหว่างนิวเคลียสและวัสดุที่เป็นแผ่นรองรับ

4.4 กรณีที่มีแรงยึดเหนี่ยวทางพันธะเคมีเล็กน้อยระหว่างวัสดุแผ่นรองรับกับนิวเคลียส จะเกิดการโตอีกแบบต่างหากที่เรียกว่า ลำดับขั้นการโตของเกรนแบบ การเกาะตัวช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคบ-ต่อเนื่อง (Island-Channel-Continuous Film) ก่อนจะรวมตัวกันนิวเคลียสจะมีพฤติกรรมคล้ายของเหลว คือสามารถหมุนและจัดเรียงโครงสร้างได้เอง การเกาะตัวกันเป็นกลุ่มของนิวเคลียสเกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิของนิวเคลียสมีค่าสูงพอที่จะเกิดการแพร่ของอะตอมและการจัดเรียงตัวเป็นนิวเคลียส แบบบอลอัพ (Ball Up) ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยที่สุด ถ้ามีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมเคลือบกับผิวแผ่นรองรับสูงจะมีอัตราการแพร่ต่ำหรือเกิดการฟอร์มตัวเป็นสารประกอบที่แผ่นรองรับ โดยโครงสร้างของฟิล์มบางจะเป็นไปตามเงื่อนไขของอุณหภูมิเคลือบต่ออุณหภูมิหลอมเหลว (T/T_m) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพ ดังรูปที่ 2.12

บริเวณ 1 (Zone 1) เป็นการเคลือบที่เกิดในช่วงอุณหภูมิต่ำและความดันก๊าซขณะเคลือบมีค่าสูง อะตอมที่อยู่บนผิววัสดุแผ่นรองรับจะมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ต่ำ ทำให้เกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ กระจุกกระจาย และเกิดเป็นโครงสร้างผลึกที่มีลักษณะเรียวยาวแหลมแบบผลึกเรียวยาว (Tapers crystallites) จากนิวเคลียสที่มีปริมาณจำกัดทำให้เกิดความหนาแน่นของโครงสร้างต่ำมีช่องว่างขนาดใหญ่ ความกว้างในระดับร้อย อังสตรอม ที่ T/T_m เท่ากับ 0 - 0.1 ที่ความดัน 1 mTorr ถ้าความดันก๊าซสูง บริเวณนี้จะขยายกว้างสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นและทำให้ขนาดของผลึกเพิ่มขึ้น ถ้า T/T_m เพิ่มขึ้นเนื่องจากที่ความดันสูงความหนาแน่นของก๊าซในภาชนะสุญญากาศ มีมากขึ้นอนุภาคจะเคลื่อนที่ตกลงมาได้ยากขึ้นทำให้อนุภาคของผิวเคลือบตกลงมาได้น้อยและขณะที่ตกลงมาตัวกับอนุภาคอื่นทำให้อนุภาคที่ตกลงมามีขนาดใหญ่และมีเวลานานขึ้นในกรณีเคลื่อนที่เพื่อฟอร์มตัวเป็นนิวเคลียส จึงทำให้ช่องว่างระหว่างเกรน มีขนาดใหญ่เกิดขึ้น ผิวเคลือบที่ขรุขระมักจะเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของการโตของนิวเคลียส โดยอุณหภูมิที่มีผลต่อการโตของฟิล์มมักจะมาจากการระดมยิงของไอออน (ion bombardment) เป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของการเกิดฟิล์มในรูปแบบต่างๆ [11]

บริเวณ T (Zone T) เป็นบริเวณต้นแบบสำหรับการเคลือบฟิล์มด้วยระบบสปัตเตอริงโดยที่ T/T_m อยู่ในช่วง 0.1 - 0.5 ที่ความดันก๊าซระหว่างเคลือบ 1 mTorr เกิดอยู่ในช่วงระหว่างบริเวณ 1 และบริเวณ 2 อะตอมที่อยู่บนผิววัสดุแผ่นรองรับจะมีปริมาณมากขึ้นและได้รับพลังงานการชนอนุภาคของแผ่นรองรับจะเพิ่มขึ้นใช้ ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของผิวหน้าก็เพิ่มขึ้นและแม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างในบริเวณ 1 ก็เข้าสู่บริเวณ T ซึ่งจะเริ่มมีเกรนยาว (Fibrous grain) เติบโตพื้นที่และขอบเกรนมีความหนาแน่นสูงขึ้นมา จึงมีการแพร่ของอะตอมผ่านขอบเกรนที่ไม่แข็งแรงนั้นเข้าเป็นเนื้อเดียวกันจนกลายเป็นคอลัมน์ (Columnar) ต่อไป โดยปราศจากช่องว่างบริเวณที่ขอบ

บริเวณ 2 (Zone 2) ที่บริเวณ 2 จะมีค่า T/T_m อยู่ระหว่าง 0.5 - 0.8 ที่ความดันก๊าซระหว่างเคลือบ 1 mTorr จะเกิดการแพร่ที่รอยต่อระหว่างขอบเกรน จนเกิดเป็นโครงสร้างคอลัมน์ที่เกิดจากการอยู่กันอย่างหนาแน่นของผลึกทั้งหลาย ขนาดของเกรนและความหนาของฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิจนถึงการเคลือบและอัตราการเคลือบเพิ่ม (มีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของพื้นผิวของอะตอม) และขนาดของคอลัมน์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องจากการแพร่ที่บริเวณรอยต่อระหว่างขอบคอลัมน์

บริเวณ 3 (zone 3) บริเวณนี้อุณหภูมิสูงสุด T/T_m อยู่ระหว่าง 0.8 - 1.0 ที่ความดันก๊าซระหว่างเคลือบ 1 mTorr การแพร่จะมีค่าสูงและส่งผลต่อโครงสร้างสุดท้าย โครงสร้างที่ได้จะเป็นเกรนที่มีด้านเท่ากันหมด ขนาดของคอลัมน์จะมีขนาดใหญ่และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) เนื่องมาจากพลังงานสะสมของความเครียด (Stored strain energy) ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ตอนเคลือบเกรนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนจากคอลัมน์เป็นผลึกเดี่ยว

2.5 สมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุ

สมบัติทางแม่เหล็กของแต่ละวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างอะตอม ลักษณะการจับตัวและการเรียงตัวของอะตอมในแต่ละธาตุ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัสดุ [15] สามารถแยกสารและวัสดุออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามสมบัติทางแม่เหล็กดังแสดงในกราฟดังรูปที่ 2.14 ได้ดังนี้

- กลุ่มไดอะแมกเนติก (Diamagnetic) นั้น คือ วัสดุที่สามารถแสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก (Magnetic susceptibility) ในเชิงลบเล็กน้อยเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก
- กลุ่มพาราแมกเนติก (Paramagnetic) หมายถึงวัสดุที่สามารถแสดงค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในเชิงบวกเล็กน้อย เมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก
- กลุ่มเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) คือวัสดุที่สามารถรักษาสภาพแม่เหล็กให้คงอยู่ได้แม้จะไม่อยู่ในสนามแม่เหล็กหรือทำให้หมดสภาพแม่เหล็กไปได้เมื่อต้องการ ดังนั้นจึงทำให้ทำให้วัสดุกลุ่มนี้มีความสำคัญมากต่องานทางด้านวิศวกรรม

การอธิบายสมบัติทางแม่เหล็กของสารนั้น จำเป็นต้องอาศัยกลศาสตร์ควอนตัม เนื่องจากสารที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กนั้นเป็นผลเกิดเนื่องมาจากการสปินภายนอก (โมเมนตัมเชิงมุม : Angular momentum) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสของอิเล็กตรอน) และสปินภายใน ที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน โดยที่อิเล็กตรอนจะมีการสปินเป็นเพียงขึ้นหรือลงเท่านั้น จึงให้อิเล็กตรอนที่ได้มีสมบัติเป็นขั้วแม่เหล็กคู่ (Magnetic dipole moment) ขนาดเล็ก โดยสารที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กนั้น เกิดจากการที่อะตอมของสาร มีจำนวนอิเล็กตรอนที่มีสปินขึ้น ไม่เท่ากับอิเล็กตรอนที่มีสปินลง ทำให้เกิดค่าโมเมนตัมเชิงมุม หรือโมเมนต์แม่เหล็กที่มีค่าไม่เป็นศูนย์ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เฉพาะในกรณีที่อะตอมมีจำนวนอิเล็กตรอนอยู่ไม่เต็มชั้นพลังงานย่อยเท่านั้น โดยบริเวณของกลุ่มอะตอม ที่มีโมเมนต์แม่เหล็กหัน ไปในทิศทางเดียวกัน เรียกว่าโดเมนแม่เหล็ก (Magnetic domain) ซึ่งสารที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กจะประกอบด้วยโดเมนแม่เหล็กหลาย ๆ โดเมนด้วยกัน อย่างไรก็ตามไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สสารและวัสดุต่าง ๆ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนนั้นจะมีสมบัติทางแม่เหล็กที่แตกต่างออกไปจากวัสดุขนาดใหญ่ ซึ่งสมบัติใหม่ ๆ เหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อการพัฒนาความรู้และเทคโนโลยีสาขาต่าง ๆ เช่น เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ การพัฒนาในเรื่องของหน่วยความจำแบบฮาร์ดดิสก์ โดยที่หน่วยความจำแบบฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในปัจจุบันนั้น มีพื้นฐานอยู่ในรูปสภาวะทางแม่เหล็ก โดยข้อมูลจะถูกจัดเก็บในลักษณะของขั้วแม่เหล็กบนดิสก์ ข้อมูลจะถูกบันทึก หรืออ่านโดยใช้หัวอ่านพิเศษ โดยอาศัยปรากฏการณ์จีโอแอนต์แมกเนโตรซิสแตนซ์ (Giant Magnetoresistance) ซึ่งจะมีอิทธิพลทำให้สนามแม่เหล็กที่ได้มีผลต่อความต้านทานไฟฟ้าโดยกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหัวอ่านจะแปรผันไปตามขั้วแม่เหล็กบนแผ่นดิสก์ อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะสามารถเพิ่มความจุของหน่วยความจำให้มากขึ้นได้โดยการลดขนาดของอนุภาคแม่เหล็กนาโนเหล่านี้ให้เล็กลงไปเรื่อยๆ แต่วิธีการนี้ก็มีข้อจำกัดที่เรียกว่า “ขีดจำกัดซูเปอร์พาราแมกเนติก (Superparamagnetic limit)” ซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคนาโนนั้นมีสภาวะทางแม่เหล็กที่ไม่มั่นคงเพราะสามารถถูกแทรกแซงด้วยพลังงานความร้อนทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้

แต่ในปัจจุบัน บริษัทไอบีเอ็ม ได้พัฒนา “พิ๊กซี่ดัสต์ (Pixie dust)” ซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นบางที่มีความหนาเพียงแค่ระดับรูทีเนียม (Ruthenium, Ru) หรือมีขนาดประมาณ 3 อะตอม คั่นอยู่ระหว่างชั้นสารแม่เหล็กสองชั้น และทำงานได้โดยอาศัยสภาวะแม่เหล็กแอนติเฟอร์โร (Antiferromagnetism) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



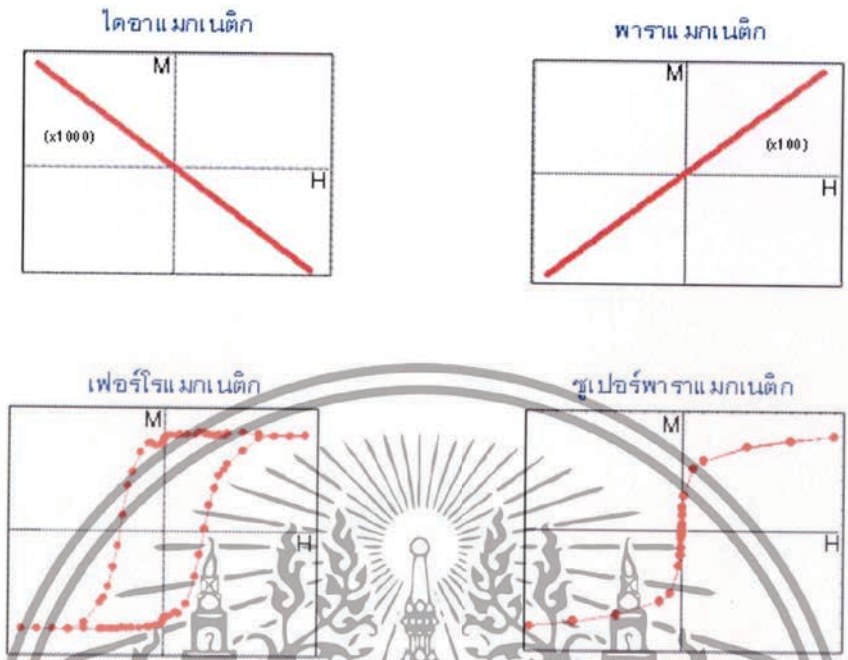
รูปที่ 2.13 ภาพแสดงการทำงานของหน่วยเก็บความจำทั่วไป (ซ้าย) เปรียบเทียบกับหน่วยเก็บความจำที่ใช้วัสดุตัวกลางแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นโดยบริษัทไอบีเอ็ม (ขวา)

ซึ่งโดยปกติแล้ว วัสดุเฟอร์โรแมกเนติกจะประกอบไปด้วยโดเมนแม่เหล็กหลายโดเมน โดยที่แต่ละโดเมนถูกคั่นด้วยกำแพงโดเมน (Domain wall) แต่เมื่อวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกมีขนาดเล็กลงจนถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่ง จะทำให้พลังงานของกำแพงโดเมนมีค่าไม่มั่นคง ซึ่งจะส่งผลทำให้อนุภาคเฟอร์โรแมกเนติก ทั้งอนุภาคกลายเป็นเหมือนกับโดเมนแม่เหล็กเดี่ยว (Single magnetic domain) ซึ่งจะทำให้เกิดสมบัติทางแม่เหล็กแบบใหม่ขึ้นมา นั่นคือ “ปรากฏการณ์ซูเปอร์พาราแมกเนติก (Superparamagnetic phenomenon)” ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.14 โดยอนุภาคที่มีสมบัติซูเปอร์พาราแมกเนติก (Superparamagnetic particles) จะมีสมบัติแม่เหล็ก ที่ไม่มั่นคงอันเนื่องมาการแปรปรวนของอุณหภูมิ โดยอนุภาคเหล่านี้ จะไม่แสดงสมบัติแม่เหล็ก เมื่อไม่ได้รับสนามแม่เหล็กภายนอก อนุภาคซูเปอร์พาราแมกเนติก สามารถนำไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น สามารถนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนที่ผิดกฎหมาย หากพบการละเมิดลิขสิทธิ์หรือการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต กรุณาแจ้งไปยังสำนักงานลิขสิทธิ์หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทันที

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

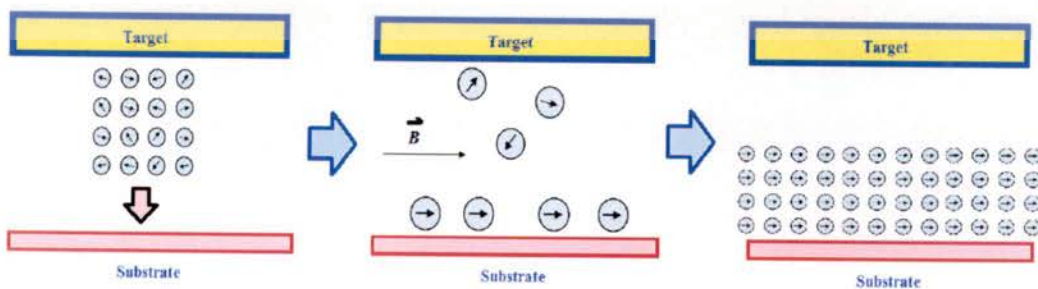
ประดิษฐ์เครื่อง Magnetic Resonance Imaging (MRI) เพื่อศึกษาถึงลักษณะกายภาพในร่างกายมนุษย์เป็นต้น



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Magnetization (M) กับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ของวัสดุต่างๆ

2.5.1 กลไกการเกิดสมบัติความเป็นแม่เหล็กในฟิล์มบาง

การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างการเคลือบฟิล์มบางนั้นสามารถปรับปรุงสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบางที่ได้ โดยมีกลไกในการเกิดซึ่งสามารถอธิบายอย่างเป็นขั้นตอนได้ ดังรูปที่ 2.15 โดยเมื่ออะตอมของเป้า CoFeB โดนชนโดยไอออนบวกของ Ar และหลุดออกมาจากเป้าทิศทาง หรือโมเมนต์แม่เหล็กในอะตอมนั้นจะเป็นทิศทางแบบสุ่มที่ไม่เป็นระเบียบซึ่งเมื่อได้รับการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างการเคลือบอะตอมที่ลงไปฝังตัวบนวัสดุรองรับเพื่อก่อให้เกิดเป็นฟิล์มบางนั้นจะมีโมเมนต์แม่เหล็กที่มีการจัดเรียงทิศทางใหม่ไปในทิศเดียวกันอย่างเป็นระเบียบ

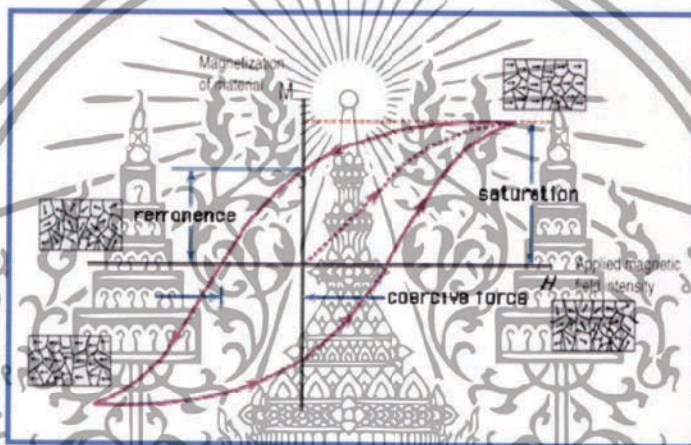


รูปที่ 2.15 กลไกการเกิดสมบัติความเป็นแม่เหล็กในขณะเคลือบฟิล์มบางภายใต้การใส่สนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ฮิสเทอรีซิสลูป (Hysteresis loop)

รูปที่ 2.16 แสดง Hysteresis loop ของวัสดุแม่เหล็ก โดยเริ่มต้นจากการให้สนามแม่เหล็กกับวัสดุที่ไม่มีสภาพความเป็นแม่เหล็ก (Unmagnetized) จนเกิดการอิ่มตัว (Saturation) โดยเรียกจุดนี้ว่าค่าสถานะแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation Magnetization: M_s) จากนั้นเมื่อทำการลดค่าสนามแม่เหล็ก (H) ลงค่าความเป็นแม่เหล็ก (M) จะค่อยๆ ลดลงด้วย แต่เมื่อค่า H เป็นศูนย์จะยังคงมีค่า M หลงเหลืออยู่ เราเรียกค่า M ที่เหลือนี้ว่าค่าแม่เหล็กคงค้างหรือ Remanence Magnetization (M_r) และเมื่อเปลี่ยนให้ H ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางในตอนแรก ค่า M จะค่อย ๆ ลดลงจากค่า M_r จนในที่สุดกลายเป็นศูนย์ เราเรียกค่า H ที่ทำให้ค่า M กลายเป็นศูนย์นี้ว่าค่าลบล้างความเป็นแม่เหล็ก หรือ Coercivity (H_c) และเมื่อยังเพิ่มค่า H ต่อไป ในที่สุดจะเกิด M_s อีกครั้งหนึ่งในทิศทางตรงกันข้าม หลังจากนั้นถ้าทำเกิดลด H จนถึงศูนย์อีกครั้งก็จะเกิดเป็น M_r อีกครั้งหนึ่งในทิศทางตรงกันข้ามเกิดวนเป็นลูปอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ



รูปที่ 2.16 ฮิสเทอรีซิสลูป (Hysteresis loop)

2.5.3 วัสดุแม่เหล็กถาวรและวัสดุแม่เหล็กอย่างอ่อน

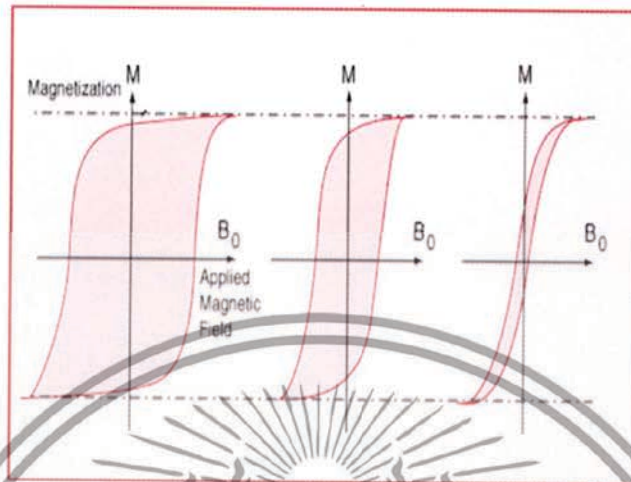
จากรูป Hysteresis loop พื้นที่ของลูปแสดงถึงพลังงานที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของแมกนีไทเซชัน หรือที่เรียกว่าการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็ก (Hysteresis Loss) วัสดุแม่เหล็กที่มีพื้นที่ของลูปมากแสดงว่าเปลี่ยนทิศทางของแมกนีไทเซชันได้ยาก เราเรียกวัสดุประเภทนี้ว่าวัสดุแม่เหล็กถาวร (Hard magnetic material) ในทางตรงกันข้ามวัสดุแม่เหล็กที่มีพื้นที่ของลูปน้อยแสดงว่าเปลี่ยนทิศทางของแมกนีไทเซชันได้ง่าย เราเรียกวัสดุประเภทนี้ว่า วัสดุแม่เหล็กอย่างอ่อน (Soft magnetic material) ดังแสดงในรูปที่ 2.17

นอกจากค่าการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็กที่สูงแล้ว วัสดุแม่เหล็กถาวรจะมีค่า M_r , H_c และ M_s สูงด้วย แต่มีค่าของความซึมซาบแม่เหล็ก (Initial permeability) ต่ำ วัสดุแม่เหล็กประเภทนี้เหมาะกับการใช้งานเป็นหัวแม่เหล็กถาวร อุปกรณ์บันทึกข้อมูลหรืออุปกรณ์ความจำต่าง ๆ (Magnetic recording and Memory device) เป็นต้น ยกตัวอย่าง วัสดุแม่เหล็กถาวร เช่น Tungsten steel, Cunife, Sintered alnico 8 และ Sintered neodymium-iron boron เป็นต้น

วัสดุแม่เหล็กอย่างอ่อนจะมีค่าของความซึมซาบแม่เหล็กสูง แต่มีค่า H_c ต่ำ สามารถเปลี่ยน

ทิศทางของแมกนีไทเซชันได้ง่าย จึงเหมาะกับการใช้งานเป็นแกนของหม้อแปลงหรือมอเตอร์
 เอกสารที่อ้างถึงข้างต้นนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับเอกสารค่า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Transformer and Motor cores) เพื่อลดปัญหาการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของกระแสไฟฟ้า ตัวอย่าง วัสดุแม่เหล็กอย่างอ่อนเช่น Commercial iron ingot, Silicon-iron, 45 Permalloy, Supermalloy และ Ferroxcube เป็นต้น



รูปที่ 2.17 ประเภทของวัสดุแม่เหล็กแบบต่าง ๆ

2.6 ปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแทนซ์

เป็นที่ทราบกันดีว่าความร้อนสามารถทำให้สมบัติทางกายภาพรวมทั้งความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้สนามแม่เหล็กก็สามารถทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ เช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุประเภทโลหะตัวนำในสนามแม่เหล็กเป็นที่รู้จักกันมานานกว่า 150 ปี เมื่อมีการค้นพบปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแทนซ์ (Magnetoresistance Effect) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า ปรากฏการณ์ MR ซึ่งการพบครั้งแรกเป็นการเพิ่มขึ้นของความต้านทานไฟฟ้าในโลหะตัวนำเมื่อวางในสนามแม่เหล็ก และต่อมาได้มีการค้นพบปรากฏการณ์ MR ชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งขนาดของปรากฏการณ์ MR คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

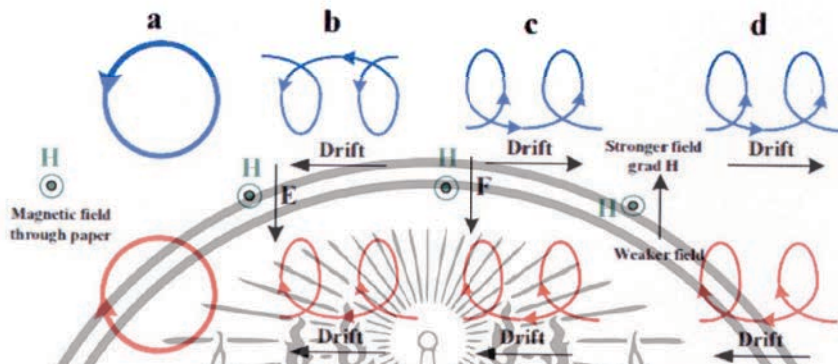
$$\%MR = \frac{R(H) - R(0)}{R(0)} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ $R(0)$ คือ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็ก หรือ สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ และ $R(H)$ คือ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุภายใต้สนามแม่เหล็ก

2.6.1 ชนิดของปรากฏการณ์ MR

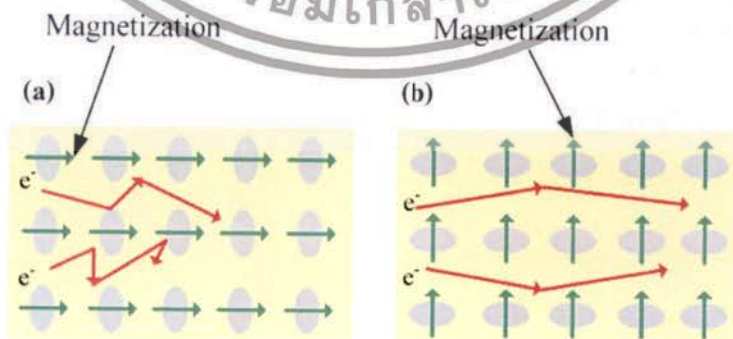
ปรากฏการณ์ MR แต่ละชนิดพบในวัสดุที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าในแม่เหล็กนั้นขึ้นอยู่กับชนิดหรือโครงสร้างในวัสดุ และกลไกในการเกิดปรากฏการณ์ MR แต่ละชนิดก็แตกต่างกัน ซึ่งเราสามารถแบ่งชนิดของปรากฏการณ์ MR ตามกลไกการเกิดได้ 5 ชนิด ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปรากฏการณ์ OMR (Ordinary MR) เกิดจากแรงลอเรนซ์ของสนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอน ทำให้มีเส้นทางการเคลื่อนที่เปลี่ยนไป การลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กแบบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.18 นั่นคือ เมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะมีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนที่มากขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการชนในโครงผลึกที่มากขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานของวัสดุตัวนำเพิ่มขึ้น โดยปรากฏการณ์นี้จะเกิดในวัสดุตัวนำ กึ่งตัวนำและวัสดุที่มีสารตัวนำเป็นองค์ประกอบ และเปอร์เซ็นต์ของการเกิดปรากฏการณ์ OMR นี้มีค่าไม่มากนัก



รูปที่ 2.18 เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก [1]

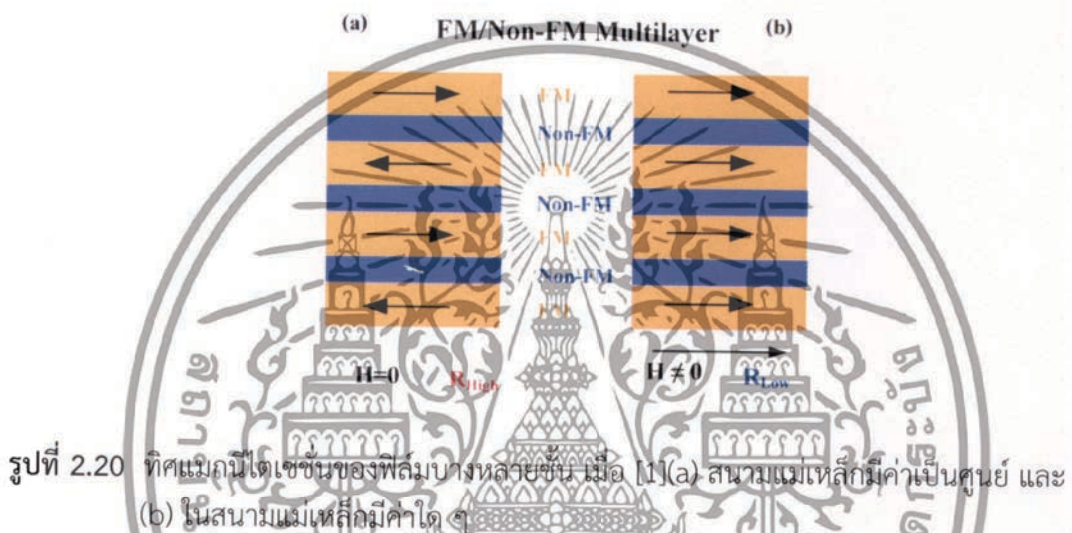
2. ปรากฏการณ์ AMR (Anisotropic MR) ขนาดของปรากฏการณ์ MR ชนิดนี้จะขึ้นกับมุมระหว่างกระแสไฟฟ้าและทิศทางการแม่เหล็ก (Magnetization) ของวัสดุ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างสปินและออร์บิต (Spin-orbit interaction) ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก ทำให้อัตราการกระเจิงของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไป กลไกการเกิดปรากฏการณ์ AMR สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.14 เมื่อทิศทางการแม่เหล็กนี้โตเซชันขนานกับทิศกระแสไฟฟ้า (ดังรูป 2.19(a)) จะเกิดการกระเจิงมากขึ้น ทำให้ความต้องการของระบบมีค่ามากขึ้นและเมื่อทิศทางการแม่เหล็กนี้โตเซชันตั้งฉากกับทิศกระแสไฟฟ้า ทำให้ความต้านทานของวัสดุแม่เหล็กเฟอร์โรมีค่าลดลง เนื่องจากการเกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอนน้อยลง (ดังรูป 2.19(b))



รูป 2.19 การกระเจิงของอิเล็กตรอน ในวัสดุแม่เหล็กเฟอร์โร เมื่อ [1] (a) แมกนีโตเซชันขนานกับทิศของกระแส และ (b) แมกนีโตเซชันตั้งฉากกับทิศของกระแส

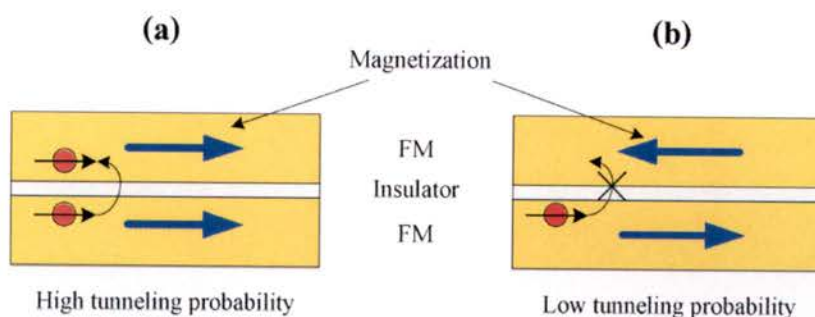
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปรากฏการณ์ GMR (Giant MR) ในฟิล์มบางหลายชั้นที่มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร (FM) ที่สลับด้วยแม่พิมพ์โลหะที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก (Non-FM) ฟิล์มบางหลายชั้นเมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก ทิศทางการแมกนีโตเซชันของชั้น FM แต่ละชั้นจะมีทิศสวนทางกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.20(a) และเมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกกับฟิล์มบางหลายชั้น ดังรูปที่ 2.20(b) ทิศทางแมกนีโตเซชันของชั้น FM จะจัดเรียงกันไปในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางหลายชั้นลดลง การลดลงของความต้านทานไฟฟ้าในปรากฏการณ์ GMR เกิดจากการกระเจิงของอิเล็กตรอนที่แตกกันของสปินอัพ (Spin up) และสปินดาวน์ (Spin down) หรือเรียกว่า การกระเจิงที่ขึ้นกับสปิน (Spin dependent scattering) โดยความต้านทานไฟฟ้าที่วัดลดลงได้มากถึง 80% ในสนามแม่เหล็ก



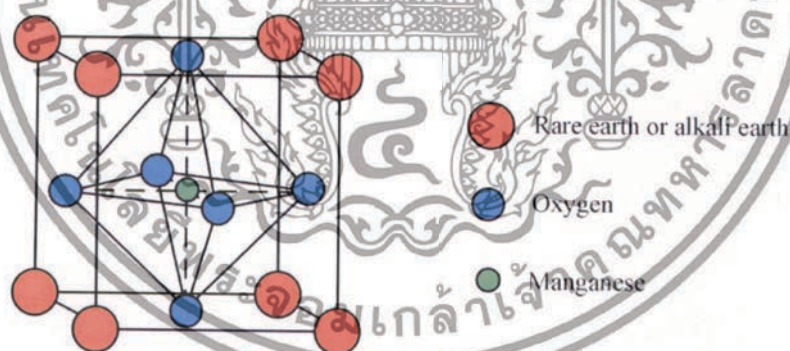
4. ปรากฏการณ์ TMR (Tunnel MR) ถูกพบในวัสดุที่มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นของวัสดุที่เป็นฉนวน (Insulator) บาง ๆ ประมาณ 1 นาโนเมตร แทรกระหว่างชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าในปรากฏการณ์ TMR มีขนาดสูงถึง 100% การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ TMR เกิดจากการทันเนลผ่านที่ขึ้นกับสปิน (Spin-dependent tunneling) ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นในการทันเนลผ่านชั้นฉนวนของอิเล็กตรอนสปินอัพและสปินดาวน์ที่มีค่าแตกต่างกัน สามารถแสดงไดอะแกรมการเกิดปรากฏการณ์ TMR ได้ดังรูปที่ 2.16 โดยความน่าจะเป็นของการทันเนลผ่านฉนวนของอิเล็กตรอน จะขึ้นกับทิศแมกนีโตเซชันของชั้น FM นั่นคือ อิเล็กตรอนจะสามารถทันเนลผ่านชั้น FM หนึ่งไปยังชั้น FM อีกชั้นหนึ่งได้ง่าย เมื่อชั้น FM ที่อยู่ถัดไปมีทิศแมกนีโตเซชันเดียวกันกับชั้นแรกแสดงดังรูปที่ 2.21(a) และอิเล็กตรอนจะไม่มี การทันเนลผ่านไปยังชั้น FM ถัดไป หากชั้น FM ถัดไปมีทิศแมกนีโตเซชันที่สวนทิศกันดังรูปที่ 2.21(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ไดอะแกรมแสดงการทะลุผ่านที่ขึ้นกับสปินของอิเล็กตรอน เมื่อ [1] (a) แมกนีไทเซชันชั้น FM ขนานกัน และ (b) แมกนีไทเซชันของชั้น FM สวนทิศกัน

5. ปรากฏการณ์ CMR (Colossal MR) พบในวัสดุที่เป็นออกไซด์ของแมงกานีสที่เจือด้วยโครงสร้างแบบสารเพอโรฟสไกต์ (Perovskite) ลักษณะโครงสร้างของวัสดุ CMR แสดงดังรูปที่ 2.22 โดยวัสดุ CMR จะเป็นฉนวนที่อุณหภูมิสูง แต่จะเปลี่ยนมาเป็นโลหะที่อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสระหว่างโลหะ-ฉนวน (Metal-insulator transition temperature: T_0) ในเฟสโลหะและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิคูรี (Curie temperature: T_c) วัสดุ CMR จะมีพฤติกรรมเป็นสารแม่เหล็กเฟอร์โร การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของวัสดุ CMR ในสนามแม่เหล็กจะมีความมากกว่าในวัสดุ GMR และ TMR แต่อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ CMR มีข้อจำกัดคือ จะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ ปรากฏการณ์ CMR เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอน-โฟนอน ทำให้เกิดการผิดรูปแบบจาห์น-เทลเลอร์ (Jahn-Teller distortion) ใกล้กับการเปลี่ยนเฟสระหว่างเฟสแม่เหล็กเฟอร์โรไปเป็นเฟสแม่เหล็กพารา



รูปที่ 2.22 ออกไซด์ของแมงกานีสที่เจือด้วยโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ [1]

โดยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า กลไกการเกิดและโครงสร้างวัสดุของปรากฏการณ์ MR ชนิดต่าง ๆ แสดงเชิงเปรียบเทียบในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเกิดปรากฏการณ์ MR ชนิดต่าง ๆ [1]

ปรากฏการณ์	ความต้านทาน	โครงสร้างวัสดุ	กลไกการเกิด
OMR	เพิ่มขึ้น	โลหะและสารกึ่งตัวนำ	แรงลอเรนซ์
AMR	เพิ่มขึ้น/ลดลง	สารเฟอร์โรแมกเนติก	การเข้าคู่กันของสปิน-ออร์บิต
GMR	ลดลง	สารเฟอร์โรแมกเนติก/ โลหะที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก	การกระเจิงที่ขึ้นกับสปิน
TMR	ลดลง	สารเฟอร์โรแมกเนติก/ฉนวน	การทันเนลผ่านที่ขึ้นกับสปิน
CMR	ลดลง	แมงกานีสออกไซด์	การเปลี่ยนเฟสโลหะฉนวน

2.6.2 การประยุกต์ปรากฏการณ์ MR ในเซนเซอร์

เซนเซอร์ MR มีจุดเด่นหลายอย่างจึงทำให้มีการวิจัยวัสดุ MR อย่างกว้างขวางและต่อเนื่อง ซึ่งข้อเด่นของเซนเซอร์ MR มีดังนี้

- มีความแม่นยำสูง เนื่องจากเซนเซอร์ MR มีฮิสเตอร์ซิสน้อย และมีความเป็นเชิงเส้นสูง ทำให้สามารถวัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เหมาะสำหรับการวัดที่ต้องการความแม่นยำสูง และให้สัญญาณที่มีคุณภาพดีกว่าเซนเซอร์แบบเก่า ไม่ว่าจะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวัดมุม ความยาว หรือวัดกระแสไฟฟ้าก็ตาม
- ความละเอียดสูง เซนเซอร์ MR มีความละเอียดสูงซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการควบคุมคุณภาพความละเอียดสูง เช่น เป็นตัวเข้ารหัสสำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อน ประกอบกับเป็นเซนเซอร์ที่ให้สัญญาณรบกวนต่ำและให้สัญญาณขาออกที่สูง ทำให้ได้ค่าสัดส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise-ratio) ที่ดีเยี่ยม
- มีความแน่นอนของสัญญาณสูง และอายุการใช้งานยาวนาน เซนเซอร์ MR เป็นเซนเซอร์ที่เชื่อถือได้ เนื่องจากเป็นเซนเซอร์แบบของแข็งที่สามารถรับสัญญาณได้โดยไม่ต้องสัมผัส และจากการทดสอบคุณภาพในช่วงสัญญาณในย่านต่าง ๆ ตามมาตรฐานของอุตสาหกรรมยานยนต์ จึงเป็นสิ่งยืนยันได้ถึงเสถียรภาพและเชื่อถือได้ของสัญญาณจากเซนเซอร์ MR
- ทนต่อความชื้น ฝุ่นละออง และน้ำมันสูง เซนเซอร์ MR ทนทานต่อทั้งอุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำรวมไปถึงน้ำมัน สิ่งสกปรก หรือ แรงสั่นเชิงกล นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับสารกัมมันตรังสี หรือในสุญญากาศ เช่น ที่ระยะ 400 กิโลเมตร บนผิวดาวอังคาร ซึ่งมีอุณหภูมิ -120 องศาเซลเซียส และหรือที่ก้นบ่อน้ำมันที่ระยะ 10 กิโลเมตร ใต้พื้นผิวโลกที่มีอุณหภูมิสูง 200 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความไวสูง เซนเซอร์ MR มีความไว และมีสัญญาณขาออกสูงกว่าเซนเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall-effect sensor) ทำให้เซนเซอร์ MR สามารถนำไปใช้วัดขนาดสนามแม่เหล็กโลกที่ประยุกต์ใช้เป็นเข็มทิศ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เนื่องจากสามารถตรวจรับสัญญาณได้โดยไม่ต้องสัมผัส
- ประหยัดพลังงาน เซนเซอร์ MR สามารถออกแบบได้ มีความต้านทานภายในสูง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับแบตเตอรี่ที่มีขายทั่วไป และสามารถออกแบบให้ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย ๆ โดยใช้หลักการวัดแบบชดเชย ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อย และให้ประสิทธิภาพของพลังงานสูง

2.6.3 การประยุกต์ใช้การวัดปริมาณ

ในปัจจุบันนี้เซนเซอร์ MR นั้นสามารถนำไปประยุกต์ในการใช้วัดปริมาณหลัก ๆ ได้ 4 ปริมาณด้วยกัน คือ

1. เซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก (Magnetic field measurement) ซึ่งสามารถนำไปวัดสนามแม่เหล็กค่าน้อย ๆ ได้อย่างแม่นยำ ที่ประมาณ 50A/m หรือ 62.5 ไมโครเทสลา เซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเข็มทิศในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ สวิตช์แบบไม่สัมผัส โดยส่วนใหญ่นำไปประยุกต์ใช้ด้านธรณีวิทยา ใช้ในการสำรวจแก๊ส น้ำมันและทรัพยากรธรรมชาติอื่น ๆ รวมไปถึงการเป็นเซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กของเข็มทิศที่เป็นฟังก์ชันในนาฬิกาข้อมือ

2. เซนเซอร์วัดความยาวและตำแหน่ง (Displacement and position measurement) สามารถใช้วัดความยาวหรือการเปลี่ยนแปลงความยาว และตำแหน่งที่มีความแม่นยำในย่านไมโครเมตร เซนเซอร์ประเภทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกล้องถ่ายรูป ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ และทางด้านการศึกษา

3. เซนเซอร์วัดกระแส (Current measurement) เป็นเซนเซอร์วัดกระแสโดยสามารถวัดกระแสสูงสุดได้ถึง 100 แอมแปร์ ส่วนใหญ่นำไปประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

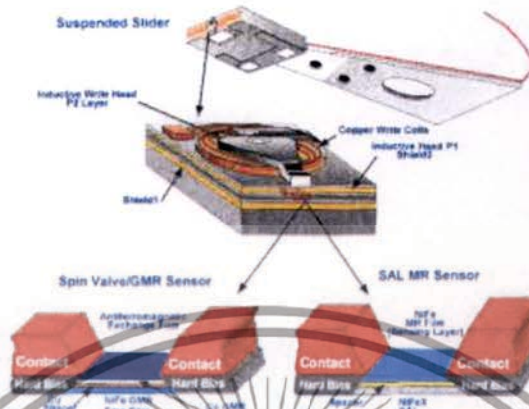
4. เซนเซอร์วัดมุม (Angle measurement) สามารถนำไปวัดค่ามุมที่แน่นอน การเพิ่มขึ้นของมุม การเปลี่ยนแปลงมุม หรือความเร็วรอบความละเอียดในการวัดน้อยกว่า 0.5 องศา เซนเซอร์วัดมุมส่วนใหญ่นำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมยานยนต์และอื่น ๆ

นอกจากนี้ยังมีการนำเซนเซอร์ MR ไปใช้เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก จานแผ่นบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเซนเซอร์ MR ได้ทำให้เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์มีความก้าวหน้าที่สำคัญ และเพิ่มขีดความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้มากขึ้น หัวอ่านในฮาร์ดดิสก์เริ่มต้นจากเซนเซอร์จากการเหนี่ยวนำ โดยเริ่มใช้หัวอ่านแบบ MR ในปี 1996 โดยหัวอ่าน MR แบบแรกจะเป็นแบบ AMR เนื่องจากสามารถอ่านค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กในปริมาณน้อย ๆ ได้ดีกว่าการเหนี่ยวนำ ดังนั้นทำให้มีงานวิจัยและพัฒนาหัวอ่านแบบ MR ต่อเนื่องโดยมุ่งให้ความสนใจการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับเซนเซอร์แบบ CMR และ GMR แต่อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ CMR แม้จะให้สัญญาณที่สูง แต่มีข้อจำกัด คือเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้งาน งานวิจัยจึงยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ และยังไม่มี การนำมาประยุกต์ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม หัวอ่านยุคต่อมาได้เปลี่ยนมาเป็นแบบ GMR ด้วยเหตุผลที่สำคัญ คือหัวอ่าน GMR ให้สัญญาณขาออกและความไวมากกว่าหัวอ่านแบบ AMR มาก และล่าสุด

ปัจจุบันเป็นหัวอ่านแบบ TMR โดยข้อได้เปรียบของหัวอ่านแบบ TMR เทียบกับหัวอ่าน GMR คือให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ตึกว่า ความไวสูงกว่าและที่สำคัญมีขนาดเล็กกว่า ทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของสื่อบันทึกข้อมูลเพิ่มสูงมากในปัจจุบัน โดยในรูปที่ 2.23 แสดงถึงโครงสร้างหลักของฮาร์ดดิสก์แสดงส่วนของหัวอ่าน และหัวเขียนที่ใช้หัวอ่านแบบ GMR



รูปที่ 2.23 ส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีเซนเซอร์ GMR เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก [1]

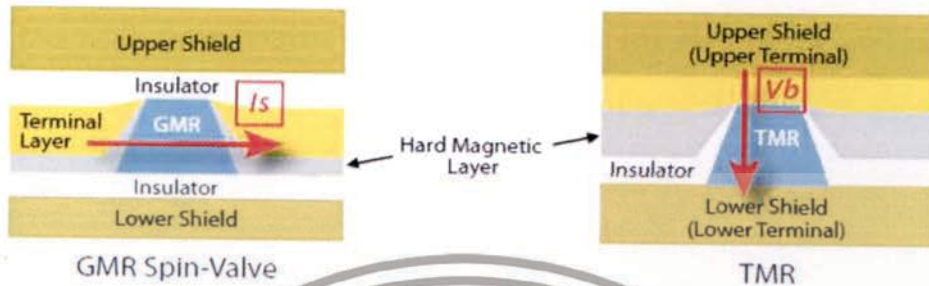


รูปที่ 2.24 (a) หัวอ่าน GMR ที่มีกระแสในระนาบเดียวกับ GMR เซนเซอร์ และ (b) หัวอ่าน TMR ที่มีกระแสตั้งฉาก TMR เซนเซอร์ [1]

บริษัท IBM ได้นำหัวอ่านแบบ MR มาใช้เป็นครั้งแรกเนื่องจากความสามารถในการอ่านข้อมูลของเซนเซอร์ MR ทำให้เกิดการพัฒนาด้านความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์เพิ่มขึ้นประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ต่อมาในปี 2000 ได้มีการพัฒนาหัวอ่านแบบ GMR มาแทนหัวอ่านแบบ MR จากงานวิจัยของบริษัท ฮิตาชิ (Hitashi) พบว่าทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยฮาร์ดดิสก์ขนาดประมาณ 11 GB และในปี 2005 บริษัทซีเกทได้เริ่มใช้หัวอ่านแบบ TMR กับฮาร์ดดิสก์ขนาด 400 GB ทั้งนี้ในปี 2006 ทางบริษัทฟูจิซี (Fijitsu) ได้เผยแพร่ผลงานเกี่ยวกับการออกแบบหัวอ่าน TMR ที่ออกแบบให้กระแสตั้งฉากกับระนาบ (CPP) ของฟิล์มเซนเซอร์ เปรียบเทียบกับหัวอ่าน GMR ที่เป็นแบบกระแสในระนาบ (CIP) ของฟิล์มเซนเซอร์ ซึ่งรูปที่ 2.24 แสดงถึงลักษณะหัวอ่าน GMR แบบ CIP และหัวอ่าน TMR แบบ CPP โดยโครงสร้างส่วนประกอบของหัวอ่านทั้งสองแบบดังรูปที่ 2.20 ทางฟูจิซีได้ทดสอบประสิทธิภาพหัวอ่าน TMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอยู่ภายใต้ลิขสิทธิ์ของนักวิชาการ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ออกแบบ พบว่าหัวอ่าน TMR มีขนาดเล็กลง มีความไวสูงขึ้น มีความละเอียดสูง และลดปัญหาสัญญาณรบกวนได้ดี อย่างก็ตามเทคโนโลยีหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ ยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในอนาคตอาจจะมีหัวอ่านแบบใหม่ที่มีความสามารถและประสิทธิภาพดีกว่าหัวอ่านแบบเดิม หรือต่อไป อาจจะเป็นยุคของหัวอ่าน GMR แบบ CPP ก็อาจจะเป็นไปได้



รูปที่ 2.25 โครงสร้างของ (a) หัวอ่าน GMR ที่มีกระแสในระนาบ และ (b) หัวอ่าน TMR ที่มีกระแสตั้งฉากกับระนาบ [1]

2.6.4 โครงสร้างของแผ่นดิสก์ (Magnetic Recording Film Configuration)



รูปที่ 2.26 การแบ่งชั้นของแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์ [30]

การแบ่งชั้นของแผ่นดิสก์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์

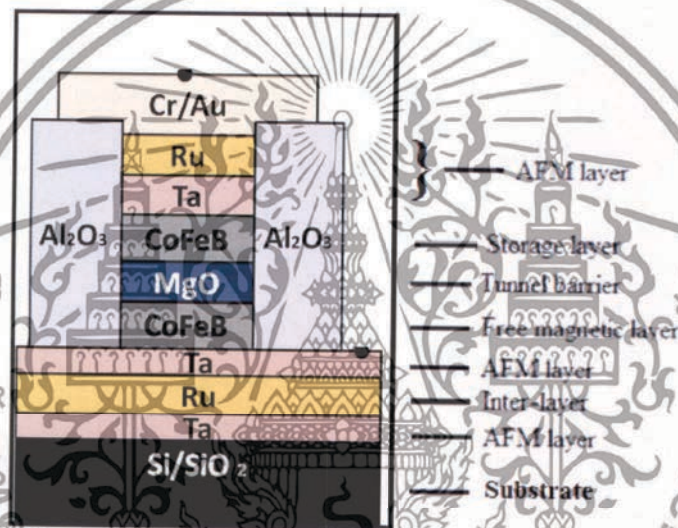
- Lubricant Layer มีไว้เพื่อลดแรงเสียดทานขณะทำการบันทึกข้อมูลระหว่างหัวอ่าน / เขียนกับแผ่นดิสก์
- Protective Layer ชั้นฟิล์มบาง ๆ ที่มีส่วนผสมของคาร์บอน (Carbon) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของชั้นแม่เหล็ก
- Magnetic Layer ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลในลักษณะดิจิทัล 0 และ 1 ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่าง Co-Cr-Pt-B
- Under Layer ช่วยป้องกันการยึดติดของชั้นแม่เหล็กกับโครงสร้างหลักด้านล่างสุด และช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของชั้นแม่เหล็ก
- Texturing เป็นชั้นที่มีการควบคุมความเรียบของพื้นผิวแผ่นดิสก์เพื่อช่วยในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กำหนดทิศทางของชั้นแม่เหล็กและปรับปรุงสัญญาณรบกวน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- c) NiP Plating เพิ่มความเรียบเนียนของแผ่นดิสก์ด้วยชั้นนิกเกิลฟอสฟอรัส (Nickel Phosphorus)
- d) Substrate วัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ คือ อลูมิเนียม หรือแก้ว เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติความแข็งที่เหมาะสม

2.6.5 โครงสร้างเซนเซอร์หัวอ่านชนิด TMR [31]

ในปัจจุบันโครงสร้างของเซนเซอร์หัวอ่านชนิด TMR หรือ Tunnel Magneto resistance นั้น ประกอบไปด้วยชั้นของฟิล์มบางหลาย ๆ ชั้นประกอบเข้าด้วยกัน แต่ในการเกิดปรากฏการณ์ TMR นั้น จะเกิดขึ้นในชั้นที่เป็นวัสดุโครงสร้าง MTJs (Magnetic Tunneling Junctions) ซึ่งเป็นชั้นที่มีการสปีนทันเนลผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.27 โดยแสดงถึงชั้นของโครงสร้างหลักและความหนาโดยทั่วไปที่ใช้กันในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสไดรฟ์ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้ [33]



รูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างชั้นต่างๆ ในโครงสร้าง MTJs ของเซนเซอร์หัวอ่านชนิด TMR [32]

- ชั้นวัสดุรองรับ (Substrate) ซึ่งโดยหลักแล้วส่วนใหญ่ใช้วัสดุซิลิกอน (Si) หรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เนื่องจากสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติอื่น ๆ ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการนำมาเป็นชั้นของฐานวัสดุรองรับ

- ชั้นแม่เหล็กแบบแอนติเฟอร์โร (AFM layer) เป็นชั้นของวัสดุแทนทาลัม (Ta) ซึ่งมีความหนาประมาณ 5 nm

- ชั้นแทรกระหว่างชั้น (Inter-layer) เป็นชั้นที่ใช้วัสดุรูทีเนียม (Ru) ที่มีความหนาโดยประมาณเท่ากับ 10 nm

- ชั้นแม่เหล็กแบบแอนติเฟอร์โร (AFM layer) เป็นชั้นของวัสดุแทนทาลัม (Ta) ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.85 nm

- ชั้นแม่เหล็กอิสระ (Free magnetic layer) เป็นชั้นของวัสดุโคบอลต์เหล็กโบรอน (CoFeB) มีความหนาโดยประมาณ 2.4 nm

- ชั้นกั้นขวางการทันเนล (Tunnel barrier layer) เป็นชั้นของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) การคำนวณค่าการสปีนทันเนลที่แม่นยำขึ้นจากการใช้การคำนวณที่ซับซ้อนกว่าการคำนวณแบบง่าย ๆ การคำนวณที่แม่นยำขึ้นนี้ช่วยให้สามารถทำนายค่าการสปีนทันเนลได้อย่างแม่นยำขึ้น ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบและผลิตฮาร์ดดิสไดรฟ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีความหนาโดยประมาณน้อยกว่า 2 nm (โดยทั่วไปใช้อยู่ที่ความหนาประมาณ 0.8 nm) เป็นชั้นที่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์หัวอ่านชนิด TMR (Tunneling magneto-resistive sensor) เนื่องจากจะทำให้ค่าแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์แบบเดิม โดยที่ MgO ในชั้นกั้นขวางจะช่วยลดค่าพื้นที่ความต้านทาน (RA: Resistance- area) ซึ่งจะส่งผลให้สัญญาณรบกวนเนื่องจากหัวแม่เหล็ก (Head noise) ลดลงในขณะที่ค่า MR ยังสูงอยู่ได้ [34]

- ชั้นจัดเก็บข้อมูล (Storage layer) เป็นชั้นของวัสดุโคบอลต์เหล็กโบรอน (CoFeB) มีความหนาโดยประมาณ 2.4 nm (ในปัจจุบันขึ้นอยู่กับสมบัติที่นำมาใช้ แต่โดยทั่วไปอยู่ที่ความหนาน้อยกว่า 2.4 nm โดยประมาณ)

- ชั้นแม่เหล็กแบบแอนติเฟอร์โร (AFM layer) ซึ่งเป็นชั้นของวัสดุรูทีเนียม (Ru) มีความหนาประมาณ 0.85 nm

2.7 ทฤษฎีเบื้องต้นในการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง

ฟิล์มที่เตรียมได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ดังนี้

2.7.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่มุมตวงๆกันโดยการวางตัวอย่างชิ้นงานตามตัวอย่างดังรูปที่ 2.28 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

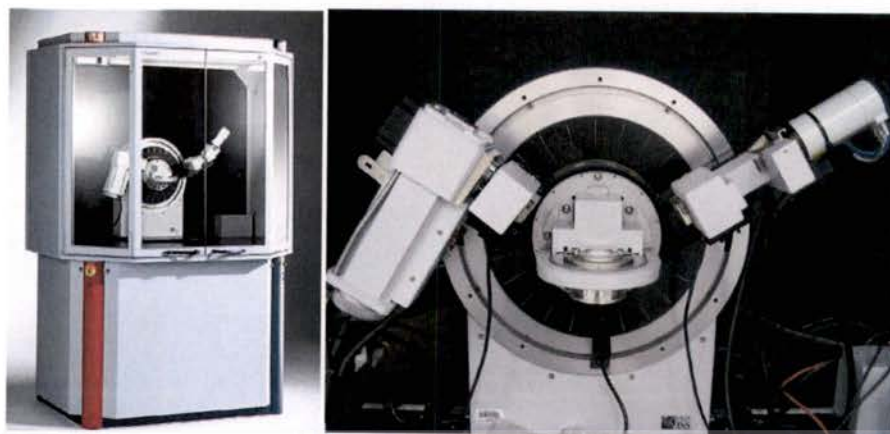
1. หลักการและวิธีการวิเคราะห์

วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นกับธรรมชาติของผลึก W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่ว่าเมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบ รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อน เท่ากับมุมตกกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ถูกเสนอในรูปแบบการ ของ Bragg's Law (สมการ 2.2) ดังนี้

$$2d \sin\theta = n\lambda \quad (2.2)$$

เมื่อ d_{hkl} คือ ระยะห่างระหว่างระนาบของแลททิซที่มีดัชนีมิลเลอร์ (Miller Indices) ของระนาบ hkl โดยที่เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะอาศัยลำรังสีเอ็กซ์ (X-ray Beam) ที่มีค่าความยาวคลื่นเป็น λ จากแหล่งกำเนิดพุ่งชนกับผิวเคลือบ เกิดการเลี้ยวเบนขึ้น ความเข้มของลำรังสีที่เลี้ยวเบนออกมานั้น จะถูกเก็บบันทึกในรูปของฟังก์ชันของมุมการเลี้ยวเบน (Diffracted Angle, θ) โดยความเข้มของสัญญาณ (Intensity) จะมีค่าไม่เป็นศูนย์ถ้ามุมของการเลี้ยวเบนเป็นไปตาม Bragg's Law

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



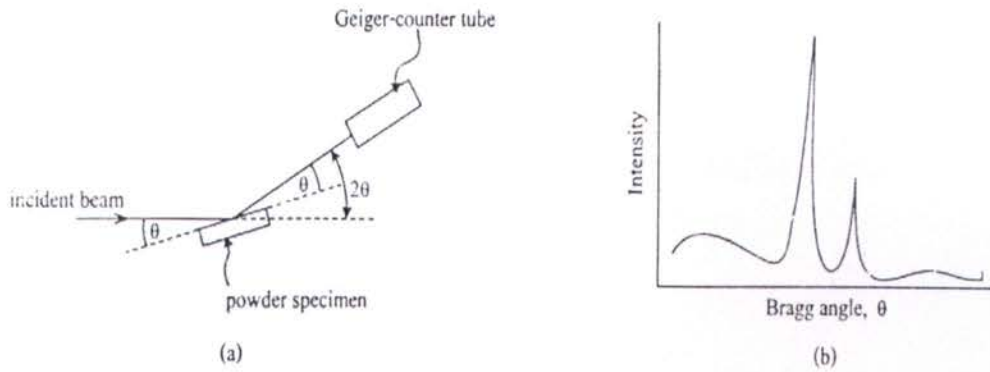
รูปที่ 2.28 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ [12]



รูปที่ 2.29 หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ภายในโครงผลึกตามเงื่อนไขของ Bragg's Law [13]

X-ray Diffract meter (XRD) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ที่สะท้อนจากผลึกโดยมีอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ประกอบอยู่ เช่น Geiger Counter tube หรือ Ionization Chamber จากรูปที่ 2.30 a แสดงให้เห็นว่าทั้งชิ้นงานและ Geiger Counter Tube จะเคลื่อนที่ โดย Geiger Counter Tube เคลื่อนที่เร็วกว่าเป็น 2 เท่าเสมอ ทำให้อุปกรณ์ตรวจจับรังสีนี้อยู่ในมุมที่เหมาะสมสำหรับการสะท้อนรังสีตามกฎของ Bragg สัญญาณที่ตรวจจับได้จะแสดงออกมาในรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสี (Diffraction Pattern) ดังรูปที่ 2.30b ความเข้มของสัญญาณขึ้นอยู่กับหลายแฟกเตอร์ด้วยกันเช่น โครงสร้างของวัสดุ ปริมาตรของวัสดุที่แผ่รังสี (Volume of Irradiated Material) รูปทรงของการหักเห (Diffraction Geometry) และการวางชิ้นงาน (Sample Alignment) เป็นต้น

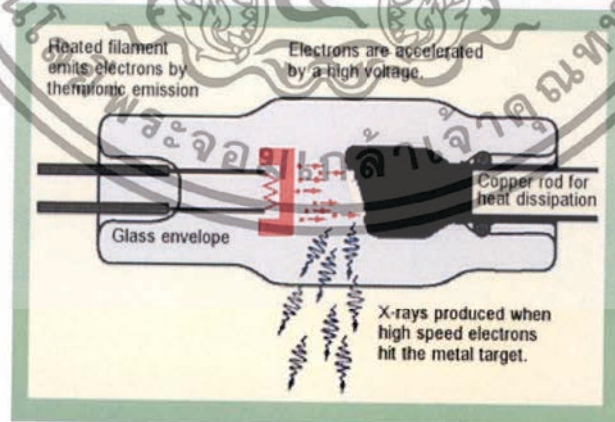
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 a) X-ray diffraction b) Intensity peak ที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะท้อนแสง [9]

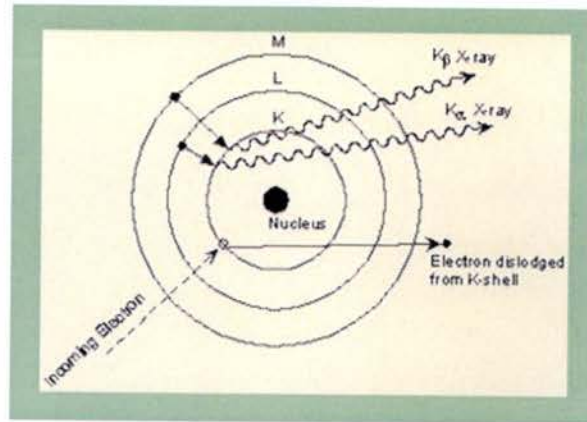
2. หลักการเกิดรังสี X-ray

ภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ รังสีเอ็กซ์จะถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิดซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ (รูปที่ 2.31) โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนต์ (Filament) ที่อยู่ในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ซึ่งจะทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวดอิเล็กตรอนเหล่านี้ จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูงทำให้เคลื่อนที่ เส้นลวดฟิลาเมนต์ที่เป็นขั้วแคโทดด้วยความเร็วสูงเข้าชนขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้วงในสุด(K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุดออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา (L- และ M-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอ็กซ์ออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.32 รังสีเอ็กซ์ที่คายออกมาจะผ่านออกจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจจับรังสีเอ็กซ์ (detector) [13]



รูปที่ 2.31 หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์

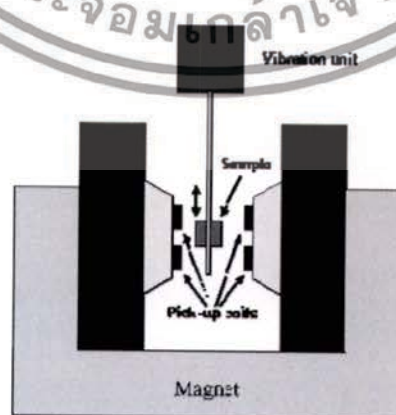
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 การเกิดรังสีเอ็กซ์

2.7.2 เทคนิคแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง (Vibrating Sample Magnetometer :VSM)

เทคนิค VSM เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของสารตัวอย่าง ในการตรวจสอบความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างโดยเทคนิคนี้ สารตัวอย่างที่บรรจุในแท่งทรงกระบอกที่เรียกว่า Sample Holder จะถูกวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กส่งผ่านตลอดเวลา โดยสนามแม่เหล็กนี้ถูกสร้างขึ้นและควบคุมโดยแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) ที่อยู่ด้านข้าง ดังรูปที่ 2.33 เมื่อสารตัวอย่างอยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดสภาพแม่เหล็ก หรือเรียกว่าถูกแมกนีไทซ์ โดยสารตัวอย่างที่ถูกแมกนีไทซ์จะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กตัดผ่าน Pick-up coil (ตามกฎของฟาราเดย์) ดังนั้น VSM จึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับกรยอมรับในการหาค่าแมกนีไทเซชันของสารตัวอย่างโดยอาศัยการสั่นของสารตัวอย่าง นอกจากนี้ VSM ยังสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในขณะที่มีการแมกนีไทเซชันได้อีกด้วย เมื่อมีการให้สนามที่คงที่ ซึ่งผลที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคนี้จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์แม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ให้เข้าไป (Applied Field) ซึ่งข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้ในกรวิเคราะห์จึงเป็นค่าแมกนีไทเซชัน ดังนั้นจึงต้องมีการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างทุกครั้ง และนำมาหารกับค่าโมเมนต์แม่เหล็กที่วัดได้ จึงจะได้ค่าแมกนีไทเซชันที่ขึ้นกับสนามแม่เหล็กภายนอกที่ให้เข้าไป (Applied Field) [14]



รูปที่ 2.33 โครงสร้างหลักของ VSM (Vibrating Sample Magnetometer) [16]

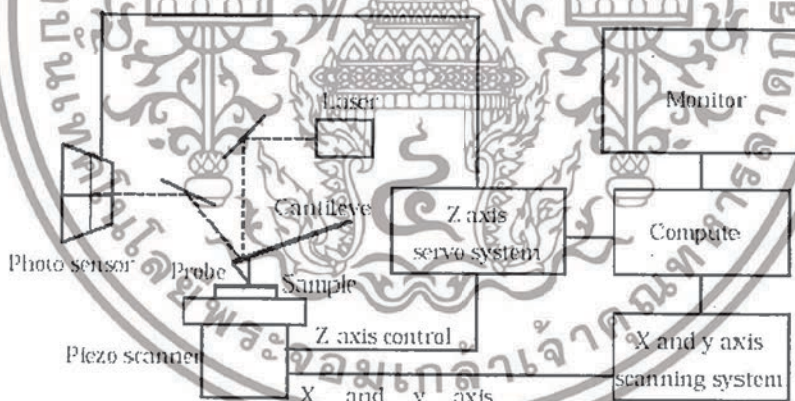
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 เทคนิค Atomic Force Microscopy (AFM)

ใช้ในการศึกษาพื้นผิวของฟิล์มบางที่เตรียมได้จากการวิจัย สำหรับหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.34 นั้นแสดงให้เห็นถึงเข็มที่ใช้ในการสแกนจะติดแน่นกับปลายด้านหนึ่งของคานซึ่งจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนว X และ Y โดยเริ่มต้นจะทำการปรับให้แสงเลเซอร์ตกกระทบบที่คาน และสะท้อนไปยังโฟโตดีเทคเตอร์ซึ่งประกอบด้วยโฟโตไดโอด 4 ตัวและเมื่อเลื่อนชิ้นงานหรือเข็มมาสัมผัสหรือเข้าใกล้กันจะมีแรงกระทำระหว่างอะตอมของเข็มกับอะตอมของชิ้นงานซึ่งมีขนาดในระดับนาโนนิวตัน คานจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนว Z ทำให้ตำแหน่งของแสงที่ตกกระทบบเซ็นเซอร์เปลี่ยนแปลงและสัญญาณนี้จะส่งเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์จะประมวลผลสัญญาณที่ได้รับออกมาเป็นภาพ 3 มิติบนจอแสดงผลสำหรับการทำงานของเครื่อง AFM นี้โดยทั่วไปจะแบ่งการทำงานเป็น 2 โหมด ได้แก่

1. Static mode การทำงานในโหมดนี้ เข็มที่ติดกับส่วนคานจะถูกสแกนไปบนพื้นผิวของวัตถุ โดยแรงดึงดูดและแรงผลักรที่กระทำต่อเข็มจะทำให้ส่วนของคานเกิดการเบี่ยงเบน และขนาดของการเบี่ยงเบนนี้จะสัมพันธ์กับแรงกระทำระหว่างเข็มกับพื้นผิวของวัตถุ การทำงานในโหมดนี้ปลายเข็มอาจจะสัมผัสหรือไม่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุที่ถูกสแกนก็ได้

2. Dynamic mode การทำงานในโหมดนี้ ส่วนของคานจะสั่นที่ความถี่ธรรมชาติ และเมื่อเข็มสแกนไปบนพื้นผิว อันตรกิริยาระหว่างปลายเข็มกับพื้นผิวของวัตถุจะทำให้แอมพลิจูด, เฟสหรือความถี่ของการสั่นของส่วนคานมีการเปลี่ยนแปลง ในระหว่างสแกน ปลายเข็มอาจสัมผัส (tapping) หรือไม่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ (non-contact)



รูปที่ 2.34 ส่วนประกอบต่างๆในการทำงานของเครื่อง AFM [8]

2.7.4 เทคนิคโพรบวัดสี่ขั้ว (4-point probe)

โพรบวัดสี่ขั้วนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดสภาพความต้านทานของฟิล์มตัวอย่างที่เป็นสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างของโพรบวัดสี่ขั้วประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าเรียงกัน 4 ขั้ว ซึ่งมีระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากัน ซึ่งชุดโพรบวัดสี่ขั้วมาตรฐานที่นำมาใช้ [18] นี้ เป็นของบริษัท Signatone โดยการป้อนกระแสให้กับขั้วไฟฟ้าคู่หนึ่งนอกด้วยแหล่งกำเนิดกระแสอิมพีแดนซ์สูง แล้วทำการวัดโวลต์เตจตกคร่อมขั้วไฟฟ้าคู่ในจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าสภาพความต้านทานของพื้นผิวของสารตัวอย่างได้ ซึ่งในการทำงานของโพรบวัดสี่ขั้วนี้ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ทั้งหมด 3 ประเภทด้วยกัน คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Constant Current Source เป็นเครื่องที่ผลิตจาก Keithley รุ่น Model 220 Programmable Current Source ดังแสดงในรูปที่ 2.35 โดยหลักการทำงานของเครื่องนี้ คือ เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับจ่ายกระแสโดยต่อกับโพรบคู่ นอก กระแสที่ค่าของกระแสมากที่สุดที่สามารถใช้ได้จะขึ้นอยู่กับสมการ $V=IR$



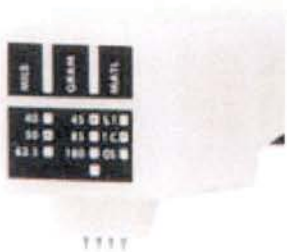
รูปที่ 2.35 Constant Current Source

2. Multimeter ผลิตจาก HP รุ่น Hewlett Packard 34401A Multimeter ดังแสดงในรูปที่ 2.36 เครื่องนี้ใช้สำหรับวัดค่า V ที่ได้จากการทำการทดลองโดยจะต่อเครื่องนี้เข้ากับโพรบคู่ในของตัว 4-point probe



รูปที่ 2.36 Multimeter

3. 4-point probe ผลิตมาจาก Signatone ดังแสดงในรูปที่ 2.37 มีระยะห่างจากขั้ว 1-4 = 50 ml แรงกดสปริง 45 g ขั้วของโพรบทำมาจาก Tungsten Carbide



รูปที่ 2.37 4-point probe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันโครงสร้าง Magnetic tunneling junctions (MTJs) ได้รับความศึกษาวิจัยเป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถพัฒนาไปสู่หน่วยความจำเข้าถึงแบบสุ่ม MRAM (Magnetoresistive Random access memories) และเป็นหัวอ่านแมกเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensors) ในดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูงมาก ๆ โดยมุ่งเน้นการศึกษาวัสดุที่จะนำมาใช้งานและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุภายใต้อุณหภูมิต่าง ๆ

ในปี พ.ศ. 2549 S. U. Jen และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีของอนุภาคที่อุณหภูมิต่ำ แล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ได้ว่าโครงสร้างหลักของฟิล์มบางตัวอย่งนั้นเป็นโครงสร้างออสถุฐาน แต่ยังมีโครงสร้างผลึกในระดับนาโนอยู่เป็นบางส่วนซึ่งในฟิล์มบางตัวอย่างดังกล่าวได้แสดงพีคสูงสุดโครงสร้างผลึกของ CoFe ที่ระนาบ 110 แต่เนื่องจากในงานการศึกษาที่ผ่านมาของผู้วิจัยนั้น พบว่าโครงสร้างออสถุฐานของฟิล์มบางนั้นส่งผลทำให้ค่าสภาพการต้านทานไฟฟ้านั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานทั่วไปที่ $100 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงการนำไฟฟ้าของฟิล์มบางให้ดีขึ้นจึงได้ทำการเตรียมฟิล์มบางโดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่ความดันก๊าซอาร์กอนต่างกันจนได้ความดันก๊าซอาร์กอนที่สามารถทำให้ฟิล์มบางแสดงโครงสร้างผลึกของ CoFe ที่ $R_{Ar} = 5 \times 10^{-3}$ ทอร์ และจากค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (Temperature coefficient) ของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้านั้นพบว่าที่สภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิต่างกันมากกว่าอุณหภูมิห้องนั้น ($T_1 = 61^\circ\text{C}$ และ $T_2 = 172^\circ\text{C}$) สามารถเปลี่ยนโครงสร้างออสถุฐานที่เป็นโครงสร้างหลักในฟิล์มบาง CoFeB ให้เป็นโครงสร้างแบบผลึกได้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความหนาของฟิล์มส่งผลต่อสภาพการอ้อมตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแมกนีโทสตรีกซ์สูงสุด (M_s) และค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) อีกด้วยและจากการวัดองค์ประกอบทางเคมีตามความลึกของฟิล์มด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพหน้าตัดไอเอเจอร์ (Auger-depth profile analysis) นั้นพบว่าฟิล์มบางตัวอย่าง CoFeB นั้นเกิดชั้นออกไซด์ CoO_x ความหนาประมาณ 15 \AA ขึ้นที่บริเวณผิวบนสุดของฟิล์มบาง CoFeB และยังพบชั้นออกไซด์ CoO_x ความหนาประมาณ 20 \AA อีกหนึ่งชั้นที่บริเวณใกล้กับชั้นประสานระหว่าง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์อีกด้วย โดยออกไซด์ CoO_x นั้นอาจจะแสดงสมบัติพาราแมกเนติกได้ แต่เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ความใกล้ชิด (Proximity effect) ขึ้นระหว่างชั้นของออกไซด์ CoO_x กับชั้นของ CoFeB ซึ่งในชั้นของ CoO_x นั้นอาจจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กเฉลี่ย (M_{ox}) เมื่อทำการวิเคราะห์จากสมการแล้วจะสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าชั้นของ CoO_x นั้นมีบทบาทสำคัญต่อค่าสภาพการอ้อมตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแมกนีโทสตรีกซ์สูงสุด (μ_s) และค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่มีความหนาอยู่ในช่วงประมาณ $50 \text{ to } 503 \text{ \AA}$

ในปี พ.ศ. 2553 Chen และ Chang [19] [20] ได้ศึกษาถึงการเตรียมฟิล์มบาง $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{20}\text{B}_{20}$ ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสเปกโตรสโกปีของอนุภาคและทำการอบร้อน (Annealing) เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความหนาตั้งแต่ 100 \AA ถึง 500 \AA ภายใต้เงื่อนไขการเตรียมวัสดุรองรับที่อุณหภูมิต่ำ, ที่อุณหภูมิ $T = 150^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ $T = 350^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงตามลำดับ หลังจากนั้นนำฟิล์มบางที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) และทำการหาการกระจายขนาดเกรนโดยดูระนาบโครงสร้างขนาดจุลภาค ด้วยเทคนิค HRTEM (High-resolution Transmission Electron Microscope) ซึ่งพบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเลือกพื้นที่ (Selected area diffraction: SAD) ที่ได้จากเทคนิค HRTEM นั้น สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย XRD ที่ว่าฟิล์มบาง CoFeB นั้น มีโครงสร้างแบบผลึกระดับนาโนแบบ Body centered cubic (BCC) ที่แสดงพีคของ CoFeB ที่ระนาบ 110 ที่อุณหภูมิห้องและโครงสร้างแบบผลึกในฟิล์มบางดังกล่าวจะเพิ่มจำนวนขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเตรียมวัสดุรองรับให้สูงขึ้นเป็น $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิดังกล่าวจะส่งผลทำให้ขนาดของเกรนขยายใหญ่ขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถหาการกระจายตัวของขนาดเกรนที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่แตกต่างกันโดยใช้เทคนิค HRTEM ซึ่งพบว่าขนาดของเกรนนั้นมีผลต่อสมบัติของสภาพความเป็นแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่ของฟิล์มบาง ซึ่งขนาดเกรนที่มีความละเอียดจะลดประสิทธิภาพของแอนไอโซโทรปีและจะเพิ่มการเข้าคู่แลกเปลี่ยน (Exchange coupling) ของเฟอร์โรแมกเนติกมากขึ้นอีกด้วย และเมื่อเกรนมีการกระจายตัวที่ขยายเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) นั้น มีค่าสูงขึ้นอีกด้วย สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเกรนกับผลของเทคนิคนาโนอินเด้นชัน (Nano-indentation) นั้นพบว่าเมื่อขนาดเกรนขยายใหญ่ขึ้นจะทำให้ค่ายังมอดูลัส (Young's modulus) และค่าความแข็งนั้นลดลงซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ Hall-Petch และกลไกการทำให้เกรนมีความละเอียด

ในปี พ.ศ. 2554 Tsung และ Xie [21] ได้ทำการศึกษาลักษณะของฟิล์มบาง $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์เพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีความหนาความหนาตั้งแต่ 100 \AA ถึง 500 \AA ด้วยวิธีการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่าฟิล์มบางที่ได้นี้มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (Amorphous) มีการกระจายขนาดของเกรนโดยดูระนาบโครงสร้างขนาดจลภาค ด้วยเทคนิค HRTEM (High-resolution Transmission Electron Microscope) ซึ่งได้ว่าฟิล์มบางที่ขนาดหนากว่าจะทำให้การกระจายขนาดเกรนที่ใหญ่กว่าฟิล์มบางที่มีขนาดบางกว่า และสภาพการอิมตัวของเกรนเป็นแม่เหล็ก (M_s) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้วความหนาของฟิล์มบาง CoFeB ยังส่งผลต่อสภาพการเป็นแม่เหล็กตกค้าง (M_r) ของฟิล์มบางอีกด้วย โดยที่สภาพการเป็นแม่เหล็กตกค้าง จะไวต่อฟิล์มบาง CoFeB ที่มีขนาดที่บางกว่า เนื่องจากขนาดเกรนที่เล็กละเอียดของฟิล์มบางนั้นจะสามารถนำพฤติกรรมสปินการเข้าคู่แลกเปลี่ยน (Exchange coupling) ได้มากกว่าฟิล์มที่มีขนาดหนา ค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของการกระจายตัวของขนาดเกรนนั้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้วยังพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่มีโครงสร้างอสัณฐานนั้นส่งผลต่อสภาพการต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้มากกว่าปกติเกินกว่า $100\text{ }\mu\Omega\cdot\text{cm}$

ในปี พ.ศ. 2554 Hu Wang และคณะ [22] ได้ทำการเคลือบฟิล์ม CoFeB/MgO ซึ่งมีปริมาณโบรอน (B) ในระดับที่ต่างกันด้วยวิธีการเคลือบแบบแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (Magnetron sputtering) และนำไปทำการอบอ่อนหลังการเคลือบ (Post Annealed) ในอุณหภูมิที่ต่างกัน พบว่าในฟิล์มเคลือบ CoFeB/MgO ที่ปริมาณโบรอนเพิ่มสูงขึ้นนั้นจะมีค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) ที่ลดลง และแสดงสมบัติโครงสร้างอสัณฐาน เนื่องจากหลังการอบอ่อนในสุญญากาศฟิล์มจะปล่อยความเครียดออกมาทำให้ค่า H_c ที่ได้ลดลง โดยในฟิล์ม CoFeB/MgO ที่มีปริมาณของโบรอนต่ำนั้นค่า H_c ที่ได้จะลดลงอย่างชัดเจนมากกว่าในฟิล์ม CoFeB/MgO ที่มีปริมาณโบรอนสูง ซึ่งการวิเคราะห์ผลความเครียดในฟิล์มและแอนไอโซโทรปีในผลึก (Crystal Anisotropy) ต่อค่า H_c นั้นจะได้ว่าความเครียดในฟิล์มและแอนไอโซโทรปีในผลึกทำให้ค่า H_c ที่ได้นั้น มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และการทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นผลึกขึ้นเป็นบางส่วนในฟิล์มบางตัวอย่างด้วยวิธีการอบอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสุญญากาศ โดยการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนและปริมาณโบรอนให้สูงขึ้นล้วนแต่มีผลสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างผลึกในฟิล์มบางตัวอย่าง และส่งผลให้ขนาดของเกรนโดยเฉลี่ยลดลงด้วย หลังจากการอบอ่อนอะตอมโบรอนจะกระจายตัวไปยังบริเวณแนวเชื่อมของฟิล์ม CoFeB/MgO และจะเกิดการสร้างโบรอนออกไซด์ขึ้นในบริเวณนั้นทำให้สมบัติความเป็นแม่เหล็กอิมิตัว (Ms) ของฟิล์มลดลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปริมาณโบรอนในฟิล์ม CoFeB/MgO มีบทบาทสำคัญในการกำหนดลักษณะโครงสร้าง คุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก และเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มดังกล่าว

ในปี พ.ศ. 2555 H.Sato และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาถึงผลของความหนาของชั้นบันทึก (Recording Layer) และขนาดแนวเชื่อม (Junction sizes) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบด้วยเทคนิคอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปัตเตอริง (RF Magnetron Sputtering) ที่สามารถศึกษาได้ในแอนไอโซโทรปีเชิงตั้งฉากของฟิล์ม CoFeB/MgO ที่มีโครงสร้างเป็น Magnetic tunnel junctions (MTJs) ที่มีต่อปัจจัยเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มบางดังกล่าว พบว่าในฟิล์มโครงสร้าง MTJs ที่มีขนาดแนวเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 48–81 นาโนเมตรนั้น ไม่มีผลต่อค่าเสถียรภาพทางความร้อนในบริเวณแนวเชื่อมดังกล่าว แต่ในทางตรงกันข้ามค่าเสถียรภาพทางความร้อนในบริเวณดังกล่าวจะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตรงเมื่อค่าความหนาของฟิล์มบาง CoFeB นั้น มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าอาจยังมีปัจจัยอื่นใดที่ส่งผลต่อเสถียรภาพทางความร้อนนอกเหนือไปจากปัจจัยที่กล่าวมาดังกล่าวข้างต้นหรือไม่

ในปี พ.ศ. 2555 Lalminthang Kipgen และคณะ [23] ได้เตรียมฟิล์ม CoFeB ซึ่งเคลือบด้วยการสปัตเตอริงด้วยลำแสงไอออน (Ion-beam sputter deposition system) ความหนา 5–50 นาโนเมตร โดยไม่มีการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างขั้นตอนของการเคลือบ เพื่อทำการศึกษาสมบัติความเป็นแม่เหล็กและสมบัติทางโครงสร้างของฟิล์มดังกล่าวด้วยแบบจำลองแอนไอโซโทรปีแบบสุ่ม พบว่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GAXD (Glancing angle X-ray diffraction) นั้นได้แสดงให้เห็นว่าสารเฟอร์โรแมกเนติกแบบอ่อนที่พบในฟิล์มวัสดุโครงสร้างอสังฐาน CoFeB นั้น มีการจัดรูปแบบโครงสร้างของเกรนระดับนาโนเป็นเมตริกซ์ และถึงแม้จะไม่มีการใส่สนามแม่เหล็กจากภายนอกเข้าไปในระหว่างขั้นตอนการเคลือบแต่กลับพบว่ามีปรากฏการณ์ของเคอร์ดำนที่ศนศาสตร์แม่เหล็กอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นอย่างชัดเจนในฟิล์มเคลือบบนระนาบตามแนวแกนแอนไอโซโทรปีความเป็นแม่เหล็ก (Ku) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง (300 K) ทำให้เกิดข้อขัดแย้งขึ้นเมื่อพบความเค้นเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่แอนไอโซโทรปีที่พบดังกล่าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกรนผลึกขนาดเล็กระดับนาโนที่อยู่ในโครงสร้างเมตริกซ์ของวัสดุโครงสร้างอสังฐานนั้นไม่สามารถอธิบายได้ในแอนไอโซโทรปีที่พบบนระนาบเดียวกัน เนื่องจากค่าเฉลี่ยช่วงอันตรกิริยาแลกเปลี่ยน (Exchange Interaction) ซึ่งกลไกต่าง ๆ ได้ช่วยอธิบายถึงแอนไอโซโทรปี (Ku) ในระนาบเดียวกัน เช่น แอนไอโซโทรปีเชิงรูปทรงการตกตะกอนที่เป็นไปได้ของสารผสม Fe₂B ใน CoFeB และความเครียดภายในซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างเกรนผลึกขนาดเล็กระดับนาโนและวัสดุอะมอร์ฟัสโครงสร้างเมตริกซ์ ซึ่งเชื่อว่าสิ่งสำคัญซึ่งส่งผลต่อ Ku โดยหลักแล้วมาจากแอนไอโซโทรปีแม่เหล็กความเค้นเหนี่ยวนำดังจะเห็นได้จากค่าโคเออร์ซิวิตีที่สูงขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นและทิศทางแอนไอโซโทรปีตามแนวแกนที่ขึ้นอยู่กับการเกิดผลึกของแผ่นรองรับ (Ku ที่อยู่ในทิศทางระนาบ [110]).

ในปี พ.ศ. 2555 Zhe Liu และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบางอสังฐาน CoFeB ภายใต้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกัน โดยทำการเตรียมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสเป็คเตอริงที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งในระหว่างขั้นตอนการเตรียมฟิล์มนั้นได้ทำการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กขนาด 500 Oe ที่มีทิศทางต่างกันเข้าไป ซึ่งพบว่าสภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มภายใต้สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกันที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงนั้นส่งผลต่อสมบัติโครงสร้างและสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB โดยสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางที่ได้นั้นแสดงออกเป็น 2 โครงสร้างด้วยกัน คือ แสดงโครงสร้างแบบผลึกของ CoFe เป็นบางส่วนและแสดงโครงสร้างหลักแบบอสัณฐาน และยังพบอีกว่าทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มนั้นยังส่งผลต่อสมบัติพื้นผิวและสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบางอีกด้วย

จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า

ปัจจัยที่ช่วยปรับปรุงสมบัติโครงสร้างและสมบัติแม่เหล็กให้กับฟิล์มบาง CoFeB ได้แก่ การควบคุมเงื่อนไขในกระบวนการเตรียมฟิล์มให้เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเคลือบฟิล์มแบบต่าง ๆ เช่น กระบวนการสเป็คเตอริง จำเป็นต้องควบคุมกำลังไฟฟ้า และปริมาณก๊าซอาร์กอนให้เหมาะสม นอกจากนี้ กระบวนการให้ความร้อน (annealing) และการใส่สนามแม่เหล็ก (pole) ในกระบวนการเคลือบฟิล์ม จะส่งผลถึงสมบัติของแม่เหล็กเฟอร์ไรท์ที่มีคุณภาพอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยและรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการทดลอง โดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลอง ได้แก่ เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี วิธีการเตรียมฟิล์มบาง การวัด และการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบางที่เตรียมได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
3. อะซิโตน (Acetone : C_3H_6O)
4. น้ำสบู่
5. น้ำยาล้างจาน
6. ก๊าซอาร์กอนความบริสุทธิ์ (99.9995%) สำหรับสปัตเตอร์ (Sputter Gas)
7. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water) หรือทั่วไปเรียกกันว่าน้ำ DI เป็นน้ำที่ผ่านการกรองไอออน ใช้เรซินเป็นตัวกรอง โดยผ่าน Ion Exchange เพื่อจับทั้งไอออนบวกและไอออนลบออกจากน้ำ จึงทำให้ได้น้ำที่ไม่มีไอออนหลงเหลืออยู่ และเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงอย่างแท้จริง เพราะโมเลกุลที่เหลืออยู่จะมีเพียงโมเลกุลของน้ำ H_2O เท่านั้น โดยใช้น้ำชนิดนี้ในขั้นตอนการทำทำความสะอาดแผ่นรองรับแก้วและซิลิกอนในห้องปฏิบัติการ เพราะเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง

3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาดต่างๆ
 2. ถังมือยางแบบไม่มีแรง (ไร้ฝุ่น)
 3. คีมปากคีบ
 4. ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจนพร้อมหัวเป่า
 5. ภาชนะเก็บชิ้นงาน
 6. นาฬิกาจับเวลา
 7. มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล (Digital Multimeter)
 8. วัสดุรองรับเป็นวัสดุที่ใช้เคลือบฟิล์มบาง ใช้กระจกสไลด์ความหนา 1 mm และซิลิกอนเวเฟอร์ (100) ความหนา 300 μm มีผิวเรียบที่ขัด 1 ด้าน ขนาด 1x1 นิ้ว
 9. เป้าสารเคลือบ CoFeB (Target) ในอัตราส่วน Co: Fe:B เท่ากับ 40:40:20 มีลักษณะเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 1/4 นิ้ว มีความบริสุทธิ์ 99.95%
 10. เครื่องสปัตเตอร์ ระบบ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอร์ จากหน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องสเปคโตริง ระบบ ดีซี แมกนีตรอน สเปคโตริงที่ใช้ในการทดลอง

มีส่วนประกอบสำคัญ คือ

10.1 ระบบเครื่องสูบลมสุญญากาศ ระบบเครื่องสูบลมสุญญากาศทำหน้าที่สูบลมอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ ประกอบด้วยเครื่องสูบลม 2 ชนิด คือเครื่องสูบลมสุญญากาศโรตารี (Rotary pump) มีหน้าที่ในการสร้างสุญญากาศขั้นต้นให้กับภาชนะสุญญากาศและขับเคลื่อนของปั๊มแพร่ไอน้ำมัน (Diffusion Pump) สามารถสร้างสุญญากาศภายในภาชนะสุญญากาศให้มีความดันต่ำประมาณ 10^{-2} mbar และเครื่องสูบลมแพร่ไอน้ำมันที่สูบลมอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศสามารถลดความดันภายในภาชนะสุญญากาศได้ถึง อยู่ในระดับ $10^{-6} - 10^{-7}$ mbar

10.2 ภาชนะสุญญากาศ (Vacuum chamber) การเคลือบฟิล์มบางจะกระทำอยู่ในภาชนะสุญญากาศ ซึ่งทำมาจากสเตนเลสโดยมีฝาปิด/เปิดเพื่อใส่ชิ้นงานอยู่ด้านหน้า มีช่องหน้าต่างกระจกเพื่อใช้สังเกตระหว่างกระบวนการสเปคโตริงเพื่อสามารถควบคุมการทำงานระหว่างกระบวนการสเปคโตริงได้

10.3 อิเล็กโทรดและหัวแมกนีตรอน หัวแมกนีตรอนเป็นแบบทรงกระบอกประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรและขั้วอิเล็กโทรดซึ่งทำจากทองแดง และส่วนของแดงนี้จะใช้สำหรับติดตั้งเป้าสารเคลือบโดยมีตัวยึดทำจากสเตนเลสมีลักษณะเป็นวงแหวนยึดด้วยสกรูโดยรอบจำนวน 6 จุดระบายความร้อนด้วยน้ำโดยมีแผ่นปิดอยู่ด้านหลังของเป้าสารเคลือบ และใช้เป้าสารเคลือบและแท่นจับวัสดุรองรับเป็นอิเล็กโทรด

10.4 ระบบหล่อเย็น ระบบหล่อเย็นนี้เป็นระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับเครื่องสูบลมแพร่ไอ น้ำมัน หัวแมกนีตรอนและเป้าสารเคลือบ โดยการต่อท่อน้ำจากด้านหลังของถังน้ำหล่อเย็นเข้าสู่ระบบน้ำหล่อเย็นทางด้านล่างของระบบสุญญากาศ และปั๊มแพร่ไอ น้ำมัน เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำเย็นระหว่างเครื่องสูบลมแพร่ไอ น้ำมัน หัวแมกนีตรอนและเป้าสารเคลือบกับถังน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิของน้ำที่ใช้คือ 18°C

10.5 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า จะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่ส่วนหัวแมกนีตรอนคาโทด เพื่อทำให้เกิดการโกลดิสซาร์จ (ก๊าซอาร์กอนแตกตัวเป็นไอออน) และสนามไฟฟ้านี้จะเร่งไอออนที่เกิดขึ้นนำไปสู่การเกิดกระบวนการสเปคโตริง มีโหมดการทำงานแบ่งเป็น 3 โหมด คือ Power regulate, Current regulate และ Voltage regulate มีระบบป้องกันการอาร์คโดยการตรวจวัดสถานะของโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.6 ระบบปั๊มแก๊ส ประกอบด้วยวาล์ว 2 ทางทำหน้าที่ในการควบคุมอัตราการไหลหรือเปิด/ปิดการจ่ายก๊าซเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยมีส่วน Mass flow controller ที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านตัว Control Unit ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปริมาณของแก๊สที่ปล่อยเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยแก๊สอาร์กอนที่เข้าสู่ระบบจะถูกปั๊มออกจากถังแก๊สผ่านวาล์ว 2 ทางไปยัง Mass Flow Controller ก่อนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ ซึ่งแก๊สอาร์กอนจะไหลผ่านท่อที่แยกออกจากกัน แก๊สอาร์กอนจะไหลเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศบริเวณอิเล็กทรอนิกส์และหัวแมกนีตรอน ทำให้แก๊สอาร์กอนที่ปั๊มเข้าสู่ระบบฟุ้งกระจายอยู่บริเวณด้านหน้าเป้าสารเคลือบอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดกระบวนการสเป็คเตอรืงที่ผิวหน้าของเป้าสารเคลือบอย่างทั่วถึง

ขั้นตอนการปฏิบัติงานในการใช้เครื่องสเป็คเตอรืง ระบบ ดีซี แมกนีตรอน สเป็คเตอรืง

1. การเปิดการสร้างภาวะสุญญากาศ

- 1.1 ตรวจสอบวาล์วทุกตัวอยู่ในสถานะปิด
- 1.2 เปิดเครื่องสูบลูกโรตารี (หากเครื่องสูบลูกโรตารีทำงานปกติจะได้อัตราความดันระดับ $10^{-2} - 10^{-3}$ mbar)
- 1.3 เปิดวาล์วท้าย เพื่อสูบลูกอากาศออกจากเครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อ ผ่านท่อท้ายจนกระทั่งได้อัตราความดันต่ำกว่า 10^{-2} mbar
- 1.4 ตั้มน้ำมันของเครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อ (การตั้มน้ำมันของเครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อจะใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที เครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อจึงพร้อมทำงาน)
- 1.5 ช่วงแรกเป็นการสร้างภาวะสุญญากาศขั้นต้น หรือที่เรียกว่าเป็นการสูบลูกแบบหยาบ (ความดันมีค่ามากกว่า 10^{-6} mbar) ในภาชนะสุญญากาศโดยใช้เครื่องสูบลูกโรตารี ซึ่งจะสูบลูกอากาศภายในภาชนะสุญญากาศออกสู่บรรยากาศ มีขั้นตอนดังนี้ คือ
 - ปิดวาล์วท้าย (Backing valve)
 - เปิดวาล์วหยาบ (Roughing valve) เพื่อให้เครื่องสูบลูกโรตารีสูบลูกอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ
 - เมื่อความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ $10^{-2} - 10^{-3}$ mbar จึงปิดวาล์วหยาบและเปิดวาล์วท้าย
- 1.6 ต่อมาเป็นการสร้างภาวะสุญญากาศสูงภายในภาชนะสุญญากาศ (ให้มีค่าที่ระดับ 10^{-6} mbar) โดยใช้เครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อ มีขั้นตอนดังนี้คือ
 - ตรวจสอบความดันภายในภาชนะสุญญากาศว่ายังคงอยู่ที่ $10^{-2} - 10^{-3}$ mbar หรือไม่ (โดยขั้นนี้ให้ปิดวาล์วท้ายและเปิดวาล์วหยาบ เพื่อตรวจสอบความดัน)
 - ถ้าความดันภายในภาชนะสุญญากาศต่ำกว่า 10^{-2} mbar จึงเริ่มสูบลูกอากาศในภาชนะสุญญากาศ ด้วยเครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อ ทำได้โดยปิดวาล์วหยาบ เปิดวาล์วท้าย เพื่อให้เครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อทำงานต่อเนื่องกับเครื่องสูบลูกโรตารี
 - จากนั้นจึงเปิดวาล์วสุญญากาศสูง (High vacuum valve) เพื่อลดความดันภายในภาชนะสุญญากาศ โดยเครื่องสูบลูกแบบแฟรื่อจะสูบลูกอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศผ่านเครื่องสูบลูกโรตารีออกสู่บรรยากาศภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หลังจากเปิดวาล์วสุญญากาศสูงแล้วความดันภายในภาชนะสุญญากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว
- 1.7 ความดันภายในภาชนะสุญญากาศจะต่ำลงไปเรื่อย ๆ จนได้ความดันที่ต้องการ เรียกความดันที่อ่านได้ขณะนี้ว่า ความดันต่ำสุด (base pressure)

2. ขั้นตอนการเคลือบฟิล์ม

- 2.1 ปล่องก๊าซอาร์กอนและก๊าซอื่น ๆ ที่ต้องการเข้าภาชนะสุญญากาศ โดยควบคุมความดันและอัตราการไหลของก๊าซด้วย Mass flow controller ผ่านหน้าจอส่วควบคุม
- 2.2 เปิดสวิตช์แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องและทำการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจนเกิดการโคจรอิเล็กตรอน (คายประจุแบบเรอึงแสง) ซึ่งไฟหน้าจอส่วของเครื่องจะแสดงสถานะ Plasma
- 2.3 เคลือบฟิล์มตามระยะเวลาที่ต้องการ
- 2.4 ปิดสวิตช์ OUTPUT และสวิตช์ POWER ตามลำดับ
- 2.5 ปิดสวิตช์การทำงานของ Mass flow controller ทั้งหมดเพื่อไม่ให้มีก๊าซไหลเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ

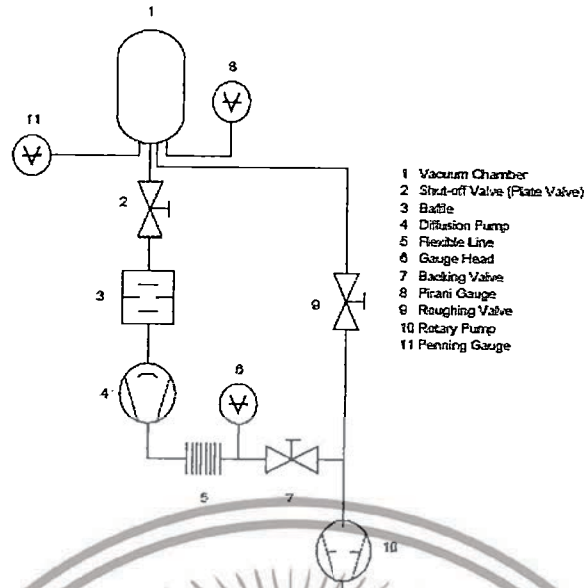
หมายเหตุ

- ควรทำการพรีสปีดเตอร์ (Pre-sputtering) บริเวณผิวหน้าของเป้า CoFeB โดยไม่ต้องเปิดชัตเตอร์เพื่อเป็นการทำความสะอาดผิวหน้าเป้าก่อนการเคลือบเป็นเวลาประมาณ 5 นาที หรือรอจนกว่าค่าความดันก๊าซอาร์กอนที่ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 5 นั้นจะคงที่
- ควรทำการไล่ออกซิเจนหรืออากาศภายในภาชนะสุญญากาศ (Chamber) ออกไปด้วยการใส่ (Flush) ก๊าซอาร์กอนเข้าไปในภาชนะสุญญากาศ (Chamber)

3. การปิดการสร้างภาวะสุญญากาศ

- 3.1 ตรวจสอบการปิด-เปิดวาล์วต่าง ๆ ดังนี้
 - ปิดวาล์วสุญญากาศสูง (High vacuum valve)
 - ปิดวาล์วหยาบ (Roughing valve)
 - เปิดวาล์วท้าย (Backing valve)
- 3.2 หยุดการทำงานของเครื่องสูบบแบบแพร่ไ้ โดยการหยุดตัมน้ำมันของเครื่องสูบบแบบแพร่ไ้เพื่อลดความร้อนของน้ำมัน (จะใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที)
- 3.3 ขณะที่รอเครื่องสูบบแบบแพร่ไ้หยุดทำงาน เครื่องสูบบกลโรตารียังต้องทำงาน ห้ามปิดรอจนเครื่องสูบบแบบแพร่ไ้หยุดทำงาน ปิดวาล์วท้าย (Backing valve)
- 3.4 จากนั้นปิดเครื่องสูบบกลโรตารีและเปิดวาล์วปล่อย (Vent valve) ของเครื่องสูบบกลโรตารี เพื่อเพิ่มความดันใน Backing line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพของเครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบดีซี แมกนีตรอน สเป็คเตอร์ริง

11. อ่างล้างความถี่สูง (Ultrasonic Bath) ยี่ห้อ Elmasonic รุ่น E30H จากหน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นระบบทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องใช้ที่ใช้ระบบคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นเสียงที่อยู่ในระดับความถี่ 15-400 KHz และต้องให้สารละลายที่เหมาะสมพร้อมกันด้วย การทำความสะอาดโดยระบบนี้จำเป็นต้องมีสารละลายทำความสะอาดที่เหมาะสมเพราะหลักการทำงานของเครื่อง คือ การช่วยให้สารละลายที่จะทำการชะล้างทำความสะอาดมีประสิทธิภาพสูงสุด เครื่อง Ultrasonic นั้น มีหลักการทำงาน คือ ส่งคลื่นความถี่สูงลงสู่สารละลายที่ใช้ชะล้าง การส่งคลื่นความถี่สูงลงไปของเหลวนั้นส่งผลให้โมเลกุลของของเหลวเกิดการบีบอัดสั่นสะเทือน เป็นผลให้มีฟองอากาศสุญญากาศเล็ก ๆ จำนวนมากผุดขึ้น เรียกลักษณะดังกล่าวว่า กระบวนการ Cavitation แต่เนื่องจากฟองอากาศดังกล่าวไม่ใช่ฟองอากาศที่เกิดจากการตีน้ำธรรมดาเพราะเกิดจากคลื่นความถี่สูง (จากรายงานพบว่าจะทำให้ฟองอากาศ Collapse ต้องใช้สมทภูมิ 10,000K ความดัน 50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เพราะฉะนั้นฟองอากาศเล็ก ๆ ดังกล่าวจึงมีพลังงานแฝงอยู่สามารถชะล้างคราบหรือสิ่งฝังที่อยู่บนผิวอุปกรณ์ได้โดยไม่ทำลายชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากฟองอากาศมีเป็นจำนวนมาก จึงสามารถเข้าซอกซอนในทุกซอกมุมเล็ก ๆ ได้ด้วย เครื่องที่สามารถผลิตคลื่นความถี่ได้สูงเท่าไร มีผลทำให้เกิดฟองอากาศดังกล่าวได้มากและพลังแฝงมาก ซึ่งก็จะมีผลให้การทำความสะอาดดีขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 อ่างล้างความถี่สูง Elmasonic รุ่น E30H

12. ตู้ดูดอากาศ (Fume Hood) จากหน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการที่ทำหน้าที่ป้องกันผู้ปฏิบัติการจากอันตรายของสารเคมี หรือสารระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) อาทิเช่น Acetone และ Ethanol เป็นต้น ระหว่างการทำงานไม่ว่าจะเป็นจากการสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง หรือทางการหายใจก็ตาม อีกวัตถุประสงค์รองลงมา คือ เพื่อป้องกันผลกระทบของการหกหรือกระเด็นในส่วนพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยมีหลักการทำงาน คือ เริ่มจากการดูดอากาศภายในบริเวณที่เครื่องนี้ตั้งอยู่ผ่านทางด้านบนของเครื่องไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อนอกเครื่องจนส่งออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด



รูปที่ 3.4 ตู้ดูดอากาศ

13. ตู้ดูดความชื้น (Electronic Dry Cabinet) ยี่ห้อ WEIFO รุ่น DRY-60 จากหน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภายในตู้ดูดความชื้น ประกอบด้วย Shape memory alloy & IC Timer และซีโอไลต์ (Zeolite) เมื่อค่าความชื้นภายในตู้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด IC Timer ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับความชื้นภายในตู้จะสั่งการให้ Shape memory alloy ทำปฏิกิริยากับกระแสไฟฟ้า ทำให้ขดลวดคลายตัว และวาล์วเปิดออกให้อากาศภายในตู้เข้ามาที่กล่องดูดความชื้นเพื่อเข้ากระบวนการดูดซับ โดยซีโอไลต์จะทำหน้าที่ในการดูดซับความชื้นและปล่อยออกนอกตู้ เมื่อค่าความชื้นเป็นไปตามค่าที่เรากำหนด IC Timer จะสั่งให้ Shape memory alloy หยุดทำงาน ขดลวดจะหดตัวเพื่อให้วาล์วปิดการทำงานจะวนเวียนอยู่แบบนี้อย่างอัตโนมัติเพื่อรักษาระดับความชื้นภายในตู้ ขั้นตอนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการลดความชื้นทั้งหมดจะไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง และไม่เกิดหยดน้ำขึ้นภายในตู้ จึงทำให้สิ่งของที่เรเก็บคงสภาพอยู่ได้อย่างยาวนานโดยไม่เสื่อมสภาพ



รูปที่ 3.5 ตู้ลดความชื้น

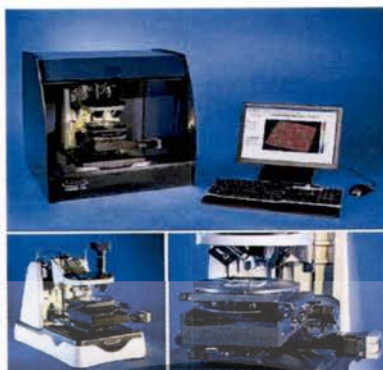
14. เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน (Deionization Water) ยี่ห้อ WATER PRO PS รุ่น LABCONCO 9000502 จากหน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาศัยหลักการของไฟฟ้าเพื่อสร้างให้เกิดความต่างศักย์ที่ปลายขั้วทั้งสองข้างของแผ่น Anode และ Cathode โดยมีสารกรอง Mixed Resin ซึ่งถูกประกบด้วย Cation Membrane และ Anion Membrane วางเรียงซ้อนกันเหมือนแซนวิชประกบเป็นคู่ ๆ เมื่อมีน้ำไหลผ่านเข้าในช่องของ Mixed Resin สนามไฟฟ้าประจุบวกจะดึงประจุลบในน้ำผ่าน Anion Membrane และสนามไฟฟ้าประจุลบจะดึงประจุบวกผ่าน Cation Membrane ประจุของสารละลายจะมารวมกันในช่องของ Concentrate ซึ่งจะทำให้น้ำในส่วนนี้มีความเข้มข้นสูงขึ้นและปล่อยออกทิ้ง ขณะเดียวกันจะเกิดการแตกตัวของ H^+ และ OH^- ในโมเลกุลของน้ำในบริเวณที่ Cation Resin และ Anion Resin สัมผัสกันทำให้เกิดการล้างคืนรูปสารกรอง Resin ไปพร้อม ๆ กันทำให้น้ำที่ออกจากช่องของสารกรองเป็นน้ำบริสุทธิ์ไม่จำเป็นต้องล้างคืนรูปสารกรองอีกต่อไป



รูปที่ 3.6 เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน

15. เครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) รุ่น Veeco Dektak 150 จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความหนาของพื้นผิว (Surface thickness) โดยใช้ปลายวัด (Stylus) ซึ่งทำด้วยเพชรลากไปยังบริเวณพื้นผิว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต้องการวัดในระยะทางที่กำหนด จากนั้นเครื่องจะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นค่าคุณสมบัติของผิว (Surface parameter) ซึ่งเครื่องจะทำการคำนวณและแปลผลออกมาให้อยู่ในรูปแบบของกราฟ



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความหนาฟิล์ม

16 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy) รุ่น Park system XE 100 จากหน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความขรุขระและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางในระดับนาโน โดยอาศัยหลักการของอันตรกิริยาของแรงระหว่างอะตอม (atomic force) ระหว่างหัวเข็มวัดในระดับนาโนกับพื้นผิวของสาร และจะทำการประมวลผลออกมาในลักษณะของภาพพื้นผิว



รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

17. เครื่องวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction) ยี่ห้อ Bruker AXS รุ่น D8 Advance จากศูนย์เครื่องวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เครื่องวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

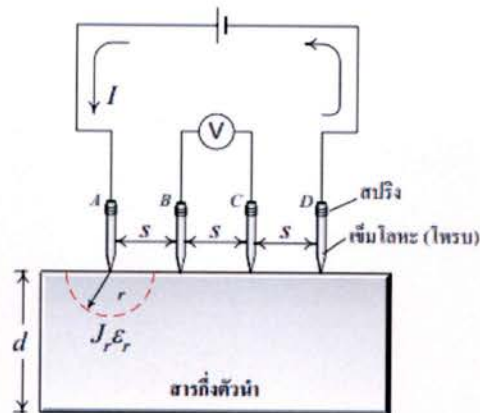
18. เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น (Vibrating Sample Magnetometer) จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้วิเคราะห์สมบัติฮิสเทอรีซิสเชิงแม่เหล็ก โดยการกำหนดค่าสนามแม่เหล็กภายนอกแก่สารตัวอย่างซึ่งเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กตัวอย่างแบบสั่นนี้มีค่าความละเอียดของการตั้งค่าสนามแม่เหล็ก (Field Setting Resolution) อยู่ที่ 60 mOe และค่าความไวของการตอบสนอง (Sensitivity: rms) อยู่ที่ 10^{-6} emu



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น

19. ชุดเครื่องมือวัดโพรบวัดสี่ขั้ว (4-point probe) พร้อมชุดจับยึด และขับเคลื่อนที่ได้โดยการคิดค้นและพัฒนาของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โพรบวัดสี่ขั้วนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์ม อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและทดลอง ประกอบด้วยเข็มโลหะจำนวน 4 เข็ม มีปลายแหลม และอาจมีสปริงช่วยให้ปลายของเข็มถูกกดและสามารถสัมผัสกับระนาบผิวหน้าด้านที่เคลือบฟิล์มบางของชิ้นงานสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี เข็มทั้ง 4 คือ A, B, C และเข็ม D อยู่ห่างกันเป็นระยะ s เท่า ๆ กัน ซึ่งในทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไปจะมีค่าราว 0.5 - 1 มม ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน ในการวัดจะเริ่มจากการปล่อยกระแสที่เข้าไปที่เข็มนอกสุด คือเข็ม A และ D ทำให้มีกระแสไหลจากขั้ว A ผ่านเนื้อสารกึ่งตัวนำไปยังเข็ม D จึงเกิดมีแรงดันตกคร่อมเนื้อสารและถูกวัดออกมาที่ขั้ว B และ C หลังจากนั้นนำค่ากระแสที่ I และแรงดัน V ที่วัดได้มาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ชุดเครื่องมือวัดโพรบวัดสี่ขั้ว

3.3 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

1. วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ศูนย์เครื่องวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

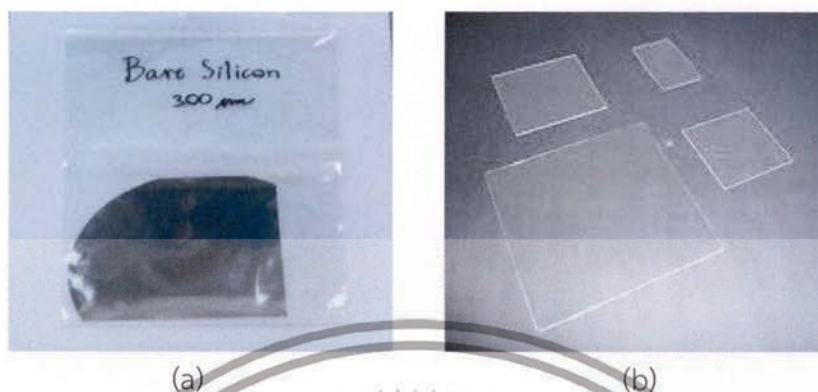
โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (DC Magnetron Sputtering) เจือปนในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB และอิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง ซึ่งได้แก่ สมบัติโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนของการดำเนินการทดลองโดยรวม ดังนี้

1. การเตรียมวัสดุรองรับ (กระจกสไลด์ และแผ่นซิลิกอน เวฟเฟอร์)
2. การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB
 - ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของกำลังไฟฟ้าที่ต่างกัน
 - ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มที่ต่างกัน
 - ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของทิศทางกระแสสนามแม่เหล็กที่ต่างกัน
3. การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมวัสดุรองรับ

วัสดุรองรับที่ใช้ในการทดลองเป็นกระจกสไลด์ขนาด 1x1 นิ้ว หนา 0.10 เซนติเมตร และ ซิลิกอนเวเฟอร์ ขนาด 1x1 นิ้ว หนา 300 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.12 (a) และ (b) ตามลำดับ

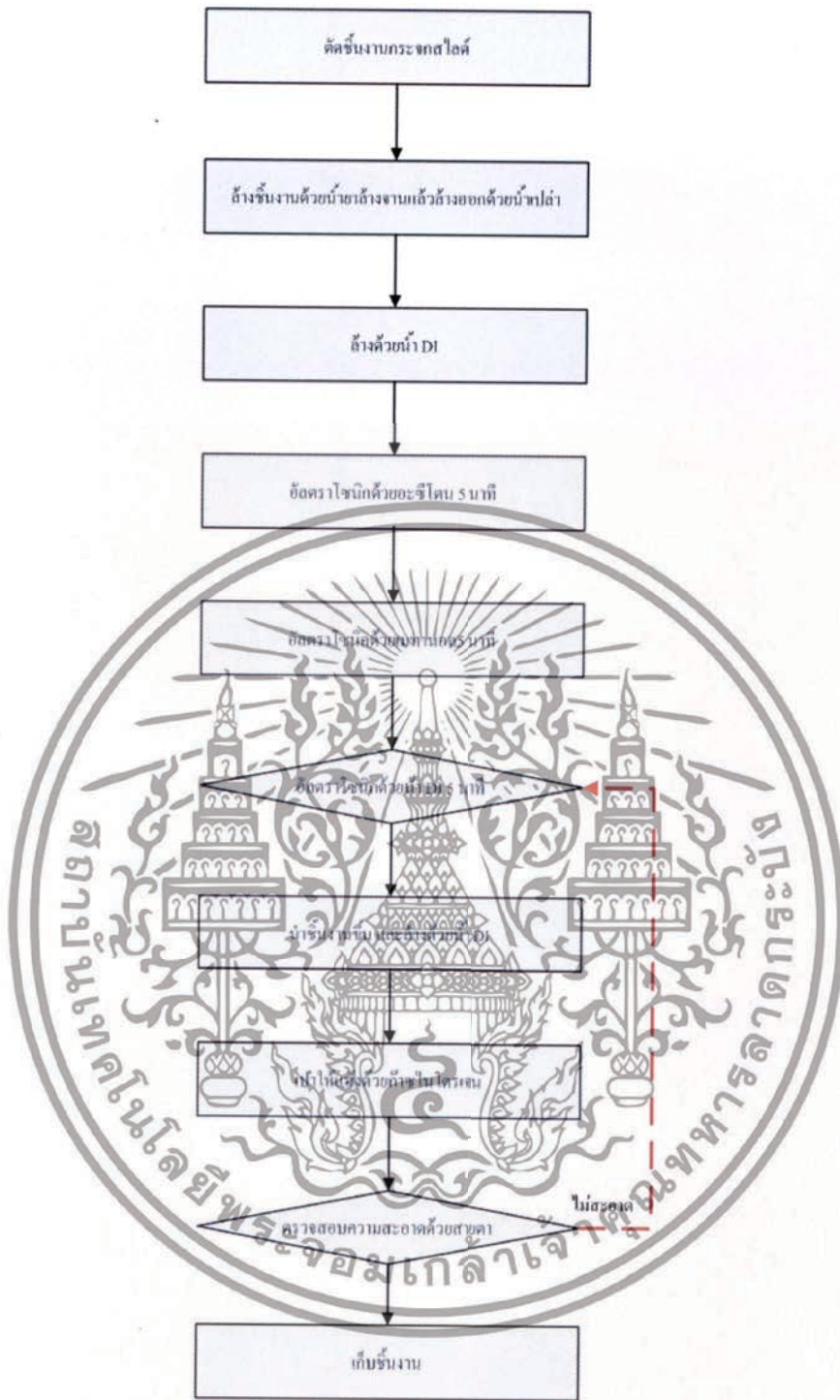


รูปที่ 3.12 (a) วัสดุรองรับกระจกสไลด์ (b) วัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

ซึ่งวัสดุรองรับเหล่านี้ก่อนนำมาศึกษาหรือเคลือบฟิล์มจะต้องนำมาทำความสะอาด สิ่งสกปรกที่อยู่บนผิวของวัสดุรองรับให้ปราศจากคราบฝุ่นไขมัน สารอินทรีย์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผิว กระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ที่สะอาดทำให้ฟิล์มที่เคลือบยึดติดแน่นลงบนผิววัสดุรองรับทั้งสองซึ่ง จะส่งผลต่อสมบัติที่ดีของฟิล์มด้วย ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการทำความสะอาดแบ่งตามประเภทของวัสดุ รองรับ ดังนี้

1.1 การทำความสะอาดวัสดุรองรับกระจกสไลด์ เริ่มจากตัดชิ้นงานกระจกสไลด์ ให้มีขนาด 1x1 นิ้ว นำชิ้นกระจกสไลด์ล้างด้วยน้ำยาล้างจาน เพื่อขจัดฝุ่นและคราบไขมันแล้วล้างออก ด้วยน้ำเปล่า แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น (DI) อัลตราโซนิกด้วยอะซิโตน 5 นาที เพื่อล้างคราบไขมันและ สิ่งสกปรกที่ติดแน่นที่ไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้ แล้วนำไปอัลตราโซนิกด้วยเมทานอลอีก 5 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปอัลตราโซนิกด้วยน้ำกลั่น เป็นเวลา 5 นาที นำชิ้นงานขึ้นโดยใช้คีมคีบและล้าง ด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง นำแผ่นแก้วสไลด์มาทำให้แห้งโดยควรวเปาด้วยก๊าซไนโตรเจน หลังจากนั้นเก็บแผ่น รองรับที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วไว้ในกล่อง นำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อรอ ทำการเคลือบต่อไป (หากยังมีคราบสกปรกอยู่ให้นำกลับไปทำความสะอาดใหม่ในขั้นตอนการอัลตรา โซนิกด้วยน้ำ DI อีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที) โดยขั้นตอนการล้างวัสดุรองรับกระจกสไลด์แสดงดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แผนภาพไดอะแกรมแสดงการทำความสะอาดกระจกชิ้นงาน

1.2 การทำความสะอาดวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ เริ่มจากตัดชิ้นงานซิลิกอน เวเฟอร์ให้มีขนาด 1x1 นิ้ว นำชิ้นกระจกสไลด์ล้างด้วยน้ำยาล้างจานเพื่อขจัดฝุ่นและคราบไขมันแล้วล้างออกด้วยน้ำเปล่า แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น (DI) จากนั้นนำชิ้นงานไปอัลตราโซนิกด้วยสารละลายปิรันฮา (Piranha solvent) ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างกรดซัลฟิวริก(H₂SO₄) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ในอัตราส่วน (H₂SO₄: H₂O₂ = 3:1) เพื่อกำจัดอนุภาคปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์ออกจากพื้นผิวแผ่นซิลิกอนเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนเดียวกันกับปฏิบัติการทำความสะอาดแก้ว

เอกลี นวนิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเมื่อปี 10 ธันวาคม 2563 โดยอาจารย์ ดร. นันทิยา นันทิยา อาจารย์ค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุรองรับกระจกสไลด์ดังกล่าวข้างต้นในหัวข้อที่ 1.1 (การทำความสะอาดวัสดุรองรับกระจกสไลด์) โดยขั้นตอนการล้างวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์แสดงดังรูปที่ 3.14

หมายเหตุ ควรนำวัสดุรองรับที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ไปทำการเคลือบฟิล์มทันทีหากเป็นไปได้ ไม่ควรเก็บวัสดุรองรับที่ทำความสะอาดแล้วไว้เป็นเวลานานเกินไป เพราะอาจมีสิ่งปนเปื้อนต่าง เช่นฝุ่น ชนิดต่าง ๆ ใอน้ำ และสารเคมีจับผิวหน้าวัสดุรองรับได้ แม้จะเก็บไว้ในภาชนะที่ป้องกันอย่างดีก็ตาม



รูปที่ 3.14 แผนภาพไดอะแกรมแสดงการทำความสะอาดชิ้นงานซิลิกอน เวเฟอร์

2. การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB

การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยวิธี ดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering) จากเป้า CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับที่เป็นกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์ และใช้ ก๊าซอาร์กอน (Ar) 99.9995 % เป็นก๊าซพลาสมา โดยควบคุมการไหลของก๊าซด้วยเครื่องควบคุมการไหล (Mass Flow Controller) ในการทดลองจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ของการเคลือบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ความดันก๊าซอาร์กอน กำลังไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบ และระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับ เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยได้ควบคุมระยะห่างระหว่างเป้ากับวัสดุรองรับที่ 11 เซนติเมตร แล้วนำฟิล์มที่เตรียมตามสภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ ไปศึกษาสมบัติโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็ก โดยมีรายละเอียดการเตรียมฟิล์มดังนี้

2.1. ทำความสะอาดภายในภาชนะสุญญากาศ (Chamber) โดยเก็บเศษฝุ่นผง และเช็ดทำความสะอาดคราบสกปรกภายในที่เกิดขึ้น ขณะสปีดเตอร์ในครั้งที่ผ่านมามากให้หมด ใช้อลูมิเนียมฟอยล์บุผนังด้านในภาชนะสุญญากาศเพื่อป้องกันคราบติดตามผนังขณะสปีดเตอร์

2.2 นำวัสดุรองรับที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทั้งกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์) มาวางไว้บนแผ่นวางวัสดุรองรับชิ้นงานรองรับ ซึ่งอยู่ด้านล่างของภาชนะสุญญากาศ และเป็นขั้วบวก (Anode) เพื่อใช้เป็นชิ้นงานเคลือบ โดยมีเป้า CoFeB ที่ติดอยู่ด้านบนและเป็นขั้วลบ (Cathode) ดังแสดงในรูปที่ 3.15 กำหนดระยะห่างระหว่างเป้ากับวัสดุรองรับเป็น 11 เซนติเมตร ก่อนทำการสปีดเตอร์ต้องปิดเป้าด้วยชัตเตอร์ (Shutter) ที่ทำจากอลูมิเนียมเพื่อป้องกันการเคลือบ แล้วปิดฝาภาชนะสุญญากาศให้สนิท

2.3 เปิดสวิตช์เครื่องทำความเย็นและระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนของเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ (Diffusion pump : DF) และขั้วลบ (Cathode) ขณะทำการสปีดเตอร์

2.4 เปิดสวิตช์ควบคุมเครื่องสปีดเตอร์ เปิดระบบปั๊มเริ่มจากเปิดสวิตช์เครื่องสูบล (Rotary pump : RP) เปิดเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ (Diffusion pump : DF) สร้างสภาวะสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ จนความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 8.5×10^{-6} mbar ซึ่งจะใช้เป็นค่าความดันเริ่มต้น (Base Pressure) ของระบบก่อนที่จะทำการเคลือบฟิล์ม

2.5 เปิดระบบก๊าซอาร์กอน (Ar) หมุนเปิดวาล์วที่ถึงก๊าซและปรับปริมาณการปล่อยก๊าซ เพื่อปล่อยก๊าซอาร์กอนจากถังบรรจุก๊าซเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยปรับวาล์วจนความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าตามสภาวะเงื่อนไขที่ต้องการ โดยการปรับเครื่องควบคุมการไหล (Mass Flow Controller) ของก๊าซอาร์กอนเพื่อควบคุมความดันก๊าซอาร์กอนจนกว่าจะคงที่

2.6 เปิดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หมุนปรับเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt) แล้วปรับกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการตามเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อป้องกันกำลังไฟฟ้าให้แก่คาโทด จนกระทั่งเกิดกระบวนการโกลด์ติสซาร์จขึ้นในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน โดยชัตเตอร์ยังคงปิดกั้นระหว่างคาโทดกับชิ้นงาน

2.7 ทำการพรีสปีดเตอร์ (Pre-sputtering) บริเวณผิวหน้าของเป้า CoFeB โดยไม่ต้องเปิดชัตเตอร์เพื่อเป็นการทำความสะอาดผิวหน้าเป้าก่อนการเคลือบเป็นเวลาประมาณ 5 นาที หรือรอจนกว่าค่าความดันก๊าซอาร์กอนที่ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 5 นั้นจะคงที่ บันทึกผลค่า (Vpre) และ (Ipre) ที่เกิดขึ้นจากโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์แสดงบนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

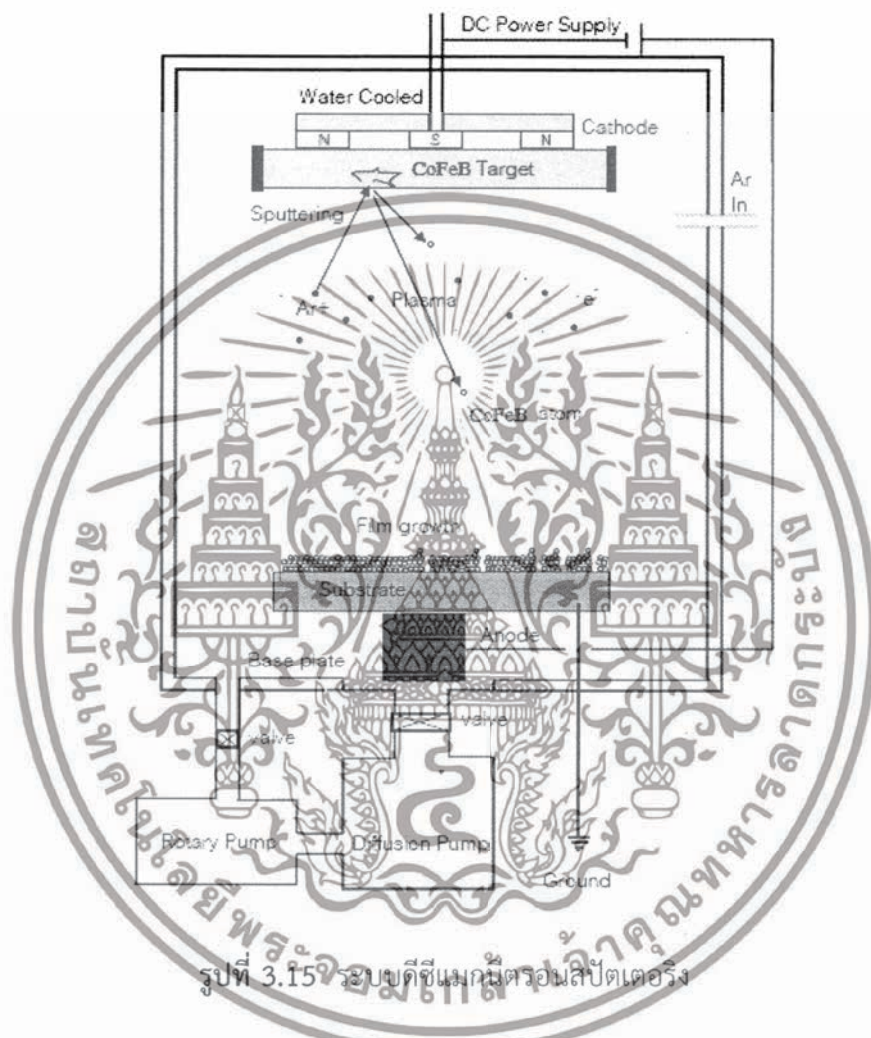
2.8 เริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB โดยทำการบ่อนกำลังไฟฟ้าให้แก่คาโทดตามสภาวะเงื่อนไขที่ต้องการ และทำการเปิดชัตเตอร์ที่ปิดหน้าเป้าสารเคลือบออก เพื่อเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มลงบนชิ้นงาน พร้อมทั้งบันทึกผลค่าต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความดัน (P_{coat}) ที่เกิดขึ้นขณะเริ่มทำการเคลือบฟิล์ม

2.9 ทำการเคลือบฟิล์มตามเวลา (t) ที่กำหนดเพื่อให้ได้ค่าความหนาที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเคลือบฟิล์ม ปิดชัตเตอร์ ปิดแหล่งจ่ายไฟ ปิดระบบน้ำหล่อเย็นและปิดแก๊สอาร์กอน รอให้ภายในภาชนะสุญญากาศค่อย ๆ เย็นลงแล้วจึงเปิดอากาศเข้าไปในภาชนะสุญญากาศเพื่อเปิดเอาชิ้นงานออกมา

2.11 นำชิ้นงานฟิล์มบางออกจากภาชนะสุญญากาศ และทำการวิเคราะห์ ตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 3.15 ระบบค้ำขึ้นแม่เหล็กตรอนสปัตเตอร์ริง

3. การศึกษาสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนในการหาสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่จะใช้ในการทดลองให้เหมาะสมต่อเครื่องมืออุปกรณ์ รวมถึงวัสดุที่ใช้ในการทดลองก่อนที่จะทำการศึกษาถึงสภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่จะส่งผลกระทบต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบางที่เคลือบได้โดยเริ่มจาก

3.1 การศึกษาหาค่าช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB เนื่องจากค่าความดันก๊าซอาร์กอนหรือปริมาณความหนาแน่นของโมเลกุลก๊าซภายในระบบที่ใช้ในการสปัตเตอร์ริงมีผลต่อกระบวนการโกลด์ติสซาร์จและมีผลต่อสมบัติของฟิล์มบาง ดังนั้น การหาค่าความดันก๊าซที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมาก ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้เตรียมการทดลองเพื่อหาช่วงความดันก๊าซที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการสปัตเตอร์ริงฟิล์ม CoFeB โดยได้ทำการเตรียมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้ภาวะเงื่อนไขในการทดลองดังตารางที่ 3.1 โดยทำการเปลี่ยนความดันก๊าซอาร์กอนที่ใช้ในการเคลือบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่เหมาะสม

กำลังไฟฟ้า : 150 W	
เวลาในการเคลือบ : 15 นาที	
ความดันเริ่มต้น : 8.5×10^{-6} mbar	
ชิ้นงาน	ความดันก๊าซอาร์กอน (mbar)
P001	3×10^{-3}
P002	5×10^{-3}
P003	7×10^{-3}
P004	9×10^{-3}

3.2 การหาเวลา (t) ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ (5000Å) ในการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมและสอดคล้องระหว่างเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์สมบัติ (อาทิเช่น เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม และเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น เป็นต้น) และฟิล์มตัวอย่างที่นำไปศึกษาวิเคราะห์ ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยพบว่าการเชื่อมต่อของฟิล์มจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เมื่อฟิล์มมีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 4000-5000 Å และเพื่อให้ฟิล์มตัวอย่างนั้น มีความหนาที่เหมาะสมกับและสอดคล้องกับเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติฟิล์มบางในงานวิจัยนี้จึงต้องเตรียมฟิล์ม CoFeB ด้วยการเคลือบแบบวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงให้มีความหนาเท่ากับ 5000Å และพบว่ากรณีที่เตรียมฟิล์มเพื่อให้ได้ความหนาดังกล่าว ต้องทำการควบคุมพารามิเตอร์อื่น ๆ ในการเคลือบซึ่งได้แก่ ค่าความดันก๊าซอาร์กอน กำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม เป็นต้น ดังนั้นจึงทดลองทำการเตรียมฟิล์มบางตามสภาวะเงื่อนไขที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 3.2 เพื่อใช้ในการคำนวณหาคว่ำตรการเคลือบฟิล์มในสภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 3.2 สภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์ม CoFeB ให้ได้ค่าความหนาที่ต้องการ (5000Å)

ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar				
ความดัน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar				
ชิ้นงาน	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลาในการเคลือบ (Sec)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า(V)	กระแสไฟฟ้า (A)
W001	50	1800	339	0.15
W002	100	1800	340	0.3
W003	150	900	386	0.4
W004	200	900	393	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนำฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมไว้ไปวัดความหนา (Thickness) ด้วยเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) และนำค่าความหนาที่วัดได้ไปหาค่าความหนาเฉลี่ยและนำไปหาอัตราการเคลือบ (Deposited rate: Å/sec) ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราการเคลือบฟิล์ม} = \frac{\text{ความหนาจริงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Surface Profiler}}{\text{เวลาที่ใช้ในการสเปตเตอร์ริง}}$$

3.3 การศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าในกระบวนการสเปตเตอร์ริงที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบาง CoFeB ทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ตามขั้นตอนการเตรียมฟิล์มข้างต้นบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ โดยทำการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในการเคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขตามตารางที่ 3.3

3.4 การศึกษาผลของวัสดุรองรับที่มีต่อสมบัติของฟิล์มบาง CoFeB ทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ตามขั้นตอนการเตรียมฟิล์มข้างต้นบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง CoFeB

ความดันก๊าซอาร์กอน (Run Pressure) : 5×10^{-3} mbar			
ความดันเริ่มต้น (Base Pressure) : 8.5×10^{-6}			
ความหนาฟิล์มบาง CoFeB : 5000Å			
ชิ้นงาน	วัสดุรองรับ	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาที่ใช้ในการเคลือบ (นาที)
A100G/A100S	แก้ว/ซิลิกอน	100	29
A150G/A150S	แก้ว/ซิลิกอน	150	22
A200G/A200S	แก้ว/ซิลิกอน	200	15
A250G/A250S	แก้ว/ซิลิกอน	250	11

3.5 การศึกษาผลของการใส่สนามแม่เหล็กในระหว่างการเตรียมฟิล์มบางต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม อีกหนึ่งวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อต้องการศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปในกระบวนการเตรียมฟิล์มที่มีต่อสมบัติทางโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์แมกเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensors) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป

ทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ตามขั้นตอนการเตรียมฟิล์มข้างต้นดังกล่าวบนวัสดุรองรับทั้งสอง (กระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์) ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กโดยใช้แม่เหล็กถาวรในทิศทางขนาน (In plane) และทิศทางตั้งฉาก (Out of plane) ขนาด 500 gauss เข้าไปในขณะดำเนินการเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 และเนื่องจากลักษณะบริเวณในการจัดวางวัสดุรองรับของเครื่องสเปตเตอร์ริงนั้น มีข้อจำกัดอยู่ทำให้ไม่สามารถเตรียมฟิล์มบางในสภาวะเงื่อนไขได้อย่างปกติทั่วไปได้ ดังนั้นจึงมีการประยุกต์และออกแบบอุปกรณ์ในการยึดติดวัสดุรองรับเข้ากับแท่นวางเพื่อให้ออกสเปตเตอร์ริงได้ทั่วทั้งชิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

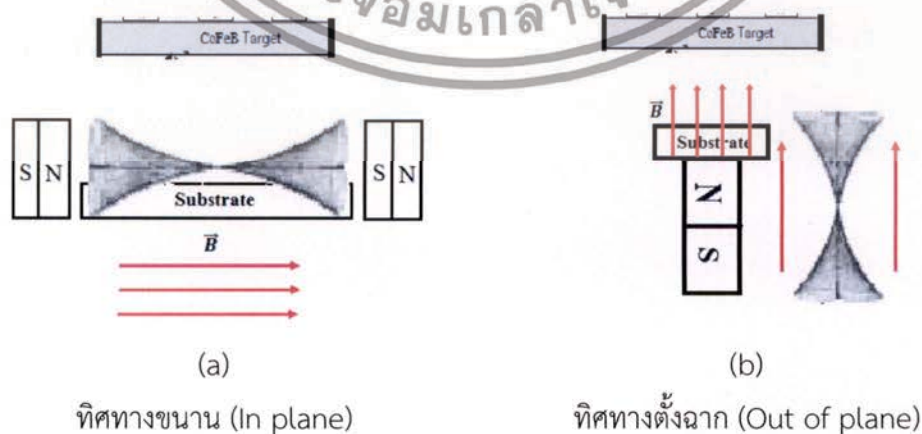
สามารถดำเนินการเตรียมฟิล์ม CoFeB ภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะที่ทำการเคลือบได้ดังรูปที่ 3.16(a) และ (b) สำหรับไดอะแกรมอุปกรณ์การจัดวางวัสดุรองรับและการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนาน (In plane) และสนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก (Out of plane) ตามลำดับ

หมายเหตุ เพื่อเป็นการตัดผลหรืออิทธิพลที่มาจากสมบัติของวัสดุรองรับ ดังนั้นจึงต้องทำการเคลือบวัสดุรองรับทั้งสอง (กระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์) ด้วยไททาเนียม (Ti) ที่กำลังไฟฟ้า 150W เป็นเวลา 10 นาที ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.3 เพื่อทำให้เป็นชั้นสัมผัส (Buffur) ก่อนที่จะทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ต่อไป

ตารางที่ 3.4 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง CoFeB

ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar		
ความดันเริ่มต้น (Base Pressure) : 8.5×10^{-6} mbar		
ความหนาฟิล์มบาง CoFeB : 5000Å		
กำลังไฟฟ้าในการเคลือบ : 200W		
เวลาที่ใช้ในการเคลือบ : 15 นาที		
ชั้นงาน	วัสดุรองรับ	เงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม
M01G/M01S	แก้ว/ซิลิกอน	ไม่ใส่สนามแม่เหล็ก
M02G/M02S	แก้ว/ซิลิกอน	ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน
M03G/M03S	แก้ว/ซิลิกอน	ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก

หมายเหตุ จากตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มซึ่งได้แก่ ความดันก๊าซอาร์กอน ความดันเริ่มต้น ความหนาฟิล์มบาง กำลังไฟฟ้าในการเคลือบ และเวลาที่ใช้ในการเคลือบนั้น ได้มาจากผลการวิเคราะห์สภาวะเงื่อนไขของการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน (ตามข้อ ก) ที่ให้สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว และสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางที่ดีที่สุด



รูปที่ 3.16 แสดงไดอะแกรมการเตรียมฟิล์มภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตรวจสอบเงื่อนไขการควบคุมความหนาของฟิล์ม

นำฟิล์มที่เตรียมได้จากสถานะเงื่อนไขตั้งตารางที่ 3.4 ไปทำการวัดค่าความหนาด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) เพื่อทำการตรวจสอบค่าความหนาที่ควบคุมให้มีค่าโดยประมาณใกล้เคียง 5000Å

5. การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง CoFeB

หลังจากเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ แล้วนำฟิล์มบางที่ได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ได้ดังต่อไปนี้

5.1 สมบัติเชิงโครงสร้าง การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) บนฟิล์มบาง CoFeB:

- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขกำลังที่ไฟฟ้าต่างกัน
- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็ก ในขณะที่ดำเนินการเคลือบ
- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับที่ต่างกัน

5.2 สมบัติเชิงพื้นผิว การวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM) บนฟิล์มบาง CoFeB:

- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขกำลังที่ไฟฟ้าต่างกัน
- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็ก ในขณะที่ดำเนินการเคลือบ
- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับที่ต่างกัน

5.3 สมบัติการยึดเกาะ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการลอกของเทปกาว (Sticky Tape Test) ของฟิล์มบาง CoFeB:

- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขกำลังที่ไฟฟ้าต่างกัน
- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับที่ต่างกัน

5.4 สมบัติไฟฟ้า การวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า (HP Digital Multimeter) ชนิด 4 โพรบ (4-point probe) ของฟิล์มบาง CoFeB:

- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็ก ในขณะที่ดำเนินการเคลือบ
- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับที่ต่างกัน

5.5 สมบัติความเป็นแม่เหล็ก การวิเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น (Vibrating Sample Magnetometer):

- ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สถานะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็ก ในขณะที่ดำเนินการเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- फिल्मบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการอบร้อน (Annealing)
- फिल्मบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับที่ต่างกัน

โดยในการศึกษานี้แบ่งการวิเคราะห์เปรียบเทียบออกเป็น 2 วัตถุประสงค์ด้วยกัน วัตถุประสงค์แรก คือ เปรียบเทียบสภาวะเงื่อนไขที่สามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และอีกวัตถุประสงค์ คือ เปรียบเทียบผลของวัสดุรองรับทั้งสอง (กระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์) ที่ทำให้ฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการวิเคราะห์หาค่าที่แสดงถึงสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มโดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการ CGS (centimeter, gram, second) [25] ดังต่อไปนี้

$$B = H + 4\pi M \quad (3.1)$$

โดยกำหนดให้

B = ค่าฟลักซ์ความเป็นแม่เหล็ก [Gauss (G)]

H = ค่าแม่เหล็กเหนี่ยวนำ [Oersted (Oe)]

M = ค่าความเป็นแม่เหล็ก [emu/cm³]

3.5 ระยะเวลาการทำวิจัย

การดำเนินงาน	รวม (เดือน)	ระยะเวลา													
		2555						2556							
		11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
เตรียมวัสดุรองรับ	0.5	→								→					
เตรียมฟิล์มบาง	3		→	→	→	→	→	→	→	→	→				
วัดสมบัติพื้นผิว	1			→											
วัดสมบัติโครงสร้าง	1				→										
วัดสมบัติการยึดเกาะ	0.5				→										
วัดสมบัติไฟฟ้า	0.5										→				
วัดสมบัติแม่เหล็ก	2											→			
วิเคราะห์และสรุปผล	3												→		
เขียนวิทยานิพนธ์	3													→	

หมายเหตุ → แทนเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

→ แทนเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มภายใต้การใส่สนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้ใหม่ด้านการปรับปรุงสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมด้วยเทคนิคสปีดเทอริง
2. องค์ความรู้ใหม่ทางด้านวัสดุศาสตร์ของแม็กนีติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensor) สำหรับหัวอ่านฮาร์ดดิสไดรฟ์แบบ TMR
3. ตีพิมพ์บทความทางวิชาการในระดับชาติ/นานาชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้ จะนำเสนอผลการทดลอง และการวิเคราะห์ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ในบทที่ 3 โดยเริ่มจากผลการวิเคราะห์หาอัตราการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่สภาวะเงื่อนไขในการเตรียม ผลการวิเคราะห์หาช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ผลการวิเคราะห์หาเวลาที่สามารถเคลือบฟิล์มให้ได้ที่ความหนาที่ต้องการ (5000\AA) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ถึงสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของกระบวนการสปีดเตอริง ได้แก่ สภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางที่ให้กำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มที่แตกต่างกัน สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบนวัสดุรองรับที่ต่างกัน ได้แก่ วัสดุรองรับกระจกสไลด์ (Amorphous) และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ (Crystal) และสภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มโดยการใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกันเข้าไปในระหว่างการเตรียมฟิล์ม ได้แก่ ทิศทางขนาน (In-plane) และทิศทางตั้งฉาก (Out of plane) ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) การศึกษาสมบัติพื้นผิวของฟิล์มบางโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) การหาสภาพการยึดเกาะของฟิล์มกับแผ่นรองรับด้วยเทคนิคการลอกเทปขาว (Sticky Tape Test) การหาความต้านทานไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้าด้วยเทคนิคชุดเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว (Four point probe) และผลการวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง (Vibrating Sample Magnetometer) เป็นต้น

4.1 ผลของกำลังไฟฟ้าต่ออัตราการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB

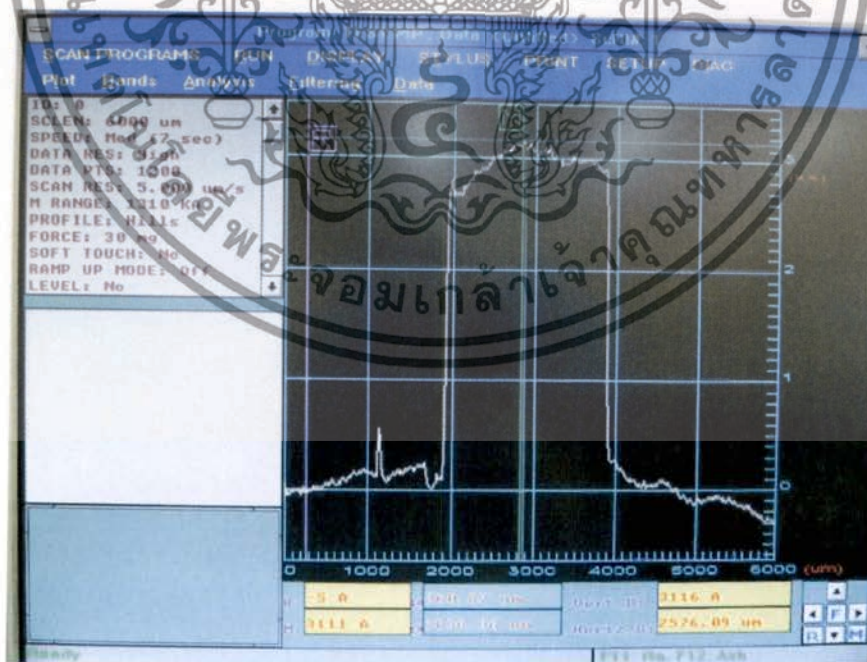
ในการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนิตรอนสปีดเตอริงนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมและสอดคล้องระหว่างเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์สมบัติ (อาทิเช่น เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม และเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น เป็นต้น) และฟิล์มตัวอย่างที่นำไปศึกษาวิเคราะห์ เพื่อให้ฟิล์มตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์นั้นมีความสอดคล้องกับเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ฟิล์มตัวอย่าง CoFeB ที่เตรียมไว้นั้นต้องมีความหนาของชั้นฟิล์มอยู่ที่ 5000\AA ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการเตรียมฟิล์ม CoFeB ด้วยการเคลือบแบบวิธีดีซีแมกนิตรอนสปีดเตอริงให้มีความหนาเท่ากับ 5000\AA และพบว่าการที่จะเตรียมฟิล์มเพื่อให้ได้ความหนาดังกล่าวต้องทำการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการเคลือบซึ่งได้แก่ ค่าความดันก๊าซอาร์กอน กำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม เป็นต้น

ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองตามสภาวะเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นดังตารางที่ 4.1 เพื่อทำการวิเคราะห์หาความหนาในแต่ละกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB แล้วทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงตารางสภาวะเงื่อนไขเพื่อหาเวลาในการเตรียมฟิล์มเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ (5000Å)

ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar				
ความดันฐาน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar				
ชั้นงาน	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลาในการเคลือบ (Sec)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)
W001	50	1800	339	0.15
W002	100	1800	340	0.3
W003	150	900	386	0.4
W004	200	900	393	0.53

หลังจากนำฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้จากสภาวะเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น ไปวัดความหนา (Thickness) ด้วยเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ได้ผลความหนาดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ โดยในรูปที่ 4.1 แสดงถึงความหนาของฟิล์มบาง W001 ที่วัดได้จากเครื่อง Surface profiler จะเห็นระยะของกราฟในแนวตั้งจากเส้นระนาบพื้นผิว (ระนาบแผ่นรองรับ) ขึ้นถึงจุดสูงสุดของเส้นกราฟ (ระนาบของฟิล์ม) ได้เป็นระยะทางเท่ากับ 3116 Å นั่นคือ ค่าความหนาของฟิล์มบาง CoFeB (W001) ที่เคลือบได้ และเท่ากับ 5216 Å, 3449 Å และ 4884 Å สำหรับฟิล์มบาง W002, W003 และ W004 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำค่าความหนาที่วัดได้ไปหาค่าความหนาเฉลี่ยและนำไปหาอัตราการเคลือบ (Deposited rate : Å/sec) ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

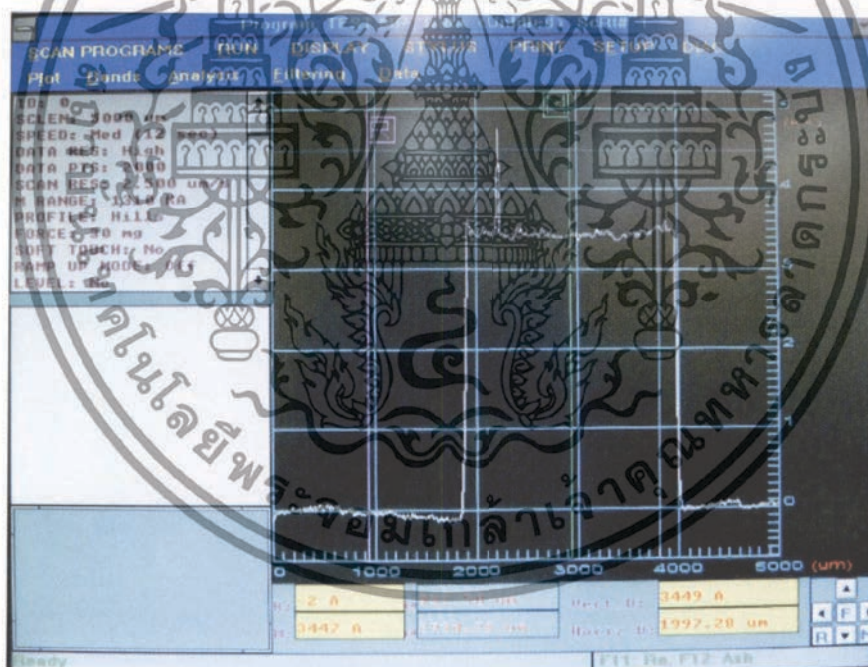


รูปที่ 4.1 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W002



รูปที่ 4.3 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W004

จากตารางที่ 4.2 จะได้ว่า การเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 50W, 100W, 150W และ 200W นั้นมีค่าความหนาเฉลี่ยของฟิล์มที่วัดได้เป็น 3138.5 Å, 5216 Å, 3475.5 Å และ 5046.5 Å หลังจากนั้นนำความหนาดังกล่าวไปคำนวณหาอัตราการเคลือบได้เป็น 1.744, 2.898, 3.862 และ 5.607 Å/sec ตามลำดับ

ลักษณะความสัมพันธ์ของอัตราการเคลือบฟิล์มกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบแบบดิสซีแมกเนตรอนสเปคโตริงตามรายละเอียดที่ได้จากตารางที่ 4.3 สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 4.5 โดยพบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบจะทำให้อัตราการเคลือบเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจจะมีผลทำให้อะตอมหลุดออกมามากขึ้นและเคลื่อนที่ลงมาด้วยพลังงานจลน์ที่สูงขึ้น ทำให้อะตอมมีความสามารถในการเคลื่อนที่ (Surface Mobility) ที่สูงเพิ่มขึ้นด้วย

หลังจากนั้นนำอัตราการเคลือบของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้มาคำนวณหาเวลาที่จะใช้ในการเคลือบ เมื่อต้องการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ให้มีความหนาเท่ากับ 5000Å โดยเวลาที่ได้นี้แสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

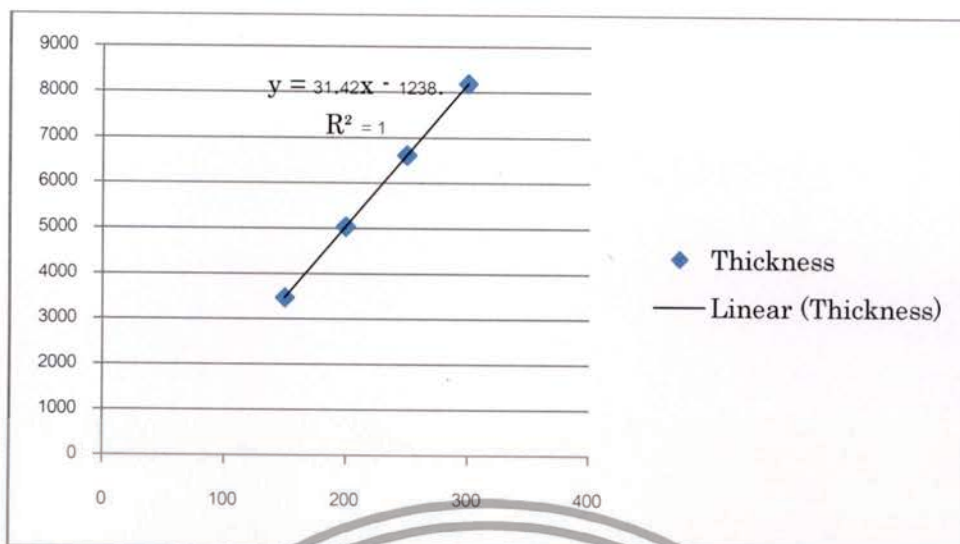
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการเคลือบที่คำนวณได้จากค่าความหนาของฟิล์มบางที่วัดได้ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน

ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar						
ความดันฐาน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar						
รหัสฟิล์มบาง	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลาการเคลือบ (s)	ความหนาที่วัดได้ (Å)			อัตราการเคลือบ (Å/sec)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
W001	50	1800	3161	3116	3138.5	1.744
W002	100	1800	5216	-	5216	2.898
W003	150	900	3449	3502	3475.5	3.862
W004	200	900	5209	4884	5046.5	5.607
***	250	900			6618	7.353

ตารางที่ 4.3 เวลาที่คำนวณได้เพื่อใช้ในการเคลือบฟิล์มบางตามความหนาที่ต้องการ

รหัสฟิล์มบาง	กำลังไฟฟ้า (W)	ความหนา (Å)	อัตราการเคลือบ (Å/sec)	เวลา (mins)
W001	50	5000	1.744	48
W002	100	5000	2.898	29
W003	150	5000	3.862	22
W004	200	5000	5.607	15
***	250	5000	7.353	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB

หมายเหตุ เนื่องจากต้องการทำการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 250W ด้วยดังนั้น จึงทำการหาค่าความหนาที่ กำลังไฟฟ้าดังกล่าวเพิ่มเติมโดยการจำลองกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาของฟิล์มกับกำลังไฟฟ้า โดยหาแนวโน้มความน่าจะเป็นของความหนาฟิล์มได้จากสมการ กราฟเชิงเส้นดังต่อไปนี้

$$y = 31.42x - 1238 \quad (4.1)$$

เมื่อ $R^2 = 0.983$; โดยที่ $x =$ กำลังไฟฟ้า (W)
 $y =$ ความหนาฟิล์ม (Å)

จากสมการ (4.1) ดังกล่าวข้างต้น เมื่อกำหนดให้กำลังไฟฟ้า (x) = 250 W จะได้ว่าความ หนาฟิล์มประมาณ (y) = 6618 Å และนำความหนาฟิล์มที่จำลองได้ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 250 W ไปคำนวณค่าอัตราการเคลือบได้เป็น 7.353 Å/sec และได้เวลาที่จะใช้ในการเคลือบฟิล์มบางให้มี ความหนาเป็น 5000Å เท่ากับ 11 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.3

เมื่อได้เวลาในการเคลือบที่เหมาะสมในแต่ละกำลังไฟฟ้าดังตารางที่ 4.3 แล้วจะได้สภาวะ เงื่อนไขในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ด้วยวิธีดีซีแมก นิตรอนสปัตเตอร์เพื่อให้ได้ความหนาที่ 5000 Å ที่กำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 50W, 100W, 150W, 200W และ 250W นั้นจะต้องใช้เวลาในการเคลือบเป็น 48, 29, 22, 15 และ 11 นาที ตามลำดับ

หมายเหตุ แต่เนื่องจากการเคลือบที่ กำลังไฟฟ้า 50W นั้นใช้เวลาในการเคลือบนานเกินไป (48 นาที) ซึ่งไม่เหมาะสมกับเครื่องสปัตเตอร์ที่ใช้เนื่องจากอาจทำให้เกิดความไม่เสถียรและความไม่แน่นอนของ ระบบได้ ดังนั้นจึงเริ่มทำการทดลองตั้งแต่กำลังไฟฟ้าที่ 100W เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของค่าความดันก๊าซอาร์กอนและกำลังไฟฟ้าต่อสภาพการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB

จากการทดลองในบทที่ 3 ก่อนที่จะเริ่มทำการศึกษาในเงื่อนไขต่าง ๆ ผู้วิจัยต้องทำการศึกษาถึงช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่เหมาะสมต่อการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ เนื่องจาก การเคลือบฟิล์มที่ใช้ในกระบวนการสปัตเตอร์จะทำงานในระบบสุญญากาศ และผ่านก๊าซที่ใช้สำหรับการสปัตเตอร์เข้าไปในระบบ เช่น ก๊าซอาร์กอน เป็นต้น ค่าความดันก๊าซหรือปริมาณความหนาแน่นของก๊าซนี้จะเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งในการกำหนดสภาวะโกลด์วิสซาร์จของระบบและกระบวนการของการเคลือบฟิล์ม ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วในการเคลือบฟิล์มด้วยวิธีการสปัตเตอร์นี้จะใช้ค่าความดันช่วงหนึ่งซึ่งเหมาะสมในการทำงาน เพราะถ้าความดันก๊าซภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าต่ำกว่าค่าในช่วงดังกล่าวจะทำให้ระบบไม่สามารถรักษาสภาพการโกลด์วิสซาร์จไว้ได้ เนื่องจากจำนวนอะตอมที่ถูกไอออนไนซ์มีจำนวนน้อยเกินไป ขณะเดียวกันถ้าความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่ามากเกินไปจะทำให้อะตอมที่ถูกสปัตเตอร์ออกมาจากเป้าหมายมีโอกาสที่จะชนกับอะตอมก๊าซภายในภาชนะมีค่ามาก เป็นผลให้จำนวนอะตอมที่เคลื่อนที่ไปตกยังวัสดุรองรับมีจำนวนลดลง ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมการทดลองเพื่อหาช่วงความดันก๊าซที่สามารถใช้ในการสปัตเตอร์ฟิล์ม CoFeB และนำค่าช่วงความดันก๊าซที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการสปัตเตอร์ฟิล์ม CoFeB ต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมทดลองเพื่อหาช่วงความดันก๊าซที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการสปัตเตอร์ฟิล์ม CoFeB ได้โดยได้สร้างภาวะสุญญากาศให้ภาชนะสุญญากาศ มีความดันต่ำสุด (Base pressure) เท่ากับ 8.5×10^{-6} mbar และทำการทดลองที่ค่าช่วงความดันก๊าซอาร์กอนต่าง ๆ คือ 3×10^{-3} mbar, 5×10^{-3} mbar, 7×10^{-3} mbar และ 9×10^{-3} mbar ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งศึกษาหาความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้ในสภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อหาช่วงความดันก๊าซที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB

กำลังไฟฟ้า : 150 W			
เวลาในการเคลือบ : 15 นาที			
ความดันฐาน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar			
ชิ้นงาน	ความดันก๊าซอาร์กอน (mbar)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)
PR001	3×10^{-3}	426	0.31
PR002	5×10^{-3}	419	0.36
PR003	7×10^{-3}	416	0.38
PR004	9×10^{-3}	404	0.39

ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกระบวนการสปัตเตอร์เพื่อเคลือบฟิล์มแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์นั้น เอกสพบว่า ค่าความดันก๊าซอาร์กอนที่เข้าสู่ระบบหรือที่เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศนั้นจะมีผลต่อค่า ไม่ว่าจะเป็นใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

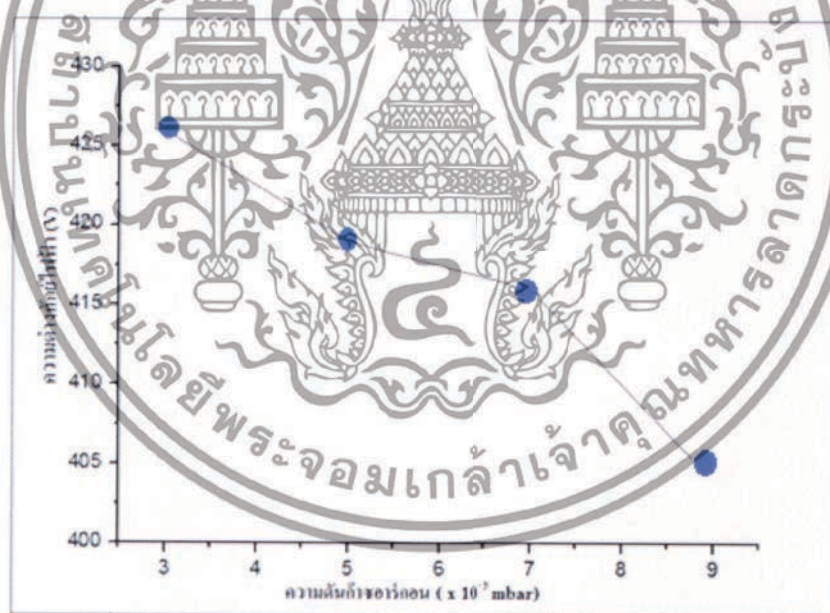
ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการเคลือบ ซึ่งได้แก่ ความต่างศักย์ดิสชาร์จและกระแสไฟฟ้า เมื่อความหนาแน่นก๊าซมากขึ้นทำให้เกิดไอออนต่าง ๆ ในระบบสูงขึ้น ส่งผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น และความต่างศักย์ที่ลดลงเมื่อกำลังไฟฟ้าคงที่

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์และสมบัติต่าง ๆ ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB

ในกระบวนการสปีดเตอริงเพื่อเคลือบฟิล์มแบบดีซีแมกนีตรอน สปีดเตอริงนั้น พบว่าค่าความดันก๊าซอาร์กอนที่เข้าสู่ระบบหรือที่เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศนั้นจะมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการเคลือบซึ่งได้แก่ ความต่างศักย์ดิสชาร์จและกระแสไฟฟ้า

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน

จากกราฟที่ 4.6 พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอนนั้น มีความแปรผกผันกันอยู่ โดยเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนเข้าไปในระบบการเคลือบฟิล์ม ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าลดลงตามความดันก๊าซอาร์กอนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าความดันก๊าซอาร์กอนเพิ่มขึ้นไปถึง 9×10^{-3} mbar ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจาก 416 V เป็น 404 V ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสปีดเตอริงแบบดีซีแมกนีตรอนที่กล่าวไว้ ($P = IV$) ดังนั้นจะได้ว่า จากการทดลองนี้ ความดันก๊าซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศในขณะเคลือบมีผลต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในกระบวนการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน

ข. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน

เมื่อทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอนจะได้ว่าเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนให้สูงขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ดังนั้นจะได้ว่า จากการศึกษาความดันก๊าซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศในขณะเคลือบนั้น มีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเคลือบดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

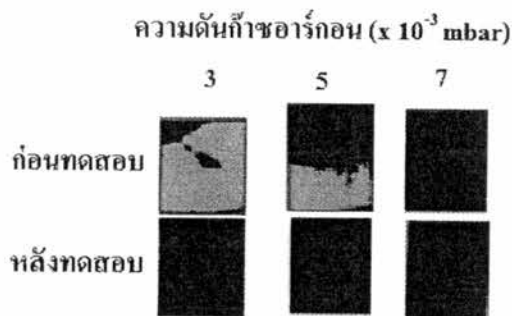
ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่า ความดันก๊าซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศขณะเคลือบนั้นมีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคซีซีแมกเนตรอนสปัตเตอร์ริง อันเนื่องมาจาก เมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนในระบบสุญญากาศให้สูงขึ้นปริมาณก๊าซอาร์กอนก็จะเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดการแตกตัวระหว่าง Ar^+ และอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อมีปริมาณอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงค่ากระแสไฟฟ้าในระบบก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งในทางตรงกันข้ามจะทำให้ค่าความต้านทานที่อยู่ระหว่างเป้าสารเคลือบกับฐานของวัสดุรองรับนั้นลดลงซึ่งส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ในตำแหน่งดังกล่าวลดลงด้วย ดังนั้นจะได้ว่าจากการทดลองนี้ความดันก๊าซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศในขณะที่เคลือบนั้นมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ทั้งสอง (กระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า) ที่วัดได้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคซีซีแมกเนตรอน สปัตเตอร์ริง



รูปที่ 4.7 กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน

จากนั้นจึงนำตัวอย่างฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมช่วงความดันก๊าซอาร์กอนต่าง ๆ กันไปทำการศึกษาสมบัติการยึดเกาะ (Adhesion property) ด้วยเทคนิคการลอกของเทปกาว (Sticky Tape Test) นั้นจะพบว่าหลังจากใช้เทคนิคการลอกเทปกาวแล้ว ฟิล์มบาง CoFeB ที่ถูกเคลือบที่ความดันก๊าซอาร์กอน 3×10^{-3} mbar, 5×10^{-3} mbar และ 7×10^{-3} mbar นั้นเหลือติดอยู่ที่แผ่นแก้วเรียงจากน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุดตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าสมบัติการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนในการเคลือบซึ่งอาจจะได้ว่าความดันก๊าซอาร์กอนนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบางเคลือบ CoFeB กับวัสดุรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนแผ่นแก้ว

รูปที่ 4.8 การทดสอบสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่ความดันก๊าซอาร์กอนต่างกัน

หมายเหตุ ที่ช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่ 9×10^{-5} mbar นั้นไม่สามารถทำการเคลือบได้จนครบเวลาในการทดลองได้เนื่องจากเกิดการอาร์ค และไม่อยู่ในสถานะพลาสมาที่มีเสถียรภาพ

จากการทดลองจะได้ว่าในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางที่ความดันของก๊าซอาร์กอน 5×10^{-3} mbar นั้น เป็นความดันที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB เนื่องจากสามารถทำให้ระบบเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงนั้นทำงานได้อย่างเสถียรและเกิดความคลาดเคลื่อนได้น้อยที่สุดในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าความดันที่มีค่าต่ำและสูงมาจนเกินไป (3×10^{-3} mbar, 7×10^{-3} mbar และ 9×10^{-3} mbar) ที่จะทำให้เกิดความไม่เสถียรของระบบและความคลาดเคลื่อนของความดันในขณะเตรียมฟิล์มบางนั่นเอง จากข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องเคลือบฟิล์มที่ใช้อยู่ และอีกนัยหนึ่งความดันที่ขยับจนเกินไปจะทำให้ก๊าซอาร์กอนที่เข้าไปปลั๊กตันอะตอม CoFeB ให้เคลื่อนที่ไปเกาะบนแผ่นรองรับชิ้นและน้อยลงส่งผลให้ฟิล์มบางที่ได้ขึ้นมีความบางมากจนเกินไปและในทางตรงกันข้ามความดันที่ใช้หากมากเกินไปจะทำให้ก๊าซอาร์กอนเข้าไปปลั๊กตันอะตอม CoFeB ให้เคลื่อนที่ไปเกาะบนแผ่นรองรับเร็วและมากจนเกินไปส่งผลให้ฟิล์มบางที่ได้ขึ้นมีความหนาจนเกินไปได้ และเนื่องจากปริมาณไอออนที่มากเกินไปจากการเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนในขณะกระบวนการสปัตเตอริงทำให้เกิดการสะสมของประจุที่บริเวณผิวหน้าของเป้าและเกิดการระบายออกนอกระบบไม่ทัน และทำให้เกิดการอาร์คในเวลาต่อมา

ถ้าไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการชนของไอออนบวกบนผิวคาโทด ความร้อนที่สะสมที่ผิวคาโทดจะทำให้เกิดกระบวนการปลดปล่อยอิเล็กตรอนแบบเทอร์มิออนิก (Thermionic electron emission) ขึ้น เมื่อรวมกับการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดจากกระบวนการอะวาแลนซ์จะทำให้ความนำไฟฟ้าของก๊าซในระบบสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าจะลดลงมากในขณะที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูง (ประมาณ 0.1 A/cm^2) เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการอาร์ค (Arc discharge) โดยรูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ดิสชาร์จระหว่างขั้วไฟฟ้าของหลอดบรรจุก๊าซขณะเกิดสภาวะการโกลวดิสชาร์จช่วงต่าง ๆ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะนำค่าช่วงความดันก๊าซที่ได้จากการทดลองคือ 5×10^{-3} mbar ไปใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงต่อไป จากการนำฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ช่วงความดันก๊าซอาร์กอนต่าง ๆ กันไปทำการศึกษสมบัติการยึดเกาะ (Adhesion property) ด้วยเทคนิคการลอกของเทปกาบ (Sticky Tape Test) นั้นจะพบว่าหลังจากใช้เทคนิคการลอกแล้วการฉีกแต่ละชิ้นออกจะพบว่าการลอกของฟิล์มบางจะเกิดขึ้นที่ฟิล์มบางที่เคลือบไว้บนแผ่นรองรับชิ้นเท่านั้น ไม่มีการฉีกฟิล์มบางที่เคลือบไว้บนแผ่นรองรับชิ้นอื่น ๆ อื่นๆ ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอกเทปกาแล้ว ฟิล์มบาง CoFeB ที่ถูกเคลือบที่ความดันก๊าซอาร์กอน 3×10^{-3} mbar, 5×10^{-3} mbar และ 7×10^{-3} mbar นั้นเหลือติดอยู่ที่แผ่นแก้วเรียงจากน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุดตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าสมบัติการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนในการเคลือบซึ่งอาจจะได้ว่าความดันก๊าซอาร์กอนนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบางเคลือบ CoFeB กับวัสดุรองรับ

หมายเหตุ ที่ช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่ 9×10^{-3} mbar นั้นไม่สามารถทำการเคลือบได้จนครบเวลาในการทดลองได้เนื่องจากเกิดการอาร์ค และไม่อยู่ในสถานะพลาสมา

หลังจากที่ทราบค่าช่วงความดันก๊าซอาร์กอนและเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB รวมทั้งยังได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งได้แก่ กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อัตราการเคลือบ กับค่าความดันก๊าซอาร์กอน แล้วนำค่าที่ได้ต่าง ๆ ไปกำหนดเป็นสถานะเงื่อนไขในการทดลองสร้างและเข้าสู่ขั้นตอนในการสร้างฟิล์มบาง CoFeB และนำฟิล์มบางที่ได้มาทำการวัดวิเคราะห์ถึงสมบัติต่าง ๆ ภายได้สถานะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มที่ต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

4.3.1 อิทธิพลผลของกำลังไฟฟ้าต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง

จากการศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับค่าอัตราการเคลือบที่ผ่านมานั้นพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มแบบดีซีแมกนีตรอน สเป็คเตอรืงั้นเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีผลสำคัญต่อสถานะการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ภายได้สถานะเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า โดยทำการเตรียมฟิล์มบางตามสถานะเงื่อนไขดังตารางที่ 4.5 แล้วนำฟิล์มบางที่ได้ไปทำการวัดวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 สถานะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน

เป้าสารเคลือบ : CoFeB					
วัสดุรองรับ : กระจกสไลด์ และซิลิกอน เวเฟอร์					
ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure): 5×10^{-3} mbar					
ความดันเริ่มต้น Base Pressure (Bp): 8.5×10^{-6} mbar					
ชิ้นงาน	กำลังไฟฟ้า (W)	วัสดุรองรับ	เวลาที่ใช้ในการเคลือบ (mins)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)
A100G/A100S	100	กระจก/ซิลิกอน	29	403	0.26
A150G/A150S	150	กระจก/ซิลิกอน	22	423	0.36
A200G/A200S	200	กระจก/ซิลิกอน	15	439	0.46
A250G/A250S	250	กระจก/ซิลิกอน	11	450	0.56

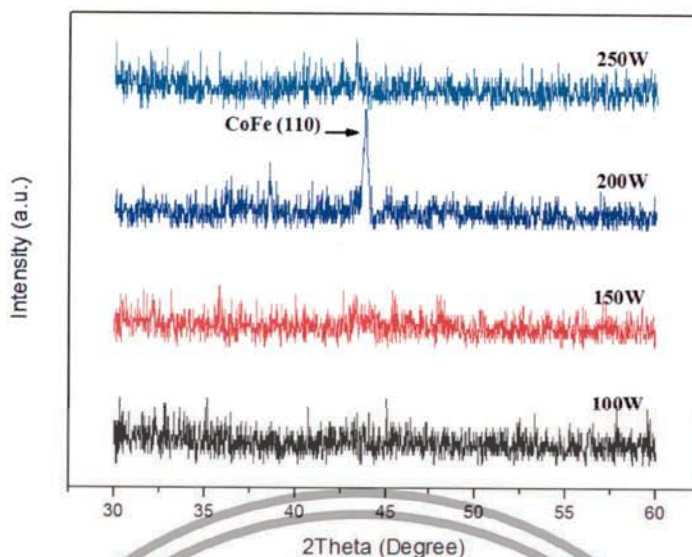
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

เมื่อนำฟิล์มบางที่เตรียมได้จากการเคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ภายใต้สภาวะตามตาราง 4.5 ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering) ที่อุณหภูมิห้อง (Room Temperature) มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) จะได้ผลดังแสดงตามรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ โดยเมื่อดูจากกราฟจะเห็นได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 100W และ 150W นั้นไม่แสดงพีกของความเป็นผลึกใด ๆ จนกระทั่งกราฟแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เริ่มแสดงพีกความเป็นผลึกของ CoFe บนระนาบ 110 ให้เห็นที่มุมประมาณ 44.36° เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบเป็น 200W ซึ่งเมื่อนำไปอ้างอิงกับมาตรฐานของ JCP2:00-044-433 ที่พีกความเป็นผลึกของ CoFe ปรากฏอยู่บนระนาบ 110 ที่มุม 44.83° จะพบว่ามุมที่เกิดพีกความเป็นผลึกของ CoFe ที่วัดได้จากฟิล์มตัวอย่างกับมาตรฐานการอ้างอิงนั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งน่าจะเกิดจากผลของการที่มีอะตอมของธาตุโบรอน (B) เข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างผลึก CoFe จึงทำให้มุมที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีเล็กน้อย และเมื่อทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มให้สูงขึ้นไปอีกถึง 250W พบว่าไม่มีพีกความเป็นผลึกของ CoFe ปรากฏให้เห็นในกราฟอีก จากคำอธิบายกราฟข้างต้น แสดงให้เห็นว่าในสภาวะการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยการเคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่อุณหภูมิห้อง ที่กำลังไฟฟ้าในการเคลือบต่ำจะให้ฟิล์มบาง CoFeB ที่มีสมบัติเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในการเคลือบเป็น 200W พบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้นั้นเริ่มมีโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) แต่โครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นนั้นกลับไม่เสถียรและหายไปเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบให้สูงขึ้นเป็น 250W ซึ่งโดยปกติแล้วการที่จะเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้ได้เป็นโครงสร้างผลึกบนวัสดุรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งมีสมบัติเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐานด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริงโดยไม่มีกรให้ความร้อนหรืออบร้อนนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยากเนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างของฟิล์มจะเป็นไปตามลักษณะโครงสร้างวัสดุรองรับและพลังงานความร้อนนั้นมีผลสำคัญต่อการกระตุ้นให้เกิดโครงสร้างผลึก แต่จากการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถหาสภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous) ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่มีการอบร้อนหรือให้ความร้อนใด ๆ ให้เป็นฟิล์มที่มีโครงสร้างผลึก (Crystalline) โดยการควบคุมสภาวะเงื่อนไขในการเคลือบดังนี้

- ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar
- ความดันฐาน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar
- กำลังไฟฟ้า 200W
- เวลาที่ใช้ในการเคลือบ 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

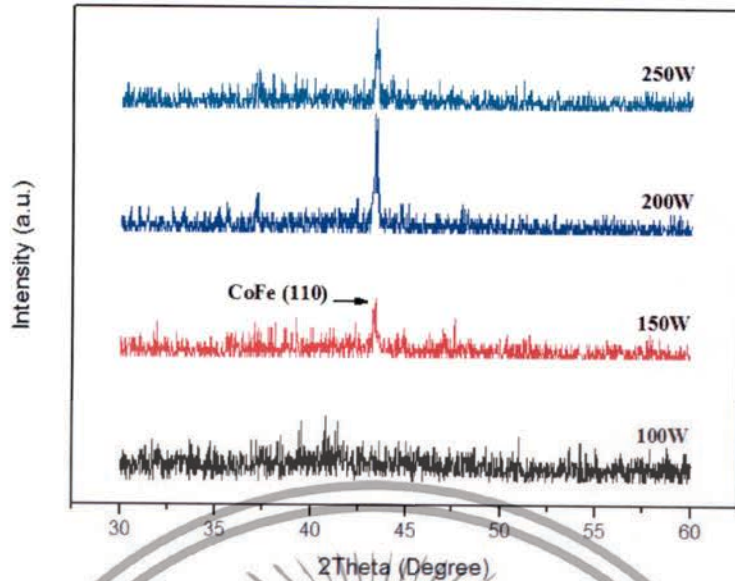


รูปที่ 4.9 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์

ภาพแสดงกราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในการวัดวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่เตรียมด้วยสภาวะเงื่อนไขเดียวกันกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ดังกล่าวข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 4.10 นั้นแสดงให้เห็นว่ากรูฟของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้เงื่อนไขกำลังไฟฟ้า 100W นั้นไม่แสดงพิกัดความเป็นผลึกใด ๆ แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเป็น 150W กราฟของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้เริ่มแสดงพิกัดของโครงสร้างผลึกโดยพิกัดที่ปรากฏนั้นเป็นพิกัดโครงสร้างผลึก CoFe บนระนาบ 110 ที่มุมเดียวกันกับพิกัดโครงสร้างผลึก CoFe ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ (44.36°) และกราฟยังคงแสดงพิกัดความเป็นผลึกอยู่บนระนาบเดิมที่และที่ตำแหน่งมุมเดิมเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ต่อไปเป็น 200W และ 250W ตามลำดับ จากผลของกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่าในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้มีโครงสร้างผลึกบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ (100) ซึ่งเป็นวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างผลึกนั้นสามารถทำได้ง่ายและเสถียรมากกว่าการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับอสัณฐาน (กระจกสไลด์) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นอีกว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มนั้นมีผลต่อสมบัติโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

4.3.2 อิทธิพลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง

เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าที่ต่างกันนั้นทำให้ทราบว่าการเตรียมฟิล์ม CoFeB ด้วยเทคนิคดีซีแมกเนตรอนสปัตเตอร์ริงที่ กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 200W ที่อุณหภูมิห้องนั้น เป็นสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฟิล์ม CoFeB เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้งานที่ต้องการต่อไป ดังนั้นในการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมด้วยเทคนิคเดียวกันโดยทำการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกันเข้าไปในระหว่างการเคลือบฟิล์มนั้นจึงได้เลือกสภาวะเงื่อนไขดังกล่าว (กำลังไฟฟ้าในการเคลือบเท่ากับ 200W) มาใช้เป็นสภาวะเงื่อนไขในการเตรียมเบื้องต้นและเพิ่มสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกันในระหว่างการเคลือบฟิล์มบางดังตารางที่ 3.4 ซึ่งในการวิเคราะห์สมบัติด้านต่างของฟิล์มบาง CoFeB ในสภาวะเงื่อนไขดังกล่าวนี้ จะทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลดังต่อไปนี้

1. ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เตรียมขึ้นโดยไม่มีการใส่สนามแม่เหล็ก (Without magnetic field)
2. ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เตรียมขึ้นภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก (Out of plane)
3. ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เตรียมขึ้นภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน (In plane)

ตรวจสอบเพื่อค่าความหนาที่ต้องการ (5000Å)

หลังจากที่ทำการเตรียมฟิล์มบางทั้ง 3 สภาวะเงื่อนไขแล้วทำการตรวจสอบความหนาของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้จากการทดลองด้วยเครื่องวัด SEM (Scanning Electron Microscope) โดยทำการวัดฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.11 แสดงถึงค่าความหนาที่วัดได้ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนซิลิกอนเวเฟอร์โดยไม่ใส่สนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอยู่ภายใต้เงื่อนไขของเอกสารค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในระหว่างการสปีดเตอริง รูปที่ 4.12 แสดงถึงค่าความหนาที่วัดได้ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนซิลิกอนเวเฟอร์ภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากเข้าไปในระหว่างการสปีดเตอริง และรูปที่ 4.13 แสดงถึงค่าความหนาที่วัดได้ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนซิลิกอนเวเฟอร์ภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนานเข้าไปในระหว่างการสปีดเตอริง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 ดังต่อไปนี้

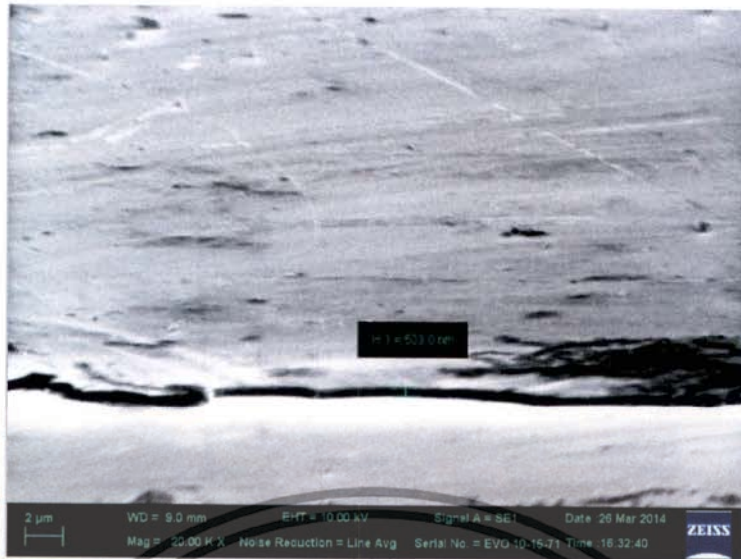
ตารางที่ 4.6 แสดงถึงค่าความหนาของฟิล์มบาง CoFeB ที่วัดได้จากเครื่อง SEM

ตัวอย่างชิ้นงาน (ฟิล์มบาง CoFeB บนซิลิกอน)	ความหนาที่วัดได้ (nm)
Without magnetic field	503
Out of plane	503
In plane	503



รูปที่ 4.11 แสดงถึงค่าความหนาที่วัดได้ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนซิลิกอนเวเฟอร์โดยไม่ใส่สนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงถึงค่าความหนาที่วัดได้ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนซิลิกอนเวเฟอร์ภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก

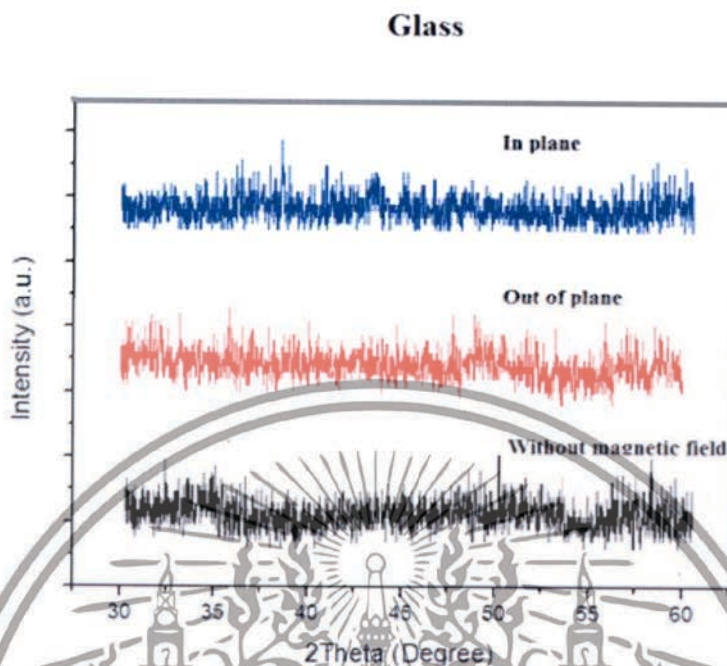


รูปที่ 4.13 แสดงถึงค่าความหนาที่วัดได้ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนซิลิกอนเวเฟอร์ภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน

จากผลการวัดดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่าค่าความหนาของฟิล์มบางทั้ง 3 สภาวะเงื่อนไขมีค่าความหนาโดยประมาณที่ 503 nm ซึ่งเป็นค่าความหนาที่ใกล้เคียงกับค่าความหนาที่ควบคุมที่ 500 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์



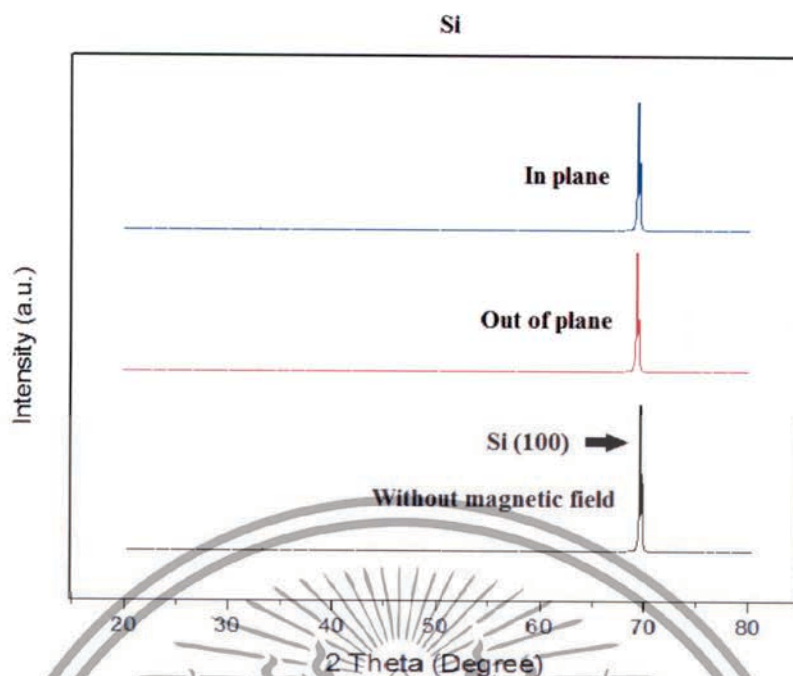
รูปที่ 4.14 กราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์

จากผลจรวจวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ที่ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 นั้นแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักโครงสร้างของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ได้หลังการเตรียมภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปทั้งสองทิศทาง (ทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน) และภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กมีลักษณะเป็นโครงสร้างอสัณฐานทั้งหมด เนื่องกราฟ XRD ที่ได้ นั้นไม่แสดงพีคที่ตำแหน่งใด ๆ ดังนั้นจะได้ว่าสนามแม่เหล็กที่ใช้ (ทั้งทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน) ในการเตรียมฟิล์มนั้นไม่ส่งผลใด ๆ ต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางอสัณฐาน CoFeB ที่เตรียมได้นั้นหมายถึงว่าสนามแม่เหล็กที่ใช้ในระหว่างเตรียมฟิล์มนั้นไม่มีผลทำให้โครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ก่อตัวไปเป็นโครงสร้างผลึกได้

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบด้วย Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์

จากรูปที่ 4.15 แสดงว่าผลของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบด้วย Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์ที่ได้จาก XRD นั้นได้ผลเช่นเดียวกันกับผลของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ดังกล่าวไปข้างต้น นั่นคือการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มไม่ได้ส่งผลใด ๆ ที่จะไปเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นโครงสร้างอสัณฐาน เนื่องจากกราฟ XRD ที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นไม่ได้แสดงพีคที่ตำแหน่งใด ๆ ในกราฟเลยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



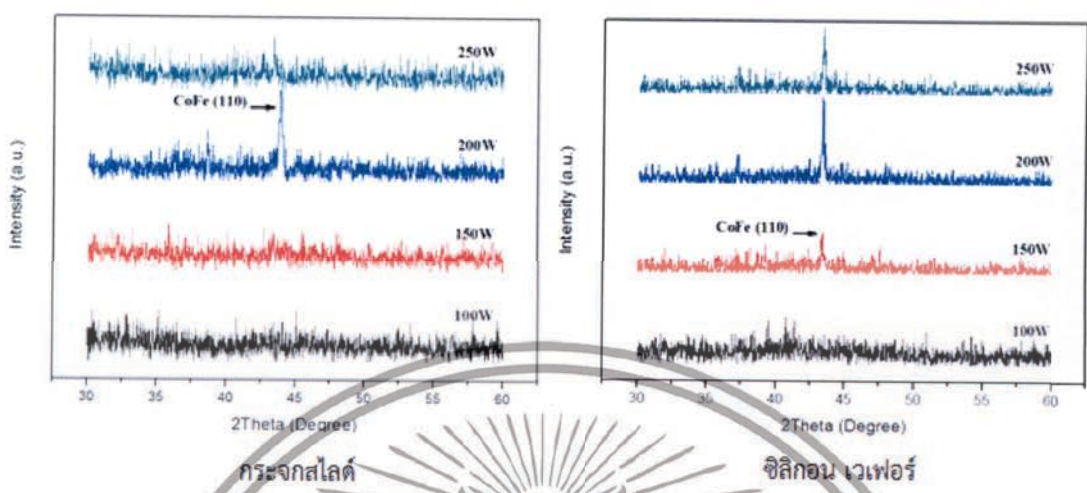
รูปที่ 4.15 กราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบด้วย Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์

4.3.3 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง

เมื่อได้ทำการศึกษาลักษณะเงื่อนไขในการเคลือบที่กัลังไฟฟ้าต่างกันพบว่า การเพิ่มกัลังไฟฟ้าในการเคลือบนั้นส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB แต่อีกหนึ่งปัจจัยที่ได้ทำการตั้งสมมติฐานไว้คือ ชนิดวัสดุรองรับที่ใช้ นั้นอาจจะส่งผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบด้วยเทคนิคซีเอ็มเอ็นทีรอน สเป็คเตอริง โดยเมื่อทำการทดลองเตรียมฟิล์มบางที่กัลังไฟฟ้าต่าง ๆ แล้วก็ทำการวิเคราะห์ที่สมบัติของฟิล์มบางที่ระดับกัลังไฟฟ้าในแต่ละระดับและทำการเปรียบเทียบกันระหว่างสองวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ พบว่าโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมที่กัลังไฟฟ้าในการเคลือบเท่ากับ 100W บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ทั้งสองนั้นมีโครงสร้างหลักเป็นโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous) ไม่แสดงพีคของโครงสร้างผลึกที่ระนาบใด ๆ เลย เมื่อทำการเพิ่มกัลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มให้สูงขึ้นเป็น 150W พบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นเริ่มแสดงโครงสร้างผลึก (Crystal) เนื่องจากกราฟ XRD ที่ได้นั้นแสดงพีคความเป็นผลึกของ CoFe ที่มุม 44.36° บนระนาบ 110 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งแตกต่างจากผลการวิเคราะห์ที่ได้จากกราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ซึ่งโครงสร้างหลักยังคงเป็นอสัณฐานเนื่องจากกราฟ XRD นั้นยังคงไม่แสดงผลของตำแหน่งพีคที่ระนาบใด ๆ และเมื่อทำการเพิ่มกัลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มให้สูงขึ้นถึง 200 W พบว่ากราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับทั้งสองนั้นแสดงโครงสร้างผลึกของ CoFe ที่มุม 44.36° บนระนาบ 110 จนกระทั่งเพิ่มกัลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มไปจนถึง 250W พบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นยังคงแสดงพีคโครงสร้างผลึก CoFe ที่ตำแหน่งเดิมบนระนาบ 110 อยู่แต่โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นได้หายไปและไม่ปรากฏให้เห็นในกราฟ XRD ดังกล่าวอีก ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ (100) ซึ่งเป็นวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างผลึกนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงโครงสร้างหลักที่เป็นผลึกที่เสถียรและชัดเจนมากกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ (โครงสร้างอสัณฐาน)



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

และเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยการเคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระบบระหว่างฟิล์มบางที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์กับวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ จะพบว่ากราฟ XRD ที่ได้จากฟิล์มบางเคลือบบนวัสดุรองรับทั้งสองดังกล่าวนี้มีองค์ประกอบหลักโครงสร้างอสัณฐานทั้งหมด เนื่องจากกราฟ XRD ที่ได้นั้นไม่แสดงพีคที่ตำแหน่งใด ๆ ดังนั้นจะได้ว่า วัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม (ทั้งวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์) นั้นไม่ส่งผลใด ๆ ต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้เมื่อทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ดังนั้นจากผลการวัดวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองทำให้ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

- อิทธิพลผลของกำลังไฟฟ้าต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง
 1. กำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มที่ส่งผลให้ฟิล์มบาง CoFeB มีสมบัติเชิงโครงสร้างที่เป็นผลึกได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนิตรอน สปีดเตอริง ได้ทั้งบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (ซิลิกอน เวเฟอร์) และวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (กระจกสไลด์) ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อนคือที่กำลังไฟฟ้า 200W ภายใต้สภาวะเงื่อนไข
 - ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar
 - ความดัน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar
 - เวลาที่ใช้ในการเคลือบ 15 นาที

2. กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนิตรอนสปีดเตอริงที่อุณหภูมิห้องนั้นส่งผลโดยตรงต่อสมบัติโครงสร้างของฟิล์ม โดยฟิล์มจะแสดงโครงสร้างที่เป็นผลึกของ CoFeB บางส่วนในระนาบ 110 ที่มุม 44.36° เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบแล้วจำนวนและโมเมนต์ของอนุภาคที่สปีดเตอร์นั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทำให้อะตอมเกิดการเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันได้เร็วขึ้นและยังทำให้อัตราการระเบิดอนุภาคที่ผิวของเป้าสารเคลือบสูงขึ้นอีกด้วย

- อิทธิพลผลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง

1. ในการทดลองการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้สภาวะเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar
- ความดัน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar
- กำลังไฟฟ้า 200W
- เวลาที่ใช้ในการเคลือบ 15 นาที

ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอร์จึงโดยทำการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียม บนวัดร่องรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ไม่สามารถเพิ่มสมบัติโครงสร้างหลักแบบผลึกได้ ซึ่งอาจต้องทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงสภาวะเงื่อนไขเพื่อให้ได้สมบัติโครงสร้างผลึกที่ต้องการต่อไป

2. ในการทดลองนี้ทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอร์จึงนี้ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางที่เตรียมบนวัดร่องรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงสภาวะเงื่อนไขให้ได้สมบัติเชิงโครงสร้างที่ต้องการต่อไป ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องมาจากความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปยังไม่มากพอที่จะเปลี่ยนทิศทางแมกนีไทเซชัน (Magnetization) ของแต่ละอนุภาคที่จะดึงดูดให้เข้าไปรวมกันกลายเป็นอนุภาคนาขนาดใหญ่ขึ้นหรือกลายเป็นผลึกได้

- อิทธิพลผลของวัดร่องรับต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง

1. ฟิล์มบาง CoFeB สามารถเตรียมเพื่อให้เกิดโครงสร้างที่เป็นผลึกได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอร์ จึงได้ทั้งบนวัดร่องรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (ซิลิกอน เวเฟอร์) และวัดร่องรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (กระจกสไลด์) ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อนโดยใช้สภาวะเงื่อนไข คือ

- ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar
- ความดัน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar
- กำลังไฟฟ้า 150 W เป็นต้นไปสำหรับวัดร่องรับซิลิกอนเวเฟอร์และที่ กำลังไฟฟ้า 200W สำหรับวัดร่องรับกระจกสไลด์
- เวลาที่ใช้ในการเคลือบ 15 นาที

2. จากผลการทดลองครั้งนี้วัดร่องรับโครงสร้างอสัณฐาน (กระจกสไลด์) และวัดร่องรับโครงสร้างผลึก (ซิลิกอน เวเฟอร์) นั้นส่งผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้างภายใต้สภาวะการเตรียมฟิล์มที่ใช้กำลังไฟฟ้าในการเตรียมที่ต่างกันโดยฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัดร่องรับซิลิกอนเวเฟอร์ (100) ซึ่งเป็นวัดร่องรับที่มีโครงสร้างผลึกนั้นแสดงโครงสร้างหลักที่เป็นผลึกที่เสถียรและชัดเจนมากกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัดร่องรับกระจกสไลด์ (โครงสร้างอสัณฐาน) ทั้งนี้เนื่องจากการเตรียมฟิล์มบนวัดร่องรับที่มีโครงสร้างผลึกนั้นสามารถทำได้ง่ายกว่าวัดร่องรับที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน แต่จากการทดลองครั้งนี้พบว่าวัดร่องรับที่ใช้นั้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงโครงสร้างใด ๆ ของ

ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริงภายใต้สภาวะของการเพิ่มสนามแม่เหล็กทั้งในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากกับวัสดุรองรับ แต่หากจะทำการศึกษาและปรับปรุงสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB โดยใช้วัสดุรองรับทั้งสองก็อาจจะสามารถทำได้โดยการเพิ่มค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปในระหว่างที่เตรียมฟิล์มหรืออาจจะเปลี่ยนแปลงตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในสภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางได้ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถวัดค่าและสังเกตได้มากขึ้น

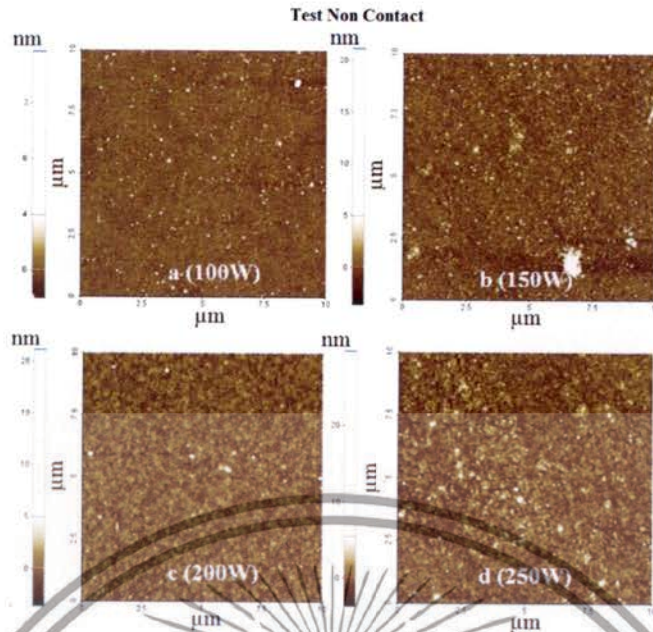
4.4 ผลการศึกษาความขรุขระของพื้นผิวฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)

4.4.1 อิทธิพลของกำลังไฟฟ้าต่อความขรุขระของพื้นผิว

ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

ภาพของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) โดยใช้โหมดแบบไม่สัมผัส (Non contact mode) ที่มีขนาดในการสแกน (Scan size) เท่ากับ $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ ดังรูปที่ 4.17 นั้นแสดงให้เห็นว่าฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งเคลือบที่กัลังไฟฟ้าต่ำนั้นมีลักษณะเกรนเล็กละเอียดและมีพื้นผิวเรียบดังแสดงในรูปที่ 4.17 (a) และ 4.17 (b) แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบไปถึง 200W ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เริ่มขยายใหญ่ขึ้นพื้นผิวมีลักษณะที่หยาบมากขึ้นดังรูปที่ 4.14 (c) และขนาดเกรนกับพื้นผิวก็มีขนาดใหญ่และหยาบมากขึ้นไปอีกอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบต่อไปอีกจนถึง 250W แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อเกรนขยายใหญ่ขึ้นถึงระดับหนึ่งลักษณะของพื้นผิวจะหยาบจนสูญเสียความเป็นเอกรูป (Uniformity) ดังรูปที่ 4.17 (d) ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าหากพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นมีลักษณะเกรนที่ขยายใหญ่ขึ้น ค่าความหยาบที่วัดได้จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยตามที่ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.6 โดยจะเห็นได้ว่าการเคลือบที่กัลังไฟฟ้าต่ำเท่ากับ 100W พื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB มีความละเอียดเท่ากับ 0.653 nm แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบให้สูงขึ้นไปเป็น 150W, 200W และ 250W พื้นผิวจะมีค่าความหยาบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 1.052 nm, 1.168 nm และ 1.215 nm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

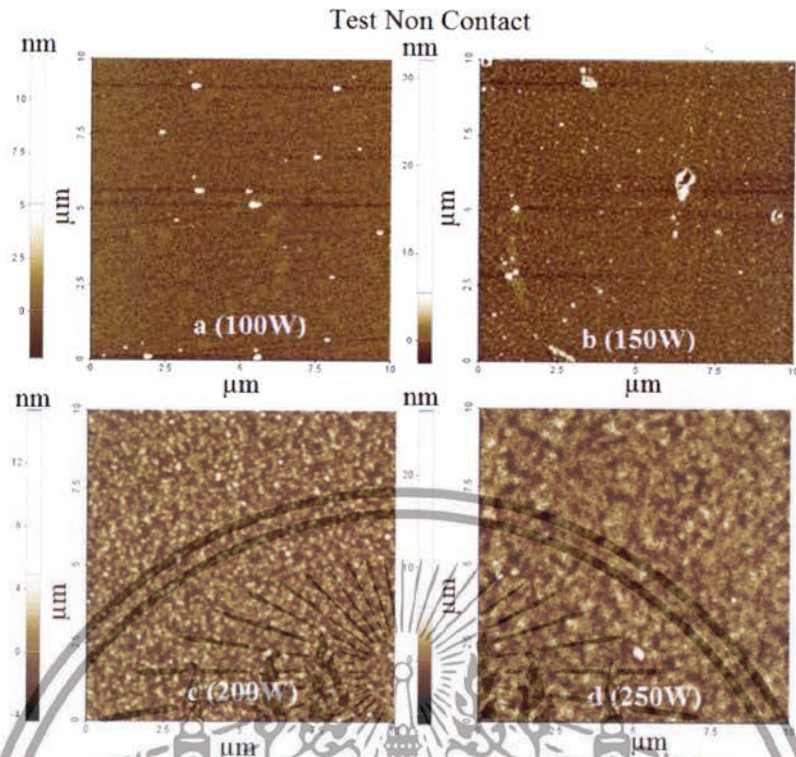


รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน

ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

ในรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นถึงภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งพบว่าผลที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกันกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ โดยพบว่าที่ภาวะการเคลือบที่ใช้กำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่ต่ำลักษณะขนาดของเกรนบนพื้นผิวมีขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 4.15 (a) และ 4.15 (b) และเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบไปเป็น 200W และ 250W ขนาดเกรนบนพื้นผิวก็จะขยายใหญ่และชัดเจนมากขึ้นไปตามลำดับดังแสดงรูปที่ 4.18 (c) และรูปที่ 4.18 (d) ในเรื่องของค่าความหยาบของพื้นผิวฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นก็มิทิศทางที่แสดงผลไปในทิศทางเดียวกันกับฟิล์มบางที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะพบว่าพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นมีความละเอียดมากกว่าเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่ต่ำและพื้นผิวจะมีลักษณะหยาบมากขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าความหยาบเป็น 0.850 nm ในการเคลือบที่ กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 100W และมีค่าความหยาบเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 1.152 nm, 1.339 nm และ 1.617 nm เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบเป็น 150W, 200W และ 250W ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่ กำลังไฟฟ้าต่างกัน

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความหยาบที่วัดได้จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยกำลังไฟฟ้าที่ต่างกัน

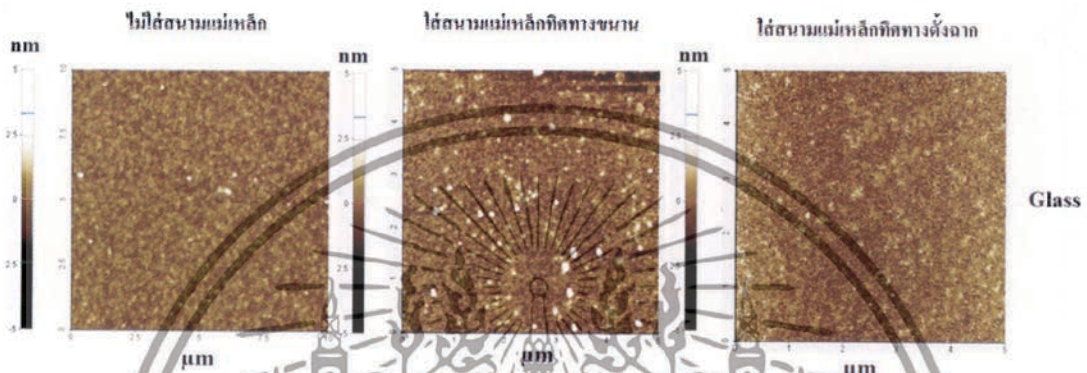
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบ (W)	ค่าความหยาบ : Rq (nm)	
	กระจกสไลด์	ซิลิกอน เวเฟอร์
100	0.653	0.850
150	1.052	1.152
200	1.168	1.339
250	1.215	1.617

4.4.2 อิทธิพลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อความขรุขระของพื้นผิว

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์

จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) โดยใช้โหมดแบบไม่สัมผัส (Non-contact mode) ที่มีขนาดสแกนเท่ากับ $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ พบว่าขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมฟิล์มโดยไม่ได้ใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.19 และขนาดเกรนดังกล่าวจะเล็กลงเมื่อใส่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามแม่เหล็กเข้าไป (ทั้งในทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมด้วยการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอน สปัดเตอร์ริง ภายใต้เงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนานกับฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากกลับพบว่าลักษณะขนาดเกรนนั้นไม่ได้แสดงความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเท่าใดนัก แต่หากพิจารณาอย่างละเอียดแล้วจะพบได้ว่าลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางขนานนั้นจะใหญ่กว่าขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti ภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก



รูปที่ 4.19 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ จาก AFM

นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) ยังแสดงถึงค่าความหยาบของพื้นผิว (R_q : nm) ของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมด้วยการเคลือบโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัดเตอร์ริง ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปนั้นมีค่าความหยาบของพื้นผิวอยู่ที่ 1.052 nm และเมื่อใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนานเข้าไปในการเคลือบค่าความหยาบที่ได้นั้นจะลดลงอยู่ที่ 0.508 nm และลดลงไปอีกเป็น 0.465 nm เมื่อเปลี่ยนใช้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากในการเคลือบ ดังนั้นจึงได้ว่าเมื่อเคลือบฟิล์มบาง CoFeB โดยใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปจะได้ฟิล์มบาง CoFeB ที่มีพื้นผิวที่ละเอียดมากขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่ใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกันเข้าไปจะพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบโดยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นจะมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉาก

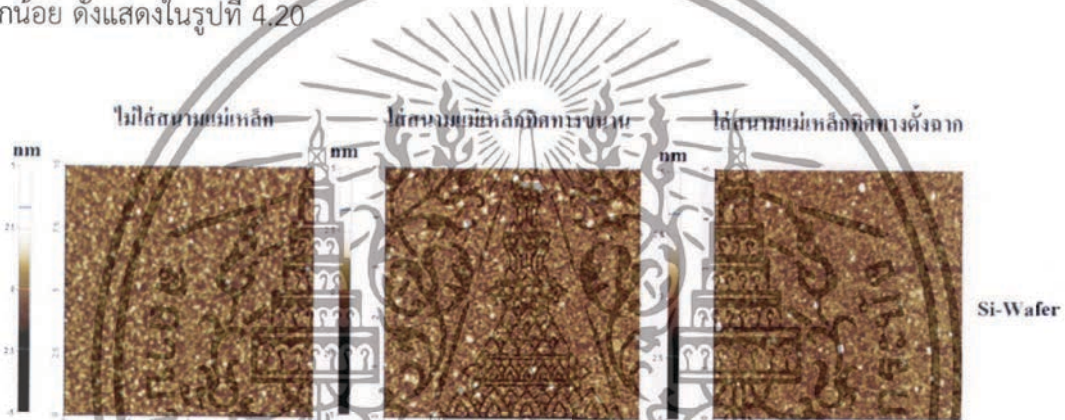
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความหยาบ (R_q : nm) ที่วัดได้จาก AFM ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกัน (ทิศทางขนานกับทิศทางตั้งฉาก)

วัสดุรองรับ	ค่าความหยาบจากการวัด AFM		
	เคลือบโดยไม่มีสนามแม่เหล็ก	เคลือบภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน	เคลือบภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก
Ti/ซิลิกอน เวเฟอร์	1.339	0.704	0.633
Ti/กระจกสไลด์	1.052	0.508	0.465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับงานวิจัยและการศึกษาเท่านั้น มิใช่เอกสารที่อนุญาตให้นำไปใช้ซ้ำหรือเผยแพร่ในสื่ออื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์

จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เคลือบด้วย Ti ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) ด้วยเงื่อนไขเดียวกันกับการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ จะพบว่าผลของขนาดของเกรนและลักษณะพื้นผิวที่ได้นั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบด้วยสถานะเงื่อนไขเดียวกันกับการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ดังกล่าวข้างต้น จะมีขนาดที่เล็กลงเมื่อมีการใส่สนามแม่เหล็ก (ทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉาก) เข้าไปในระบบการเคลือบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางที่ต่างกันพบว่า ฟิล์มบางที่ได้มีขนาดของเกรนที่ไม่ต่างกันมากนัก แต่เมื่อได้ทำการพิจารณาอย่างละเอียดพบว่าฟิล์มบางที่ได้จากการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นมีขนาดเกรนที่ใหญ่กว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากอยู่เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์ จาก AFM

เช่นเดียวกับฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอะตอม (AFM) ดังตารางที่ 4.8 นั้น แสดงค่าความหยาบของพื้นผิวที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยสถานะการเคลือบที่ใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระบบนั้นจะได้ฟิล์มที่มีค่าความละเอียดที่มากกว่ามาก จาก 1.339 nm ไปเป็น 0.704 nm และ 0.633 nm สำหรับฟิล์มบางที่ได้จากการเคลือบโดยไม่มีสนามแม่เหล็ก ไปเป็นฟิล์มบางที่ได้จากการเคลือบด้วยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและในทิศทางตั้งฉาก ตามลำดับ ดังนั้นจึงได้ว่าเมื่อเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์โดยใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปจะได้ฟิล์มบาง CoFeB ที่มีพื้นผิวที่ละเอียดมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกันเข้าไปจะพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้นั้นแสดงค่าความหยาบที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยโดยการเคลือบด้วยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นจะให้ฟิล์มบางที่มีลักษณะพื้นผิวที่หยาบกว่าฟิล์มบางที่เคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อความขรุขระของพื้นผิว

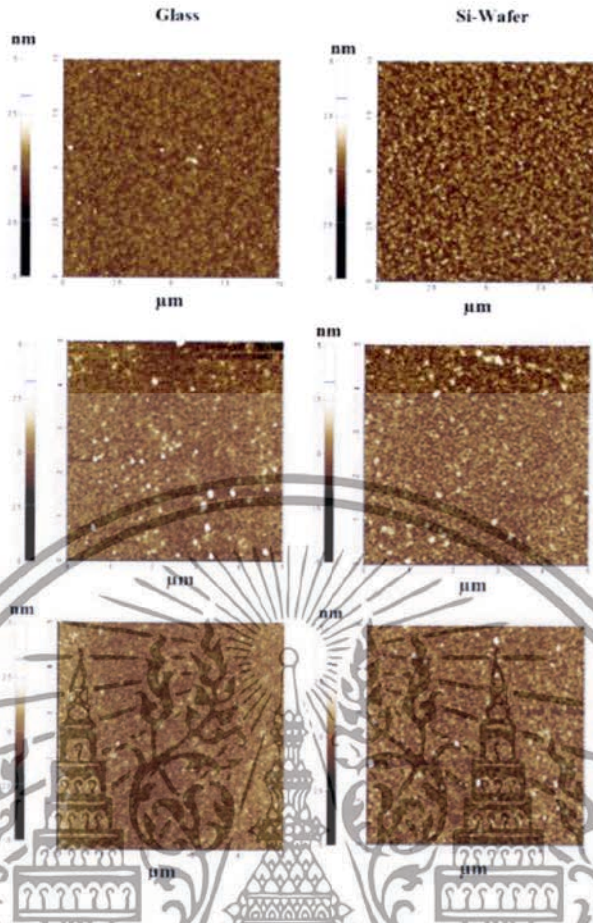
ในสภาวะเงื่อนไขของการเตรียมฟิล์มที่กำลังไฟฟ้าต่างกันพบว่าเมื่อเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่กำลังไฟฟ้าในการเคลือบเท่ากับ 100W และ 150W ฟิล์มบางบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้นมีขนาดของเกรนและลักษณะการเรียงตัวของเกรนที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.21 แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าไปจนถึง 200W ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองเริ่มจะปรากฏให้เห็นถึงความแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากขึ้นโดยฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นเริ่มมีขนาดเกรนที่ใหญ่กว่าและมีลักษณะการจัดเรียงเม็ดเกรนที่เป็นระเบียบชัดเจนมากกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ และเห็นถึงความแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากขึ้นโดยฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นจะมีขนาดเกรนที่ใหญ่และมีลักษณะการจัดเรียงเม็ดเกรนที่เป็นระเบียบมากกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์อย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มค่ากำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ขึ้นไปถึง 250W และเมื่อพิจารณาจากค่าความหยาบที่วัดได้ดังตาราง 4.8 ก็พบว่าค่าความหยาบของพื้นผิวฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นมีความมากกว่าฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์เล็กน้อยเมื่อเริ่มเตรียมฟิล์มตั้งแต่กำลังไฟฟ้าในการเตรียมเท่ากับ 100W และมากกว่าอย่างชัดเจนมากขึ้นเพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มบางให้สูงขึ้น



รูปที่ 4.21 ภาพพื้นผิวที่ได้จาก AFM ของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งถูกเคลือบที่กำลังไฟฟ้าต่างกันบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลวัสดุรองรับที่มีต่อความขรุขระของพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยการใส่และไม่ใช่สนามแม่เหล็กพบว่าขนาดเกรนและลักษณะการจัดเรียงเม็ดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นมีขนาดที่ใหญ่และจัดเรียงได้อย่างเป็นระเบียบมากกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และจากค่าความหยาบ (R_q : nm) ที่วัดได้ตามตารางที่ 4.8 พบว่าค่าความหยาบของพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าความหยาบของพื้นผิวฟิล์มบางบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ภาพพื้นผิวที่ได้จาก AFM ของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ โดยไม่ใส่สนามแม่เหล็ก

จากการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของวัสดุรองรับที่มีผลต่อลักษณะความขรุขระพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นภายใต้สภาวะกำลังไฟฟ้าและทิศทางสนามแม่เหล็กที่ต่างกันด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) นั้นทำให้ได้ว่า ทุกเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นในเรื่องของการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเตรียม การใส่และไม่ใส่สนามแม่เหล็กในขณะเตรียมฟิล์มบางนั้น วัสดุรองรับจัดว่าเป็นพารามิเตอร์หนึ่งซึ่งส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไม่ว่าจะเป็นขนาดของเกรนการเรียงตัวของเม็ดเกรนและความหยาบของพื้นผิวที่เกิดขึ้น โดยพบว่าในทุก ๆ สภาวะเงื่อนไขฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นจะให้พื้นผิวที่มีความหยาบมากกว่า ให้ลักษณะของเกรนที่มีขนาดใหญ่และมีการวางตัวที่เป็นระเบียบมากกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าการเตรียมฟิล์มบางให้มีโครงสร้างผลึก (ขนาดเกรนที่ใหญ่ การวางตัวของเกรนที่เป็นระเบียบและมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบ) นั้นสามารถทำได้ง่ายกว่าในวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (ซิลิกอนเวเฟอร์) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบางให้มีสมบัติความขรุขระของพื้นผิวที่เราต้องการได้ง่ายกว่าเมื่อเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างผลึก (ซิลิกอนเวเฟอร์) แต่อย่างไรก็ตามเราก็สามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ได้บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (วัสดุรองรับกระจกสไลด์) ภายใต้สภาวะเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าและทิศทางแม่เหล็กที่ต่างกัน ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุรองรับเป็นพาราไมเตอร์ที่สำคัญโดยตรงต่อสมบัติพื้นผิวของฟิล์ม โดยหากต้องการฟิล์มที่ให้สมบัติพื้นผิวที่หยาบ ขนาดเกรนที่ใหญ่และมีลักษณะการจัดวางเม็ดเกรนที่เป็นระเบียบมากกว่าสามารถเลือกใช้วัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ได้แต่หากต้องการฟิล์มที่มีลักษณะพื้นผิวที่มีความละเอียด มีขนาดเกรนที่เล็กกว่าก็สามารถเลือกที่จะเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ได้ซึ่งลักษณะและสมบัติของวัสดุรองรับนั้นส่งผลต่อการเตรียมฟิล์มบางเนื่องจากลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางที่ได้จะมีลักษณะเป็นไปตามโครงสร้างหลักของวัสดุรองรับที่ใช้ซึ่งในการทดลองนี้ใช้วัสดุรองรับที่เป็นโครงสร้างออสซิลาน (กระจกสไลด์) และวัสดุรองรับโครงสร้างผลึก (ซิลิกอนเวเฟอร์) ในการเตรียมฟิล์ม โดยเมื่อทำการปลูกฟิล์มบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างหลักเป็นผลึกฟิล์มบางที่ได้ก็จะมีลักษณะที่เหมือนกันในลักษณะที่เป็นผลึกคือมีขนาดเกรนที่ใหญ่ ดูเป็นระเบียบและมีความหยาบมากกว่าฟิล์มที่ปลูกบนโครงสร้างออสซิลาน

4.5 ผลการศึกษาสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว

4.5.1 อิทธิพลผลของกำลังไฟฟ้าต่อสมบัติการยึดเกาะ

จากการวัดสมบัติการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับ (กระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์) ด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว (Sticky Tape Test) โดยการนับปริมาณอนุภาคฟิล์มบางที่เหลือนอยู่บนวัสดุรองรับหลังจากการทดสอบ ซึ่งข้อดีของเทคนิคการลอกเทปกาวนี้คือเป็นวิธีการเชิงคุณภาพที่สามารถทำได้ง่ายและทำได้อย่างรวดเร็วในการวัดสมบัติการยึดเกาะของวัสดุเคลือบหรือฟิล์มเคลือบ และโดยปกติแล้วผลและลักษณะการยึดเกาะที่เกิดขึ้นของวัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยด้วยกันคือ

- 1) พันธะยึดเหนี่ยวที่ประสานกันระหว่างพื้นผิวหน้าของวัสดุที่เคลือบและวัสดุที่ถูกเคลือบ
- 2) ประเภทของพื้นผิวที่วัสดุที่เคลือบและวัสดุที่ถูกเคลือบ
- 3) กลไกการแตกหักของฟิล์มบาง [10]

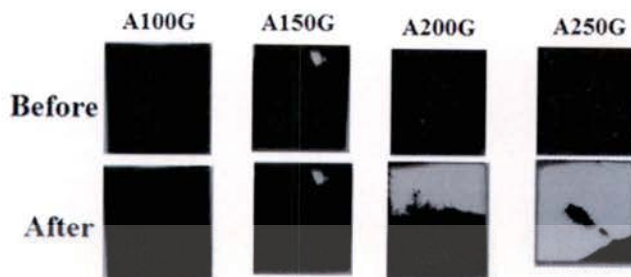
ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

หลังจากการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปกาวเพื่อศึกษา และวิเคราะห์สมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ซึ่งเคลือบด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอน สปีดเตอริงที่สถานะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่แตกต่างกัน (A100G, A150G, A200G, and A250G) พบว่าฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เตรียมภายใต้สถานะเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าต่ำตั้งแต่ 100W ไปจนถึง 150W นั้นไม่มีการหลุดลอกออกจากวัสดุรองรับ แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบไปถึง 200W ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบอยู่บนวัสดุรองรับนั้นเริ่มที่จะหลุดลอกออกมาประมาณ 50% ของปริมาณอนุภาคฟิล์มบาง CoFeB ทั้งหมดที่เคลือบอยู่บนวัสดุรองรับ และหลุดลอกออกเกือบหมดประมาณ 90% เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB สูงไปจนถึง 250W ดังแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.9 ซึ่งจากการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว พบว่าสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นยังไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้่าจะเกิดขึ้นเนื่องจาก พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ดังนั้นจึงได้ว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์จะทำให้พันธะระหว่างอนุภาคฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

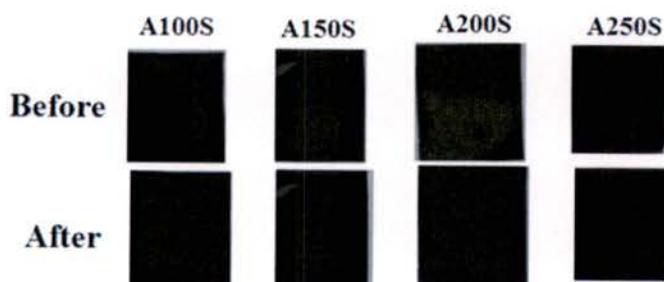
CoFeB ด้วยกันเองมีความแข็งแรงมากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่แข็งแรงมากกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์ นอกจากนั้นประเภทของวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่มีโครงสร้างออสฐานนั้นก็มีส่วนสำคัญต่อสมบัติการยึดเกาะด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เตรียมโดยใช้กำลังไฟฟ้าต่างกันระหว่างก่อนและหลังการลอกเทปกาว

ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวัดสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ด้วยเทคนิคการทดสอบเดียวกันกับการทดสอบสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ข้างต้น กลับพบว่าผลที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากไม่มีการหลุดลอกใด ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบอยู่บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์เลยในทุก ๆ สภาวะเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบ ตั้งแต่ 100W ไปจนถึง 250 W ดังแสดงผลในรูปที่ 4.24 ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบไปแสดงในรูปอัตราส่วนร้อยละ จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นมีความแข็งแรงมากถึงแม้ว่าจะเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบไปจนถึง 250W เนื่องจากไม่มีการหลุดลอกของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ในทุก ๆ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในการเคลือบ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากเนื่องจาก พันธะพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะที่เชื่อมอยู่ระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกัน ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นไม่มีผลใด ๆ ต่อสมบัติการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบางกับวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์



รูปที่ 4.24 ผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างเอกสารนี้เป็นเอกสารก่อนและหลังการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของปริมาณอนุภาคฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ จากการทดสอบสมบัติการยึดเกาะด้วยเทคนิคการลอกเทปกาวเป็นอัตราส่วนร้อยละ

กำลังไฟฟ้า (W)	อนุภาคฟิล์มบางที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ	
	กระจกสไลด์ (%)	ซิลิกอนเวเฟอร์ (%)
100	100	100
150	100	100
200	50	100
250	10	100

จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองเราจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อให้ฟิล์มบางนั้นมีสมบัติการยึดเกาะที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนิตรอน สเปคโตรริง บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (ซิลิกอนเวเฟอร์) และวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (กระจกสไลด์) แต่หากต้องการเตรียมฟิล์มบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐานต้องทำการเตรียมภายใต้เงื่อนไขที่กำลังไฟฟ้าในการเคลือบต่ำไม่เกิน 200W โดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อน

2. การเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนิตรอน สเปคโตรริงส่งผลต่อสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับโครงสร้างอสัณฐาน เนื่องจากฟิล์มบาง CoFeB จะเริ่มสูญเสียการยึดเกาะเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเตรียมมากกว่า 200W ทั้งนี้่าจะเป็นเพราะว่ากำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การรวมตัวและการจัดวางโครงสร้างของอะตอมนั้นมีมาก แข็งแรงและเป็นระเบียบมากขึ้นจนทำให้พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามกำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งความแข็งแรงดังกล่าวเริ่มที่จะมากกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ซึ่งมีสมบัติโครงสร้างเป็นอสัณฐาน โดยที่การจัดวางตัวของฟิล์มบางเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบเข้าไปจะทำให้โครงสร้างของฟิล์มบางมีความเป็นผลึกและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งเมื่อไปอยู่บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐานที่มีความหนาแน่นน้อยจึงยากต่อการที่จะยึดติดกันได้ดี เนื่องจากมีโครงสร้างในแบบที่ต่างกัน จึงทำให้สูญเสียสมบัติการยึดเกาะไป แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบกลับไม่มีผลต่อสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งถึงแม้ว่ากำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ก็ยังไม่มากไปกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่มีสมบัติโครงสร้างแบบผลึกซึ่งมีการจัดวางโครงสร้างแบบเดียวกันกับโครงสร้างของฟิล์มบางที่เป็นแบบผลึกเช่นเดียว กันเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบ ดังนั้นฟิล์มบาง CoFeB จึงยังสามารถยึดเกาะอยู่บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ได้ ถึงแม้จะมีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบก็ตาม

4.5.2 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อสมบัติการยึดเกาะ

เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สมบัติอื่น ๆ ที่นอกจากจะพิจารณาถึงผลที่เกิดจากสถานะเงื่อนไขของการเตรียมฟิล์มบางแล้วก็ยังได้ทำการพิจารณาถึงผลจากวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมที่มีต่อสมบัติ

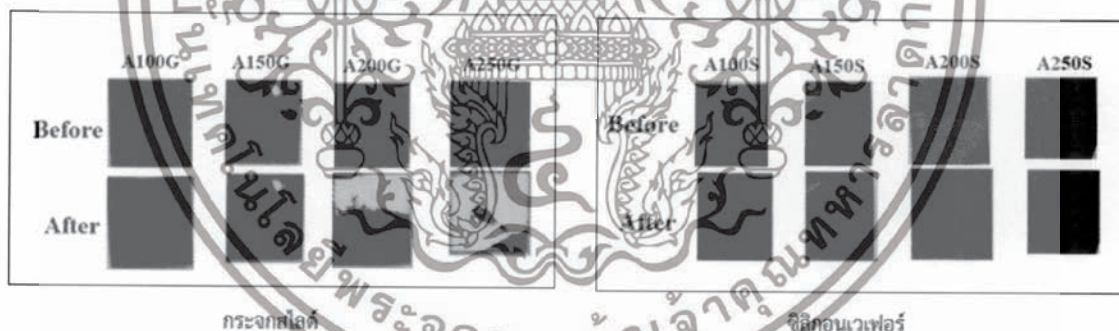
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดเกาะด้วย ซึ่งผลที่ได้สามารถประเมินเป็นอัตราส่วนร้อยละของอนุภาคฟิล์มบาง CoFeB ที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับทั้งสองดังตารางที่ 4.10

จากการทดลองการหลุดลอกเพื่อศึกษาสมบัติการยึดเกาะด้วยเทคนิคการลอกเทปกาพบว่าการหลุดลอกของฟิล์มบาง CoFeB ออกจากวัสดุรองรับเกิดขึ้นเฉพาะในฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์โดยเริ่มแสดงการหลุดลอกในฟิล์มบางที่เตรียมที่กำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 200W เป็นต้นไปดังแสดงในรูปที่ 4.22 โดยเริ่มหลุดลอกออกไปประมาณ 50% ของฟิล์มบางทั้งหมดบนวัสดุรองรับและหลุดออกจนเกือบหมดประมาณ 90% ในฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมที่กำลังไฟฟ้า 250W ดังระบุไว้ในตารางที่ 4.9 แต่ไม่พบการหลุดลอกใด ๆ ในฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์เลย ดังแสดงในรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.10 ผลเป็นอัตราส่วนร้อยละของปริมาณอนุภาคฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ จากการทดสอบสมบัติการยึดเกาะด้วยเทคนิคการลอกเทปกา

วัสดุรองรับ	อนุภาคฟิล์มบางที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ (%)				
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบ (W)	100	150	200	250
กระจกสไลด์	100	100	50	10	
ซิลิกอนเวเฟอร์	100	100	100	100	



รูปที่ 4.25 การยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมที่กำลังไฟฟ้าต่างกันบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ก่อนและหลังการทดสอบ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองเราจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อให้ฟิล์มบางนั้นมีสมบัติการยึดเกาะที่ดีได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (ซิลิกอนเวเฟอร์) และวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (กระจกสไลด์) แต่หากต้องการเตรียมฟิล์มบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐานต้องทำการเตรียมภายใต้เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าในการเคลือบต่ำไม่เกิน 200W โดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อน

2. ในการทดลองพบว่าวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐานกระจกสไลด์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอน สปีดเตอริงนั้นส่งผลต่อสมบัติการยึดเกาะ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ของฟิล์มบางที่ได้เนื่องจากฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับโครงสร้างอสังฐานนั้นไม่สามารถรักษาการยึดเกาะไว้ได้ที่กำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่สูงกว่า 200W เนื่องจากการจัดวางโครงสร้างของฟิล์มบางที่มีความเป็นผลึกและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งเมื่อไปอยู่บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบอสังฐานที่มีความหนาแน่นน้อยจึงยากต่อการที่จะยึดติดกันได้ดีเนื่องจากมีโครงสร้างในแบบที่ต่างกัน จึงทำให้สูญเสียสมบัติการยึดเกาะไป แต่ในทางตรงกันข้ามในฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งไม่ว่าจะเปลี่ยนสถานะเงื่อนไขในการเตรียมที่แตกต่างกันออกไปก็ไม่สามารถที่จะทำให้ลายพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่มีสมบัติโครงสร้างแบบผลึกได้

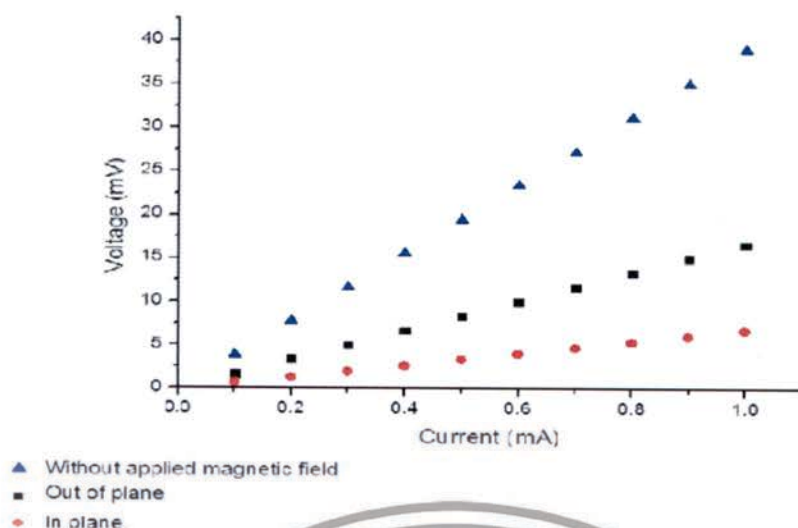
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคโพรบสี่ขั้ว (4 point probe)

การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB โดยใช้เทคนิคของชุดเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว (Four point probe) พร้อมชุดจับยึดและขับเคลื่อนที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นโดยภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) กับกระแสไฟฟ้า (Current) ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) สภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งเตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti โดยเทคนิคดีซีแมกเนตรอนสปัตเตอริงภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งกัน (ทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉาก)

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์

ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนชั้นสัมผัสของวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว แสดงว่าเมื่อป้อนค่ากระแสไฟฟ้าจาก 0.1 mA ไปจนถึง 1.0 mA จะได้ว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้างแสดงในกราฟรูปที่ 4.26 โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จึงได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้านั้นมีความแปรผันตรงต่อกันซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของโอห์มที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าและความต้านทานในวงจรไฟฟ้า โดยในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการควบคุมการจ่ายค่าความต้านทานไฟฟ้า



รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว

เมื่อทำการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กกับมีสนามแม่เหล็กทั้งในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากจะได้ผลของความสัมพันธ์ดังในกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.26 ซึ่งจะได้ว่าเมื่อป้อนค่ากระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็ก และเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็กแต่มีทิศทางที่แตกต่างกัน จะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนาน

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์

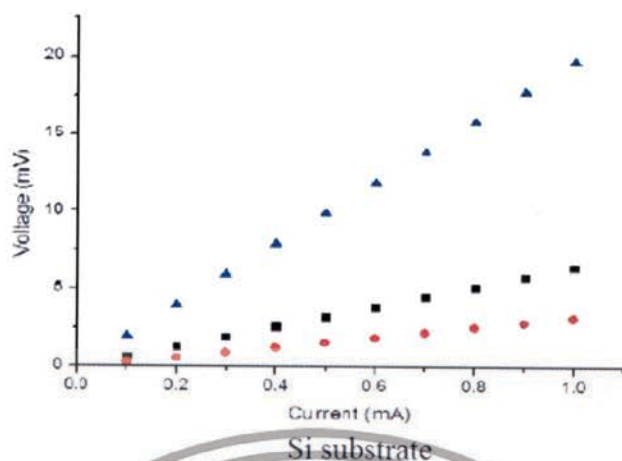
นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์โดยการป้อนค่ากระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว หลังจากนั้นทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ดังกล่าวเช่นเดียวกับที่ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์กับฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ไปก่อนหน้านี้ โดยเมื่อทำการป้อนค่ากระแสไฟฟ้าจาก 0.1 mA ไปจนถึง 1.0 mA ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.27 โดยเมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นค่าความต่างศักย์ที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ผลที่ได้นั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับผลความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนชั้นสัมผัสของวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่แสดงในรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกันเมื่อทำการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ทำการเคลือบโดยไม่มีสนามแม่เหล็กกับมีสนามแม่เหล็กแต่ในทิศทางที่ต่างกันจะได้ผลของความสัมพันธ์ในกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.28 ซึ่งจะได้ว่าเมื่อป้อนค่ากระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็ก และเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็กแต่มีทิศทางที่ต่างจากกัน จะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนาน

โดยสรุปแล้วจะได้ว่าจากการวัดผลความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ทั้ง 2 ที่เตรียมบนชั้นสัมผัสของวัสดุรองรับกระแสจลัดและวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ด้วยเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้วนั้นให้ผลความสัมพันธ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้านั้นมีความแปรผันตรงต่อกันซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของโอห์มที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ และเมื่อทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ได้ตั้งกล่าวภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ทำการเคลือบโดยไม่มีสนามแม่เหล็กกับมีสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกันจะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็ก และเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็กแต่มีทิศทางที่ต่างจากกัน จะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากนั้น จะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนาน ดังแสดงในรูปที่ 4.26 และ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว

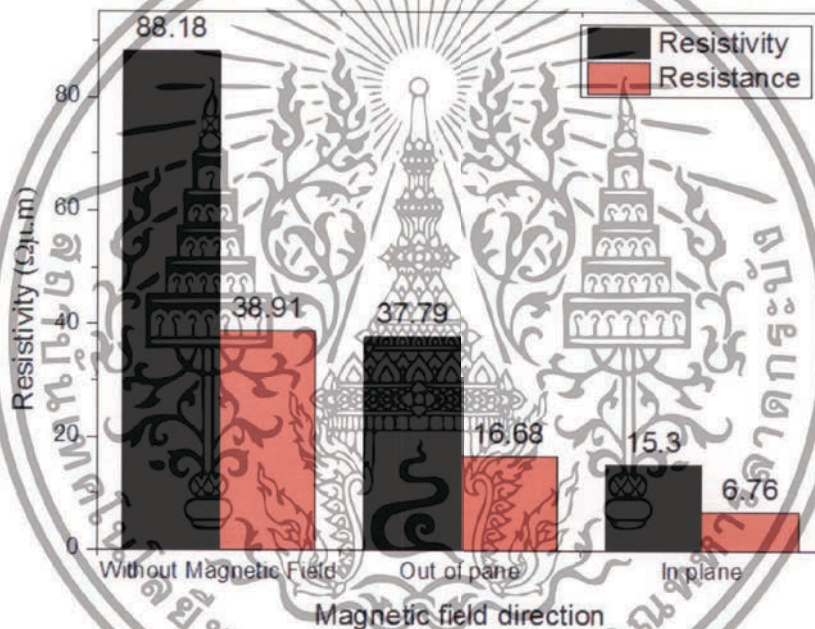
ทิศทางสนามแม่เหล็ก	วัสดุรองรับ	ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)	สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\mu\Omega.m$)
ไม่ใส่สนามแม่เหล็ก	ซิลิกอน เวเฟอร์	19.85	44.98
ไม่ใส่สนามแม่เหล็ก	กระจกสไลด์	38.91	88.18
ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก	ซิลิกอน เวเฟอร์	6.45	14.62
ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก	กระจกสไลด์	16.68	37.79
ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน	ซิลิกอน เวเฟอร์	3.2	7.25
ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน	กระจกสไลด์	6.76	15.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 อิทธิพลของทิศทางการใส่สนามแม่เหล็กต่อสมบัติทางไฟฟ้า

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นโดยไม่มีสนามแม่เหล็กและมีสนามแม่เหล็ก ทั้งในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ทำให้ได้ว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ในแต่ละเงื่อนไขการเตรียมนั้นค่อนข้างมีค่าที่ใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.28 โดยพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยไม่มีสนามแม่เหล็กจะเข้าในระบบการสปีดเตอร์ริงนั้นจะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่มากที่สุด และฟิล์มบางที่เตรียมภายใต้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้น จะให้ค่าค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด

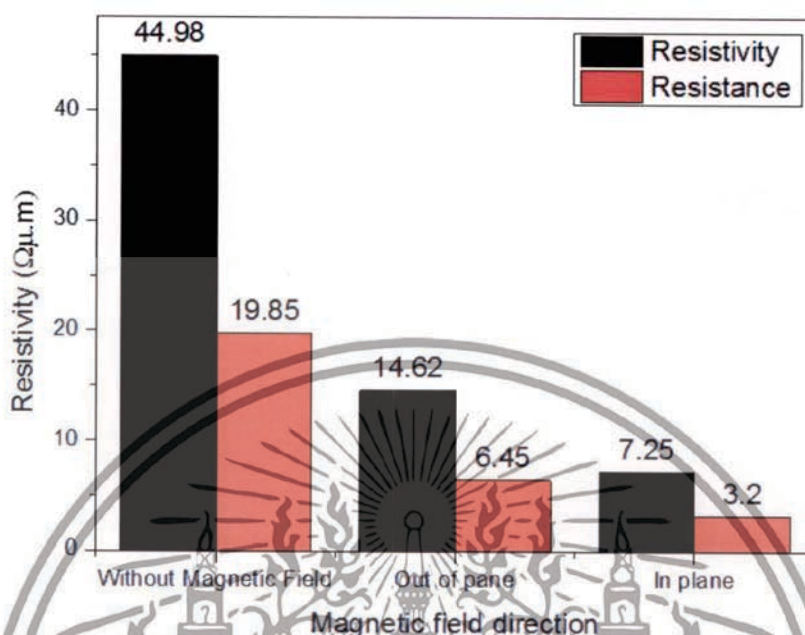


รูปที่ 4.28 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่เคลือบด้วย Ti

เมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่ถูกเคลือบด้วย Ti ภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันกับการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti นั้นพบว่าลักษณะกราฟความสัมพันธ์นั้นมีลักษณะคล้ายกันกับกราฟความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti โดยที่ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่มากที่สุด และฟิล์มบางที่เตรียมภายใต้เอกซาร์นี้เป็นเอกซาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นจะให้ค่าค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรมบีสซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนบนวัสดุรองรับซิลิกอน เพอร์ที่เคลือบด้วย Ti

จากการวิเคราะห์ถึงผลของการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้นให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของฟิล์มบางให้ดีขึ้นได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริงภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสอง (ซิลิกอนเวเฟอร์ และกระจกสไลด์) ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อน โดยสามารถใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางใด ๆ (ทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉาก) ก็ได้ แต่สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ หากเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนานจะให้ผลของสมบัติไฟฟ้าที่ดีที่สุด

2. จากกราฟแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรมบีสซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้น แสดงให้เห็นว่าการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับทั้งสองด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงที่อุณหภูมิห้องนั้นส่งผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางโดยฟิล์มที่ได้เมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากทิศทางการสปินของอิเล็กตรอนในชั้นของฟิล์มบาง CoFeB ที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็กเฟอร์โรสามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยสนามแม่เหล็กภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

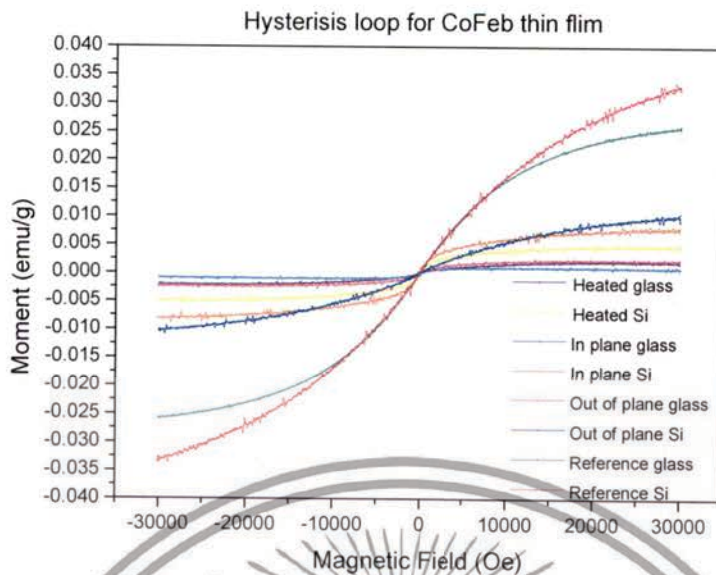
4.6.2 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อสภาพความต้านทานไฟฟ้า

เมื่อทำการศึกษาถึงผลของวัสดุรองรับที่มีต่อสภาพความต้านทานไฟฟ้าทำให้สามารถสรุปได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ในสภาวะเงื่อนไขที่มีและไม่มีสนามแม่เหล็ก (ทั้งทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากกับวัสดุรองรับ) นั้นมีการนำไฟฟ้าและสภาพการนำไฟฟ้าที่สูงและดีกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.28 และ 4.29 กล่าวคือจากผลค่าความต้านไฟฟ้าและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้เราสามารถบอกได้ว่าเราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการมีและไม่มีสนามแม่เหล็กในขณะที่เตรียมฟิล์มเพื่อให้ได้สมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีได้บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ แต่หากจะให้ดีกว่าต้องเตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ดีกว่าวัสดุรองรับกระจกสไลด์

4.7 ผลการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคแม่เหล็กแบบสั้นตัวอย่าง (VSM)

ทำการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB โดยใช้เทคนิคแม่เหล็กแบบสั้นตัวอย่าง (VSM) ซึ่งได้ทำการส่งตัวอย่างฟิล์มชิ้นงานไปทำการวิเคราะห์ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยศึกษาถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งเตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti โดยเทคนิคอีซีเอ็มไนตรอนสปิตเตอร์ริง พบว่าภาพโดยรวมของเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส (Hysteresis Loop) นั้นมีลักษณะดังรูปที่ 4.30 ต่อไปนี้

จากลักษณะของกราฟเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสข้างต้นพบว่า ฟิล์มตัวอย่าง CoFeB ที่นำไปวิเคราะห์นั้นแสดงให้เห็นถึงสมบัติทางแม่เหล็กที่น้อยมาก ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการใส่สนามแม่เหล็กและการอบร้อน ที่ใช้ในระหว่างขั้นตอนของการเตรียมฟิล์มครั้งนี้ อาจส่งผลโดยตรงน้อยมากหรือไม่ส่งผลใดๆ เลยต่อการเกิดสมบัติทางแม่เหล็กที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสอง ซึ่งจากกราฟเราสามารถอ่านค่า ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (B_s) ฟลักซ์แม่เหล็กคงค้าง (B_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force) (H_c) ได้ แล้วหลังจากนั้นนำค่าที่อ่านได้จากกราฟไปคำนวณหาค่าภาวะอิ่มตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแม่เหล็กคงค้าง (M_r) ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.30 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส (Hysteresis Loop) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

จากกราฟที่ 4.30 และจากตารางที่ 4.12 พบว่าเงื่อนไขที่ใช้ในระหว่างการเตรียมฟิล์ม ไม่ว่าจะเป็นการใส่สนามแม่เหล็ก (Magnetization) การอบร้อน (Heating) หรือการเปลี่ยนวัสดุรองรับที่ใช้ในการเคลือบ (Substrate) นั้นไม่ส่งผลใด ๆ อย่างชัดเจนต่อค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (B_s) ค่าแม่เหล็กคงค้าง (M_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force) (H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB เนื่องจากค่าที่กล่าวมาดังกล่าวนี้มีค่าน้อยมาก (มีค่าเข้าใกล้ศูนย์) และเมื่อพิจารณาถึงค่าสถานะแม่เหล็กอิ่มตัว (M_s) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้แล้วจะเห็นว่าค่าสถานะแม่เหล็กอิ่มตัวที่ได้จากการคำนวณค่าสถานะความเป็นแม่เหล็กสูงสุดในสมการที่ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปในการวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเทคนิค VSM เป็นอย่างมากในทุกสภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มเนื่องจากค่า B_s มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากจึงทำให้ค่า M_s มีค่าเกือบเท่ากับค่า H เช่นเดียวกับค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กคงค้าง (B_r) เมื่อ $H=0$ ของฟิล์มบาง CoFeB เนื่องจากค่า B_r ที่ได้นั้นมีค่าน้อยมาก (มีค่าเข้าใกล้ศูนย์) ดังนั้นค่าแม่เหล็กคงค้างที่ได้ก็จะมีค่าน้อยมากด้วย และที่ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (B) เท่ากับศูนย์จะได้ค่าสภาพบังคับหรือค่าสภาพลบล้างแม่เหล็ก (H_c , Coercivity) ซึ่งการทดลองครั้งนี้ ค่าสภาพบังคับหรือค่าสภาพลบล้างแม่เหล็กก็มีค่าน้อยมากเช่นกัน

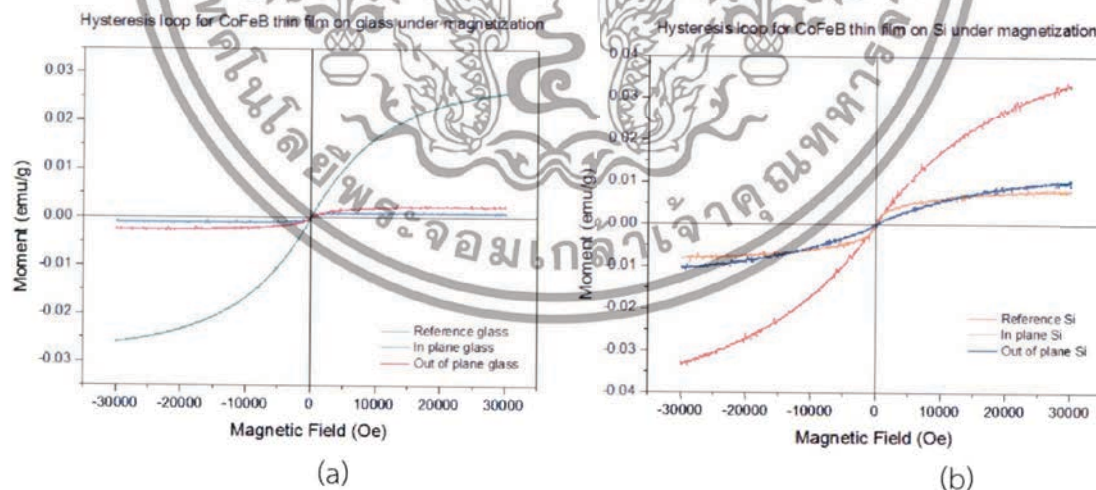
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (B_s) ค่าความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (H) ค่าการอิ่มตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแม่เหล็กคงค้าง (M_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force) (H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์

Condition	B_s (emu/g)	H (Oe)	M_s (G)	M_r ($H=0$) (G)	H_c (Oe)
Ref Glass	0.02603	30002.9502	23567.3	0.00002	6.15
Ref Si	0.03364	29502.32324	23174.05	0.000175	82.5
Heated Glass	0.00229	30003.06543	23567.41	0.0000275	26.85
Heated Si	0.00514	29849.14355	23446.5	0.000125	51.25
Inplane Glass	0.000957	28300	22200.51	0.000035	40.85
Inplane Si	0.00815	29784.89551	23396.03	0.000175	11.125
Outofplane Glass	0.00252	30003.01465	23567.37	0.0000115	10.25
Outofplane Si	0.0106	30002.20898	23566.73	0.000047	25

4.7.1 อิทธิพลของการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากกับวัสดุรองรับต่อสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

การวิเคราะห์และศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กทั้งในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากกับวัสดุรองรับ โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอยุ่กลิ้ง (VSM) นั้นแสดงผลดังภาพเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิส ตามรูปที่ 4.31



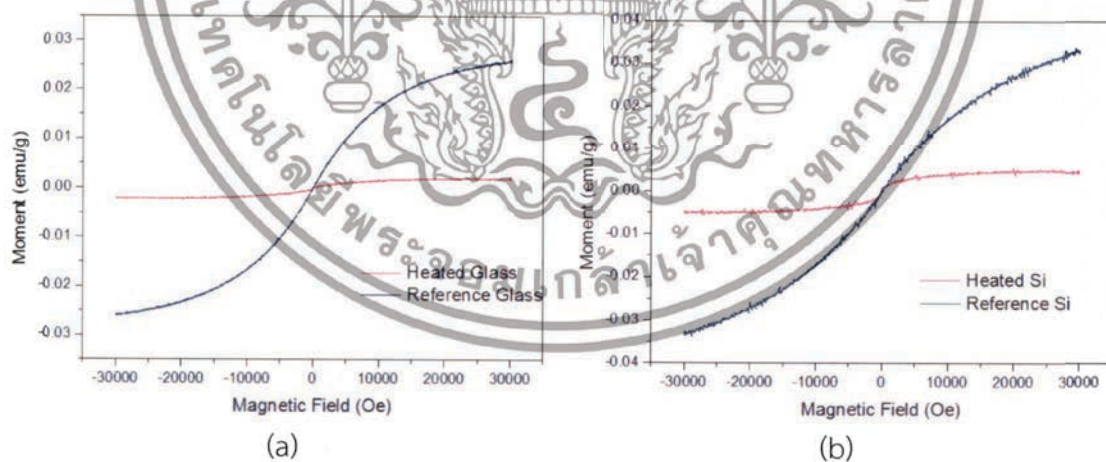
รูปที่ 4.31 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมภายใต้เงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากกับวัสดุรองรับ (a) กระจกสไลด์ และ (b) ซิลิกอน เวเฟอร์

จากกราฟเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสในรูปที่ 4.31 พบว่าเมื่อค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) ให้กับฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับฟิล์มบางที่ได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างเตรียมจะเริ่มมีสถานะการอิมิตัวทางแม่เหล็กได้เร็วกว่าฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นโดยสภาวะเงื่อนไขปกติ และฟิล์มบางที่เตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากจะให้ค่าของฟลักซ์ความเป็นแม่เหล็กที่สูงกว่าฟิล์มบางที่เตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ แต่ก็ยังมีค่าน้อยมากจนแทบจะไม่มีเลย เนื่องจากค่าที่อ่านได้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก ดังรูปที่ 4.31(a) และเมื่อพิจารณาฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างขั้นตอนการเตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์จากรูปที่ 4.31(b) พบว่าผลที่ได้ออกมามีค่าใกล้เคียงกันกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์จากรูปที่ 4.31(a) โดยค่าฟลักซ์ความเป็นแม่เหล็ก (B_s) หรือค่าสภาวะความเป็นแม่เหล็กที่แสดงออกมามีค่าน้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการเตรียมพบว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนานบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ไม่แตกต่างจากฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ดังรูปที่ 4.31(b)

ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้จากการทดลองครั้งนี้การเพิ่มสนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างเตรียมฟิล์มนั้นส่งผลต่อการเพิ่มสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ได้น้อยมากเนื่องจากฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้นแสดงค่าสมบัติทางแม่เหล็กออกมาได้น้อยมากแต่อย่างไรก็ตามยังสามารถแสดงสมบัติสภาวะการอิมิตัวทางแม่เหล็กได้ดีกว่าฟิล์มบางที่เตรียมโดยสภาวะเงื่อนไขปกติ

4.7.2 อิทธิพลของการอบร้อนต่อสมบัติความเป็นแม่เหล็ก



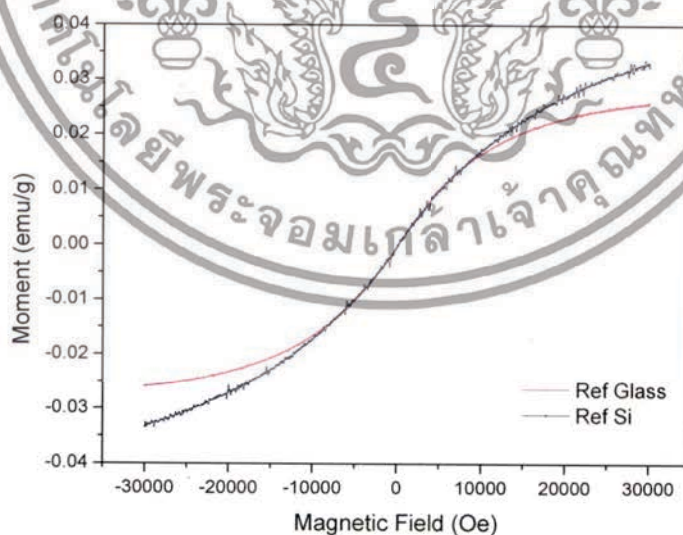
รูปที่ 4.32 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับ (a) กระจกสไลด์ และ (b) ซิลิกอน เวเฟอร์ที่เตรียมโดยการอบร้อนก่อนการเคลือบ

จากกราฟเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสที่ได้ดังรูปที่ 4.32 สามารถสรุปได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมโดยการอบร้อนบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้นให้ค่าสภาวะอิมิตัวทางแม่เหล็กได้ดีและเร็วกว่าฟิล์มบางที่เตรียมด้วยสภาวะเงื่อนไขในการเตรียมปกติ แต่อย่างไรก็ตามสมบัติทางแม่เหล็กที่แสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาไม่ว่าจะเป็นค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (B_s) ค่าแม่เหล็กคงค้าง (M_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force) (H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB นั้นยังคงมีค่าน้อยมาก (มีค่าเข้าใกล้ศูนย์) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการอบร้อนนั้นมีอิทธิพลต่อการเพิ่มสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB เพียงเล็กน้อยเนื่องจากฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการอบร้อนนั้นแสดงสมบัติค่าความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัวได้ดีและเร็วกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขปกติ แต่ค่าทางแม่เหล็กที่ได้ต่าง ๆ นั้นยังคงมีค่าน้อยมาก

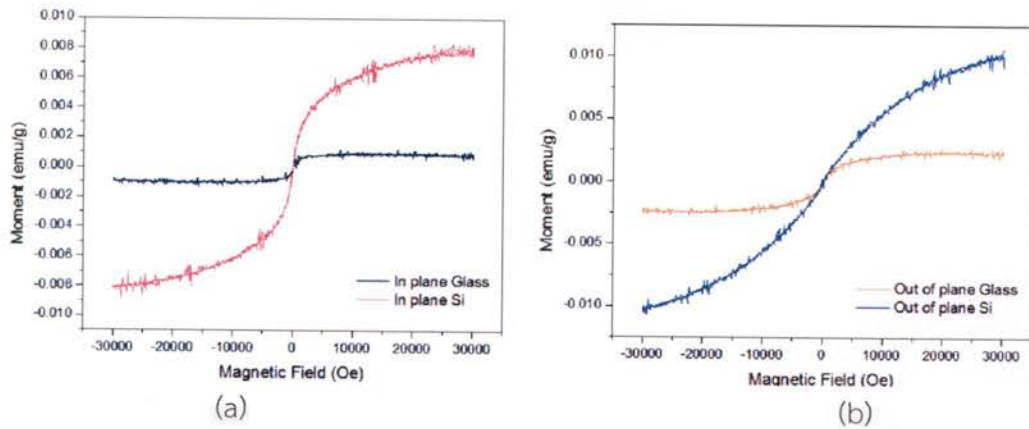
4.7.3 อิทธิพลของวัสดุรองรับต่อสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

เมื่อทำการพิจารณาถึงอีกหนึ่งสภาวะเงื่อนไขที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB นั่นก็คือวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม ซึ่งได้แก่ วัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ โดยได้ทำการเปรียบเทียบวิเคราะห์กันในแต่ละการทดลองการเตรียมฟิล์ม โดยเริ่มจากการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่สภาวะเงื่อนไขปกติ พบว่ากราฟเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสที่ได้นั้นมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.33 และค่าต่าง ๆ ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงมาก ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสนามแม่เหล็กเข้าไปทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่สามารถเห็นถึงฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดหรือฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัวได้ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ ได้มีการจำกัดค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค VSM ไว้ที่ 3000 Oe โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าฟลักซ์ความเป็นแม่เหล็กยังคงสามารถเพิ่มสูงขึ้นได้อีกหากมีการเพิ่มช่วงการใส่ค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กให้สูงขึ้น ดังนั้นจากการทดลองเราจึงสามารถบอกได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ภายใต้สภาวะเงื่อนไขปกตินั้นไม่แสดงสมบัติความเป็นแม่เหล็กใด ๆ ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.33 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมปกติ

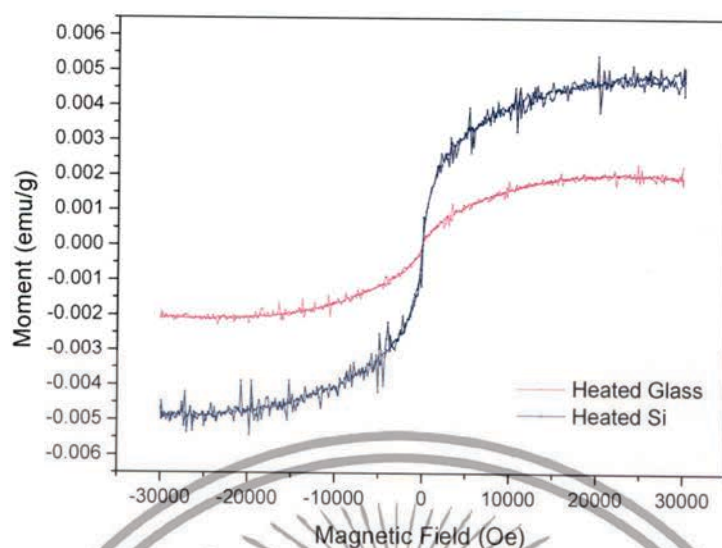
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็ก (a) ทิศทางขนานและ (b) ทิศทางตั้งฉาก กับวัสดุรองรับ

เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.34(a) พบว่าเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดโดยจะพบว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์จะเกิดสภาวะแม่เหล็กอิ่มตัวได้เร็วกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ เช่นเดียวกับกับเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉาก ดังแสดงในรูปที่ 4.34(b) ที่ฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์มีค่าเข้าใกล้สภาวะอิ่มตัวได้ดีกว่าฟิล์มบางบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ แต่เนื่องจากว่าจากกราฟที่เห็นนั้นความแตกต่างกันของค่าที่บอกถึงสมบัติความเป็นแม่เหล็กระหว่างฟิล์มบางบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้นมีค่าน้อยมากจนแทบจะไม่มี ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้ว่าวัสดุรองรับที่ใช้ในการทดลองเพื่อเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กในครั้งนี้นั้นไม่สามารถทำให้ฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้เกิดสมบัติความเป็นแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาสภาวะเงื่อนไขของการเพิ่มอุณหภูมิในการอบร้อนให้แก่วัสดุรองรับก่อนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.35 นั้นพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นจะเริ่มเข้าสู่สภาวะความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัวได้เร็วกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าพลักซ์ความเป็นแม่เหล็กแล้วฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์จะมีค่าน้อยกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบถึงความต่างที่เกิดขึ้นนั้นจะเห็นได้ว่ามีค่าน้อยและเข้าใกล้ศูนย์มาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้วัสดุรองรับที่แตกต่างกันระหว่างวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ในการเคลือบฟิล์มภายใต้การอบร้อนไม่ส่งผลต่อการเพิ่มสมบัติทางแม่เหล็กอย่างชัดเจนในการทดลองครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 เส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกใส และซิลิกอนเวเฟอร์ ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการอบร้อน

ในการศึกษาและวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบถึงผลของการใช้วัสดุรองรับที่แตกต่างกันในการเตรียมฟิล์มภายใต้สภาวะเงื่อนไขทั้ง 2 ได้แก่ เงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากเข้าไปในขณะเตรียมฟิล์ม เงื่อนไขการอบร้อนในขณะเตรียมฟิล์ม นั้นพบว่าวัสดุรองรับทั้งสองดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการเพิ่มสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นในการทดลองนี้ อย่างชัดเจน ซึ่งค่าสมบัติทางแม่เหล็กต่าง ๆ ที่วัดได้ออกมาที่เช่น ค่าสภาพบังคับทางแม่เหล็ก และค่าความเป็นแม่เหล็กคงเหลือของฟิล์มบางดังกล่าวนี้ มีค่าที่แตกต่างค่าน้อยมากในระยะที่เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในการทดลองครั้งนี้วัสดุรองรับกระจกใสและซิลิกอน เวเฟอร์นั้นไม่มีผลต่อการเพิ่มสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเงื่อนไขกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ นั้นได้แบ่งผลการศึกษาและวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของการศึกษาหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง ได้แก่ เงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน เงื่อนไขของความดันที่ใช้ในขณะเคลือบฟิล์ม เงื่อนไขการเตรียมฟิล์มโดยการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างกระบวนการเตรียมฟิล์ม เงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางโดยการอบร้อนและการเปรียบเทียบผลเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับที่ต่างกัน และส่วนของการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบางที่เตรียมได้จากเงื่อนไขต่าง ๆ ได้แก่ สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติความเป็นแม่เหล็ก ฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่แตกต่างกันสามารถสรุปผลของการศึกษาทั้ง 2 ส่วน ได้ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม

1. ความดันก๊าซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศในขณะเคลือบนั้นมีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง โดยพบว่าเมื่อความดันก๊าซอาร์กอนสูงขึ้น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องสปัตเตอร์ริงจะมีค่าลดลง และจะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 416 V เป็น 404 V เมื่อค่าความดันก๊าซอาร์กอนนั้นสูงขึ้นถึง 9×10^{-3} mbar เป็นผลเนื่องจากความหนาแน่นของไอออนในขณะกระบวนการสปัตเตอร์ริงเพิ่มมากขึ้น
2. ความดันก๊าซอาร์กอนที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีผลต่อสมบัติการยึดเกาะ (Adhesion property) ของฟิล์มบาง CoFeB โดยการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับแผ่นแก้วสไลด์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความดันก๊าซอาร์กอนที่ใช้ในการเคลือบสูงขึ้น เนื่องจากความเค้นภายในฟิล์มลดลง
3. กำลังไฟฟ้าเป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่ออัตราการเคลือบ (Deposition Rate) ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง เมื่อกำลังไฟฟ้ามากขึ้นส่งผลต่ออัตราในการเคลือบที่สูงขึ้น จากผลการทดลองสามารถหาสมการแนวโน้มได้

ส่วนที่ 2 ผลการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB

1. สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) นั้นสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1.1 กำลังไฟฟ้ามี่ผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง โดยฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์โดยใช้กำลังไฟฟ้าต่ำที่ 100W นั้นจะมีโครงสร้างอสัณฐานและจะเริ่มเปลี่ยนเป็นการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างผลึกเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบเป็น 150W และ 200W สำหรับฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ และฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ตามลำดับ โดยที่โครงสร้างผลึกของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์จะยังคงอยู่และเป็นเอกรูปเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบให้สูงขึ้นถึง 250W แต่โครงสร้างผลึกดังกล่าวจะหายไปเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้ถึง 250W ในการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ จึงได้ว่ากำลังไฟฟ้ามีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยเทคนิคซีแมกนีตรอนสเปตเตอร์ริง เนื่องจากเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในขณะเตรียมจำนวนและโมเมนต์ของอนุภาคที่สเปตเตอร์ริง นั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยส่งผลให้อัตราการระเหยของอนุภาคที่ผิวของเป้าสารเคลือบสูงขึ้นและเกิดอัตราการเคลือบที่เร็วขึ้นจึงทำให้อะตอมเกิดการเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันได้เร็วและเป็นระเบียบมากขึ้น

1.2 ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์จะให้สมบัติโครงสร้างผลึกที่ดีกว่าและคงความเป็นเอกรูปได้ดีกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ เนื่องจากวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งในการสร้างฟิล์มที่มีโครงสร้างแบบผลึก โดยฟิล์มโครงสร้างแบบผลึกนั้น จะสามารถเตรียมบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบผลึก (ซิลิกอนเวเฟอร์) ได้ง่ายกว่าบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (กระจกสไลด์)

1.3 การใส่สนามแม่เหล็กทั้งทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากเข้าไปในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ด้วยเทคนิคซีแมกนีตรอนสเปตเตอร์ริงที่อุณหภูมิห้องไม่ส่งผลใด ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นโครงสร้างอสัณฐาน

1.4 ดังนั้นในการทดลองนี้เราจึงสรุปได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB สามารถเตรียมขึ้นเพื่อให้มีโครงสร้างแบบผลึกได้บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (แต่จะเตรียมบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบผลึกได้ง่ายและเป็นเอกรูปมากกว่า) โดยเทคนิคซีแมกนีตรอนสเปตเตอร์ริงด้วยการใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 200W ที่อุณหภูมิห้อง

2. สมบัติพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) นั้น สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

2.1 การเตรียมฟิล์มที่ต่างกันมีผลต่อสมบัติพื้นผิวในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ให้สูงถึง 200W ขนาดของเกรนจะขยายใหญ่ขึ้นและลักษณะพื้นผิวจะมีความหยาบเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติเชิงโครงสร้างที่ทำการศึกษได้ข้างต้นเนื่องจากขนาดของเกรนที่ใหญ่และลักษณะพื้นผิวที่หยาบบอกถึงลักษณะโครงสร้างแบบผลึกของฟิล์มบาง CoFeB

2.2 สำหรับลักษณะขนาดเกรนได้ผลไปในทิศทางเดียวกับสมบัติเชิงโครงสร้างที่วัดได้โดยในฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นจะเรียงตัวหนาแน่น เป็นระเบียบ และสามารถคงความเป็นเอกรูปได้มากกว่าฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

2.3 การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างการเตรียมฟิล์มนั้นส่งผลต่อสมบัติพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้โดยเมื่อใส่สนามแม่เหล็ก (ทั้งในทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน) เข้าไปในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ด้วยเทคนิคซีแมกนีตรอนสเปตเตอร์ริงขนาดเกรนของฟิล์มบางที่ได้จะเล็กลงกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบโดยไม่มีสนามแม่เหล็ก และไม่พบความแตกต่างของขนาดเกรนระหว่างฟิล์มบางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CoFeB ที่เตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางที่ต่างกันอย่างชัดเจน (ขนานและตั้งฉาก) และในการวัดค่าความหยาบของพื้นผิวจาก AFM พบว่าการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างการเตรียมฟิล์มบางนั้นส่งผลต่อความหยาบของฟิล์มบาง CoFeB โดยเมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มบางพื้นผิวของฟิล์มบางที่ได้นั้นมีความละเอียดมากขึ้นอย่างชัดเจน และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความหยาบของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกันพบว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางขนานนั้นมีพื้นผิวที่หยาบมากกว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.4 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้มีสมบัติพื้นผิวของฟิล์มบางที่มีขนาดเกรนที่ใหญ่และมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบได้บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (แต่จะเตรียมบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบผลึกได้เป็นเอกรูปมากกว่า) ด้วยเทคนิคดีซีแมกเนตรอนสปัตเตอริงที่ใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 200W ที่อุณหภูมิห้อง

3. สมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากเทคนิคการลอกเทปกาว (Sticky Tape Test) นั้นสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

3.1 การเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB นั้นมีผลต่อการยึดเกาะของฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ โดยการยึดเกาะของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์จะเริ่มลดลงเมื่อฟิล์มบางถูกเตรียมขึ้นโดยใช้กำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่ 200W และจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งฟิล์มบางสูญเสียสมบัติการยึดเกาะเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเตรียมนั้นเพิ่มสูงขึ้นไปถึง 250W ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่ากำลังไฟที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การรวมตัวและการจัดวางโครงสร้างของอะตอมนั้นมีมาก แข็งแรงและเป็นระเบียบมากขึ้นจนทำให้พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามกำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่เพิ่มขึ้นและเมื่อความแข็งแรงของพันธะระหว่างฟิล์มบางนั้นเพิ่มสูงขึ้นและเริ่มมากกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับก็จะทำให้ฟิล์มบางสูญเสียการยึดเกาะบนวัสดุรองรับได้

3.2 โดยเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบเข้าไปจะทำให้เกิดการจัดวางตัวของฟิล์มบางที่ทำให้โครงสร้างของฟิล์มบางมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นซึ่งเมื่อไปอยู่บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐานจึงยากต่อการที่จะยึดติดกันได้ดีเนื่องจากมีโครงสร้างในแบบที่ต่างกัน จึงทำให้สูญเสียสมบัติการยึดเกาะไป แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบกลับไม่มีผลต่อสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งถึงแม้ว่ากำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ก็ยังไม่มากไปกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่มีสมบัติโครงสร้างแบบผลึกซึ่งมีการจัดวางโครงสร้างแบบเดียวกันกับโครงสร้างของฟิล์มบางที่เป็นแบบผลึกเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบ ดังนั้นฟิล์มบาง CoFeB จึงยังสามารถยึดเกาะอยู่บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ได้ถึงแม้จะมีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบก็ตาม

3.3 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้มีสมบัติการยึดเกาะที่ดีได้บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน (แต่การเตรียมบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบผลึกนั้นจะให้สมบัติการยึดเกาะที่ดีกว่ามากในทุกช่วงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบ) ด้วยเทคนิคดีซีแมกเนตรอนสปัตเตอริงด้วยการใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 200W ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคโพรบวัดสี่ขั้ว (4-point probe) นั้น สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างการเตรียมฟิล์มนั้นส่งผลต่อสมบัติไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ โดยฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมโดยใส่สนามแม่เหล็ก (ทั้งในทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน) เข้าไปในระหว่างการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่ถูกเคลือบด้วย Ti ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงนั้นจะมีการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมโดยไม่มีสนามแม่เหล็กที่ซึ่งมีค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพการต้านไฟฟ้าของฟิล์มบางที่สูงมากแต่เมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะการเตรียมค่าทั้งสองของฟิล์มที่ได้นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าทั้งสองของฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมฟิล์มที่มีสนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกันพบว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางขนานนั้นจะมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าฟิล์มบางที่ได้จากการเตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก

4.2 เช่นเดียวกันกับผลของสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์นั้นจะให้ค่าการนำไฟฟ้าได้ดีกว่า ฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ทั้งนี้เนื่องจากกระจกสไลด์ที่มีคุณสมบัติกีดกันการต้านทานไฟฟ้าได้ดีกว่าซิลิกอนเวเฟอร์

5. สมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการวัดวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแม่เหล็กแบบเส้นตัวอย่าง (VSM) สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 จากผลของกราฟเส้นโค้งฮิสเตอร์เรซิสที่ได้พบว่าฟิล์มตัวอย่าง CoFeB ที่เตรียมโดยการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมนั้นแสดงให้เห็นถึงสมบัติทางแม่เหล็กที่น้อยมาก เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมบัติความเป็นแม่เหล็ก ไม่ว่าจะเป็น ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (B_s) ฟลักซ์แม่เหล็กคงค้าง (B_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force) (H_c) ที่ได้นั้นมีค่าน้อยมาก (เข้าใกล้ศูนย์) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปในระหว่างเตรียมฟิล์มนั้นส่งผลทำให้ฟิล์มบางที่เกิดสภาวะการอิ่มตัวทางแม่เหล็กได้เร็วมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบถึงทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปในระหว่างการเตรียมฟิล์มบาง พบว่าเมื่อใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากกับวัสดุรองรับเข้าไปในระหว่างเตรียมฟิล์มจะทำให้ฟิล์มบางที่ได้มีค่าฟลักซ์ความเป็นแม่เหล็กที่สูงกว่าฟิล์มบางที่เตรียมได้จากการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับวัสดุรองรับเข้าไปในขณะเตรียมฟิล์ม แต่ถึงอย่างไรก็ตามความแตกต่างที่พบนั้นก็มิต่างกันมากนักจนแทบจะไม่มีเลยเนื่องจากค่าที่อ่านได้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก

5.2 การอบร้อนบนวัสดุรองรับก่อนทำการเตรียมฟิล์มนั้นส่งผลให้ฟิล์มบางที่ได้แสดงค่าสภาวะอิ่มตัวทางแม่เหล็กได้ดีและเร็วมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามสมบัติทางแม่เหล็กที่แสดงออกมาไม่ว่าจะเป็นค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (B_s) ค่าแม่เหล็กคงค้าง (M_r) และค่าแรงบังคับ (Coercive Force) (H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB นั้นยังคงมีค่าน้อยมาก (มีค่าเข้าใกล้ศูนย์)

5.3 ผลของการใช้วัสดุรองรับที่แตกต่างกันในการเตรียมฟิล์มภายใต้สภาวะเงื่อนไขทั้ง 2 ได้แก่ เงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากเข้าไปในขณะเตรียมฟิล์ม เงื่อนไขการอบร้อนในขณะเตรียมฟิล์ม นั้นพบว่าวัสดุรองรับทั้งสองดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการเพิ่มสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นในการทดลองนี้อย่างชัดเจน ซึ่งค่าสมบัติทางแม่เหล็กต่าง ๆ ที่วัดได้ อาทิเช่น ค่าสภาพบังคับทางแม่เหล็ก และค่าความเป็นแม่เหล็กคงเหลือของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มบางดังกล่าวนี้มีค่าที่แตกต่างกันน้อยมากในระยะที่เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในการทดลองครั้งนี้วัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์นั้น ไม่มีผลต่อการเพิ่มสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วชิร รัตนสกุลทอง. 2554. “การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า ของวัสดุในสนามแม่เหล็ก; ปรากฏการณ์ MR.” วารสารฟิสิกส์ไทย. 28(4): 22-28.
- [2] กมล เอี่ยมพนากิจ. 2547. “การศึกษาการเคลือบฟิล์มบางหลายชั้นที่ให้ค่าการปลดปล่อยรังสีต่ำของเงิน-ไททาเนียมไดออกไซด์โดยวิธีสปัตเตอร์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมชนบุรี.
- [3] Milton Ohring. 1997. “Materials Science of Thin Films, Deposition & Structure 2.” United States of America: Academic Press A Division of Harcourt, Inc.
- [4] G.J. Mankey. “Lecture 9: Sputter Deposition.” [Slide]. Center for material for Material for Information Technology an NSF Materials Science and Engineering Center of The University of Alabama. 2013
- [5] Chapman, B. 1980. Glow discharge processes; Sputtering and plasma etching. United States of America: A Wiley-Interscience Publication.
- [6] Vossen, J.L.; & Kerns W. 1978. Thin Film Processes. New York: Academia Press.
- [7] Thin Film Laboratory. “Sputtering.” [Online]. Available: <http://www.difest.unipr.it/thifilab/ImmaginiThinFilab/Sputtering.htm>. 2013.
- [8] พัฒนา เทพขไลธร. 2548. “การเคลือบฟิล์มบางอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงแบบรีแอคทีฟ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [9] มติ ห่อประทม. 2548. “การศึกษาฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์โดยการเตรียมด้วยวิธี ดีซี รีแอค ทีฟ แมกนีตรอน สปัตเตอร์ริง.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมชนบุรี.
- [10] สายัณห์ ผุดวัฒน์. 2547. “การศึกษาการเคลือบฟิล์มบางหลายชั้นที่ให้ค่าการปลดปล่อยรังสีต่ำของเงิน-ซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีสปัตเตอร์.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมชนบุรี.
- [11] Bunshah, R.F; et al. 1982. Deposition Technologies for Films and Coatings. Development and Applications. New Jersey: Noyes Publications.
- [12] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. 2556. X-ray Diffractometer. [Online]. Available: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/Picture_XRD1.htm
- [13] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. 2556. X-ray Diffractometer. [Online]. Available: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm
- [14] นุชรีย์ ชมเขย. 2553. “การพัฒนาและศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะของวัสดุร่วมเคลือบ - อนุภาคแม่เหล็กนาโน.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] ดร. ณัฐพันธุ์ ศุภกา. 2557. สมบัติทางแม่เหล็กอันแปลกประหลาด. ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีและวิชาการ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. [Online]. Available: <http://www.vchar-karn.com/varticle/324>
- [16] René Koch. 2556. TECO René Koch. [Online]. Available: <http://www.teco-rene-koch.com/highlights.html>.
- [17] วตภาพ สีสภาพตะ และสรารัตน์ โปรยอรุณ. 2553. “การพัฒนากระบวนการวัดสมบัติของสารกึ่งตัวนำด้วย 4-Point Probe.” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] S. U, Jen. Y. D, Yao. Y. T, Chen. J. M, Wu. C. C, Lee. T. L, Tsai. and Y. C, Chang. 2006. “Magnetic and electrical properties of amorphous CoFeB films.” *Journal of Applied Physics*. 99(2006): 053701(1-5).
- [19] Yuan-Tsung Chen. and C.C, Chang. 2010. “Effect of grain size on magnetic and nanomechanical properties of Co₆₀Fe₂₀B₂₀ thin films.” *Journal of Alloys and Compounds*. 498(2010): 113–117.
- [20] Yuan-Tsung Chen. and S.M, Xie. 2012. “Magnetic and Electric Properties of Amorphous Co₄₀Fe₄₀B₂₀ Thin Films.” *Journal of Nanomaterials*. ID 486284 (1-5).
- [21] H, Sato. M, Yamanouchi. K, Miura. S, Ikeda. R, Koizumi. and F, Matsukura, 2012. “CoFeB Thickness Dependence of Thermal Stability Factor in CoFeB/MgO Perpendicular Magnetic Tunnel Junctions.” *IEEE Magnetics Letters*. Vol 3 (2012). ID 3000204.
- [22] Hu Wang. Xinli Kou. Shu Wang. Jun Zhou. Xudong Zhang. and Jiangong Lia. 2011. “Structures, magnetic properties and thermal stability of CoFeB/MgO films.” *Physics Procedia* 18 (2011): 267–273. The Fourth International Conference on Surface and Interface Science and Engineering.
- [23] Lalminthang Kipgen. Himanshu Fulara. M, Raju. and Sujeet Chaudhary. 2012. “In-plane magnetic anisotropy and coercive field dependence upon thickness of CoFeB.” *Journal of Magnetism and Magnetic Material*. 324 (2012): 3118–3121.
- [24] Zhe Liu. Weili Li. Weidong Fei. and Dan Xu. 2012. “Magnetic Properties of Co-Fe-B Amorphous Films Thermomagnetically Treated with Different Field Directions.” *Journal of Nanomaterials*. Article ID 174735.
- [25] Bruce M. Moskowitz. Hitchhiker's Guide to Magnetism. [Online]. Available: <http://www.irm.umn.edu/hg2m/hg2m.pdf>.
- [26] Umicore Thin Film Product. 2557. “Target Design for Magnetic Materials.” [Online]. Available: http://www.thinfilmproducts.umicore.com/Products/TechnicalData/show_magnetic_materials.pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] Nagaraja K K. 2553. *Materialia Indica*. “Sputtering of Magnetic Materials.” [Online]. Available: <http://materialiaindica.ning.com/forum/topics/sputtering-of-magnetic>
- [28] สุรสิงห์ ไชยคุณ, นิรันดร วิทิตอนันต์, สกฤต ศรีญาณลักษณ์, และจักรพันธ์ ถาวรธิดา. 2546. “การออกแบบและสร้างอับบาลานซ์ แมกนีตรอน คาโทด สำหรับระบบสปัตเตอร์ริง.” 41(2546). 169-176. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [29] Kobe Steel, Ltd. Machinery Business. 2557 . “Unbalanced Magnetron Sputtering Series.” [Online]. Available: <http://www.kobelco.co.jp/english/machinery/products/function/pvd/ubms.html>.
- [30] เจษสุตา ตริธารทิพย์กุล. 2555. “การออกแบบสลับเบอร์เพื่อช่วยลดการสั่นของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [31] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno. 2010. “A perpendicular-anisotropy CoFeB–MgO magnetic tunnel junction.” *Nature Materials* 9(2010): 721–724.
- [32] Zhaohao Wang, Weisheng Zhao, Wang Kang, Yue Zhang, Jacques-Olivier Klein, Dafine Ravelosona, and Claude Chappert. 2014. “Compact modeling of ferroelectric tunnel memristor and its use for neuromorphic simulation.” *Applied Physics Letter*. 053505 (2014). 104.
- [33] Zeng, Z.M, et al. 2013. “Ultralow-current-density and bias-field-free spin-transfer nano-oscillator.” *Scientific Report*.3. 1426(2013).
- [34] Suwatana Thamakam, Piya Kovintavewat, Somchai Nuanprasert, and Pornchai Supnithi. 2009. “Characterization of Thermal Response Induced by Head/Disk Interaction in Current TMR Head.” DST-CON 2009. Thailand Science Park Convention Center Bangkok, Thailand

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. Chuleerat Ibuki, and Rachasak Sakdanuphab, "Structural, morphological and adhesion properties of CoFeB thin films deposited by DC magnetron sputtering," submitted to ICEAST 2013, Bangkok Thailand, August 21-24, 2013
2. Rachsak Sakdanuphab, Chuleerat Ibuki, and Aparporn Sakulkalavek "Structural, Morphological, and Electrical Properties of CoFeB Thin Films under Treated with Different Magnetic Field Directions" submitted to The 8th ICAMD 2013, Jeju, The Republic of Korea, December 11-13, 2013



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Advances in Material Science and Technology



Edited by
Jiti Nukeaw and Wisanu Pecharapa

TTP TRANS TECH PUBLICATIONS

ขอสงวนลิขสิทธิ์ในส่วนที่ปรากฏในเล่มนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปว่ากรรมสิทธิ์ในสิ่งอื่นใดทั้งที่ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงชื่อเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ปรากฏไว้



TOKAI UNIVERSITY

FIT Fukuoka Institute of Technology
福岡工業大学



iCEAST
2013
International Conference on Engineering,
Applied Sciences, and Technology

AUGUST 21 - 24, 2013
The Sukosol Bangkok, Thailand

Organized by
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL)

Co-organized by
Tokai University
Fukuoka Institute of Technology



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

BEAAT
Beijing Engineering Academic Association (Beijing)

IEEE
THAILAND SECTION

TTP TRANS
TECH
PUBLICATIONS INC.
Heterole Science & Engineering



ECTI
Association

SCROS
Institute of Control, Robotics and Systems

2013 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013)

August 21 - 24, 2013

The Sukosol, Bangkok, Thailand



Organizing Committee

General Chairs

Tawil Paungma, KMITL
Jiro Takano, Tokai Univ.
Teruo Shimomura, FIT

General Co-Chairs

Mouai Krairiksh, KMITL
Somsak Choomchuay, KMITL

Technical Program Co-Chairs

Chamroon Leosinwattana, KMITL
Issarachai Ngamroo, KMITL
Jiti Nukeaw, KMITL
Vanchai Ricwruja, KMITL
Katsumi Hiraoka, Tokai Univ.
Baorong Ni, FIT

General Secretaries

Taworn Benjanarasuth, KMITL
Jitti Thawai, KMITL
Jongkol Ngaruwit, KMITL

Publication Chairs

Don Isarakom, KMITL
Sopol Jantarachot, KMITL

Publicity Chairs

Ochakorn Pharksuwan, KMITL
Opal Suwannarek, KMITL

Information Chairs

Pitak Thumwarin, KMITL
Narin Tammarugwattana, KMITL
Pikulkaew Tangisanon, KMITL

Special Session Chairs

Kanchana Boonphak, KMITL
Sumet Prabhavat, KMITL

Local Arrangement Chairs

Maradee Phongpipatpong, KMITL
Wija Tintamora, KMITL
Pranorn Yipisirimtee, KMITL

Finance Chairs

Amnach Khawne, KMITL
Amporn Noisamrit, KMITL
Jaroonsook Suksasilapa, KMITL

Secretariats

Wiboon Prompanich, KMITL
Tharinee Lumyong, KMITL
Aruncce Suwanthan, KMITL

Organized by:

King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang (KMITL), Thailand

Co-organized by:

- Tokai University, Japan
- Fukuoka Institute of Technology, Japan

Technical Sponsors:

- IEEE Thailand Section
- ECTI Association, Thailand
- Japan Society for Simulation Technology (JST), Japan
- Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS), Korea
- Trans Tech Publications Inc.
- Electrical Engineering Academic Association (EEAAT), Thailand

Integrated Solutions for Innovative Community

The International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST) was inaugurated in 2007. That first ICEAST was successful with more than 350 papers submission world-wide, of which 240 papers were included in the final program. To continuously provide a general forum for enhancing interdisciplinary interactions, dialogue, and collaborations among all engineers, scientists, technologists and related educators in various topics of current interest, the conference was organized again in Bangkok during November 21- 24, 2012.

The ICEAST-2013 will be again held in Bangkok during 21-24 August 2013. The philosophy of the conference is still preserved as its previous event. The conference topic relates 4 major fields; Food, Energy, Material, and Communications Information technology and electrical & Electronic engineering. The ICEAST will be held jointly with Regional Conference on Computer and Information Engineering (RCCIE-2013). Participants can attend the session at wish with no restriction. Papers submitted to ICEAST should describe original contribution in the following technical areas. However relevant topics are also welcomed.

Agricultural and Food Science Technology:

Animal Production and Meat Science
Aquaculture Technology and Aquatic Environment
Biotechnology
Food Science and Technology
Biological and Food Engineering
Plant Production
Sustainable Management in Agriculture and Food Business

Computer and Information Engineering:

Computer System and Applications
Data Storage and Technology
Wireless/Mobile/Wideband Communication
Intelligent Communication System
Circuit and System
Signal Processing and Multimedia
Power Electronics/Power Grids

Energy:

Applied Energy
Energy Conservation
Energy Policy
Energy Technology
Renewable Energy
Smart Grid

Material Science and Technology:

Environmental Friendly Materials/ Biomaterials
Materials Engineering
Materials for Energy Conversion
Materials Processing / Design/ Modeling and Simulation
Micro/Nano Materials
New Functional Materials

Authors are invited to submit a full paper (up to 6 pages) according to the posted guideline. Only electronic submissions will be accepted via the ICEAST 2013 website.

Important Dates:

Deadline for Paper Submission: Extended May 31, 2013	June 15, 2013
Notification of Acceptance:	June 30, 2013
Deadline for Submission of Camera Ready Paper:	July 15, 2013
Deadline for Early Registration:	July 15, 2013
Conference Dates:	August 21-24, 2013

Best Paper Award will be granted to the outstanding paper. The proceedings will be published by KMITL as a special issue of KMITL Science and Technology Journal. Top range papers will be selected to publish as Journal papers. For more information, please visit the ICEAST 2013 web-site. Further enquiries can be sent to a general secretary at: iceast2013@kmitl.ac.th.

Conference website: <http://www.iceast.kmitl.ac.th/2013/>

TOKAI UNIVERSITY

FIT 福岡工業大学

In conjunction with

RCCIE-2013

IEEE
THAILAND SECTION

ECTI
Association

JST
Institute of Control, Robotics and Systems

ICROS
Institute of Control, Robotics and Systems

TTP
TRANS TECH PUBLICATIONS INC.
Materials Science & Engineering

EEAAT
Electrical Engineering Academic Association

Structural, morphological and adhesion properties of CoFeB thin films deposited by DC magnetron sputtering

Chuleerat Ibuki^{1,a}, and Rachasak Sakdanuphab^{1,b}

¹College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10250 Thailand,

^asakuraloveharuka@gmail.com, ^bksrachsa@kmitl.ac.th

Keywords: CoFeB; Thin film; DC magnetron sputtering; Structure property; Morphological property; Adhesion property.

Abstract. In this work the effects of amorphous (glass) and crystalline (Si) substrates on the structural, morphological and adhesion properties of CoFeB thin film deposited by DC Magnetron sputtering were investigated. It was found that the structure of a substrate affects to crystal formation, surface morphology and adhesion of CoFeB thin films. The X-Ray diffraction patterns reveal that as-deposited CoFeB thin film at low sputtering power was amorphous and would become crystal when the power increased. The increase in crystalline structure of CoFeB thin film is attributed to the crystalline substrate and the increase of kinetic energy of sputtering atoms. Atomic Force Microscopy images of CoFeB thin film clearly show that the roughness, grain size, and uniformity correlate to the sputtering power and the structure of substrate. The CoFeB thin film on glass substrate shows a smooth surface and a small grain size whereas the CoFeB thin film on Si substrate shows a rough surface and a slightly increases of grain size. Sticky Tape Test on CoFeB thin film deposited on glass substrate indicates the adhesion failure with a high sputtering power. The results suggest that the crystalline structure of substrate affects to the atomic bonding and the sputtering power affects to intrinsic stress of CoFeB thin film.

Introduction

In recent years, the study of ferromagnetic (FM) CoFeB thin film is noteworthy on data storage application. CoFeB thin film is used as FM layers of the magnetic tunneling junction (MTJ) for memory elements in magnetoresistive random access memory (MRAM) and magnetic read sensors in hard disk drive technology [1-4]. The MTJs consists of FM/insulator/FM layers to form tunneling junction. The MTJs with insulating layer MgO has been demonstrated a much large tunneling magnetoresistance (TMR) ratio over 350% at room temperature. In order to achieve a high TMR ratio in MgO-based MTJs requires correct crystalline orientation of the ferromagnetic layers (CoFeB), which are body center cubic (bcc) structure, and the insulating barrier of MgO [6]. Therefore, the structural, morphological and adhesion properties of the CoFeB thin film are important parameters to study and optimize. However, it is difficult to grow crystalline structure by any practical physical vapor deposition technique without an annealing and a single crystal substrate. The problems lead to vastly limit commercial application. The investigation of CoFeB thin film grown on crystal (Si-Wafer) and amorphous (Glass) substrates at room temperature is necessary and has not been reported [7-8]. In order to justify the contribution to TMR device for the optimized properties of the presented study, the structural, morphological and adhesion properties of CoFeB thin film deposited at the different sputtering powers are worth investigating in detail. As well as a precise characterization of these properties for as deposited CoFeB thin film is required to apply their structural and functional elements to device applications.

Methodology

A series of CoFeB thin films was deposited by DC magnetron sputtering system on Si (100) and glass substrates. The system consists of a 3-inch in diameter unbalanced magnetron and Advanced

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Energy 2 kW Pinnacle power supply for the deposition. The substrate target distance was fixed at 12 centimeters. The vacuum chamber was evacuated down to base pressure at 6×10^{-6} mbar and then the ultra-high purity Ar gas was used as the working gas at the constant pressure of 5×10^{-3} mbar. The target composition of CoFeB alloy is 40% wt. Co, 40% wt. Fe and 20% wt. B. The Si substrate with $1 \times 1 \text{ cm}^2$ of size was first cleaned through Piranha solution ($\text{H}_2\text{SO}_4: \text{H}_2\text{O}_2 = 3:1$) for 10 mins. After that the substrate was rinsed with DI water then soaked in Acetone, Methanol and DI water in ultrasonic bath respectively for each of 5 mins and finally dried with Nitrogen gas. The cleaning procedures for another glass substrate with $1 \times 1 \text{ cm}^2$ of size were almost the same with Si wafer substrate but only without Piranha solution. The thickness of CoFeB thin films was controlled at different sputtering power by calibrating deposition rate from the as-deposited films. The deposition times of 100W, 150W, 200W and 250W are 29 mins, 22 mins, 15 mins and 11 mins respectively.

In order to obtain the structural property, the CoFeB thin films was characterized by using X-ray Diffraction (XRD:D8 Advance: Bruker AXS) in the range of 2θ between 30° and 60° . Atomic Force Microscopy (AFM:Park Systems XE 100) was used to investigate the morphology in non-contact mode with a scan size of $10 \times 10 \mu\text{m}^2$. The adhesion property between the CoFeB thin films and substrates (glass&Si wafer) was tested by Sticky Tape Test method using 3M tape (#600DS). Table 1 shows the labels for a series of the CoFeB thin films deposited on glass and Si substrates at different sputtering powers was used for Sticky Tape Test.

Table 1
Labels for a series of samples at different deposited sputtering conditions

CODE	POWER (W)	SUBSTRATE	TIME (MINS)
A100G/A100S	100	GLASS/Si	29
A150G/A150S	150	GLASS/Si	22
A200G/A200S	200	GLASS/Si	15
A250G/A250S	250	GLASS/Si	11

Results and Discussion

Structural Property Analysis

XRD spectra of CoFeB thin films deposited on glass substrates at different sputtering power of 100W, 150W, 200W and 250W are shown in Fig.1 (a). It was found that the CoFeB thin films are amorphous at the low sputtering power. With increasing the power to 200W, the as-deposited CoFeB thin films become crystalline structure and present the cubic (110) crystalline plane of CoFe at 43.36° . Typically, the diffraction angle of CoFe is presented at 44.83° referenced by JCP2:00-044-1433. The slightly change of the diffraction angle may due to B content introduced into the CoFeB thin film. From the previous study proposed by Hu Wang et al. [5], he suggested that boron may segregate on grain boundaries and may slightly affect to CoFe structure. The low angle shift indicates the extension of CoFe structure, so that B atom would be interstitial in the crystal structure. However, the CoFeB thin film decreases crystalline structure when the sputtering power exceeds 200W.

Generally, it is difficult to grow crystalline structure on amorphous (glass) substrate without heating or annealing. The thermal energy is mainly effect to crystal formation. However, we are successful to enhance crystalline structure of CoFeB thin film deposited at room temperature. The increasing of sputtering power directly affect to energized sputtered atoms (Co, Fe and B), and thus the atoms would be diffused, accumulated and formed crystal structure [9].

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

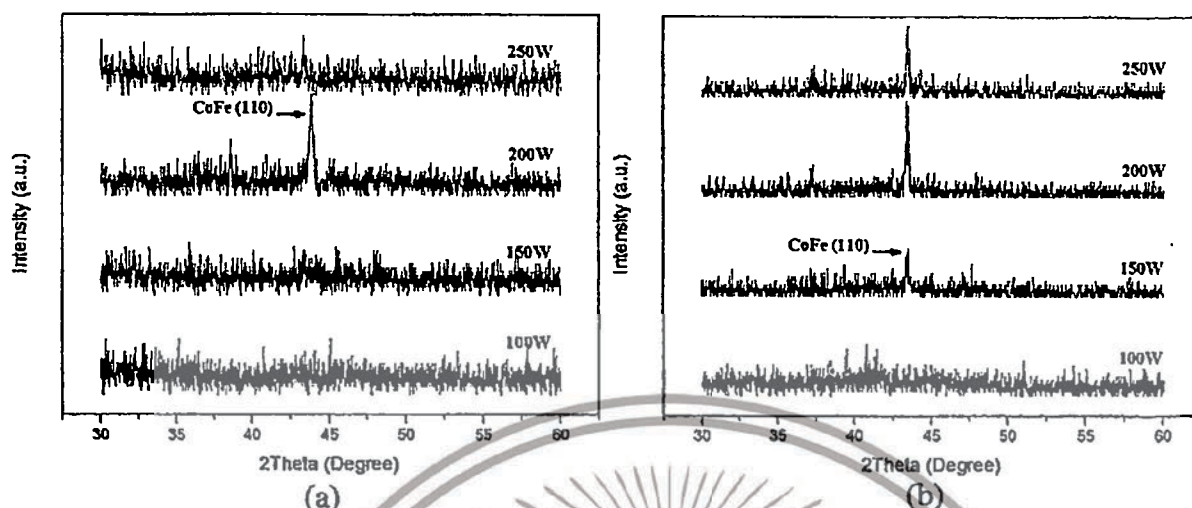


Fig 1. XRD results for as-deposited CoFeB thin films on (a) glass substrates and (b) Si substrates at different power conditions

The XRD spectra of CoFeB thin film deposited on Si substrates at the same sputtering conditions are shown in Fig. 2(b). The results shown that the CoFeB thin film is amorphous at the low sputtering power of 100W. However the crystalline structure of CoFe starts appearing the (110) plane when increases the power to 150W. Also it can maintain crystalline of the CoFe crystal when increase the power to 200W and 250W respectively. This results suggests that it is easier to grow the crystalline structure on a single crystal substrate compared with that of amorphous substrate. From XRD results indicate that the sputtering power affects to structure property of as-deposited CoFeB thin film on glass and Si substrates. The crystalline CoFeB thin film can be grown by DC magnetron sputtering on crystalline (Si) and amorphous (glass) substrates at room temperature without an annealing and a single crystal substrate.

Morphological Property Analysis

The AFM images were obtained by using non-contact mode with the scan size of $10 \times 10 \mu\text{m}^2$. The AFM results of the CoFeB thin films deposited on glass substrates at different sputtering powers are show in Fig. 2(1). The CoFeB thin film at low sputtering power has a small grain size and a smooth surface as seen in Fig. 2(1a). With increasing the sputtering power to 200W, the grain size of CoFeB thin film is increased as seen in Fig. 2(1c). The grain size continues to increase but loses uniformity when the power was increased to 250W as seen Fig. 2(1d). On the other hand when the grain size is increased, the roughness of CoFeB thin film surface is also increased. As the results of roughness obtained from AFM characterization for as-deposited CoFeB thin films are shown in Table 3. At low power of 100W, the surface roughness is smooth ($R_q = 0.653 \text{ nm}$) when the power increases to 150W, 200W and 250W the surface roughness also increases ($R_q = 1.052 \text{ nm}$, $R_q = 1.168 \text{ nm}$ and $R_q = 1.215 \text{ nm}$, respectively).

Figure 2(2) presents AFM images of the CoFeB thin films deposited on Si substrates. The results is consistent with the CoFeB thin films deposited on glass substrate. We found a small grain size at the low sputtering power as in Fig.2 (2a). When the sputtering power is increased to 200W the grain size is obviously increased as seen in Fig.2 (2c). As well as the grain size continues to increase when the power is increased to 250W as Fig. 2 (2d). Similarly to the CoFeB thin film deposited on glass substrate, the surface roughness shows the smooth surface at the low sputtering power and then the roughness increase with the increasing of sputtering power as seen in Table 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2

The surface roughness of CoFeB thin films deposited on glass and Si substrates at different sputtering powers

Power (W)	Rq (nm)	
	Glass	Si
100	0.653	0.850
150	1.052	1.152
200	1.168	1.339
250	1.215	1.617

Table 3

The percentage of remaining CoFeB thin films deposited on glass and Si substrates at the different sputtering powers

Power (W)	The remaining particles on substrates	
	Glass (%)	Si (%)
100	100	100
150	100	100
200	50	100
250	10	100



Fig 2. AFM images for CoFeB thin films deposited on (1) glass substrates and (2) Si substrates at different sputtering powers.

Adhesion Property Analysis

The sticky tape test measurement was used to characterize the adhesion property between the as-deposited CoFeB thin films and substrates (Si and glass) by counting the remaining particle on samples after testing. The advantages of sticky tape test are the simplest and quickest qualitative measure of film or coating adhesion.

The comparison between before and after sticky tape test measurement of as-deposited CoFeB thin film on glass substrates (A100G, A150G, A200G, A250G) is shown in Fig.3. The result reveals that as-deposited CoFeB thin film at the low sputtering power did not peel off. Peeling off of as-deposited CoFeB thin film starts to appear when the sputtering power increased to 200W and almost completely peel off at power of 250W. However at all sputtering power conditions, there is no any peeling off for the CoFeB thin films deposited on Si Wafer substrates. These results are shown in percentage rate according to mentioned in Table 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

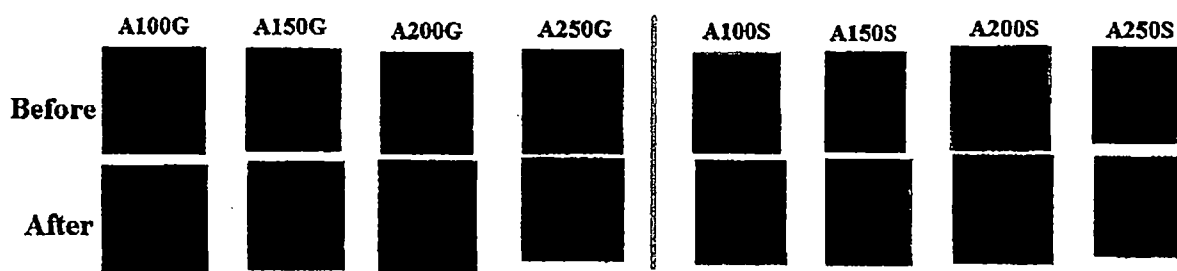


Fig.3 The result after conducting Sticky Tape Test for CoFeB thin films deposited on glass and Si substrates

From the above result, we suggest that the adhesion property between CoFeB thin film and glass substrate becomes weakened at the sputtering power of 200W. And it almost loses the adhesion between CoFeB thin film and substrate completely when the power was increased to 250W. Generally, the adhesion between CoFeB thin film and substrate depends on three factors: 1) bonding across the interface region, 2) type of interface region and 3) the fracture mechanism of thin film [10]. From this study, the failure of adhesion arises from bonding among CoFeB thin film itself that stronger than the interface surface bonding between CoFeB thin films and amorphous a glass substrate. Therefore, the adhesion between CoFeB thin film and glass substrates are weak when the sputtering power increases.

Conversely, the adhesion property between CoFeB thin films and Si substrates are completely strong because there is any no peeling off for as-deposited CoFeB thin film. It suggests that the bonding among CoFeB thin film itself that weaker than the interface surface bonding of CoFeB thin film and crystalline Si substrate. Therefore, the sputtering power increasing for growing the crystalline CoFeB thin film on Si substrates is not affecting to adhesion property between thin film and Si substrate.

Conclusion

In conclusion, we studied the structural, morphological and adhesion properties of CoFeB thin films deposited by varying the substrate and DC sputtering powers. XRD results indicate that CoFeB thin films are amorphous at the low sputtering power and become crystalline thin film when the sputtering power is increased. The crystalline structure of CoFeB thin film deposited on Si substrate is easier to grow compared with CoFeB thin film deposited on a glass substrate. AFM results show that the surface morphology depends on the sputtering power and the substrate. With increasing the sputtering power, the CoFeB thin films on both substrates are increased the surface roughness and the grain size. However the crystalline substrate (Si-wafer) affects to the higher surface roughness than the amorphous substrate. Sticky tape test reveals that the adhesion relates to the substrate and the sputtering power. The adhesion of CoFeB thin film deposited on crystalline substrate is stronger than that on amorphous substrate. The high sputtering power decrease the adhesion of thin film deposited on amorphous substrate whereas it does not affect to the CoFeB thin film deposited on crystalline structure. From this study, we are successful to deposit the partial crystalline CoFeB thin film on glass substrate without annealing and using single crystal substrate. In the future work we need to develop the adhesion property at the high sputtering power.

Acknowledgment

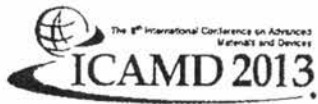
The author would like to acknowledge College of Data Storage Innovation of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for financial support. I would like to thank Department of Geology Faculty of Science Chulalongkorn University for XRD equipment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

References

- [1] S. A. Wolf, D. D. Awschalom, R. A. Buhrman, J. M. Daughton, S. von Molnar, M. L. Roukes, A. Y. Chtchelkanova, and D. M. Treger, Spintronics: A Spin-Based Electronics Vision for the Future, *Science* 294 (2001) 1488-1492.
- [2] R. Sharif, S. Shamaila, M. Ma, L.D. Yao, R.C. Yu, X.F. Han, Y. Wang, M. Khaleeq-ur-Rahman, Magnetic and microstructural characterizations of CoFe and CoFeB nanowires, *J. Magn. Magn. Mater.* 320 (2008) 1512–1516
- [3] Y. T. Chen, C.C. Chang, Effect of grain size on magnetic and nanomechanical properties of Co₆₀Fe₂₀B₂₀ thin films, *J. Alloys Compd.* 498 (2010) 113–117.
- [4] M. Zhang, L. Menon, H. Zheng, Y. Liu, S. Bandyopadhyay, R.D. Kirby, D.J. Sellmyer, Magnetic properties of CoFe nanowires in self-assembled arrays *Phys. Rev. B* 62 (2000) 12282-12286
- [5] H. Wang, X. Kou, S. Wang, J. Zhou, X. Zhang, J. Lia, Structures, magnetic properties and thermal stability of CoFeB/MgO films, *Physics Procedia* 18 (2011) 267–273
- [6] P. Blomqvist, Structural and Magnetic Properties of Fe/Co (001) and Fe/V (001) Superlattices, *Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 661, 2001
- [7] Jian Gu and Stephen Y. Chou/Nan Yao and Henny Zandbergen/Jeffrey K. Farrer, *Phys. Lett.* 88, No.6, 5 august 2006
- [8] P.K. Chu and L. Li, Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon films, *Mater. Chem. Phys.* 96 (2006) 253–277
- [9] A. Chaoumead, Y. Sung and D. J. Kwak, The Effects of RF Sputtering Power and Gas Pressure on Structural and Electrical Properties of TiO Thin Film, *Condens. Matter Phys.*(2012), Article ID 651587, 1-7
- [10] M.Ohring, *Material Sciences of Thin Films: deposition and structure*, Academic Press, San Diego, 2002, pp.764-776

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<http://www.icamd.or.kr>



The 8th International Conference on
Advanced Materials and Devices

ICAMD 2013

December 11~13, 2013 - Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Korea

Organized by

- KPS Applied Physics Division, The Korean Physical Society
- Quantum Metamaterials Research Center
- CNRS-Ewha International Research Center (CERC)
- Center for Functional Interfaces of Correlated Electron Systems, Institute for Basic Science
- Center for Nanoparticle Research, Institute for Basic Science
- Crystal Bank, Pusan National University
- Institute of Innovative Functional Imaging, Chung-Ang University
- KAIST Micro/Nano-Photonics Laboratory
- KAIST SDC Display Research Center



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ควรตีพิมพ์...
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ควรตีพิมพ์...
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ควรตีพิมพ์...



Structural, Morphological, and Electrical Properties of CoFeB Thin Films under Treated with Different Magnetic Field Directions

R. Sakdanuphab¹, C. Ibuki¹, A. Sakulkaluvek²

¹College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

²Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

Abstract

In order to improve the magnetic anisotropy, the CoFeB thin films are generally deposited under the applied magnetic field. However, the magnetic field unintentionally affects to another film properties such as structure, morphology and resistivity. In this work, we investigate the influence of magnetic directions on their film properties. CoFeB thin films were prepared on Ti coated on glass and Si substrates by unbalanced dc magnetron sputtering. The different magnetic directions, both in plane and out of plane were treated during the deposition processes. The CoFeB thin films were characterized by X-ray diffraction, atomic force microscope and 4-point probe measurement. The films with and without applied magnetic fields, show the similar manner of amorphous structure on both substrate. However, the substrates and magnetic directions obviously affect to surface morphology and electrical resistivity. The films deposited on glass substrate show smooth surface and high resistivity compared with that on Si substrate. The surface roughness and the electrical resistivity of the films decrease with the applied magnetic field in plane and out of plane.

Objective:

- Study the optimum condition to meet the required properties of structure, morphology, and electric of amorphous CoFeB thin films.
- Study the influence of magnetic directions on structural, morphological, and electrical properties of amorphous CoFeB thin films.

Methodology

CoFeB thin films were prepared on metallic buffer layer (Ti) coated on glass and Si (100) substrates using DC magnetron sputtering process with ultimate pressure about 2×10^{-4} mbar. Then the ultra-high purity Ar gas was flushed and evacuated several time before the film deposition. The substrate target distance was fixed at 12 cm. The target composition of the CoFeB alloy was 40 at. % Co, 40 at. % Fe, and 20 at. % B. The CoFeB film thickness was about 500 nm with the deposition rate around 0.5 nm/s at a power density of 4.4 W/cm². During the deposition, a magnetic field of about 300 Oe was treated with different directions, both in-plane and out of plane at room temperature (RT). In this work, we investigate the influence of applied magnetic field directions on CoFeB film properties. The structural property of the films was identified by X-ray diffraction (XRD, D8, Advance-Bruker AXS). The morphology of the films was investigated by atomic force microscope (AFM, Park Systems XE 100) in non-contact mode. The grain size and the roughness of the films were obtained. The traditional 4-point probe HP Digital Multimeter was utilized to examine the electrical properties of the CoFeB thin films at room temperature.

Results and Discussions

- All of the deposited CoFeB thin films were in an amorphous state, yielding no apparent diffraction peak as seen in Fig. 1
- Grain size of CoFeB thin films on Si substrate was slightly larger than that of CoFeB thin films on glass substrate at all conditions (with and without applied magnetic field) as seen in Fig. 2
- Film surface roughness is smoother when apply the magnetic field during the deposition process, and out of plane magnetic field would enhance the smoother surface of CoFeB thin films deposited on both substrates as shown in Table 1.
- CoFeB thin films deposited with applying in plane magnetic field direction have lower resistivity than the films deposited with applying out of plane magnetic field as shown in Fig. 3
- Resistivity of the films deposited on Si substrate was lower than the films deposited on glass substrate in all conditions as shown in Fig. 4.

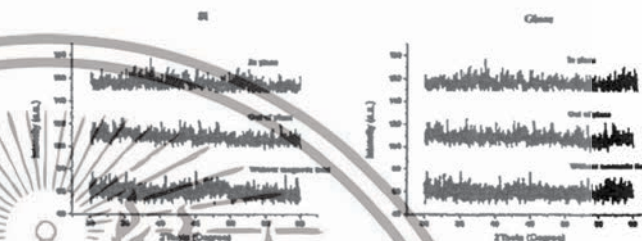


Figure 1 XRD patterns of CoFeB thin films deposited on Si and glass substrates under treated with and without magnetic field both in plane and out of plane.



Figure 2 AFM images of CoFeB thin films deposited on Si and glass substrates with different magnetic field treatment (i.e. without field, in plane and out of plane)

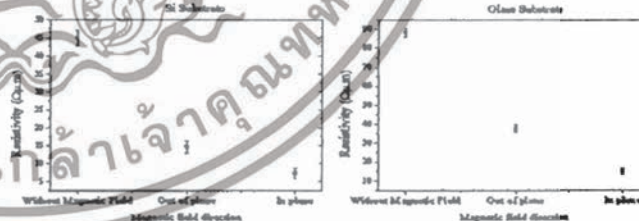


Figure 3 Relation between resistivity (ρ) and magnetic field directions of CoFeB thin films deposited on Si and glass substrates.

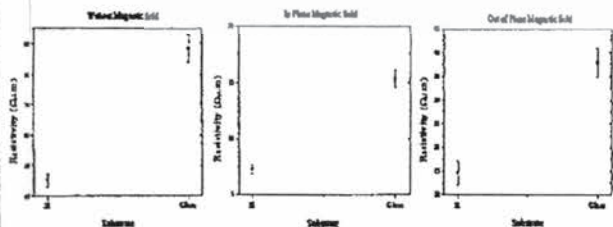


Figure 4 Relation between resistivity (ρ) and substrates of the CoFeB films deposited on Si and glass substrates.

Substrate	Applied magnetic field direction		
	Without magnetic field	In plane	Out of plane
Si	1.349	0.704	0.853
Glass	1.052	0.503	0.465

Table 1 The surface roughness (R_q ; nm) of CoFeB thin films with applied magnetic field direction

Conclusions

In conclusion, the structure, morphology, and electric properties of amorphous CoFeB thin films treated with different magnetic field directions were investigated. XRD spectra indicate that CoFeB thin films are in an amorphous structure and the magnetic field would not affect to crystal structure. However, our results indicate the influence of magnetic treatment on surface morphology and electrical resistivity. The AFM images show that the films are smaller grain size when applying the magnetic field to deposition of CoFeB thin films. The surface roughness of the films deposited with in plane direction is higher than that with out of plane direction. As well as the films deposited on Si substrate are more roughly than the film deposited on glass substrate at all conditions. The resistance (R) and electrical resistivity (ρ) of CoFeB thin films deposited on both substrates decrease when applying magnetic field. Therefore, suggesting a caution of CoFeB thin films deposition by applying magnetic fields is concerned for interface magnetic memory application as it improves such properties.

Acknowledgments

The authors would like to thank the College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL) for financial support.

งานวิจัยนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Structural, Morphological, and Electrical Properties of CoFeB Thin Films under Treated with Different Magnetic Field Directions

Rachsak Sakdanuphab and Chuleerat Ibuki

*College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, 10250 Thailand*

Aparporn Sakulkalavek

*Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok, 10250 Thailand*

In order to improve the magnetic anisotropy, the CoFeB thin films are generally deposited under the applied magnetic field. However, the magnetic field unintentionally affects to another film properties such as structure, morphology and resistivity. In this work, we investigate the influence of magnetic directions on their film properties. CoFeB thin films were prepared on Ti coated on glass and Si substrates by unbalanced dc magnetron sputtering. The different magnetic directions, both in plane and out of plane were treated during the deposition processes. The CoFeB thin films were characterized by X-ray diffraction, atomic force microscope and 4-point probe measurement. The films with and without applied magnetic fields, show the similar manner of amorphous structure on both substrate. However, the substrates and magnetic directions obviously affect to surface morphology and electrical resistivity. The films deposited on glass substrate show smooth surface and high resistivity compared with that on Si substrate. The surface roughness and the electrical resistivity of the films decrease with the applied magnetic field in plane and out of plane.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PACS number: 73.61.-r

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: CoFeB thin films, dc magnetron sputtering, electrical resistivity, surface roughness

Email: ksrachsa@kmitl.ac.th

Fax: +66-2-329-8263

I. INTRODUCTION

Amorphous CoFeB magnetic thin films have attracted increasing attention owing to their use in magnetic heads, magnetic sensors, and planar inductors at high-frequency range that involve giant magnetoresistance (GMR), tunneling magnetoresistance (TMR), and magnetoresistance random access memory (MRAM) [1–3]. To play decisive roles in these devices, the magnetic materials must simultaneously possess higher saturation magnetization, lower coercivity (H_c), higher spin polarization, larger magnetic anisotropy and lower resistivity. The CoFeB thin films have been inserted into a free, pinned ferromagnetic component because of its spin value [1]. The material has a high spin-dependent scattering, lower coercivity, and stronger spin tunneling effect and therefore supports a higher output signal for particular GMR and TMR ratios in amorphous CoFeB/Ru/CoFeB, CoFeB/ AlO_x /CoFeB, and CoFeB/MgO/CoFeB magnetic tunnel junctions (MTJs) structures. Briefly, amorphous CoFeB thin film exhibits favorable mechanical properties and a high TMR ratio because of its amorphous structure and increased spin polarization. Most of techniques that have been used to prepare amorphous CoFeB thin films, were dc magnetron sputtering, rf reactive magnetron sputtering, ion beam-assisted sputtering [4–6]. Because of each of thin films preparation technique provides the different structures and properties. Other than structures and properties of thin films, also need to consider the applications of thin films for adapting the techniques of thin films preparation. The dc magnetron sputtering deposition technique is attractive technique that provides an alternative and promising fabrication process with advantages of possible-preparation at room temperature. The technique can be applied to large thin film preparation industry easily. In addition, a mass of ion in the deposition process that bombardments onto substrate also improves the obtained structures and properties of thin films

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

One of the important factors that affects to the properties of CoFeB thin film deposited by DC magnetron sputtering is a magnetic field treatment during deposition processes. Magnetic field is an efficient way to induce different kinds of anisotropies in some crystalline magnetic materials [7–8], which closely correspond to magnetic performance. It has been reported that the magnetic field annealing could affect the microstructure, domain structure, and magnetic properties of magnetic materials [9–10]. The previous researchers have indicated that the direction of magnetic field may affect the structure and properties of the films during deposition process. However, there are few reports on the influence of deposition under small magnetic field with different directions, on the structural, morphological, and electrical properties of CoFeB amorphous thin films. In this work, we prepared CoFeB thin films which were deposited by DC magnetron sputtering in static magnetic field of 300 Oe with respect to the film normal at different angles 0° and 90° subsequently. The structural, morphological, and electrical properties of amorphous CoFeB thin films treated with different magnetic field directions were investigated and discussed.

II. EXPERIMENTS AND DISCUSSION

CoFeB thin films were prepared on metallic buffer layer (Ti) coated on glass and Si (100) substrates using DC magnetron sputtering process. Our deposition system consists of a 3-inch in diameter unbalanced magnetron and Advanced Energy 2 kW Pinnacle power supply for deposition. The substrate target distance was fixed at 12 centimeters. The vacuum chamber was evacuated down to ultimate pressure about 2.0×10^{-6} mbar. Then the ultra-high purity Ar gas was flushed and evacuated several time before the film deposition. The target composition of the CoFeB alloy was 40 at. % Co, 40 at. % Fe, and 20 at. % B. The CoFeB film thickness was about 500 nm with the deposition rate around 0.5 nm/s at a power density of 4.4 W/cm^2 . During the deposition, a magnetic field of about 300 Oe was treated with different directions, both in-plane and out of plane at room temperature (RT). In this work, we investigate the influence of applied magnetic field directions on CoFeB film properties. The structural property of the films was identified by X-ray diffraction

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(XRD, D8 Advance: Bruker AXS). The morphology of the films was investigated by atomic force microscope (AFM, Park Systems XE 100) in non-contact mode. The grain size and the roughness of the films were obtained. The traditional 4-point probe HP Digital Multimeter (Hewlett Packard 34401A Multimeter) was utilized to examine the electrical properties of the CoFeB thin films at room temperature.

Figure 1 shows the X-ray diffraction pattern of the CoFeB films on Ti coated on glass and Si substrates with different magnetic direction. Amorphous phase was the main component of all the films after being deposited at both applied magnetic field directions (in-plane and out of plane). These results indicated that all of the deposited CoFeB thin films herein were in an amorphous state, yielding no apparent diffraction peak. Therefore, the structure of CoFeB thin films were not affected by magnetic fields both in-plane and out of plane directions.

The morphology of deposited CoFeB thin films was characterized by AFM in non-contact mode using the scan size of $5 \times 5 \mu\text{m}^2$. The AFM images of each sample are shown in Fig. 2. The grain size of CoFeB thin films on Si substrate was slightly larger than that of CoFeB thin films on glass substrate at all conditions (with and without applied magnetic field). However, the CoFeB thin films on both substrates with applied magnetic field shows smoother surface and smaller grain size than that of the film deposited without magnetic field treatment. In comparison of CoFeB film surface between deposited with in plane and out of plane magnetic directions, the results were not different obviously. If we consider thoroughly, it was found that the films deposited with in plane magnetic field was rougher than the films deposited with out of plane magnetic field. The surface roughness (R_q) of CoFeB films obtained from AFM measurement is shown in Table 1. It reveals that the film surface roughness is smoother when apply the magnetic field during the deposition process. Moreover, the out of plane magnetic field would enhance the smoother surface of CoFeB thin films deposited on both substrates.

The electrical resistance of CoFeB thin films was investigated by a 4-point probe measurement.

The corresponding electrical resistivity was calculated using the following Eq. (1). The electrical

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

resistivity is given by

$$\rho = 4.532t(R)f_1f_2 \quad (1)$$

R and ρ are the resistance and electrical resistivity of the material, respectively. The t represents the thickness of thin film that was controlled at 500 nm. The f_1 and f_2 denote finite thickness and finite width respectively, given by:

$$f_1 = \frac{\ln 2}{\sinh\left(\frac{t}{s}\right) \ln\left[\frac{s}{\sinh\left(\frac{t}{2s}\right)}\right]} \quad (2)$$

$$f_2 \approx 1, \left(\frac{d}{s} \geq 1\right) \quad (3)$$

s represents the distance between probes and d is the diameter of sample. Table 2 shows the resistance (R) and the resistivity value (ρ) of the CoFeB thin films, as also displayed in Figure 3. The resistance and electrical resistivity decreased as applying the magnetic field to the deposition process. For the films deposited on Si wafer, the average resistivity decrease from 44.98 $\mu\Omega\cdot\text{m}$ to 14.62 $\mu\Omega\cdot\text{m}$ and 7.25 $\mu\Omega\cdot\text{m}$, corresponding with no apply field, out of plane and in plane directions, respectively. In similar manner, the resistivity of the films deposited on glass substrate decreases from 88.18 $\mu\Omega\cdot\text{m}$ to 37.79 $\mu\Omega\cdot\text{m}$ and 15.3 $\mu\Omega\cdot\text{m}$, respectively. CoFeB thin films deposited with applying in plane magnetic field direction have lower resistivity than the films deposited with applying out of plane magnetic field. In addition, the resistivity of the films deposited on Si substrate was lower than the films deposited on glass substrate in all conditions as shown in Fig. 4.

III. CONCLUSION

In conclusion, the structure, morphology, and electric properties of amorphous CoFeB thin films treated with different magnetic field directions were investigated. XRD spectra indicate that CoFeB thin films are in an amorphous structure and the magnetic field would not affect to crystal structure.

However, our results indicate the influence of magnetic treatment on surface morphology and

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical resistivity. The AFM images show that the films are smaller grain size when applying the magnetic field to deposition of CoFeB thin films. The surface roughness of the films deposited with in plane direction is higher than that with out of plane direction. As well as the films deposited on Si substrate are more roughly than the film deposited on glass substrate at all conditions. The resistance (R) and electrical resistivity (ρ) of CoFeB thin films deposited on both substrates decrease when applying magnetic field. Therefore, suggesting a caution of CoFeB thin films deposition by applying magnetic fields is concerned for interface magnetic memory application as it improves such properties.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank the College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL) for financial support as well as the Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University for allowing us to use their XRD. Finally, we gratefully acknowledged Dr. Warawoot Thowladda at Faculty of Science, KMUTL for her help on 4-point probe measurement.

REFERENCES

- [1] Yuan-Tsung Chen, and W.H. Hsieh, *J. Alloys Compd.* **552**, 283 (2013).
- [2] M.S. Marques *et al.*, *Thin Solid Films* **520**, 2173 (2012).
- [3] Hu Wang *et al.*, *Physics Procedia* **18**, 267 (2001).
- [4] R. Mantovan *et al.*, *Thin Solid Films* **553**, 75 (2013).
- [5] Y. T. Chen and C. C. Chang, *J. Alloys Compd.* **498**, 113 (2010).
- [6] M. Raju, Sujeet Chaudhary and D.K. Pandya, *J. Magn. Magn. Mater.* **332**, 109 (2013).
- [6] H. Wang *et al.*, *Phys. Procedia* **18**, 267 (2011).
- [7] Shin-Ichi Aouki and M. Munakata, *Mater. Sci. Eng. A* **413–414**, 550 (2005).
- [8] H. Katada *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **36**, 2905 (2000).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อการณใดๆทางสน อักทงหามมเหตดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] Zhe Liu et al., Journal of Nanomaterials, Vol. 2012, Article ID 174735, 5 pages, 2012.

doi:10.1155/2012/174735

[10] S. Chikazumi and T. Oomura, Journal of the Physical Society of Japan, **10**, 842 (1955).

[11] Y. Yoshizawa and K. Yamauchi, IEEE Trans. Magn. **25**, 3324 (1989).

Table 1. The surface roughness (R_q : nm) of CoFeB thin films with applied magnetic field direction

Substrate	Applied magnetic field direction		
	Without magnetic field	In plane	Out of plane
Si-Wafer	1.339	0.704	0.633
Glass	1.052	0.508	0.465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. The average resistance (R) and the average resistivity value (ρ) of the CoFeB thin films obtained from 4-point probe measurement.

Magnetic field direction	Substrate	Resistance (Ω)	Resistivity ($\mu\Omega.m$)
Without magnetic field	Si Wafer	19.85	44.98
Without magnetic field	Glass	38.91	88.18
Out of plane	Si Wafer	6.45	14.62
Out of plane	Glass	16.68	37.79
In plane	Si Wafer	3.2	7.25
In plane	Glass	6.76	15.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 8 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure Captions.

Fig. 1. XRD patterns of CoFeB thin films deposited on Si and glass substrates under treated with and without magnetic field both in plane and out of plane.

Fig. 2. AFM images of CoFeB thin films deposited on Si and glass substrates with different magnetic field treatment i.e. without field, in plane and out of plane.

Fig.3. The relation between resistivity (ρ) and magnetic field directions of CoFeB thin films deposited on Si and glass substrates.

Fig.4. The relation between resistivity (ρ) and substrates of the CoFeB films deposited on Si and glass substrates.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - ชื่อสกุล
วัน เดือน ปีเกิด

นางชุลีรัตน์ อิบูกิ
08 พฤศจิกายน 2521

ประวัติการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษา
ระดับปริญญาตรี

โรงเรียนราชินีบน พ.ศ. 2539
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2542
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบและข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556

ประสบการณ์ทำงาน
2541-2545
2545-2553

พนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน บริษัทการบินไทยจำกัด (มหาชน)
วิศวกรฝ่ายวางแผนผลิตภัณฑ์ บริษัทนิสสัน เทคโนโลยีคอลเซ็นเตอร์
(ประเทศไทย) จำกัด

ผลงานวิจัยที่เผยแพร่

Chuleerat Ibuki, and Rachasak Sakdanuphab, "Structural, morphological and adhesion properties of CoFeB thin films deposited by DC magnetron sputtering," submitted to ICEAST 2013, Bangkok Thailand, August 21-24, 2013

Rachsak Sakdanuphab, Chuleerat Ibuki, and Aparporn Sakulalavek "Structural, Morphological, and Electrical Properties of CoFeB Thin Films under Treated with Different Magnetic Field Directions" submitted to The 8th ICAMD 2013, Jeju, The Republic of Korea, December 11-13, 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้