



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อิทธิพลของกระบวนการดีซีแมกนีตรอนสเป็คโตริงที่มีต่อสมบัติเชิงโครงสร้างและ
สมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB

Influence of DC Magnetron Sputtering on Structural and Magnetic Properties
of CoFeB Thin Films



T140728

นายราชศักดิ์ สักดานุภาพ

RCH

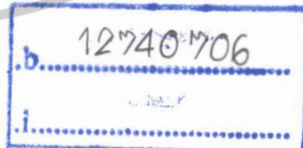
ร 4240

2556

สาขา.....

เลขทะเบียน.....140728

รับเดือนปี 24 11.11 2559



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2556

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)//...อิทธิพลของกระบวนการดีซีแมกนีตรอนสเป็คเตอริงที่มีต่อสมบัติ
เชิงโครงสร้างและสมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB
แหล่งเงิน// โครงการวิจัยเงินรายได้ วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 150,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2556
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
นายราชศักดิ์ สักดานุภาพ (หัวหน้าโครงการ) สังกัดวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ฟิล์มบางแม่เหล็ก CoFeB ถูกเตรียมขึ้นสภาวะเงื่อนไขของกระบวนการดีซี แมกนีตรอนสเป็คเตอริง ลงบนแผ่นรองรับ กระจกและ Si-wafer ภายใต้สภาวะสนามแม่เหล็กในขณะที่เคลือบฟิล์ม เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สภาพการยึดติดของฟิล์ม สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติแม่เหล็กของฟิล์ม จากผลการทดลองพบว่า สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในขณะที่เคลือบโดยฟิล์มจะเปลี่ยนโครงสร้างจาก อสัณฐานไปเป็นโครงสร้างแบบผลึกบางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากอะตอมมีพลังงานจลน์สูงขึ้นทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นผลึก การเตรียมฟิล์มลงแผ่นรองรับ Si-wafer ให้สมบัติเชิงโครงสร้างที่ดีกว่าการเตรียมลงบนกระจก จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) พบว่า ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบลงบนกระจกให้ผลต่อลักษณะฟิล์มที่เรียบ ขนาดของเกรนที่เล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับ Si-wafer ผลการทดสอบสภาพการยึดติดของฟิล์มบาง CoFeB พบว่า ฟิล์มที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับกระจก หลุดลอกออกได้ง่ายกว่าฟิล์มที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับ Si wafer นอกจากนี้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อสภาพการยึดติดที่ลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อฟิล์ม การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและตั้งฉากกับแผ่นรองรับในขณะที่เคลือบฟิล์ม ช่วยเพิ่มคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กให้กับฟิล์ม CoFeB โดยที่สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อย่างไรก็ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กกับส่งผลโดยตรงต่อ สมบัติพื้นผิวและสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB โดยอิทธิพลของสนามแม่เหล็กทำให้ฟิล์มมีความเรียบเพิ่มมากขึ้น และค่าความต้านทานไฟฟ้าลดต่ำลง สรุปได้ที่เราสามารถเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB สำหรับประยุกต์ใช้ ในงานต่าง ๆ ได้เหมาะสม

คำสำคัญ : ฟิล์มบาง CoFeB, ดีซีแมกนีตรอนสเป็คเตอริง, ความต้านทานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Influence of DC Magnetron Sputtering on Structural and Magnetic Properties of CoFeB Thin Films

Researcher: Mr.Rachsak Sakdanuphab

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

ABSTRACT

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). In this work, we investigate the influence of sputtering parameters and applied magnetic directions on the CoFeB film properties. CoFeB thin films were prepared on Ti coated on glass and Si substrates by unbalanced dc magnetron sputtering. 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 the high sputtering power. The results suggest that the sputtering power affects to intrinsic stress of CoFeB thin film. The different magnetic directions, both in plane and out of plane were treated during the deposition processes. 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.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อภินันท์ ธนชยานนท์ คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ
ข้อมูล ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญและให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ และความเอาใจใส่ของผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาปัญหาเรื่องงานวิจัยมาโดยตลอด ตลอดจน
ขอขอบคุณบุคลากรของวิทยาลัยฯ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และสุดท้ายขอขอบคุณ ดร.อาภาภรณ์ สกฤตภา
ระเวก ที่อยู่เคียงข้าง เข้าใจและเป็นกำลังใจในการทำงาน การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ วิทยาลัยนวัตกรรมการ
จัดการข้อมูลประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

นายราชศักดิ์ สักดานภาพ
(.....)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	7
2.2 เทคนิคแมกนีตรอนสปัตเตอริง (Magnetron Sputtering).....	8
2.3 ปรากฏการณ์ MR.....	11
2.4 ทฤษฎีเบื้องต้นในการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม.....	20
2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	32
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.3 สถานที่ดำเนินงานวิจัย.....	42
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย	54
4.1 ค่าช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดลองหาอัตราการเคลือบของฟิล์มบาง CoFeB.....	58
4.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB.....	65
4.4 การวิเคราะห์สมบัติพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB.....	69
4.5 สมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB	72
4.6 สภาพวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางที่มีการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางต่างกัน.....	76
4.7 สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB	82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง	92
ประวัตินักวิจัย	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญญัตินี้

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ MR ชนิดต่าง ๆ.....	16
3.1 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้า.....	50
3.2 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของสนามแม่เหล็ก.....	51
4.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้ในสภาวะเงื่อนไข.....	55
4.2 แสดงตารางสภาวะเงื่อนไขเพื่อหาเวลาในการเตรียมฟิล์ม.....	59
4.3 ค่าอัตราการเคลือบที่คำนวณได้จากค่าความหนาของฟิล์มบางที่วัดได้ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน.....	63
4.4 เวลาที่คำนวณได้เพื่อใช้ในการเคลือบฟิล์มบางตามความหนาที่ต้องการ.....	63
4.5 สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน.....	67
4.6 แสดงค่าความหยาบที่วัดได้จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB.....	72
4.7 แสดงผลของปริมาณอนุภาคฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ.....	75
4.8 แสดงค่าความหยาบ (Rq: nm) ที่วัดได้จาก AFM ของฟิล์มบาง CoFeB.....	81
4.9 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศ.....	7
2.2 กลไกการเกิดสปีดเตอริง.....	9
2.3 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ.....	10
2.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กทรอนิกส์ในสนามแม่เหล็ก.....	11
2.5 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีประจุภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก.....	12
2.6 แสดงการกระเจิงของอิเล็กตรอน ในวัสดุแม่เหล็กเฟอร์โร.....	13
2.7 แสดงทิศแมกนีโตเซชันของฟิล์มบางหลายชั้น เมื่อสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์.....	14
2.8 ไดอะแกรมแสดงการทะลุผ่านที่ขึ้นกับสปินของอิเล็กตรอน.....	14
2.9 แสดงออกไซด์ของแมกนีสที่เจือด้วยโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์.....	15
2.10 แสดงส่วนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีเซนเซอร์ GMR เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก.....	18
2.11 หัวอ่าน GMR และ หัวอ่าน TMR.....	19
2.12 โครงสร้างของหัวอ่าน GMR และ หัวอ่าน TMR.....	20
2.13 ตำแหน่งในการวางตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD.....	20
2.14 หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ภายใน โครงผลึก.....	21
2.15 a) X-ray diffraction b) Intensity peak ที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุ.....	22
2.16 แสดงหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์.....	22
2.17 แสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์.....	23
2.18 แสดงโครงสร้างหลักของ VSM (Vibrating Sample Magnetometer).....	24
2.19 แสดงส่วนประกอบต่างๆในการทำงานของเครื่อง AFM.....	25
2.20 แสดง Constant Current Source.....	25
2.21 แสดง Digital Multimeter.....	26
2.22 แสดง 4-point probe.....	26
3.1 ชุดเครื่องเคลือบฟิล์มบางสปีดเตอริง.....	33
3.2 อ่างล้างความถี่สูง Elmasonic.....	36
3.3 ตู้ดูดอากาศ.....	37
3.4 ตู้ดูดความชื้น.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน	39
3.6 เครื่องวัดความหนาฟิล์ม	39
3.7 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม	40
3.8 เครื่องวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	41
3.9 เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น	41
3.10 ชุดเครื่องมือวัดโพรบิวต์รีซีว	42
3.11 วัสดุรองรับกระจกสไลด์ และวัสดุรองรับซิลิกอน	43
3.12 แผนภาพไดอะแกรมแสดงการทำความสะอาดกระจกชิ้นงาน	45
3.13 แผนภาพไดอะแกรมแสดงการทำความสะอาดชิ้นงานซิลิกอน เวเฟอร์	46
3.14 แสดงระบบดีซีแมกนีตรอนสเปคโตรริง	49
3.15 แสดงไดอะแกรมการเตรียมฟิล์มภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็ก	52
4.1//กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน	56
4.2//กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน	57
4.3 การทดสอบสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB	58
4.4 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์มของฟิล์มบาง W001	60
4.5 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์มของฟิล์มบาง W002	60
4.6 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์มของฟิล์มบาง W003	61
4.7 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์มของฟิล์มบาง W004	61
4.8 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์มของฟิล์มบาง W004	62
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้า	64
4.10 กราฟแสดงการจำลองความสัมพันธ์เพื่อหาความหนาของฟิล์มที่กำลังไฟฟ้า	65
4.11 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์	67
4.12 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์	68
4.13 แสดงลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์	71
4.14 แสดงลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน	71
4.15 ผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์	74
4.16 ผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์	75
4.17 กราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบน Ti/กระจกสไลด์	77
4.18 กราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบน Ti/ซิลิกอนเวเฟอร์	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.19 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บน Ti/กระจกสไลด์	79
4.20 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน	81
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB	83
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB	86
4.23 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ)	88
4.24 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ)	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive Industry) เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเป็นที่ต้องการเป็นอย่างมากสำหรับผู้บริโภค เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้เพียงในคอมพิวเตอร์เท่านั้น แต่ยังมีนำไปใช้ในอุปกรณ์พกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล เป็นต้น เพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในการใช้ประโยชน์จากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทางผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องลดขนาดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงรวมถึงเพิ่มขีดความสามารถในการบันทึกข้อมูลให้มากขึ้น ซึ่งได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาใช้ โดยหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่น่าสนใจอยู่ก็คือ การพัฒนาเทคโนโลยีหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยอาศัยปรากฏการณ์แมกเนติกเรซิสแตนซ์ (Magneto Resistance Effect) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า ปรากฏการณ์ MR ซึ่งกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุประเภทโลหะตัวนำในสนามแม่เหล็ก ปรากฏการณ์ MR ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางด้านเทคโนโลยีบันทึกข้อมูล เช่น หน่วยความจำเข้าถึงแบบสุ่ม (Random access memories) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้ในอุปกรณ์แมกเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensors) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งมีจุดเด่นที่สำคัญ เช่น

- มีความแม่นยำสูง เนื่องจากเซนเซอร์ MR มีฮิสเทอรีซิสน้อย และมีความเป็นเชิงเส้นสูง ทำให้สามารถวัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
- มีความแน่นอนของสัญญาณสูง และอายุการใช้งานยาวนาน เนื่องจากเป็นเซนเซอร์แบบของแข็งที่สามารถรับสัญญาณได้โดยไม่ต้องสัมผัสสำหรับการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย
- มีความไวสูง เซนเซอร์ MR มีความไว และมีสัญญาณขาออกสูงกว่า เซนเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall-effect sensor) ทำให้เซนเซอร์ MR สามารถนำไปใช้วัดขนาดของสนามแม่เหล็กโลกได้

ปัจจุบันเซนเซอร์ MR ได้มีการนำไปใช้เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก จากแผ่นบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเซนเซอร์ MR ได้ทำให้เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีความก้าวหน้าที่สำคัญ และเพิ่มขีดความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้มากขึ้น การพัฒนาของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์แบบ MR นั้นเริ่มต้นจากเซนเซอร์การเหนี่ยวนำ โดยหัวอ่านแบบแรกเป็นแบบ Anisotropic MR ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมระหว่างกระแสไฟฟ้า และทิศทางแมกเนติกเซชันของวัสดุ อันเป็นผลจากอันตรกิริยาระหว่างสปินและออร์บิต ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก ต่อมาได้มีการพัฒนาหัวอ่านเป็นแบบ Giant MR โดยมีโครงสร้างแบบฟิล์มบางหลายชั้นที่ประกอบด้วยชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สลัดด้วยฟิล์มโลหะที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก ทิศทางแมกนีโตเซชันของชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร แต่ละชั้นจะมีทิศสวนทางกัน และเมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกจะทำให้ทิศแมกนีโตเซชันของชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร จัดเรียงไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางลดลง ในปัจจุบันหัวข้อนี้ได้พัฒนาเป็นแบบ TMR โดยมีข้อได้เปรียบกว่าหัวข้อแบบ GMR คือให้สัญญาณที่ดีกว่า ความไวที่สูงกว่า และที่สำคัญมีขนาดเล็กกว่ามาก ทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของสื่อบันทึกข้อมูลเพิ่มสูงมาก ซึ่งปรากฏการณ์ TMR นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ในวัสดุที่มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นของวัสดุที่เป็นฉนวน (Insulator) บางในระดับนาโนเมตรแทรกระหว่างชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร

ชั้นของฟิล์มบางที่เป็นหัวใจสำคัญของ TMR คือ ฟิล์มบางแม่เหล็กเฟอร์โร และฟิล์มบางฉนวนไฟฟ้าของ ซึ่งจากการวิจัยพบว่าโครงสร้างของฟิล์มบางฉนวน MgO ที่มี CoFeB เป็นฟิล์มบางแม่เหล็กเฟอร์โรนั้นให้ค่า Tunnel Magneto Resistance (TMR) ที่กว้างมาก และมีศักยภาพสูงมากในการนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์ TMR สิ่งสำคัญที่จะทำให้อัตราส่วนของ TMR มีค่าสูงนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของฟิล์มบางที่ทำการเตรียมได้เช่น สมบัติในเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง เป็นต้น โดยทางผู้วิจัยเองได้สนใจในกระบวนการเตรียมฟิล์มบางด้วยวิธีการเคลือบ โดยใช้เทคนิคซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering) และมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาเงื่อนไขของการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่เหมาะสมและให้ผลต่อสมบัติเชิงโครงสร้างสมบัติพื้นผิว สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง รวมถึงการศึกษาถึงผลของวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่มีต่อสมบัติดังกล่าวข้างต้น ด้วยการเคลือบโดยใช้เทคนิคซีแมกนีตรอน สปัตเตอริง ที่อุณหภูมิห้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยเทคนิคซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียม โดยวิธีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง

1.2.3 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สถานะเงื่อนไขในกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่เหมาะสมต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิวและสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น

1.2.4 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงผลของวัสดุรองรับที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิวและสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องสเปกโตรสโกปีที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB
- 1.3.2 ศึกษาและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ใช้และเกี่ยวข้องในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB
- 1.3.3 ศึกษาขั้นตอนและหลักการในกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสเปกโตรสโกปี
- 1.3.4 ศึกษาและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ (สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติแม่เหล็ก) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์โดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสเปกโตรสโกปี ที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมที่ทำการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ กำลังไฟฟ้า ความดัน และการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเข้าไป ในขณะที่ทำการเตรียมฟิล์ม ศึกษาเงื่อนไขสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่เหมาะสมเพื่อใช้ทำอุปกรณ์ TMR
- 1.3.5 ศึกษาและวิเคราะห์ผลของวัสดุรองรับ (Substrate) ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบางเพื่อใช้ทำอุปกรณ์ TMR
- 1.3.6 ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เทคนิควัดทางแม่เหล็กโดยอาศัยการสั่นตัวอย่าง (VSM) และเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB ได้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ทบทวนและสำรวจวรรณกรรม
- 1.4.2 เตรียมฟิล์มบาง Ti ลงบนกระจกขนาด 1" x 1" และบน Si wafer โดยวิธี ดีซี แมกนีตรอนสเปกโตรสโกปีสำหรับเป็นแผ่นรองรับฟิล์มบาง CoFeB
- 1.4.3 เตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยใช้เงื่อนไขของการเตรียมที่แตกต่างกัน ได้แก่ กำลังไฟฟ้า ความดัน และอุณหภูมิ
- 1.4.4 ตรวจสอบสมบัติเชิงโครงสร้างและองค์ประกอบโดยเทคนิค XRD และ EDX ของฟิล์มบาง CoFeB/Ti
- 1.4.5 รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1
- 1.4.6 ตรวจสอบสมบัติของพื้นผิวโดยเทคนิค SEM และ AFM ของฟิล์มบาง CoFeB
- 1.4.7 ตรวจสอบสมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB
- 1.4.8 ศึกษาอิทธิพลของการอบร้อนในสุญญากาศ (annealing) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ต่อสมบัติเชิงองค์ประกอบและสมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB

9. สรุปความก้าวหน้าครั้งที่ 2 และเขียนบทความเพื่อเสนอในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติและบทความตีพิมพ์เผยแพร่

แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ	
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.		
ทบทวนวรรณกรรม														
เตรียมฟิล์มบาง Ti ลงบนกระจกขนาด 1" x 1" สำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าด้านหลัง														
เตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยใช้เงื่อนไขของการเตรียมที่แตกต่างกันได้แก่ กำลังไฟฟ้า ความดัน และ อุณหภูมิ														
ตรวจสอบสมบัติเชิงโครงสร้างและองค์ประกอบโดยเทคนิค XRD และ EDX														
ตรวจสอบสมบัติของพื้นผิวโดยเทคนิค SEM และ AFM														
ตรวจสอบสมบัติความเป็นแม่เหล็ก														
ศึกษาอิทธิพลของการอบร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติ														

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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

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

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

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 พัฒนางานวิจัยด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลให้กับประเทศ

1.6.2 พัฒนาบุคลากรและผลิตบัณฑิตในระดับปริญญาโท

1.6.3 องค์ความรู้ใหม่ด้านวัสดุศาสตร์ของแมกเนติกเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

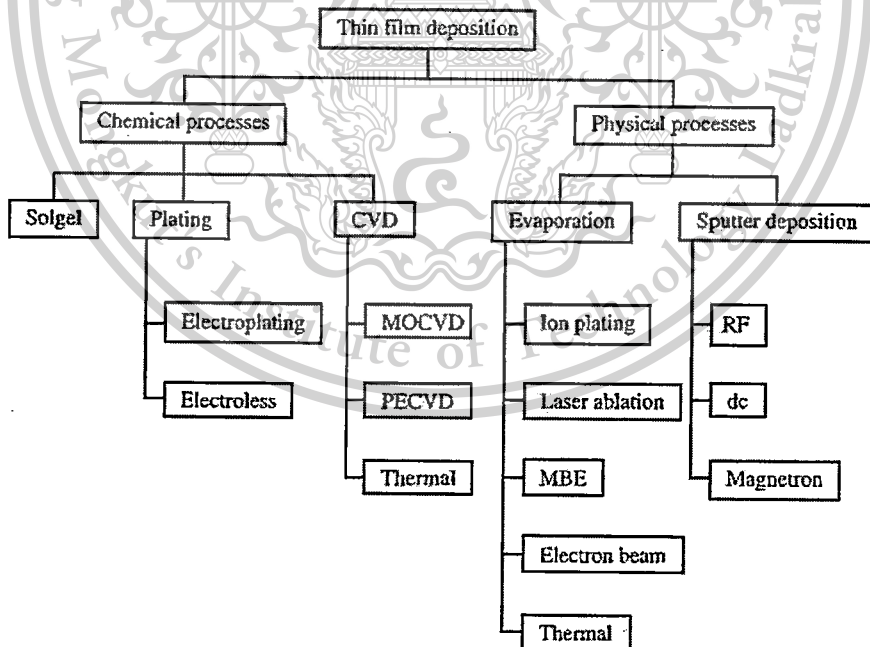
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.1.1 เทคนิคการเคลือบฟิล์มบาง

วิธีการเตรียมฟิล์มบางมีหลายแบบ (กมล เอี่ยมพนากิจ. 2547: 9) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี ปริมาณ และคุณภาพของฟิล์มบาง สำหรับเทคโนโลยีในการเตรียมฟิล์มบางนั้นแบ่งได้ 2 วิธีดังรูป 2.1 คือ

1. วิธีทางเคมี (Chemical process) เป็นการเคลือบที่อาศัยการแตกตัวของสารเคมีในสภาพของก๊าซ และเกิดปฏิกิริยาเคมีกลายเป็นสารใหม่ตกเคลือบบนแผ่นรองรับ ซึ่งรวมถึงการพ่นสเปรย์ ไพโรไลซิส (Spray pyrolysis) กระบวนการเคลือบไอเคมี (Chemical vapor deposition) และวิธี โซลเจล (Sol-gel)
2. วิธีทางกายภาพ (Physical process) เป็นการเคลือบที่อาศัยการทำให้อะตอมของสารเคลือบหลุดออกจากผิวแล้วฟุ้งกระจายหรือวิ่งเข้าไปจับและยึดติดกับผิวของแผ่นรองรับ โดยการใช้ความร้อน (Thermal) และระเหยสารด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron beam evaporation) รวมถึงวิธีการใช้แสงเลเซอร์ (Laser ablation) และวิธีการสปัตเตอริง (Sputtering)



รูปที่ 2.1 ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศ

ที่มา: Milton Ohring. (1997). *The Materials Science of Thin Films*. p 2. 12

ในส่วน of วิธีทางกายภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1. การเคลือบฟิล์มโดยวิธีระเหยสาร (Evaporation) เป็นกระบวนการพอกพูนของชั้นฟิล์มบางของสารเคลือบที่ทำให้ระเหยซึ่งเกิดขึ้นในสุญญากาศ โดยการให้ความร้อนที่มากพอที่จะทำให้สารเคลือบกลายเป็นไอซึ่งไอสารเคลือบนี้จะพุ่งไปกระทบกับวัสดุที่มีอุณหภูมิเหมาะสมก็จะเกิดการควบแน่นของสารเคลือบและพอกพูนโตเป็นชั้นของฟิล์มบางต่อไป ข้อเสียของการเคลือบวิธีนี้คือแรงยึดติดระหว่างสารเคลือบและแผ่นรองรับจะไม่สูง นอกจากนี้ฟิล์มบางที่ได้ อาจมีการปนเปื้อนของสารที่ใช้ทำภาชนะสารเคลือบได้ ถ้าภาชนะบรรจุสารเคลือบมีจุดหลอมเหลวต่ำหรือใกล้เคียงกับสารเคลือบ

2. การเคลือบฟิล์มโดยวิธีสปัตเตอร์ริง (Sputtering) เป็นกระบวนการพอกพูนของชั้นฟิล์มบางของสารเคลือบจากกระบวนการสปัตเตอร์ริง ซึ่งการเคลือบด้วยวิธีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไอออนสารเคลือบจากกระบวนการสปัตเตอร์ริงวิ่งชนแผ่นรองรับและมีการพอกพูนเป็นฟิล์มบาง เนื่องจากไอออนที่ได้จากกระบวนการสปัตเตอร์ริงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าวิธีการระเหยสารมาก ดังนั้นเมื่อไอออนของสารเคลือบวิ่งเข้ากระทบแผ่นรองรับก็ฝังตัวแน่นลงในแผ่นรองรับมากกว่าวิธีการระเหยสาร ดังนั้นการเคลือบด้วยวิธีสปัตเตอร์ริง จะทำให้การยึดเกาะระหว่างสารเคลือบกับแผ่นรองรับดีกว่า

2.2 เทคนิคแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (Magnetron Sputtering)

2.2.1 กระบวนการเกิดการสปัตเตอร์ริง

กระบวนการสปัตเตอร์ริงเป็นกระบวนการที่อะตอมผิวหน้าของวัสดุที่ต้องการทำฟิล์มบาง ถูกทำให้หลุดออกมาด้วยการชนของอนุภาคพลังงานสูง โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงานและโมเมนตัมระหว่างอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับอะตอมที่ผิววัสดุดังกล่าว กระบวนการนี้อนุภาคที่วิ่งเข้าชนอาจเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือมีประจุก็ได้ ดังรูปที่ 2.2 (กมล เอี่ยมพนากิจ, 2547: 10) แต่เนื่องจากในการทำอนุภาคที่เป็นกลางทางไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงเพื่อใช้ในกระบวนการสปัตเตอร์ริงทำได้ค่อนข้างยาก จึงนิยมใช้วิธีเร่งอนุภาคที่มีประจุภายใต้สนามไฟฟ้าซึ่งยังสามารถควบคุมระดับพลังงานของไอออนได้ตามต้องการ อนุภาคพลังงานสูงนี้จะต้องถูกผลิตขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการเคลือบสารเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องจนได้ความหนาฟิล์มสารเคลือบตามต้องการซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น โดยการใช้ลำอนุภาคจากปืนไอออน (Ion gun) ที่มีปริมาณการผลิตไอออนในอัตราสูง หรือผลิตได้จากใช้กระบวนการโกลด์ดิสชาร์จ (glow discharge) ซึ่งนำไปใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มด้วยวิธี ดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (dc magnetron sputtering) เป็นต้น ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นในกระบวนการ สปัตเตอร์ริง คือ

- มีสารเคลือบเป็นเป้า (Target) ให้อนุภาคพลังงานสูงวิ่งเข้าชนจนมีการปลดปล่อยอะตอมของสารเคลือบลงบนแผ่นวัสดุรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้เผยแพร่ได้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

เกิน 10 อิเล็กตรอน โวลท์ (eV) เพื่อใช้ในกระบวนการสปัตเตอริงนั้นทำได้ค่อนข้างยาก วิธีการหนึ่ง ที่นิยมทั่วไป คือการเร่งอนุภาคประจุภายใต้สนามไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมระดับพลังงานของ ไอออนได้ตามต้องการ อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคประจุชนิดหนึ่งที่ย่อยต่อการผลิตและเร่งให้มีพลังงาน สูงภายใต้สนามไฟฟ้าได้แต่อิเล็กตรอนมีมวลน้อยกว่าอะตอมของสารเคลือบมาก ทำให้การถ่ายโอน พลังงานและโมเมนตัมต่ออะตอมสารเคลือบเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และไม่สามารถทำให้ กระบวนการสปัตเตอริงเกิดขึ้นได้ตามทฤษฎีทางฟิสิกส์ การชนระหว่าง 2 อนุภาค ที่ให้การส่ง ถ่ายพลังงานและ โมเมนตัมดีที่สุดในเมื่อมวลของอนุภาคทั้งสองมีค่าเท่ากัน ดังนั้นเราจึงเลือกการเร่ง ไอออนของก๊าซในสนามไฟฟ้าเป็นอนุภาควิ่งชนเป้าสารเคลือบ ซึ่งให้อัตราการปลดปล่อยเป้าสาร เคลือบสูงเพียงพอกับความต้องการ

- อนุภาคพลังงานสูงนี้ต้องถูกผลิตขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการเคลือบสารเกิดขึ้น ได้อย่างต่อเนื่องจนได้ความหนาของฟิล์มบางเคลือบตามต้องการซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ลำ อนุภาคจากปืนไอออน (Iron gun) เนื่องจากปืน ไอออนมีราคาค่อนข้างสูง และให้ไอออนได้ในพื้นที่ แคบ กระบวนการสปัตเตอริงทั่ว ๆ ไปในระดับอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้กระบวนการ โกลว์ดีสชาร์จ (Glow discharge) ในการให้ไอออนในกระบวนการเคลือบ



รูปที่ 2.2 กลไกการเกิดสปัตเตอริง

ที่มา: G.J. Mankey, Lecture 9. Sputter Deposition

2.2.2 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ

เมื่อไอออนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนผิวหน้าของเป้าสารเคลือบจะเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ดังรูป ที่ 2.3 ดังนี้

- การสะท้อนที่ผิวหน้าของไอออน (Reflected ions and neutrals) ไอออนอาจสะท้อน กลับจากผิวหน้าซึ่งส่วนใหญ่จะสะท้อนออกมาในรูปของอะตอมที่เป็นกลางทาง

ไฟฟ้าอันเกิดจากการรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ผิวเป้าสารเคลือบ

นอกจากนี้ ไอออนพลังงานสูงยังทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron emission) จากผิวของเป้าสารเคลือบอีกด้วย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไอออนอาจทำให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนชุดที่สองจากเป้าสารเคลือบถ้าไอออนนั้นมีพลังงานสูงพอ

- การฝังตัวของไอออน (Ion implantation) ไอออนที่วิ่งชนเป้าสารเคลือบนั้น ไอออนอาจฝังตัวลงในสารเคลือบ โดยความลึกของการฝังตัวจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานไอออน ซึ่งมีค่าประมาณ 10 อังสตรอมต่อพลังงานไอออน (1 keV) สำหรับไอออนของก๊าซอาร์กอนที่ฝังตัวบนเป้าสารเคลือบ CoFeB
- การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวสารเคลือบ การชนของไอออนบนผิวสารเคลือบทำให้เกิดการเรียงตัวของอะตอมที่ผิวสารเคลือบใหม่และเกิดความบกพร่องของโครงสร้างผลึก (Lattice defect) เราเรียกการจัดตัวใหม่ของโครงสร้างผิวหน้านี้ว่า Altered surface layers
- การสputtering การชนของไอออนอาจทำให้เกิดกระบวนการชนแบบต่อเนื่องระหว่างอะตอมของเป้าสารเคลือบอันทำให้เกิดการปลดปล่อยอะตอมจากเป้าสารเคลือบซึ่งเรียกว่ากระบวนการ สputtering



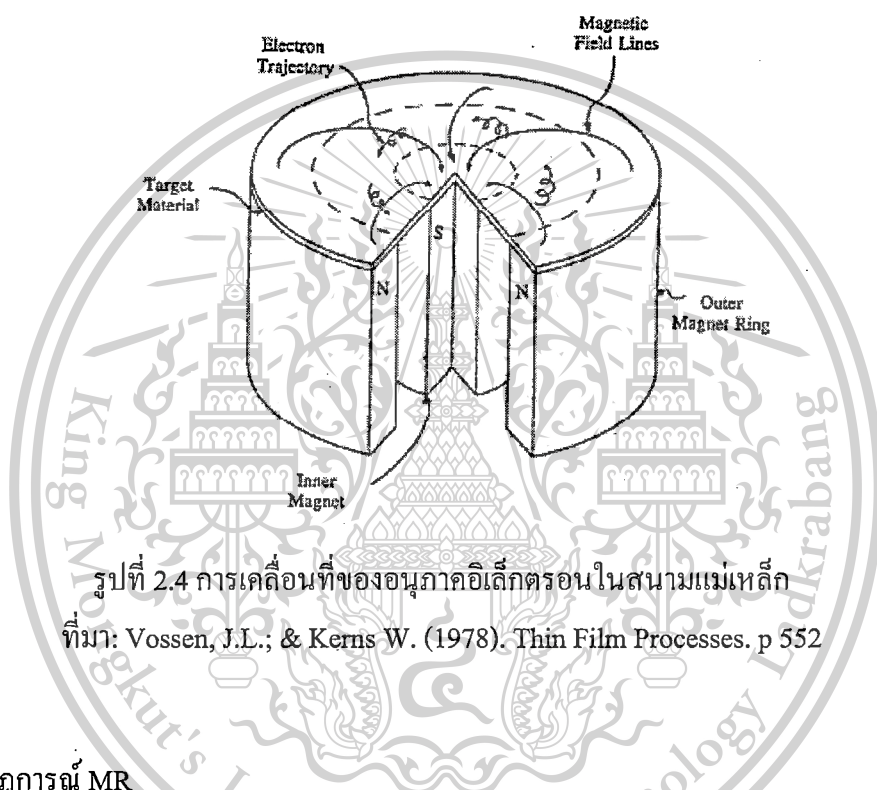
รูปที่ 2.3 อันตรกิริยาระหว่างไอออนและผิวเป้าสารเคลือบ

ที่มา: Chapman, B. (1980). Glow discharge processes: Sputtering and plasma etching.

ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB นั้นจะอาศัยการสputteringดังกล่าวข้างต้น โดยมีเป้าสารเคลือบเป็น วัสดุ CoFeB สำหรับก๊าซที่ใช้ในระบบคือก๊าซอาร์กอน โดยที่ไอออนของก๊าซเฉื่อยอาร์กอนจะมีหน้าที่ทำให้เกิดการสputteringขึ้น โดยหากเราจ่ายสนามแม่เหล็กให้มีทิศทางขนานกับผิวหน้าของเป้าสารเคลือบและมีทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าจะช่วยกักทางเดินของอิเล็กตรอนให้อยู่บนผิวหน้าของเป้าสารเคลือบ

อำนาจของสนามแม่เหล็กทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นวงวนรอบเส้นสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบไซโคลตรอน ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นวงวนรอบเส้นสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบไซโคลตรอน ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นวงวนรอบเส้นสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบไซโคลตรอน

สูงขึ้น นอกจากนี้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ายังทำให้เกิดความต่อนิ่งที่มากขึ้นในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งเป็นลักษณะการชนผิวเป้าสารเคลือบซ้ำ ๆ ทำให้เกิด Secondary electron ในปริมาณที่มากขึ้น และยังพบว่า การเพิ่มสนามแม่เหล็กด้วยความเข้มสนามเพียง 500 เกาส์ ทำให้ไอออนในระบบเพิ่มขึ้นผลคือระบบมีอัตราการเคลือบสูงกว่าเดิม เท่า ในขณะที่ 10^{3-10} สภาวะคิซซาร์จเกิดได้ที่มีความดันต่ำประมาณ ถึง $2 \cdot 10$ ทอร์ อันมีผลทำให้ฟิล์มมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น มีปริมาณก๊าซเฉื่อยแทรกตัวในฟิล์มน้อยลง การเพิ่มสนามแม่เหล็กให้กับระบบการเคลือบแบบนี้เรียกว่า แมกนีตรอน สปีตเตอริง (Magnetron Sputtering)



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก
ที่มา: Vossen, J.L.; & Kerns W. (1978). Thin Film Processes. p 552

2.3 ปรากฎการณ์ MR

เป็นที่ทราบกันดีว่าความร้อนสามารถทำให้สมบัติทางกายภาพรวมทั้งความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้สนามแม่เหล็กก็สามารถทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ เช่นเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุประเภทโลหะตัวนำในสนามแม่เหล็ก เป็นที่รู้จักกันมานานกว่า ปี เมื่อมีการค้นพบ 150ปรากฏการณ์แมกนีโตริซิสแทนซ์ (Magneto Resistance Effect) หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า ปรากฎการณ์ MR ซึ่งการพบครั้งแรกเป็นการเพิ่มขึ้นของความต้านทานไฟฟ้าในโลหะตัวนำเมื่อวางในสนามแม่เหล็กและต่อมาได้มีการค้นพบปรากฏการณ์ MR ชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งขนาดของปรากฏการณ์ MR คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

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

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

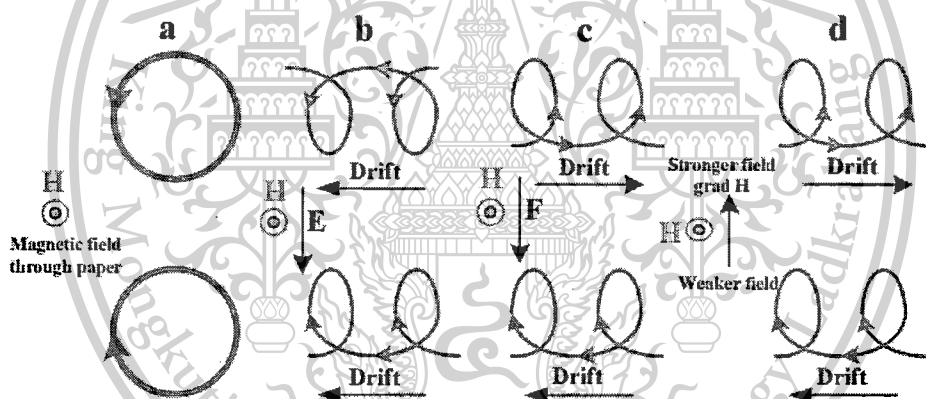
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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

2.3.1 ชนิดของปรากฏการณ์ MR

ปรากฏการณ์ MR แต่ละชนิดพบในวัสดุที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าในแม่เหล็กนั้นขึ้นอยู่กับชนิดหรือโครงสร้างในวัสดุ และกลไกในการเกิดปรากฏการณ์ MR แต่ละชนิดก็แตกต่างกัน ซึ่งเราสามารถแบ่งชนิดของปรากฏการณ์ MR ตามกลไกการเกิดได้ ชนิด ดังนี้ 5

1. ปรากฏการณ์ OMR (Ordinary MR) เกิดจากแรงลอเรนซ์ของสนามแม่เหล็กกระทำต่ออิเล็กตรอน ทำให้มีเส้นทางการเคลื่อนที่เปลี่ยนไป การลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กแบบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.12 นั่นคือเมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะมีแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนที่มากขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการชนในโครงผลึกที่มากขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานของวัสดุตัวนำเพิ่มขึ้น โดยปรากฏการณ์นี้จะเกิดในวัสดุตัวนำ กึ่งตัวนำและวัสดุที่มีสารตัวนำเป็นองค์ประกอบ และเปอร์เซ็นต์ของการเกิดปรากฏการณ์ OMR นี้มีค่าไม่มากนัก



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีประจุภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก
ที่มา: วชิร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก:

ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 22

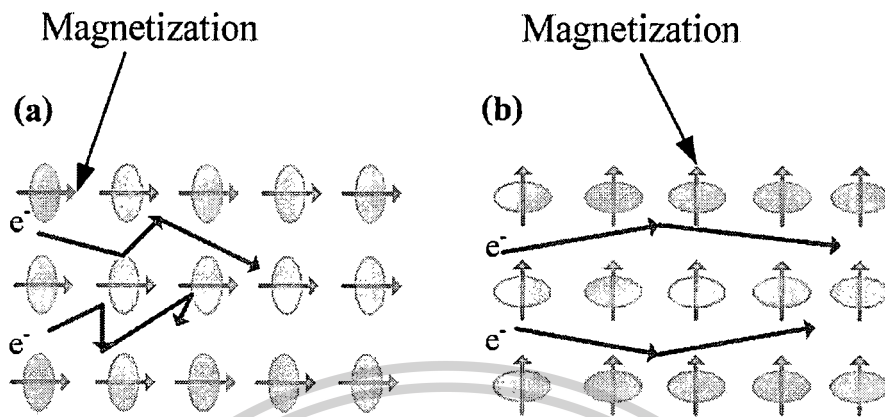
1. ปรากฏการณ์ AMR (Anisotropic MR) ขนาดของปรากฏการณ์ MR ชนิดนี้จะขึ้นกับมุมระหว่างกระแสไฟฟ้าและทิศทางการแมกเนไทเซชัน (Magnetization) ของวัสดุ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างสปินและออร์บิต (Spin-orbit interaction) ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก ทำให้อัตราการกระเจิงของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไป กลไกการเกิดปรากฏการณ์ AMR สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.13 เมื่อทิศทางการแมกเนไทเซชันขนานกับทิศกระแสไฟฟ้า (ดังรูป 2.13(a)) จะเกิดการกระเจิงมากขึ้น ทำให้ความต้องการของระบบมีค่ามากขึ้น และเมื่อทิศทางการแมกเนไทเซชันตั้งฉากกับทิศกระแสไฟฟ้า ทำให้ความต้านทานของวัสดุแม่เหล็กเฟอร์ไรต์มีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องจากการเกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอนน้อยลง (ดังรูป 2.13(b))



รูปที่ 2.6 แสดงการกระเจิงของอิเล็กตรอน ในวัสดุแม่เหล็กเฟอร์โร เมื่อ

(a) แมกนีไทเซชันขนานกับทิศของกระแส และ (b) แมกนีไทเซชันตั้งฉากกับทิศของกระแส

ที่มา: วชิร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก:

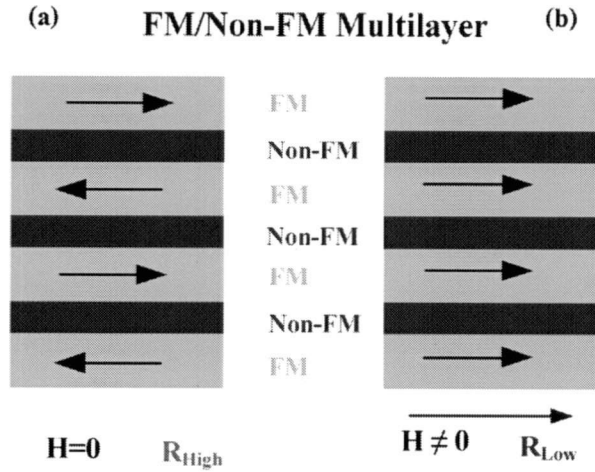
ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 23

2. ปรากฏการณ์ GMR (Giant MR) ในฟิล์มบางหลายชั้นที่มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร (FM) ที่สลับด้วยแม่พิมพ์โลหะที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก (Non-FM) ฟิล์มบางหลายชั้น เมื่อไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก ทิศทางการแมกนีไทเซชันของชั้น FM แต่ละชั้นจะมีทิศสวนทางกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14(a) และเมื่อให้สนามแม่เหล็กภายนอกกับฟิล์มบางหลายชั้น ดังรูปที่ 2.14(b) ทิศทางแมกนีไทเซชันของชั้น FM จะจัดเรียงกันไปในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบางหลายชั้นลดลง การลดลงของความต้านทานไฟฟ้าในปรากฏการณ์ GMR เกิดจากการกระเจิงของอิเล็กตรอนที่แตกกันของสปินอัพ (Spin up) และสปินดาวน์ (Spin down) หรือ เรียกว่า การกระเจิงที่ขึ้นกับสปิน (Spin dependent scattering) โดยความต้านทานไฟฟ้าที่วัสดุลดลงได้มากถึง 80% ในสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

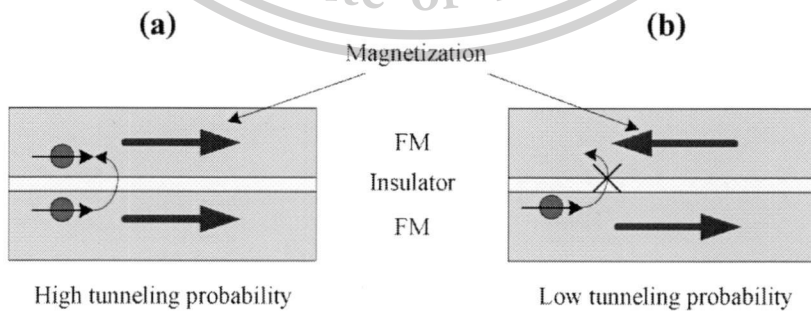
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.7 แสดงทิศแมกนีไทเซชันของฟิล์มบางหลายชั้น เมื่อสนามแม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์ และ (b) ในสนามแม่เหล็กมีค่าใดๆ ที่มา: วชิร รัตนสกุลทอง, (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก: ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 24

3. ปรากฏการณ์ TMR (Tunnel MR) ถูกพบในวัสดุที่มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นของวัสดุที่เป็นฉนวน (Insulator) บาง ๆ ประมาณ 1 นาโนเมตรแทรกระหว่างชั้นฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โร การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าในปรากฏการณ์ TMR มีขนาดสูงถึง 100% การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ TMR เกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่ขึ้นกับสปิน (Spin-dependent tunneling) ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นในการที่อิเล็กตรอนจะทะลุผ่านชั้นฉนวนของอิเล็กตรอนสปินอัพและสปินดาวน์ที่มีค่าแตกต่างกัน สามารถแสดงไดอะแกรมการเกิดปรากฏการณ์ TMR ได้ดังรูปที่ 2.15 โดยความน่าจะเป็นของการที่อิเล็กตรอนจะขึ้นกับทิศแมกนีไทเซชันของชั้น FM นั่นคือ อิเล็กตรอนจะสามารถทะลุผ่านชั้น FM หนึ่งไปยังชั้น FM อีกชั้นหนึ่งได้ง่ายเมื่อชั้น FM ที่อยู่ถัดไปมีทิศแมกนีไทเซชันเดียวกันกับชั้นแรกแสดงดังรูปที่ 2.15(a) และอิเล็กตรอนจะไม่มีทางทะลุผ่านไปยังชั้น FM ถัดไป หากชั้น FM ถัดไปมีทิศแมกนีไทเซชันที่สวนทิศกันดังรูปที่ 2.15(b)



รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมแสดงการทะลุผ่านที่ขึ้นกับสปินของอิเล็กตรอน เมื่อ

(a) แมกนีไทเซชันชั้น FM ขนานกัน และ (b) แมกนีไทเซชันของชั้น FM สวนทิศกัน

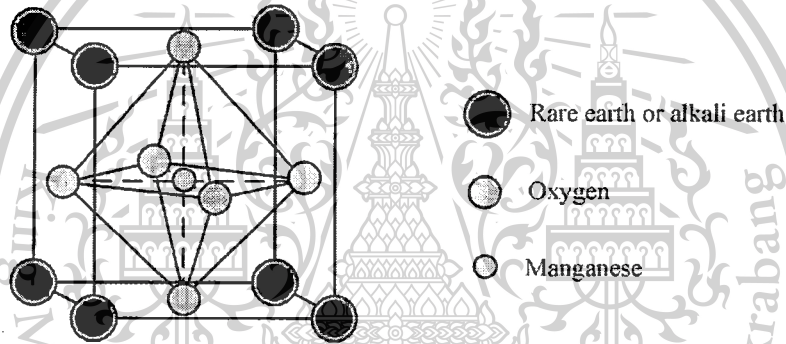
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ที่มา: วัชร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก:
ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 25

4. ปรากฏการณ์ CMR (Colossal MR) พบในวัสดุที่เป็นออกไซด์ของแมงกานีสที่เจือด้วยโครงสร้างแบบสารเพอโรฟสไกต์ (Perovskite) ลักษณะโครงสร้างของวัสดุ CMR แสดงดังรูปที่ 2.16 โดยวัสดุ CMR จะเป็นฉนวนที่อุณหภูมิสูง แต่จะเปลี่ยนมาเป็นโลหะที่อุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิคูรี (Curie temperature: T_c) ในเฟสโลหะและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิคูรี (Curie temperature: T_c) วัสดุ CMR จะมีพฤติกรรมเป็นสารแม่เหล็กเฟอร์โร การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของวัสดุ CMR ในสนามแม่เหล็กจะมีค่ามากกว่าในวัสดุ GMR และ TMR แต่อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ CMR มีข้อจำกัดคือ จะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ ปรากฏการณ์ CMR เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอน-โฟนอน ทำให้เกิดการบิดรูปแบบจาห์น-เทลเลอร์ (Jahn-Teller distortion) ใกล้กับการเปลี่ยนเฟสระหว่างเฟสแม่เหล็กเฟอร์โร ไปเป็นเฟสแม่เหล็กพารา



รูปที่ 2.9 แสดงออกไซด์ของแมงกานีสที่เจือด้วยโครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์

ที่มา: วัชร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก:
ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 26

โดยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า กลไกการเกิดและโครงสร้างวัสดุของปรากฏการณ์ MR ชนิดต่าง ๆ แสดงเชิงเปรียบเทียบในตารางที่ 2.1

ปรากฏการณ์	ความต้านทาน	โครงสร้างวัสดุ	กลไกการเกิด
OMR	เพิ่มขึ้น	โลหะและสารกึ่งตัวนำ	แรงลอเรนซ์
AMR	เพิ่มขึ้น/ ลดลง	สารเฟอร์โรแมกเนติก	การเข้าคู่กันของสปิน-ออร์บิต
GMR	ลดลง	สารเฟอร์โรแมกเนติก/โลหะที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก	การกระเจิงที่ขึ้นกับสปิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

TMR	ลดลง	สารเฟอร์โรแมกเนติก/ฉนวน	การทันเนลผ่านที่ขึ้นกับ สปิน
CMR	ลดลง	แมงกานีสออกไซด์	การเปลี่ยนเฟสโลหะ ฉนวน

ตาราง 2.1 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ MR ชนิดต่าง ๆ

ที่มา: วัชร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก:
ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 26

2.3.2 การประยุกต์ปรากฏการณ์ MR ในเซนเซอร์

เซนเซอร์ MR มีจุดเด่นหลายอย่างจึงทำให้มีการวิจัยวัสดุ MR อย่างกว้างขวางและต่อเนื่อง
ซึ่งข้อเด่นของเซนเซอร์ MR มีดังนี้

- มีความแม่นยำสูง เนื่องจากเซนเซอร์ MR มีฮิสเตอรีซิสน้อย และมีความเป็นเชิงเส้นสูง ทำให้สามารถวัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เหมาะสำหรับการวัดที่ต้องการความแม่นยำสูง และให้สัญญาณที่มีคุณภาพดีกว่าเซนเซอร์แบบเก่า ไม่ว่าจะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อวัดมุม ความยาว หรือวัดกระแสไฟฟ้าก็ตาม
- ความละเอียดสูง เซนเซอร์ MR มีความละเอียดสูงซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการควบคุมคุณภาพความละเอียดสูง 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 และอุณหภูมิต่ำรวมถึงน้ำมัน สิ่งสกปรก หรือ แรงสั่นเชิงกล นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ได้กับสารกัมมันตรังสี หรือในสูญญากาศ เช่น ที่ระยะ 400 กิโลเมตร บนผิวดาวอังคารซึ่งมีอุณหภูมิตั้งแต่ -120 องศาเซลเซียส และหรือที่ก้นบ่อน้ำมันที่ระยะ 10 กิโลเมตร ใต้พื้นผิวโลกที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส
- ความไวสูง เซนเซอร์ MR มีความไว และมีสัญญาณขาออกสูงกว่าเซนเซอร์ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall-effect sensor) ทำให้เซนเซอร์ MR สามารถนำไปใช้วัดขนาดสนามแม่เหล็กโลกที่ประยุกต์ใช้เป็นเข็มทิศ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
เนื่องจากสามารถตรวจรับสัญญาณได้โดยไม่ต้องสัมผัส
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ประหยัดพลังงาน เช่น เซอร์ MR สามารถออกแบบได้ มีความต้านทานภายในสูง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับแบตเตอรี่ที่มีขายทั่วไป และสามารถออกแบบให้ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย ๆ โดยใช้หลักการวัดแบบชดเชย ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยและให้ประสิทธิภาพของพลังงานสูง

2.3.3 การประยุกต์ใช้การวัดปริมาณ

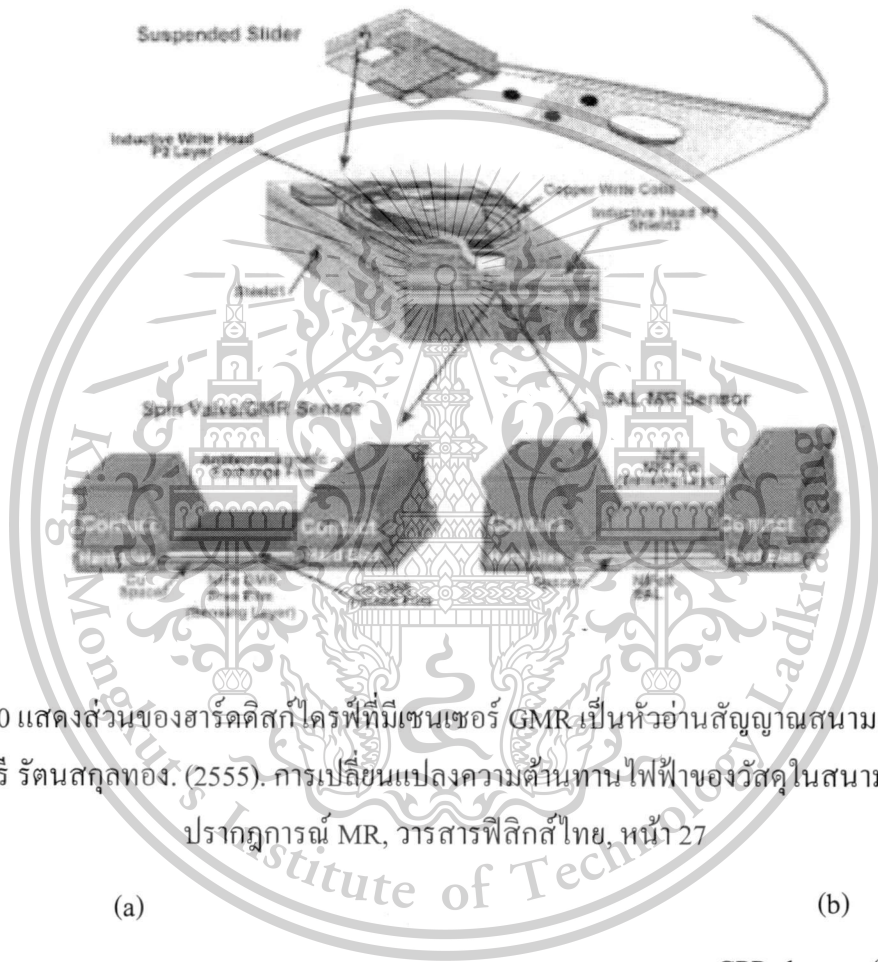
ในปัจจุบันนี้ เซอร์ MR นั้นสามารถนำไปประยุกต์ในการใช้วัดปริมาณหลัก ๆ ได้ 4 ปริมาณด้วยกันคือ

1. เซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็ก (Magnetic field measurement) ซึ่งสามารถนำไปวัดสนามแม่เหล็กค่าน้อย ๆ ได้อย่างแม่นยำ ที่ประมาณ 50A/m หรือ 62.5 ไมโครเทสลา เซอร์วัดสนามแม่เหล็กสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเข็มทิศในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ สวิตช์แบบไม่สัมผัส โดยส่วนใหญ่ นำไปประยุกต์ใช้ด้านธรณีวิทยา ใช้ในการสำรวจแก๊ส น้ำมัน และทรัพยากรธรรมชาติอื่น ๆ รวมไปถึงการเป็นเซนเซอร์วัดสนามแม่เหล็กของเข็มทิศที่เป็นฟังก์ชันในนาฬิกาข้อมือ
2. เซนเซอร์วัดความยาวและตำแหน่ง (Displacement and position measurement) สามารถใช้วัดความยาวหรือการเปลี่ยนแปลงความยาว และตำแหน่งที่มีความแม่นยำในย่านไมโครเมตร เซอร์ประเภทนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกล้องถ่ายรูป ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ และทางด้านการศึกษา
3. เซนเซอร์วัดกระแส (Current measurement) เป็นเซนเซอร์วัดกระแส โดยสามารถวัดกระแสสูงสุดได้ถึง 100 แอมแปร์ ส่วนใหญ่ นำไปประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
4. เซนเซอร์วัดมุม (Angle measurement) สามารถนำไปวัดค่ามุมที่แน่นอน การเพิ่มขึ้นของมุม การเปลี่ยนแปลงมุม หรือความเร็วรอบความละเอียดในการวัดน้อยกว่า 0.5 องศา เซอร์วัดมุมส่วนใหญ่ นำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และอื่น ๆ

นอกจากนี้ยังมีการนำ เซอร์ MR ไปใช้เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก งานแผ่นบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ซึ่ง เซอร์ MR ได้ทำให้เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ใดที่มีความก้าวหน้าที่สำคัญ และเพิ่มขีดความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้มากขึ้น หัวอ่านในฮาร์ดดิสก์เริ่มต้นจาก เซอร์จากการเหนี่ยวนำ โดยเริ่มใช้หัวอ่านแบบ MR ในปี 1996 โดยหัวอ่าน MR แบบแรกจะเป็นแบบ AMR เนื่องจากสามารถอ่านค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กในปริมาณน้อย ๆ ได้ดีกว่าการเหนี่ยวนำ ดังนั้นทำให้มีงานวิจัยและพัฒนาหัวอ่านแบบ MR อย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งให้ความสนใจการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับ เซอร์แบบ CMR และ

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับ เซอร์แบบ GMR แต่อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์ CMR แม้จะให้สัญญาณที่สูง แต่มีข้อจำกัด คือเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้งาน งานวิจัยจึงยังอยู่ใน

ระดับห้องปฏิบัติการ และยังไม่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในเชิงอุตสาหกรรม หัวอ่านยุคต่อมาได้เปลี่ยนมาเป็นแบบ GMR ด้วยเหตุผลที่สำคัญ คือหัวอ่าน GMR ให้สัญญาณขาออกและความไวมากกว่าหัวอ่านแบบ AMR มาก และล่าสุดปัจจุบันเป็นหัวอ่านแบบ TMR โดยข้อได้เปรียบของหัวอ่านแบบ TMR เทียบกับหัวอ่าน GMR คือให้สัญญาณที่ดีกว่า ความไวสูงกว่าและที่สำคัญมีขนาดเล็กกว่า ทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของสื่อบันทึกข้อมูลเพิ่มสูงมากในปัจจุบัน โดยในรูปที่ 2.17 แสดงถึงโครงสร้างหลักของฮาร์ดดิสก์แสดงส่วนของหัวอ่าน และหัวเขียนที่ใช้หัวอ่านแบบ GMR



รูป 2.10 แสดงส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีเซนเซอร์ GMR เป็นหัวอ่านสัญญาณสนามแม่เหล็ก
ที่มา: วัชร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก:
ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 27

CIP element (GMR (Spin-Valve))

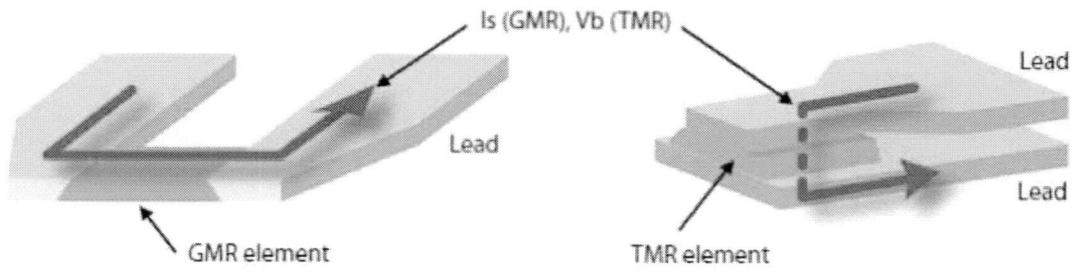
CPP element (TMR)

Current Perpendicular to plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

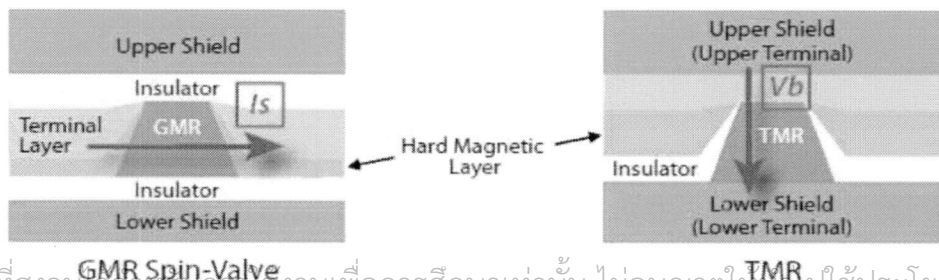
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.11 (a) หัวอ่าน GMR ที่มีกระแสในระนาบเดียวกับ GMR เซนเซอร์ และ
 (b) หัวอ่าน TMR ที่มีกระแสตั้งฉาก TMR เซนเซอร์

ที่มา: วชิร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก: ปราชญ์กรรม MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 27

บริษัท IBM ได้นำหัวอ่านแบบ MR มาใช้เป็นครั้งแรกเนื่องจากความสามารถในการอ่านข้อมูลของเซนเซอร์ MR ทำให้เกิดการพัฒนาคความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์จนเพิ่มขึ้นประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ต่อมาในปี 2000 ได้มีการพัฒนาหัวอ่านแบบ GMR มาแทนหัวอ่านแบบ MR จากงานวิจัยของบริษัท ฮิตาชิ (Hitashi) พบว่าทำให้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของฮาร์ดดิสก์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยฮาร์ดดิสก์ขนาดประมาณ 11 GB และในปี 2005 บริษัทซันเกตได้เริ่มใช้หัวอ่านแบบ TMR กับฮาร์ดดิสก์ขนาด 400 GB ทั้งนี้ในปี 2006 ทางบริษัทฟูจิซี (Fujitsu) ได้เผยแพร่ผลงานเกี่ยวกับการออกแบบหัวอ่าน TMR ที่ออกแบบให้กระแสตั้งฉากกับระนาบ (CPP) ของฟิล์มเซนเซอร์เปรียบเทียบกับหัวอ่าน GMR ที่เป็นแบบกระแสในระนาบ (CIP) ของฟิล์มเซนเซอร์ ซึ่งรูปที่ 2.18 แสดงถึงลักษณะหัวอ่าน GMR แบบ CIP และหัวอ่าน TMR แบบ CPP โดยโครงสร้างส่วนประกอบของหัวอ่านทั้งสองแบบดังรูปที่ 2.19 ทางฟูจิซีได้ทดสอบประสิทธิภาพหัวอ่าน TMR ที่ออกแบบพบว่าหัวอ่าน TMR มีขนาดเล็กลง มีความไวสูงขึ้น มีความละเอียดสูง และลดปัญหาสัญญาณรบกวนได้ดี อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ ยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในอนาคตอาจจะมีหัวอ่านแบบใหม่ที่มีความสามารถและประสิทธิภาพดีกว่าหัวอ่านแบบเดิม หรือต่อไปอาจจะเป็นยุคของหัวอ่าน GMR แบบ CPP ก็อาจจะเป็นไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูป 2.12 โครงสร้างของ (a) หัวอ่าน GMR ที่มีกระแสในระนาบ และ

(b) หัวอ่าน TMR ที่มีกระแสตั้งฉากกับระนาบ

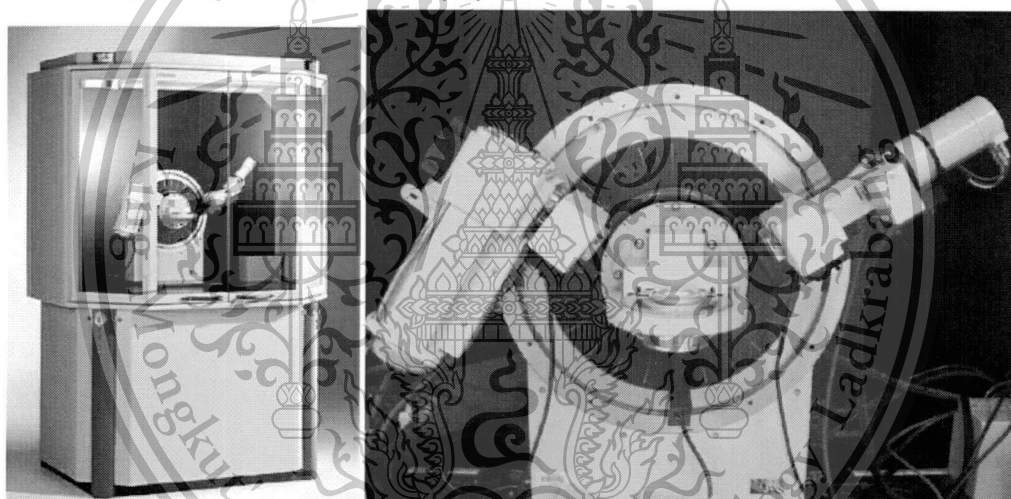
ที่มา: วัชร รัตนสกุลทอง. (2555). การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุในสนามแม่เหล็ก: ปรากฏการณ์ MR, วารสารฟิสิกส์ไทย, หน้า 28

2.4 ทฤษฎีเบื้องต้นในการวิเคราะห์สมบัติของฟิล์ม

ฟิล์มที่เตรียมได้จากการทดลองจะนำมาวัดสมบัติต่างๆดังนี้

2.4.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่มุมต่าง ๆ กัน โดยการวางตัวอย่างชิ้นงานตามตัวอย่างดังรูปที่ 2.20 ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง



รูปที่ 2.13 ตำแหน่งในการวางตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD

ที่มา: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/Picture_XRD1.htm

1. หลักการและวิธีการวิเคราะห์

วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลึก W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่ว่าเมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบ รังสีเอ็กซ์

บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อน เท่ากับมุมตกกระทบ ดังแสดงในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รูปที่ 2.21 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ ได้ถูกเสนอในรูปแบบการ ของ Bragg's Law ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

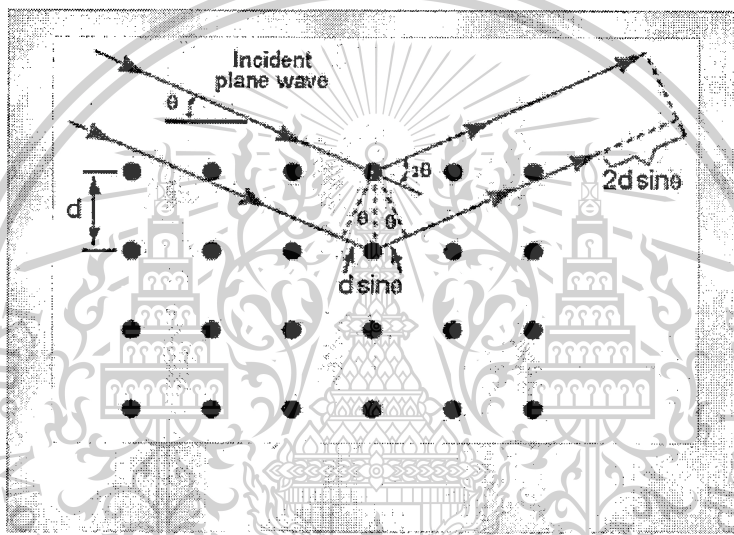
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(สมการ 2.2) ดังนี้

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

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



รูป 2.14 หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ภายใน โครงผลึกตามเงื่อนไขของ Bragg's Law

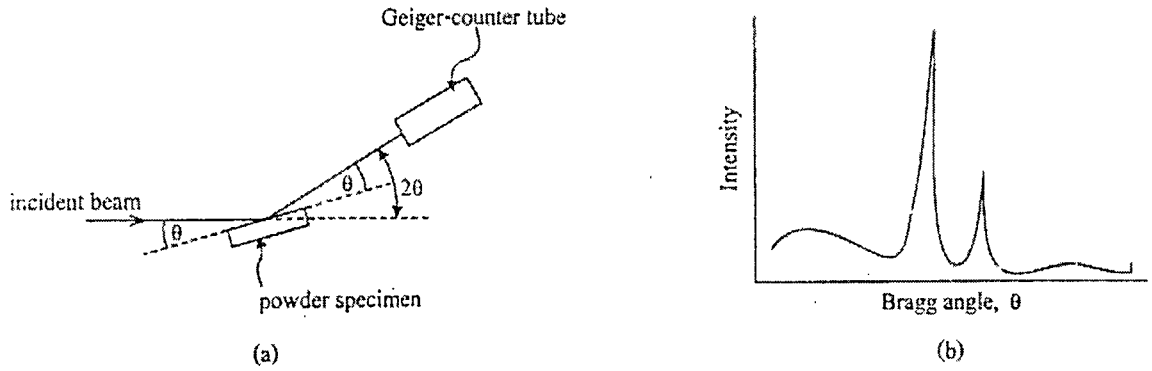
ที่มา: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm

X-ray Diffractometer (XRD) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนจากผลึกโดยมีอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ประกอบอยู่ เช่น Geiger Counter tube หรือ Ionization Chamber จากรูปที่ /2.22a แสดงให้เห็นว่าทั้งชิ้นงานและ Geiger Counter Tube จะเคลื่อนที่ โดย Geiger Counter Tube เคลื่อนที่เร็วกว่าเป็น 2 เท่าเสมอ ทำให้อุปกรณ์ตรวจจับรังสีนี้อยู่ในมุมที่เหมาะสมสำหรับการสะท้อนรังสีตามกฎของ Bragg สัญญาณที่ตรวจจับได้จะแสดงออกมาในรูปของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสี (Diffraction Pattern) ดังรูปที่ 2.22b ความเข้มของสัญญาณขึ้นอยู่กับหลายแฟกเตอร์ด้วยกันเช่น โครงสร้างของวัสดุ ปริมาตรของวัสดุที่แผ่รังสี (Volume of Irradiated Material) รูปทรงของการหักเห (Diffraction Geometry) และการวางชิ้นงาน (Sample Alignment)

เอกสารนี้เป็นต้นฉบับที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

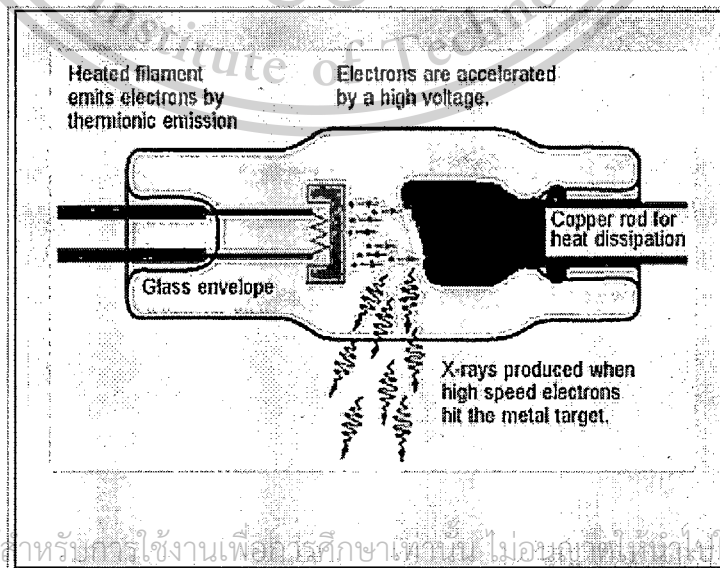
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.15 a) X-ray diffraction b) Intensity peak ที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะท้อนแสง ที่มา: P. P. Ewald. (1999). The principal of X-Ray diffraction. หน้า 82

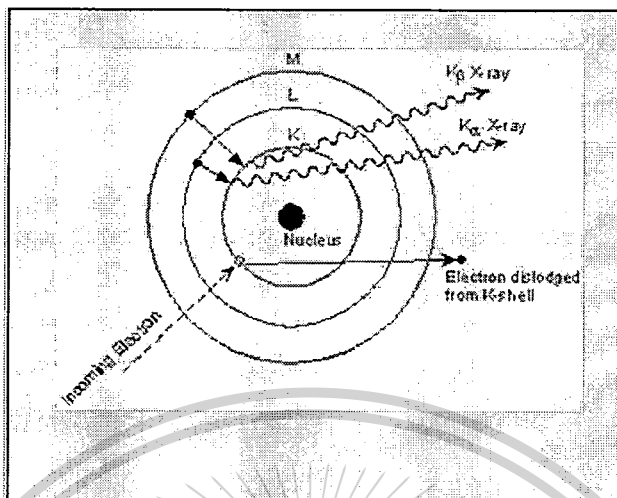
2. X-ray เกิดขึ้นได้อย่างไร

ภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ รังสีเอ็กซ์จะถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิดซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ รูปที่(2.23) โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนต์ (Filament) ที่อยู่ในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ซึ่งจะทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวด อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ทำให้เคลื่อนที่ที่เส้นลวดฟิลาเมนต์ที่เป็นขั้วแคโทดด้วยความเร็วสูงเข้าชนขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดง อิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้วงในสุด(K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุดออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา L- และ M-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอ็กซ์ออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.24 รังสีเอ็กซ์ที่คายออกมาจะผ่านออกจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วย อุปกรณ์ตรวจจับ รังสีเอ็กซ์ (detector)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแต่งหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm



รูป 2.17 แสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์

ที่มา: http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm

2.4.2 เทคนิคแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง (Vibrating sample magnetometer :VSM)

1. หลักการทำงานของเครื่อง VSM

สมบัติฮิสเทอรีซิสเชิงแม่เหล็กโดยใช้เครื่อง Vibrating Sample Magnetometer (VSM) กำหนดค่าสนามแม่เหล็กภายนอกแก่สารตัวอย่างสูงสุด $10 \pm kG$ ที่อุณหภูมิต่ำ

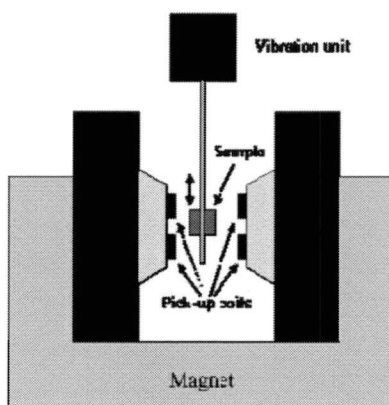
2. เทคนิค Vibrating Sample Magnetometer (VSM)

เทคนิค VSM เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของสารตัวอย่าง ในการตรวจสอบความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างโดยเทคนิคนี้ สารตัวอย่างที่บรรจุในแท่งทรงกระบอกที่เรียกว่า Sample Holder จะถูกวางในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กส่งผ่านตลอดเวลา โดยสนามแม่เหล็กนี้ถูกสร้างขึ้นและควบคุมโดยแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) ที่อยู่ด้านข้าง ดังรูปที่ 2.25 เมื่อสารตัวอย่างอยู่ในสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดสภาพแม่เหล็ก หรือเรียกว่าถูกแมกนีไทซ์ โดยสารตัวอย่างที่ถูกแมกนีไทซ์จะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กตัดผ่าน Pick-up coil ดังนั้น (ตามกฎของฟรายเดย์) VSM จึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในการหาค่าแมกนีไทเซชันของสารตัวอย่าง โดยอาศัยการสั้นของสารตัวอย่าง นอกจากนี้ VSM ยังสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในขณะที่มีการแมกนีไทเซชัน ได้อีกด้วย เมื่อมีการให้สนามที่คงที่ ซึ่งผลที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคนี้จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์แม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ให้เข้าไป (Applied Field) ซึ่งข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้ในการวิเคราะห์จึงเป็นค่าแมกนีไทเซชัน ดังนั้นจึงต้องมีการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างทุกครั้ง และนำมาหารกับค่าโมเมนต์แม่เหล็กที่วัดได้ จึงจะได้ค่าแมกนีไทเซชันที่ขึ้นกับสนามแม่เหล็กภายนอกที่ให้เข้าไป (Applied Field)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 2.18 แสดง โครงสร้างหลักของ VSM (Vibrating Sample Magnetometer)

ที่มา: <http://www.teco-rene-koch.com/highlights.html>

2.4.3 เทคนิค Atomic Force Microscopy (AFM)

ใช้ในการศึกษาพื้นผิวและความหนาจริงของฟิล์มบางที่เตรียมได้จากการวิจัย สำหรับการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 2.26 นั้นแสดงให้เห็นถึงเข็มที่ใช้ในการสแกนจะติดแน่นกับปลายด้านหนึ่งของคานซึ่งจะถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ในแนว X และ Y โดยเริ่มต้นจะทำการปรับให้แสงเลเซอร์ตกกระทบที่คาน และสะท้อนไปยังโฟโตดีเทกเตอร์ซึ่งประกอบด้วยโฟโตไดโอด 4 ตัวและเมื่อเลื่อนชิ้นงานหรือเข็มมาสัมผัสหรือเข้าใกล้กันจะมีแรงกระทำระหว่างอะตอมของเข็มกับอะตอมของชิ้นงานซึ่งมีขนาดในระดับนาโนนิวตัน คานจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนว Z ทำให้ตำแหน่งของแสงที่ตกกระทบเช่นเซอร์เปลี่ยนแปลง และสัญญาณนี้จะส่งเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์จะประมวลผลสัญญาณที่ได้รับออกมาเป็นภาพ 3 มิติบนจอแสดงผลสำหรับการทำงานของเครื่อง AFM นี้โดยทั่วไปจะแบ่งการทำงานเป็น 2 โหมด ได้แก่

1. Static mode

การทำงานในโหมดนี้ เข็มที่ติดกับส่วนคานจะถูกสแกนไปบนพื้นผิวของวัตถุ โดยแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างเข็มจะทำให้ส่วนของคานเกิดการเบี่ยงเบน และขนาดของการเบี่ยงเบนนี้จะสัมพันธ์กับแรงกระทำระหว่างเข็มกับพื้นผิวของวัตถุ การทำงานในโหมดนี้ปลายเข็มอาจจะสัมผัสหรือไม่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุที่ถูกสแกนก็ได้

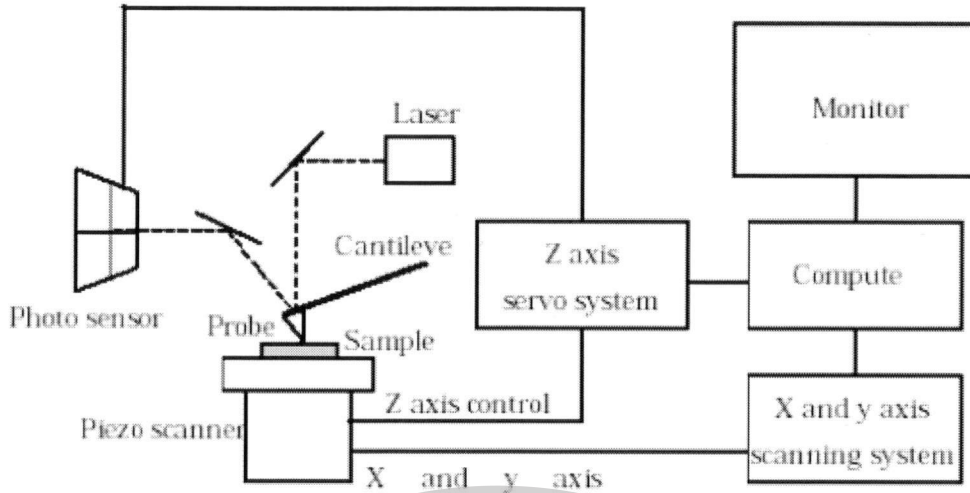
2. Dynamic mode

การทำงานในโหมดนี้ ส่วนของคานจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ และเมื่อเข็มสแกนไปบนพื้นผิว อันตรกิริยาระหว่างปลายเข็มกับพื้นผิวของวัตถุจะทำให้แอมพลิจูด, เฟสหรือความถี่ของการสั่นของส่วนคานมีการเปลี่ยนแปลง ในระหว่างสแกน ปลายเข็มอาจสัมผัส (tapping) หรือไม่สัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุ (non-contact)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบต่างๆในการทำงานของเครื่อง AFM

ที่มา: พัฒนา เทพชโลธร (2548). การเคลือบฟิล์มบางอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอน

สปีดเตอริง, หน้า 36

2.4.4 เทคนิคโพรบวัดสี่ขั้ว (4-point probe)

โพรบวัดสี่ขั้วนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดสภาพความต้านทานของฟิล์มตัวอย่างที่เป็นสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างของโพรบวัดสี่ขั้วประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าเรียงกัน 4 ขั้วซึ่งมีระยะห่างระหว่างขั้วเท่ากัน ซึ่งชุดโพรบวัดสี่ขั้วมาตรฐานที่นำมาใช้ในโครงการพิเศษนี้เป็นของบริษัท Signatone โดยการป้อนกระแสให้กับขั้วไฟฟ้าคู่หนึ่งด้วยแหล่งกำเนิดกระแสอิมพีแดนซ์สูงแล้วทำการวัด โวลต์เตจตกคร่อมขั้วไฟฟ้าคู่ในจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าสภาพความต้านทานของพื้นผิวของสารตัวอย่างได้ ซึ่งในการทำงานของโพรบวัดสี่ขั้วนี้ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ทั้งหมด 3 ประเภทด้วยกันคือ

1. Constant Current Source เป็นเครื่องที่ผลิตจาก Keithley รุ่น Model 220 Programmable Current Source ดังแสดงในรูปที่ 2.27 โดยหลักการทำงานของเครื่องนี้คือ เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับจ่ายกระแสโดยต่อกับโพรบคู่หนึ่ง กระแสที่ค่าของกระแสมากที่สุดที่สามารถใช้ได้จะขึ้นอยู่กับสมการ $V=IR$

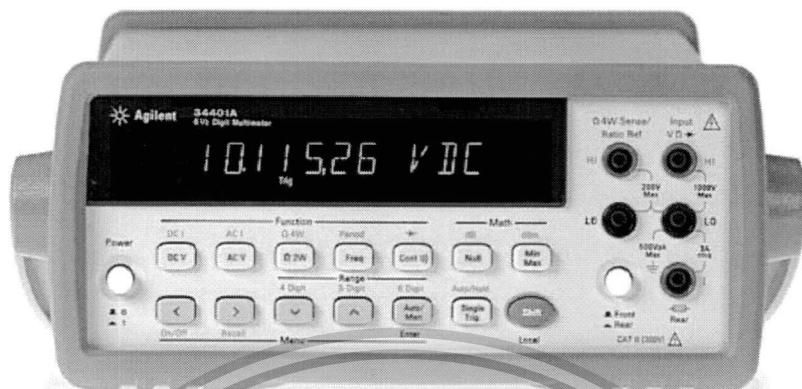


รูป 2.20 แสดง Constant Current Source ที่มา: วตาพร ทิลาพตะ (2553). การพัฒนาระบบการวัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สมบัติของสารกึ่งตัวนำด้วย 4-Point Probe, หน้า 22
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. Multimeter ผลิตจาก HP รุ่น Hewlett Packard 34401A Multimeter ดังแสดงในรูปที่ 2.28 เครื่องนี้ใช้สำหรับวัดค่า V ที่ได้จากการทำการทดลอง โดยจะต่อเครื่องนี้เข้ากับโพรบคู่ในของตัว 4-point probe



รูปที่ 2.21 แสดง Digital Multimeter ที่มา: วตาพร สีลาพตะ (2553). การพัฒนาระบบการวัดสมบัติของสารกึ่งตัวนำด้วย 4-Point Probe, หน้า 24

3. 4-point probe ผลิตมาจาก Signatone ดังแสดง ในรูปที่ 2.29 มีระยะห่างจากขั้ว 1-4 = 50 ml แรงกดสปริง 45 g ขั้วของโพรบทำมาจาก Tungsten Carbide

รูปที่ 2.22 แสดง 4-point probe ที่มา: วตาพร สีลาพตะ (2553). การพัฒนาระบบการวัดสมบัติของสารกึ่งตัวนำด้วย 4-Point Probe, หน้า 25

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันโครงสร้างMagnetic tunneling junctions (MTJs) ได้รับการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถพัฒนาไปสู่ หน่วยความจำเข้าถึงแบบสุ่ม MRAM) Magnetoresistive Random access memories) และเป็นหัวอ่านแมกเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensors) ในคิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูงมาก ๆ โดยมุ่งเน้นการศึกษาวัสดุที่จะนำมาใช้งานและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุภายใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในปี พ.ศ. 2549 Oliver Kluth และคณะ (Oliver Kluth; et al. 2006: 311-316) ได้ศึกษาเปรียบเทียบฟิล์ม CoFe ที่เตรียมด้วยเทคนิค อาเอฟ และ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริงบนกระจก เพื่อหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางแสง สมบัติทางไฟฟ้าและโครงสร้างของฟิล์ม พบว่าฟิล์ม AZO ที่ใช้เทคนิค อาเอฟ สปีดเตอริง ความหนาของฟิล์มและอุณหภูมิของแผ่นรองรับมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มความดันและออกซิเจนในการสปีดเตอริง สำหรับฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิค ดีซี แมกนีตรอนสปีดเตอริงในระบบสถิต (Static) ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำในช่วง $2.3 - 5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ในช่วงความดัน $0.04 - 4 \text{ Pa}$ โดยออกซิเจนที่ใส่เข้าไปในปริมาณน้อยแทบจะไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม โดยฟิล์มมีความโปร่งใสสูงที่อุณหภูมิแผ่นรองรับต่ำ และพบมีการกระเจิงของแสงหลังจาก การกัดฟิล์มบางให้ขรุขระโดยวิธีทางเคมี ฟิล์มที่เตรียมด้วยเทคนิค ดีซี แมกนีตรอนสปีดเตอริงระบบพลวัต (Dynamic) ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำในช่วง $8 - 40 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับระบบสถิต

ในปี พ.ศ.2549 S. U. Jen และคณะ (S. U. Jen และ Y. D. Yao, Y. T. Chen, J. M. Wu, และ C. C. Lee, T. L. Tsai และ Y. C. Chang, 2006: JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 99, 053701) ได้ทำการศึกษาฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคสปีดเตอริงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ได้ว่าโครงสร้างหลักของฟิล์มบางตัวอย่งนั้นเป็นโครงสร้างออสถุาน แต่ยังมีโครงสร้างผลึกในระดับนาโนอยู่เป็นบางส่วนซึ่งในฟิล์มบางตัวอย่างดังกล่าวได้แสดงพีกสูงสุด โครงสร้างผลึกของ CoFe ที่ระนาบ 110 แต่เนื่องจากในงานการศึกษาที่ผ่านมาของผู้วิจัยนั้นพบว่าโครงสร้างออสถุานของฟิล์มบางนั้น ส่งผลทำให้ค่าสภาพการต้านทานไฟฟ้านั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานทั่วไปที่ $100 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงการนำไฟฟ้าของฟิล์มบางให้ดีขึ้นจึงได้ทำการเตรียมฟิล์มบางโดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่ความดันก๊าซอาร์กอนต่างกันจนได้ความดันก๊าซอาร์กอนที่สามารถทำให้ฟิล์มบาง แสดงโครงสร้างผลึกของ CoFe ที่ $P_{Ar} = 5 \times 10^{-3}$ ทอร์ และจากค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (Temperature coefficient) ของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้านั้นพบว่าที่สภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์ม ที่อุณหภูมิทั้งสองที่มากกว่าอุณหภูมิห้องนั้น ($T_1=61 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $T_2=172 \text{ }^\circ\text{C}$) สามารถเปลี่ยนโครงสร้างออสถุานที่เป็นโครงสร้างหลักในฟิล์มบาง CoFeB ให้เป็นโครงสร้างแบบผลึกได้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความหนาของฟิล์มส่งผลต่อสภาพการอิมิตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแมกนีโทสตริกชันสูงสุด (λ_s) และค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) อีกด้วยและจากการวัดความหนาของฟิล์มด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพหน้าตัด ไอเจอร์ (Auger-depth profile analysis) นั้นพบว่าฟิล์มบางตัวอย่าง CoFeB นั้นเกิดชั้นออกไซด์ CoO_x ความหนาประมาณ 15 \AA ขึ้นที่บริเวณผิวบนสุดของฟิล์มบาง CoFeB และยังพบชั้นออกไซด์ CoO_x ความหนาประมาณ 20 \AA อีกหนึ่งชั้นที่บริเวณใกล้กับชั้นประสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มีอยู่ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานที่ห้ามการนำ
 ปรากฏการณ์ความใกล้ชิด (Proximity effect) ขึ้นระหว่างชั้นของ

ออกไซด์ CoO_x กับชั้นของ CoFeB ซึ่งในชั้นของ CoO_x นั้นอาจจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กเฉลี่ย (M_{ox}) เมื่อทำการวิเคราะห์จากสมการแล้วจะสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าชั้นของ CoO_x นั้นมีบทบาทสำคัญต่อค่าสภาพการอิ่มตัวทางแม่เหล็ก (M_s) ค่าแมกนีโทสตริกชันสูงสุด (Λ_s) และค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่มีความหนาอยู่ในช่วงประมาณ 50 to 503 Å

ในปี พ.ศ.2553 Chen และ Chang (Yuan-Tsung Chen และ C.C.Chang, 2010: Journal of Alloys and Compounds 498, 113–117) ได้ศึกษาถึงการเตรียมฟิล์มบาง $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{20}\text{B}_{20}$ ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความหนาตั้งแต่ 100 Å ถึง 500 Å ภายใต้เงื่อนไขการเตรียมวัสดุรองรับที่อุณหภูมิห้อง, 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) ซึ่งพบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนแบบเลือกพื้นที่ (Selected area diffraction: SAD) ที่ได้จากเทคนิค HRTEM นั้นสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย XRD ที่ว่าฟิล์มบาง CoFeB นั้นมีโครงสร้างแบบผลึกระดับนาโนแบบ Body centered cubic (BCC) ที่แสดงพิกของ CoFeB ที่ระนาบ 1 1 0 ที่อุณหภูมิห้องและโครงสร้างแบบผลึกในฟิล์มบางดังกล่าวจะเพิ่มจำนวนขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเตรียมวัสดุรองรับให้สูงขึ้นเป็น $T = 150^\circ\text{C}$ และ $T = 350^\circ\text{C}$ ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิดังกล่าวจะส่งผลทำให้ขนาดของเกรนขยายใหญ่ขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถหาการกระจายตัวของขนาดเกรนที่เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่แตกต่างกันโดยใช้เทคนิค HRTEM ซึ่งพบว่าขนาดของเกรนนั้นมีผลต่อสมบัติของสภาพความเป็นแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่ของฟิล์มบาง ซึ่งขนาดเกรนที่มีความละเอียดจะลดประสิทธิภาพของแอนไอโซโทรปีลงและจะเพิ่มการเข้าคู่แลกเปลี่ยน (Exchange coupling) ของเฟอร์โรแมกเนติกมากขึ้นอีกด้วย และเมื่อเกรนมีการกระจายตัวที่ขยายเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) นั้นมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเกรนกับผลของเทคนิคนาโนอินเด้นเตชัน (Nano-indentation) นั้นพบว่าเมื่อขนาดเกรนขยายใหญ่ขึ้นจะทำให้ค่า Young's modulus) และค่าความแข็งนั้นลดลงซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์ Hall-Petch และกลไกการทำให้เกรนมีความละเอียด

ในปี พ.ศ.2554 Tsung และ Xie (Yuan-Tsung Chen และ S.M. Xie, 2012: Journal of Nanomaterials, Article ID 486284) ได้ทำการศึกษาถึงขนาดเกรนของฟิล์มบาง $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์เพื่อให้ได้ฟิล์มบางที่มีความหนาตั้งแต่ 100 Å ถึง 500 Å ด้วยวิธีการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากทำการวิเคราะห์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้งานด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Electron Microscope) ซึ่งได้ว่าที่ฟิล์มบางที่ขนาดหนากว่า จะให้การกระจายขนาดเกรนที่ใหญ่กว่า ฟิล์มบางที่มีขนาดบางกว่า และสภาพการอึดตัวของการเป็นแม่เหล็ก (Ms) จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วความหนาของฟิล์มบาง CoFeB ยังส่งผลต่อสภาพการเป็นแม่เหล็กตกค้าง (M_r) ของฟิล์มบางอีกด้วย โดยที่สภาพการเป็นแม่เหล็กตกค้าง จะไวต่อฟิล์มบาง CoFeB ที่มีขนาดที่บางกว่า เนื่องจากขนาดเกรนที่เล็กละเอียดของฟิล์มบางนั้นจะสามารถนำพฤติกรรมสปินการเข้าสู่แลกเปลี่ยน (Exchange coupling) ได้มากกว่าฟิล์มที่มีขนาดหนา ค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างของการกระจายตัวของขนาดเกรนนั้นเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่มีโครงสร้างอสังฐานนั้นส่งผลต่อสภาพการต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้มากกว่าปกติเกินกว่า $100 \mu\Omega\cdot\text{cm}$

ในปี พ.ศ.2555 H.Sato และคณะ (H. Sato, M. Yamanouchi, K. Miura, S. Ikeda, R. Koizumi, F. Matsukura, 2012: IEEE MAGNETICS LETTERS, Volume ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยเสถียรภาพทางความร้อน Δ ของชั้นบันทึก ((Recording Layer) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบด้วยเทคนิคอาร์เอฟ แมกนีตรอนสปัตเตอริง (RF Magnetron Sputtering) ที่สามารถศึกษาได้ในแอนไอโซโทรปีเชิงตั้งฉากของฟิล์ม CoFeB/MgO โครงสร้าง Magnetic tunnel junctions (MTJs) เมื่อมีความหนาของชั้นบันทึกและขนาดแนวเชื่อม (Junction sizes) ที่แตกต่างกัน พบว่าในฟิล์มโครงสร้าง MTJs ที่มีความหนาที่ต่างกันนั้น ค่าเสถียรภาพทางความร้อน ที่พบและขนาดแนวเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 48–81 นาโนเมตรนั้นไม่ได้มีผลต่อกัน และเมื่ออธิบายด้วยแบบจำลองบนพื้นฐานการเกิดแมกนีโตเซชัน จะได้ว่าค่าเสถียรภาพทางความร้อนและค่าความ

ในปี พ.ศ.2554 Hu Wang และคณะ (Hu Wang, Xinli Kou, Shu Wang, Jun Zhou, Xudong Zhang และ Jiangong Lia, 2011: Physics Procedia 18, 267–273) ได้ทำการเคลือบฟิล์ม CoFeB/MgO ซึ่งมีปริมาณ โบรอน (B) ในระดับที่ต่างกันด้วยวิธีการเคลือบแบบแมกนีตรอนสปัตเตอริง (Magnetron sputtering) และนำไปทำการอบอ่อนหลังการเคลือบ (Post Annealed) ในอุณหภูมิที่ต่างกัน พบว่าในฟิล์มเคลือบ CoFeB/MgO ที่ปริมาณ โบรอนเพิ่มสูงขึ้นนั้นจะมีค่าโคเออร์ซิวิตี (H_c) ที่ลดลง และแสดงสมบัติโครงสร้างอสังฐาน เนื่องจากหลังการอบอ่อนในสูญญากาศฟิล์มจะปล่อยความเครียดออกมาทำให้ค่า H_c ที่ได้ลดลง โดยในฟิล์ม CoFeB/MgO ที่มีปริมาณของโบรอนต่ำนั้นค่า H_c ที่ได้จะลดลงอย่างชัดเจนมากกว่าในฟิล์ม CoFeB/MgO ที่มีปริมาณโบรอนสูง ซึ่งการวิเคราะห์ผลความเครียดในฟิล์มและแอนไอโซโทรปีในผลึก (Crystal Anisotropy) ต่อค่า H_c นั้นจะ

ได้ว่าความเครียดในฟิล์มและแอนไอโซโทรปีในผลึกทำให้ค่า H_c ที่ได้นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และการทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นผลึกขึ้นเป็นบางส่วนในฟิล์มบางตัวอย่างด้วยวิธีการอบอ่อนในสูญญากาศ โดยการเพิ่มอุณหภูมิการอบอ่อนและปริมาณโบรอนให้สูงขึ้นล้วนแต่มีผลสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ฟิล์ม CoFeB/MgO และจะเกิดการสร้างโบรอนออกไซด์ขึ้นในบริเวณนั้นทำให้สมบัติความเป็นแม่เหล็กอ้อมตัว (Ms) ของฟิล์มลดลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปริมาณโบรอนในฟิล์ม CoFeB/MgO มีบทบาทสำคัญในการกำหนดลักษณะโครงสร้าง คุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก และเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์มดังกล่าว

ในปี พ.ศ.2555 Lalminthang Kipgen และคณะ (Lalminthang Kipgen, Himanshu Fulara, M. Raju และ Sujeet Chaudhary, 2012: Journal of Magnetism and Magnetic Material, 3118–3121) ได้เตรียมฟิล์ม CoFeB ซึ่งเคลือบด้วยการสปัตเตอร์ด้วยลำแสงไอออน (Ion-beam sputter deposition system) ความหนา 5–50 นาโนเมตร โดยไม่มีการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระหว่างขั้นตอนของการเคลือบ เพื่อทำการศึกษาสมบัติความเป็นแม่เหล็กและสมบัติทางโครงสร้างของฟิล์มดังกล่าวด้วยแบบจำลองแอนไอโซโทรปีแบบสุ่ม พบว่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GAXD (Glancing angle X-ray diffraction) นั้นได้แสดงให้เห็นว่าสารเฟอร์โรแมกเนติกแบบอ่อนที่พบในฟิล์มวัสดุโครงสร้างอสัณฐาน CoFeB นั้นมีการจัดรูปแบบโครงสร้างของเกรนระดับนาโนเป็นเมตริกซ์ และถึงแม้จะไม่มีการใส่สนามแม่เหล็กจากภายนอกเข้าไปในระหว่างขั้นตอนการเคลือบ แต่กลับพบว่ามีปรากฏการณ์ของเคอร์ ด้านที่สแกนแม่เหล็กอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นอย่างชัดเจนในฟิล์มเคลือบบนระนาบตามแนวแกนแอนไอโซโทรปี (ความไม่เป็นแม่เหล็ก (K_u) เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิห้อง) 300 K) ทำให้เกิดข้อขัดแย้งขึ้นเมื่อพบความเค้นเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่แอนไอโซโทรปีที่พบดังกล่าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกรนผลึกขนาดเล็กระดับนาโนที่อยู่ในโครงสร้างเมตริกซ์ของวัสดุโครงสร้างอสัณฐานนั้นไม่สามารถอธิบายได้ในแอนไอโซโทรปีที่พบบนระนาบเดียวกัน เนื่องจากค่าเฉลี่ยช่วงอันตรกิริยาแลกเปลี่ยน (Exchange Interaction) ซึ่งกลไกต่างๆ ได้ช่วยอธิบายถึงแอนไอโซโทรปี (K_u) ในระนาบเดียวกัน เช่น แอนไอโซโทรปีเชิงรูปทรง การตกตะกอนที่เป็นไปได้ของสารผสม Fe_2B ใน CoFeB และความเครียดภายในซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างเกรนผลึกขนาดเล็กระดับนาโนและวัสดุอะมอร์ฟัส โครงสร้างเมตริกซ์ ซึ่งเชื่อว่าสิ่งสำคัญซึ่งส่งผลต่อ K_u โดยหลักแล้วมาจากแอนไอโซโทรปีแม่เหล็กความเค้นเหนี่ยวนำ ดังจะเห็นได้จากค่าโคเออร์ซีวิตตีที่สูงขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นและทิศทางแอนไอโซโทรปีตามแนวแกนที่ขึ้นอยู่กับแนวโน้มในการเกิดผลึกของแผ่นรองรับ (K_u ที่อยู่ในทิศทางระนาบ (110)).

ในปี พ.ศ.2555 Zhe Liu และคณะ (Zhe Liu, Weili Li, Weidong Fei, และ Dan Xu, 2012: Journal of Nanomaterials, Article ID 174735) ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบางอสัณฐาน CoFeB ภายใต้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกัน โดยทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีการเคลือบแบบคิซีแมกเนตรอนสปัตเตอร์ที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งในระหว่างขั้นตอนการเตรียมฟิล์มนั้นได้ทำการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กขนาด 500 Oe ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังวันรับชำระเงินค่าลิขสิทธิ์แล้ว หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารหลังวันรับชำระเงินค่าลิขสิทธิ์แล้ว หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB โดยสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางที่ได้นั้นแสดงออกเป็น 2 โครงสร้างด้วยกันคือแสดงโครงสร้างแบบผลึกของ CoFe เป็นบางส่วนและแสดงโครงสร้างหลักแบบอสัณฐาน และยังพบอีกว่าทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มนั้นยังส่งผลต่อสมบัติพื้นผิวและสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบางอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยโดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลอง ได้แก่ เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี วิธีการเตรียมฟิล์มบาง การศึกษา การวัดและการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบางที่เตรียมได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
3. อะซิโตน (Acetone)
4. น้ำสบู่
5. น้ำยาล้างจาน
6. ก๊าซอาร์กอนความบริสุทธิ์ (99.999%) จากบริษัท ที ไอ จี จำกัด ซึ่งจะใช้เป็นก๊าซสำหรับสปัตเตอร์ (Sputter Gas)
7. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized water) หรือทั่วไปเรียกกันว่า DI เป็นน้ำที่ผ่านการกรองไอออน ใช้เรซินเป็นตัวกรอง โดยผ่าน Ion Exchange เพื่อจับทั้งไอออนบวกและไอออนลบออกจากน้ำ จึงทำให้ได้น้ำที่ไม่มีไอออนหลงเหลืออยู่ และเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงอย่างแท้จริง เพราะโมเลกุลที่เหลืออยู่จะมีเพียงโมเลกุลของน้ำ H_2O เท่านั้น โดยใช้น้ำชนิดนี้ในขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นรองรับแก้วและซิลิคอนในห้องปฏิบัติการ เพราะเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง

3.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาดต่างๆ
2. ถูมือยางแบบไม่มีแป้ง (ไร้ฝุ่น)
3. กระจกทรายเบอร์ 100
4. คีมปากคีบ
5. ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจนพร้อมหัวเป่า
6. ภาชนะเก็บชิ้นงาน
7. นาฬิกาจับเวลา
8. มัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog Multimeter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

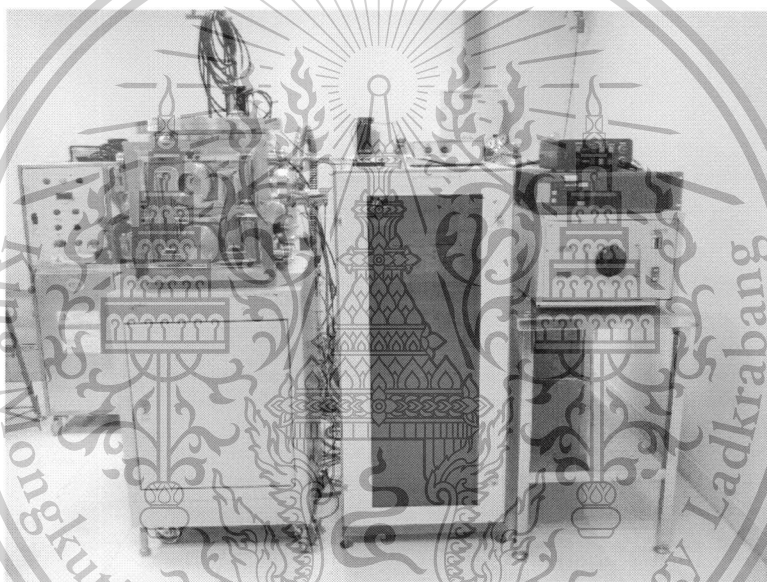
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9. วัสดุรองรับเป็นวัสดุที่ใช้เคลือบฟิล์มบาง ใช้กระจกสไลด์ใสและซิลิกอน เวเฟอร์ (100) มีผิวเรียบขนาด 1x1 นิ้ว

10. เป้าสารเคลือบ CoFeB (Target) ในอัตราส่วน Co: Fe:B เท่ากับ 40:40:20 มีลักษณะเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 1/4 นิ้ว มีความบริสุทธิ์ 99.995%

11. เป้าสารเคลือบไทเทเนียม (Ti) ในอัตราส่วน Co:Fe:B เท่ากับ 40:40:20 มีลักษณะเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 1/4 นิ้ว มีความบริสุทธิ์ 99.995%

12. เครื่องสเปคโตรริง ระบบ ดีซี แมกนีตรอน สเปคโตรริง ของวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 3.1 ชุดเครื่องเคลือบฟิล์มบางสเปคโตรริง

ที่มา: หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มีส่วนประกอบสำคัญ คือ

ก. ระบบเครื่องสูบลูญากาศ

ระบบเครื่องสูบลูญากาศทำหน้าที่สูบลอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศ ประกอบด้วยเครื่องสูบล 2 ชนิด คือเครื่องสูบลูญากาศโรตารี (Rotary pump) มีหน้าที่ในการสร้างสุญญากาศขั้นต้นให้กับภาชนะสุญญากาศและขับเคลื่อนการทำงานของปั๊มแพร่ไอน้ำมัน สามารถสร้างสุญญากาศภายในภาชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สูญญากาศที่มีความดันต่ำประมาณ 10^{-2} mbar และเครื่องสูบลมไอน้ำมีหน้าที่สูบลมอากาศออกจากภาชนะสูญญากาศสามารถลดความดันภายในภาชนะสูญญากาศลงได้ อยู่ในระดับ $10^{-5} - 10^{-6}$ mbar

ข. ภาชนะสูญญากาศ (Vacuum chamber)

การเคลือบฟิล์มบางจะกระทำอยู่ในภาชนะสูญญากาศ ซึ่งทำมาจากเหล็กกล้าโดยมีฝาปิด/เปิดเพื่อใส่ชิ้นงานอยู่ด้านบน มีช่องทางต่างกระจกเพื่อใช้สังเกตดูระหว่างกระบวนการสปีดเตอริงเพื่อสามารถควบคุมการทำงานระหว่างกระบวนการสปีดเตอริงได้

ค. อิเล็กโทรดและหัวแมกนีตรอน

หัวแมกนีตรอนเป็นแบบทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรและขั้วอิเล็กโทรดซึ่งทำจากทองแดง และส่วนทองแดงนี้จะใช้สำหรับติดตั้งเป้าสารเคลือบโดยมีตัวยึดทำจากเหล็กกล้ามีลักษณะเป็นวงแหวนยึดด้วยสลัก โดยรอบจำนวน 6 จุด มีซีลด์ซึ่งทำจากเหล็กกล้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว ครอบอยู่เพื่อป้องกันหัวแมกนีตรอนระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยมีแผ่นปิดอยู่ด้านหลังของเป้าสารเคลือบ และใช้เป้าสารเคลือบและแท่นจับวัสดุรองรับเป็นอิเล็กโทรด

ง. ระบบหล่อเย็น

ระบบหล่อเย็นนี้เป็นระบบหล่อเย็นด้วยน้ำสามารถปรับอุณหภูมิของน้ำได้ต่ำถึง 15 องศาเซลเซียส ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับเครื่องสูบลมไอน้ำ หัวแมกนีตรอนและเป้าสารเคลือบ โดยการต่อท่อน้ำจากด้านหลังของถังน้ำหล่อเย็นเข้าสู่ระบบน้ำหล่อเย็นทางด้านล่างของระบบสูญญากาศ และปั๊มไอน้ำ เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของน้ำเย็นระหว่างเครื่องสูบลมไอน้ำ หัวแมกนีตรอนและเป้าสารเคลือบกับถังน้ำหล่อเย็น

จ. ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า

ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า จะเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงแบบฟูลเวฟ สามารถปรับความต่างศักย์ได้ 0-700 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 0-2 แอมแปร์ ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าแก่ส่วนหัวแมกนีตรอนคาโทด เพื่อทำให้เกิดการโกลดิสซาร์จ) ก๊าซอาร์กอนแตกตัวเป็นไอออน (และสนามไฟฟ้านี้จะเร่งไอออนที่เกิดขึ้นนำไปสู่การเกิดกระบวนการสปีดเตอริง มีโหมดการทำงานแบ่งเป็น 3 โหมด คือ Power regulate, Current regulate และ Voltage regulate มีระบบป้องกันการอาร์คโดยการตรวจวัดสถานะของโกลด

ฉ. ระบบป้องกันแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประกอบด้วยวาล์ว 2 ทางทำหน้าที่ในการควบคุมอัตราการไหลหรือเปิด/ปิดการจ่ายก๊าซเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยมีส่วน Mass flow controller ที่ควบคุมการทำงานโดยผ่านตัว Control Unit ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปริมาณของแก๊สที่ปล่อยเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยแก๊สอาร์กอนและออกซิเจนที่เข้าสู่ระบบจะถูกป้องกันจากถังแก๊สผ่านวาล์ว 2 ทางไปยัง Mass Flow Controller ก่อนเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ ซึ่งแก๊สทั้งสองชนิดจะไหลผ่านท่อที่แยกออกจากกัน แก๊สอาร์กอนจะไหลเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศบริเวณอิเล็กทรอนิกส์และหัวแมกนีตรอน ทำให้แก๊สอาร์กอนที่ป้อนเข้าสู่ระบบฟุ้งกระจายอยู่บริเวณด้านหน้าเป่าสารเคลือบอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดกระบวนการสปัตเตอร์ริงที่ผิวหน้าของเป่าสารเคลือบอย่างทั่วถึง ส่วนแก๊สออกซิเจนจะไหลเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศบริเวณแท่นรองชิ้นงานเพื่อที่สามารถทำปฏิกิริยากับอะตอมของสารเคลือบที่ตกไปยังชิ้นงานที่ได้ดียิ่งขึ้น

13. อ่างล้างความถี่สูง (Ultrasonic Bath) ยี่ห้อ Elmasonic รุ่น E30H วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นระบบทำความสะอาดอุปกรณ์เครื่องใช้โดยใช้ระบบเสียง Ultrasound ซึ่งเป็นเสียงที่อยู่ในระดับความถี่ 15-400 KHz และต้องใช้สารละลายที่เหมาะสมพร้อมกันด้วย การทำความสะอาดโดยระบบนี้จำเป็นต้องมีสารละลายทำความสะอาดที่เหมาะสมเพราะหลักการทำงานของเครื่องคือ การช่วยให้สารละลายที่จะทำการชะล้างทำความสะอาดมีประสิทธิภาพสูงสุด เครื่อง Ultrasonic นั้นมีหลักการทำงานคือ ส่งคลื่นความถี่สูงลงสู่สารละลายที่ใช้ชะล้าง การส่งคลื่นความถี่สูงลงไปนั้นของเหลวที่ส่งลงไปนั้นส่งผลให้โมเลกุลของของเหลวเกิดการบีบอัดสั้นสะเทือน เป็นผลให้มีฟองอากาศสุญญากาศเล็ก ๆ จำนวนมากผุดขึ้น เรียกลักษณะดังกล่าวว่ากระบวนการ Cavitation แต่เนื่องจากฟองอากาศดังกล่าวไม่ใช่ฟองอากาศที่เกิดจากการตีน้ำธรรมดา เพราะเกิดจากคลื่นความถี่สูง จากรายงานพบว่าจะทำให้ฟองอากาศ Collapse ต้องใช้อุณหภูมิ 10,000K ความดัน 50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพราะฉะนั้นฟองอากาศเล็ก ๆ ดังกล่าวจึงมีพลังงานแฝงอยู่ ซึ่ง (สามารถจะชะล้างคราบหรือสิ่งฝังที่อยู่บนผิวอุปกรณ์ได้โดยไม่ทำลายชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากฟองอากาศมีเป็นจำนวนมาก จึงสามารถเข้าซอกซอนในทุกซอกมุมเล็ก ๆ ได้ด้วย เครื่องที่สามารถผลิตคลื่นความถี่ได้สูงเท่าไร มีผลให้เกิดฟองอากาศดังกล่าวได้มากและพลังแฝงมาก ซึ่งก็จะมีผลให้การทำความสะอาดดีขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 อ่างล้างความถี่สูง Elmasonic รุ่น E30H

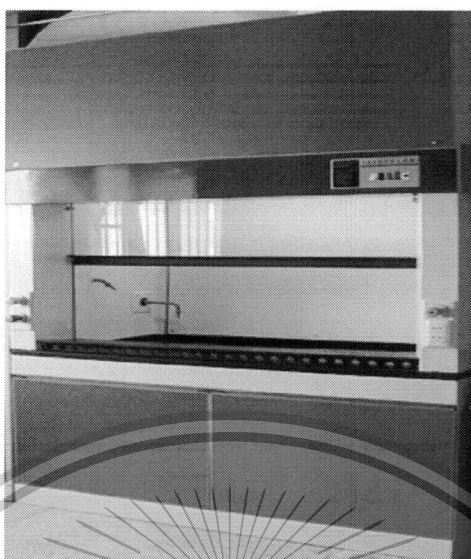
ที่มา: หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

14. ตู้ดูดอากาศ (Fume Hood) วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการที่ทำหน้าที่ ป้องกันผู้ปฏิบัติการจากอันตรายของสารเคมีหรือสารระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) อาทิเช่น Acetone และ Ethanol เป็นต้น ระหว่างการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นจากการสัมผัสกับผิวหนังโดยตรง หรือทางการหายใจก็ตาม อีกวัตถุประสงค์รองลงมาคือเพื่อป้องกันผลกระทบของการหกหรือกระเด็นในส่วนพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยมีหลักการทำงานคือเริ่มจากการดูดอากาศภายในบริเวณที่เครื่องนี้ตั้งอยู่ ผ่านทางด้านบนของเครื่องไปทางผนังด้านหลัง และไหลไปตามท่อลมออกเครื่อง จนส่งออกสู่ภายนอกอาคารในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



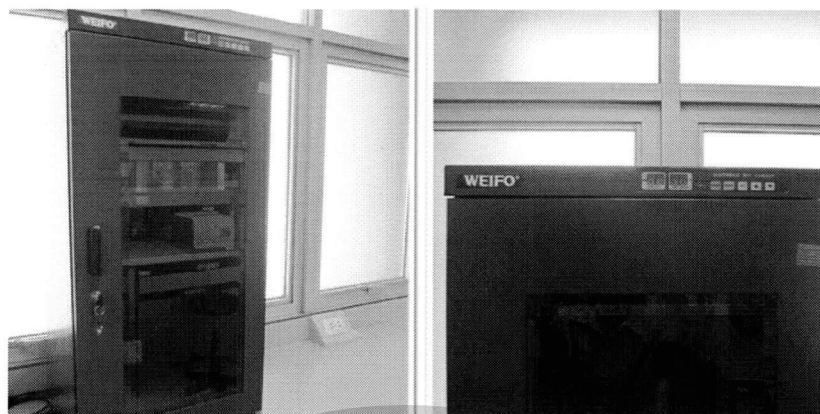
รูปที่ 3.3 ตู้ดูดอากาศ ที่มา: หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

15. ตู้ดูดความชื้น (Electronic Dry Cabinet) ยี่ห้อ WEIFO รุ่น DRY-60 วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภายในตู้ดูดความชื้นประกอบด้วย Shape memory alloy & IC Timer และซีโอไลต์(Zeolite) เมื่อค่าความชื้นภายในตู้ไม่เกินไปตามค่าที่กำหนด IC Timer ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับความชื้นภายในตู้ จะสั่งการให้ Shape memory alloy ทำปฏิกิริยากับกระแสไฟฟ้า ทำให้ขดลวดคลายตัว และวาล์วเปิดออกให้อากาศภายในตู้เข้ามาที่กล่องดูดความชื้น เพื่อเข้ากระบวนการดูดซับ โดยซีโอไลต์จะทำหน้าที่ในการดูดซับความชื้นและปล่อยออกนอกตู้ เมื่อค่าความชื้นเป็นไปตามค่าที่เรากำหนด IC Timer จะสั่งให้ Shape memory alloy หยุดทำงาน ขดลวดจะหดตัว เพื่อให้วาล์วปิด การทำงานจะวนเวียนอยู่แบบนี้อัตโนมัติ เพื่อรักษาระดับความชื้นภายในตู้ ขึ้นตอนในการลดความชื้นทั้งหมดจะไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง และไม่เกิดหยดน้ำขึ้นภายในตู้ จึงทำสิ่งของที่เราเก็บคงสภาพอยู่ได้อย่างยาวนาน โดยไม่เสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



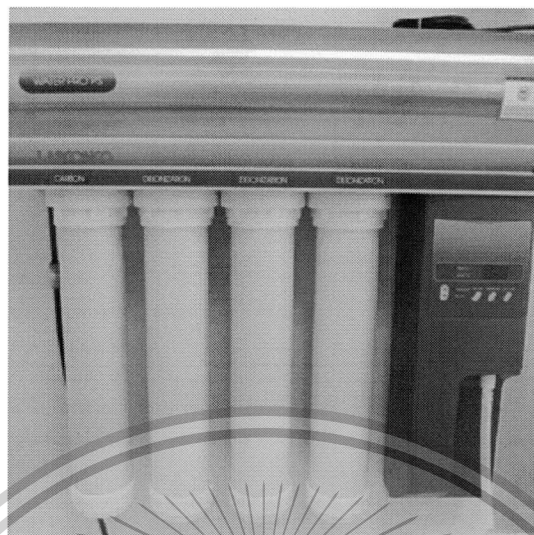
รูปที่ 3.4 ตู้ดูดความชื้น ที่มา: หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

16. เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน (Deionization Water) ยี่ห้อ WATER PRO PS รุ่น LABCONCO 9000502 วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาศัยหลักการของไฟฟ้าเพื่อสร้างให้เกิดความต่างศักย์ที่ปลายขั้วทั้งสองข้างของแผ่น Anode และ Cathode โดยมีสารกรอง Mixed Resin ซึ่งถูกประกบด้วย Cation Membrane และ Anion Membrane วางเรียงซ้อนกันเหมือนแซนวิชประกบเป็นคู่ ๆ เมื่อมีน้ำไหลผ่านเข้าไปในช่องของ Mixed Resin สนามไฟฟ้าประจุบวกจะดึงประจุลบในน้ำผ่าน Anion Membrane และสนามไฟฟ้าประจุลบจะดึงประจุบวกผ่าน Cation Membrane ประจุของสารละลายจะมารวมกันในช่องของ Concentrate ซึ่งจะทำให้ในส่วนนี้มีความเข้มข้นสูงขึ้นและปล่อยออกทิ้ง ขณะเดียวกันจะเกิดการแตกตัวของ H^+ และ OH^- ในโมเลกุลของน้ำในบริเวณที่ Cation Resin และ Anion Resin สัมผัสกันทำให้เกิดการล้างคืนรูปสารกรอง Resin ไปพร้อมกัน ทำให้น้ำที่ออกจากส่วนของสารกรองเป็นน้ำบริสุทธิ์ไม่จำเป็นต้องล้างคืนรูปสารกรองอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

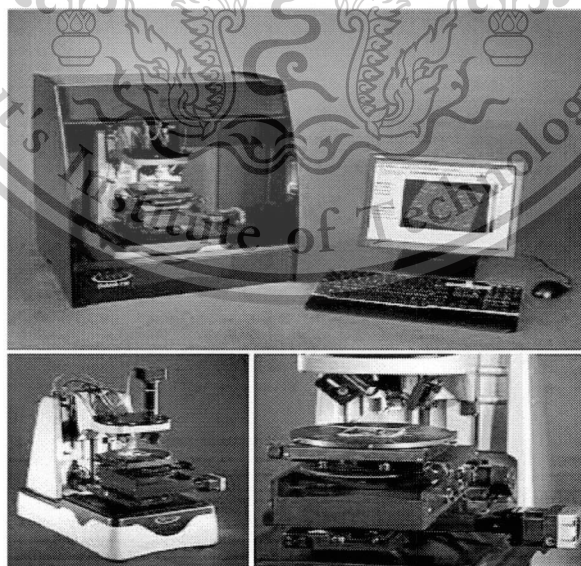
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน ที่มา: หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

17. เครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) รุ่น Veeco Dektak 150 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าคุณสมบัติความหนาของพื้นผิว (Surface thickness) โดยใช้ปลายวัด (Stylus) ซึ่งทำด้วยเพชรลากไปยังบริเวณพื้นผิวที่ต้องการวัดในระยะทางที่กำหนด จากนั้นเครื่องจะเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นค่าคุณสมบัติของผิว (Surface parameter) ซึ่งเครื่องจะทำการคำนวณและแปลผลออกมาให้อยู่ของกราฟ



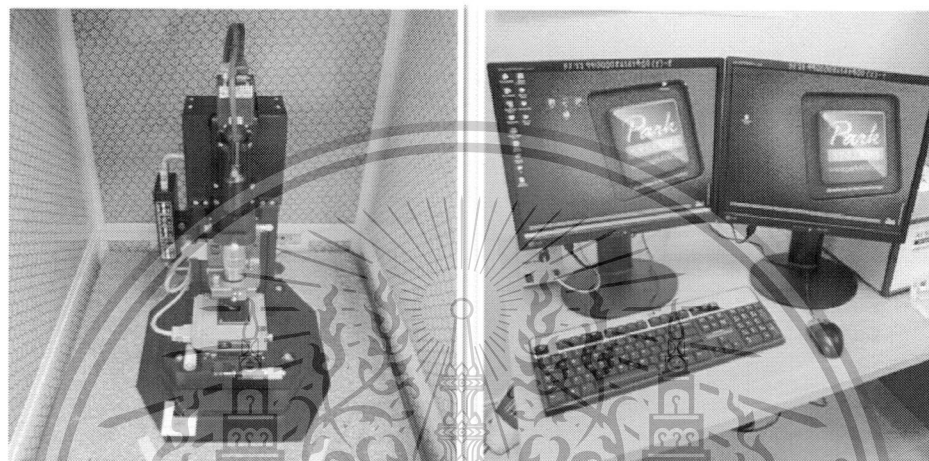
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความหนาฟิล์ม ที่มา: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

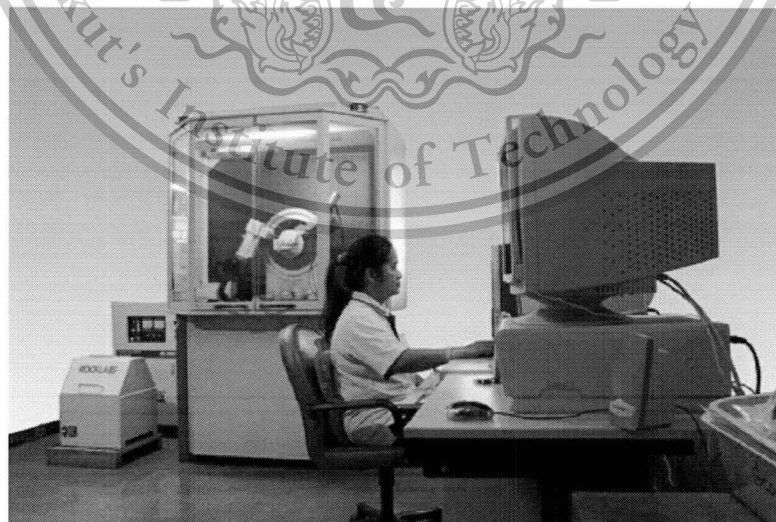
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

18. กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy) รุ่น Park system XE 100 วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางในระดับนาโน โดยอาศัยหลักการของอันตรกิริยาของแรงระหว่างอะตอม (atomic force) ระหว่างหัวเข็มวัดในระดับนาโนกับพื้นผิวของสาร และจะทำการประมวลผลออกในลักษณะของภาพพื้นผิว



รูปที่ 3.7 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม ที่มา: หน่วยวิจัยและบริการเครื่องมือกลาง วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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



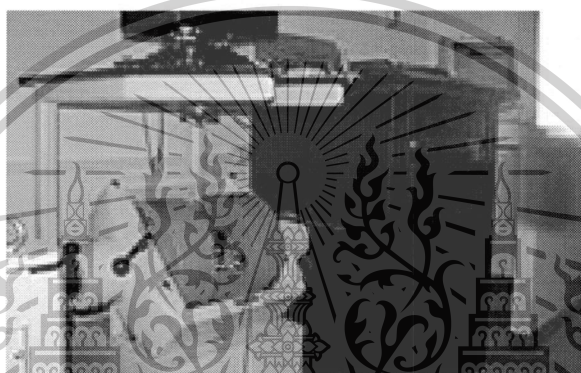
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูป 3.8 เครื่องวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่มา: ศูนย์เครื่องวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

20. เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น (Vibrating Sample Magnetometer) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งใช้วิเคราะห์สมบัติสเทอร์ริซิงแม่เหล็กโดยการกำหนดค่าสนามแม่เหล็กภายนอกแก่สารตัวอย่างสูงสุด ± 10 kG ที่อุณหภูมิห้อง



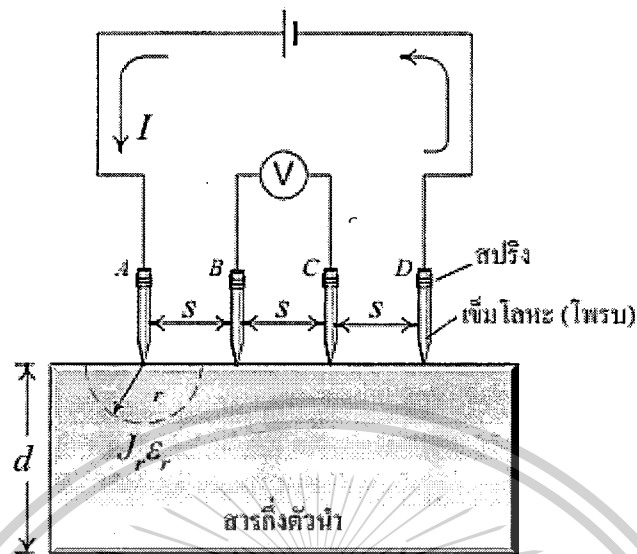
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น ที่มา: หน่วยวิจัยเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

21. ชุดเครื่องมือวัด โพรบวัดสี่ขั้ว (4-point probe) พร้อมชุดจับยึดและขับเคลื่อนที่ได้ โดยการคิดค้นและพัฒนาของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โพรบวัดสี่ขั้วนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มตัวอย่างที่เป็นสารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและทดลอง ประกอบด้วยเข็มโลหะจำนวน เข็ม มี 4 ปลายแหลม และอาจมีสปริงช่วยให้ปลายของเข็มถูกกดและสามารถสัมผัสกับระนาบผิวหน้าด้านที่เคลือบฟิล์มบางของชิ้นงานสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี เข็มทั้ง 4 คือ 4A, B, C และเข็ม D อยู่ห่างกันเป็นระยะ s เท่า ๆ กัน ซึ่งในทางปฏิบัติทุกๆ ไป จะมีค่าราว มม ดังแสดงในรูปที่ 1 - 0.53.10 และอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน ในการวัดจะเริ่มจากการปล่อยกระแสที่เข้าไปที่เข็มด้านนอกสุด คือเข็ม A และ D ทำให้มีกระแสไหลจากขั้ว A ผ่านเนื้อสารกึ่งตัวนำไปยังเข็ม D จึงเกิดมีแรงดันตกคร่อมเนื้อสารและถูกวัดออกมาที่ขั้ว B และ C หลังจากนั้นนำค่ากระแสที่ I และแรงดัน V ที่วัดได้มาคำนวณหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 ชุดเครื่องมือวัดโพรบวัดสี่ขั้ว ที่มา: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

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

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB โดยวิธีดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง (DC Magnetron Sputtering) การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB และศึกษาผลของกำลังไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง ซึ่งได้แก่ สมบัติโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

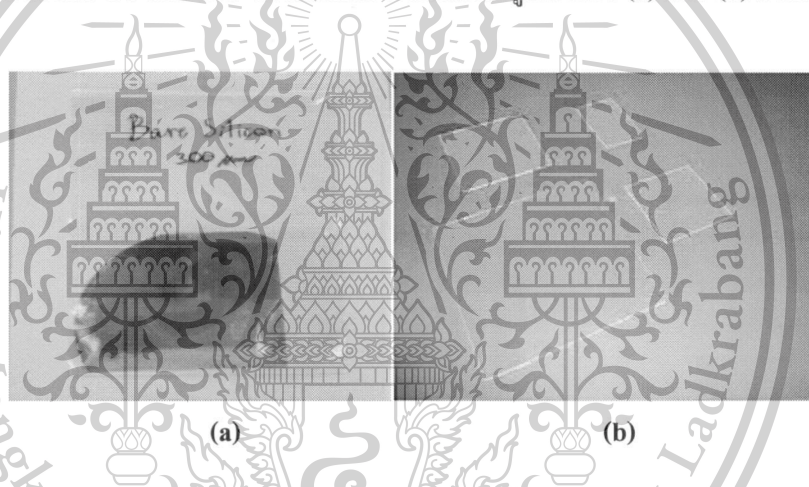
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนของการดำเนินการทดลอง โดยรวมดังนี้

1. การเตรียมวัสดุรองรับ
2. การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB
 - ภายใต้อุณหภูมิสูงในการเตรียมฟิล์มที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน
 - ภายใต้อุณหภูมิสูงในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในระหว่างเตรียม
3. การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง CoFeB

1. การเตรียมวัสดุรองรับ

วัสดุรองรับที่ใช้ในการทดลองเป็นกระจกสไลด์ขนาด 1x1 นิ้ว หนา 0.10 เซนติเมตร และซิลิกอน เวเฟอร์ ขนาด 1x1 นิ้ว หนา 300 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (a) และ (b) ตามลำดับ



รูป 3.11 (a) วัสดุรองรับกระจกสไลด์ (b) วัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ ที่มา: วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซึ่งวัสดุรองรับเหล่านี้ก่อนนำมาศึกษาหรือเคลือบฟิล์มจะต้องนำมาทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่อยู่บนผิวของวัสดุรองรับให้ปราศจากคราบฝุ่นไขมัน สารอินทรีย์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผิวกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ที่สะอาดทำให้ฟิล์มที่เคลือบยึดติดแน่นลงบนผิววัสดุรองรับทั้งสอง ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติที่ดีของฟิล์มด้วย ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการทำความสะอาดแบ่งตามประเภทของวัสดุรองรับ ดังนี้

1.1 การทำความสะอาดวัสดุรองรับกระจกสไลด์

เริ่มจากตัดชิ้นงานกระจกสไลด์ให้มีขนาด 1x1 นิ้ว นำชิ้นกระจกสไลด์ล้างด้วยน้ำยาล้างจาน เพื่อขจัดฝุ่นและคราบไขมันแล้วล้างออกด้วยน้ำเปล่า แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น (DI) อัลตราโซนิคด้วยอะซิโตน 5 นาทีเพื่อล้างคราบไขมันและสิ่งสกปรกที่ติดแน่นที่ไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้ แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำไปอัลตราโซนิกด้วยเมทานอลอีก 5 นาที หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปอัลตราโซนิกด้วยน้ำกลั่น เป็นเวลา 5 นาที นำชิ้นงานขึ้นโดยใช้คีมตีมและล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง นำแผ่นแก้วสไลด์มาทำให้แห้งโดยการเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจน หลังจากนั้นเก็บแผ่นรองรับที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วไว้ในกล่องนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อรอทำการเคลือบต่อไป (หากยังมีคราบสกปรกอยู่ให้นำกลับไปทำความสะอาดใหม่ในขั้นตอนการอัลตราโซนิกด้วยน้ำ DI อีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที) โดยขั้นตอนการล้างวัสดุรองรับกระจกสไลด์แสดงดังรูปที่ 3.12

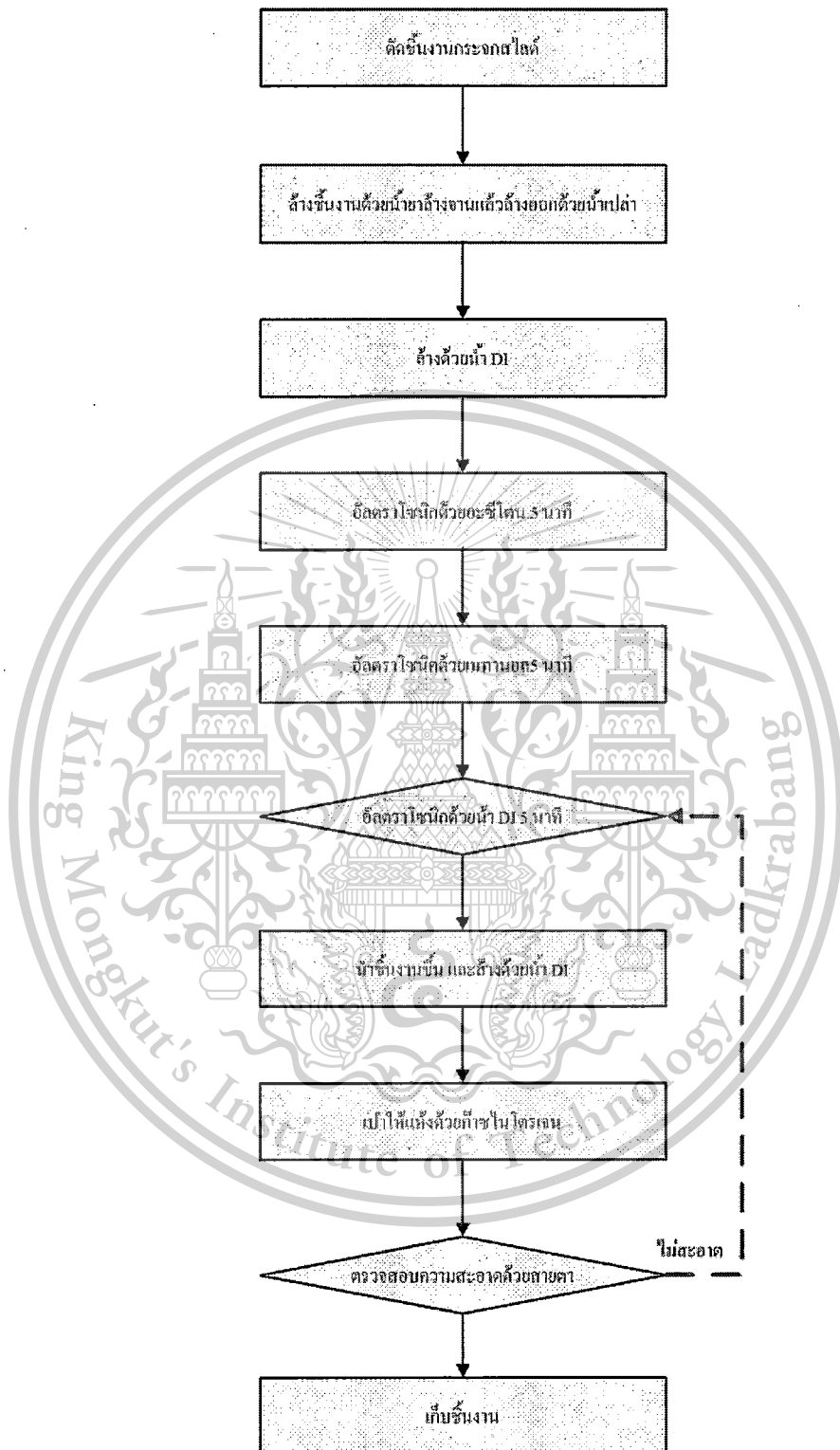
1.2 การทำความสะอาดวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

เริ่มจากตัดชิ้นงานซิลิกอน เวเฟอร์ให้มีขนาด 1x1 นิ้ว นำชิ้นกระจกสไลด์ล้างด้วยน้ำยาล้างจาน เพื่อขจัดฝุ่นและคราบไขมันแล้วล้างออกด้วยน้ำเปล่า แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น (DI) จากนั้นนำชิ้นงานไปอัลตราโซนิกด้วยสารละลายปิรันฮา (Piranha solvent) ซึ่งเป็นสารผสมระหว่างกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในอัตราส่วน ($H_2SO_4 : H_2O_2 = 3:1$) เพื่อกำจัดอนุภาคปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์ออกจากพื้นผิวแผ่นซิลิกอน เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนเดียวกันกับการทำความสะอาดวัสดุรองรับกระจกสไลด์ดังกล่าวข้างต้นในหัวข้อที่ 1.1 (การทำความสะอาดวัสดุรองรับกระจกสไลด์) โดยขั้นตอนการล้างวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์แสดงดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

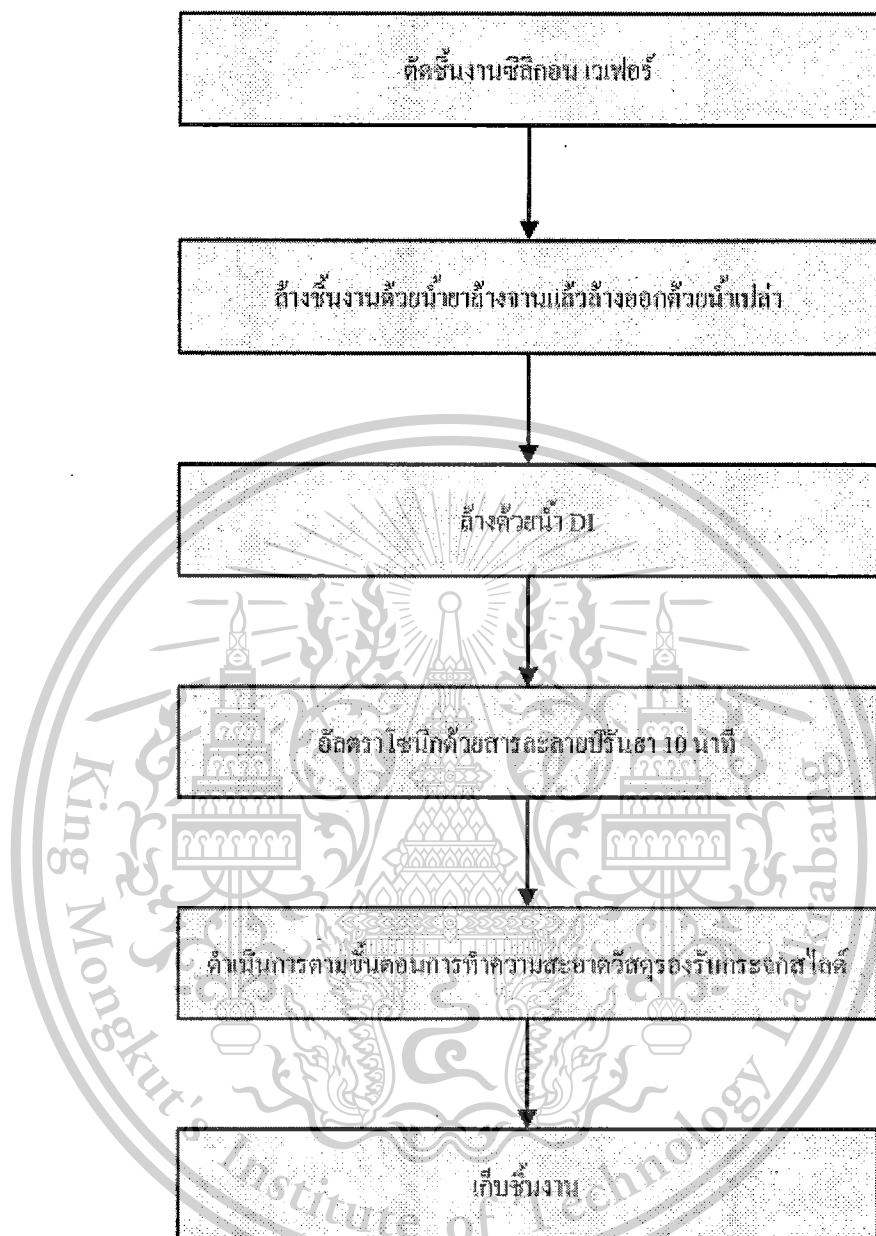


รูป 3.12 แผนภาพไคอะแกรมแสดงการทำความสะอาดกระจกชั้นงาน ที่มา: ชุติรัตน์ อธิบุกิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.13 แผนภาพไดอะแกรมแสดงการทำความสะอาดชิ้นงานซิลิกอน เวเฟอร์ที่มา: ชุติรัตน์ อิบูกิ

หมายเหตุ ควรนำวัสดุรองรับที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว ไปทำการเคลือบฟิล์มทันทีหากเป็นไปได้ ไม่ควรเก็บวัสดุรองรับที่ทำความสะอาดแล้วไว้เป็นเวลานานเกินไป เพราะอาจมีสิ่งปนเปื้อนต่าง เช่น ฝุ่นชนิดต่างๆ ไออน้ำ และสารเคมีจับผิวหน้าวัสดุรองรับได้ แม้จะเก็บไว้ในภาชนะที่ป้องกันอย่างดีก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB

การเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยวิธี ดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron Sputtering) จากเป้า CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับที่เป็นกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์ และใช้ก๊าซอาร์กอน (Ar) 99.995 % เป็นก๊าซพลาสมา โดยควบคุมการไหลของก๊าซด้วยวาล์วเข็ม (Needle valve) ในทางทดลองจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ของการเคลือบฟิล์มที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ความดันก๊าซอาร์กอน กำลังไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบ และระยะห่างระหว่างเป้ากับแผ่นรองรับ เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยได้ควบคุมระยะห่างระหว่างเป้ากับวัสดุรองรับที่ 11 เซนติเมตร แล้วนำฟิล์มที่เตรียมตามสภาวะเงื่อนไขต่างๆ ไปศึกษาสมบัติโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะ สมบัติการนำไฟฟ้า และสมบัติความเป็นแม่เหล็ก โดยมีรายละเอียดการเตรียมฟิล์มดังนี้

1. ทำความสะอาดภายในภาชนะสุญญากาศ (Chamber) โดยเก็บเศษฝุ่นผง และเช็ดทำความสะอาดคราบสกปรกภายในที่เกิดขึ้นขณะสปัตเตอริงในครั้งที่ผ่านมาออกให้หมด ใช้ลูมิเนียมฟอยล์บุผนังด้านในภาชนะสุญญากาศเพื่อป้องกันการติดตามผนังขณะสปัตเตอริง

2. นำวัสดุรองรับที่เตรียมไว้ในข้อ 1 มาวางไว้บนแท่น (ทั้งกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์) วางวัสดุรองรับ งขึ้นงานรองรับ ซึ่งอยู่ด้านล่างของภาชนะสุญญากาศ และเป็นขั้วบวก (Anode) เพื่อใช้เป็นชิ้นงานเคลือบ โดยมีเป้า CoFeB ที่ติดอยู่ด้านบนและเป็นขั้วลบ (Cathode) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 กำหนดระยะห่างระหว่างเป้ากับวัสดุรองรับเป็น 11 เซนติเมตร ก่อนทำการสปัตเตอริงต้องปิดเป้าด้วยชัตเตอร์ (Shutter) ที่ทำจากอลูมิเนียมเพื่อป้องกันการเคลื่อน แล้วเปิดฝาภาชนะสุญญากาศให้สนิท

3. เปิดสวิตช์เครื่องทำความเย็นและระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนของเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ (Diffusion pump : DF) และขั้วลบ (Cathode) ขณะทำการสปัตเตอริง

4. เปิดสวิตช์ควบคุมเครื่องสปัตเตอริง เปิดระบบปั๊มเริ่มจากเปิดสวิตช์เครื่องสูบลูกกลิ้ง (Rotary pump : RP) เปิดเครื่องสูบบแบบแพร่ไอ (Diffusion pump : DF) สร้างสภาวะสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศจนความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าประมาณ 8.5×10^{-6} mbar ซึ่งจะใช้เป็นค่าความดันเริ่มต้น (Base Pressure) ของระบบก่อนที่จะทำการเคลือบฟิล์ม

5. เปิดระบบก๊าซอาร์กอน (Ar) หมุนเปิดวาล์วที่ถึงก๊าซและปรับปริมาตรการปล่อยก๊าซ เพื่อปล่อยก๊าซอาร์กอนจากถังบรรจุก๊าซเข้าสู่ภาชนะสุญญากาศ โดยปรับวาล์วจนความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าตามสภาวะเงื่อนไขที่ต้องการ โดยการปรับวาล์วเข็ม (Needle valve) ควบคุมความดันก๊าซอาร์กอนจนกว่าจะคงที่

6. เปิดแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หมุนปรับเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt) แล้วปรับกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการตามเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่คาโทด จนกระทั่งเกิดกระบวนการไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดิสชาร์จขึ้นในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน โดยชัตเตอร์ยังคงปิดกั้นระหว่างคาโทดกับชิ้นงาน

7. ทำการพรีสปัตเตอร์ (Pre-sputtering) บริเวณผิวหน้าของเป้า CoFeB โดยไม่ต้องเปิด ชัตเตอร์ เพื่อเป็นการทำความสะอาดผิวหน้าเป้าก่อนการเคลือบเป็นเวลาประมาณ 5 นาที หรือรองจนกว่าค่าความดันก๊าซอาร์กอนที่ตั้งไว้ในขั้นตอนที่ 5 นั้นจะคงที่ บันทึกผลค่า (Vpre) และ (Ipre) ที่เกิดขึ้นจากโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์แสดงบนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

8. เริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB โดยทำการป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่คาโทดตามสภาวะเงื่อนไขที่ต้องการ และทำการเปิดชัตเตอร์ที่ปิดหน้าเป้าสารเคลือบออก เพื่อเริ่มกระบวนการเคลือบฟิล์มลงบนชิ้นงาน พร้อมทั้งบันทึกผลค่าต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ค่ากระแสไฟฟ้า (I) และความดัน (P_{coat}) ที่เกิดขึ้นขณะเริ่มทำการเคลือบฟิล์ม

9. ทำการเคลือบฟิล์มตามเวลา (t) ที่กำหนด

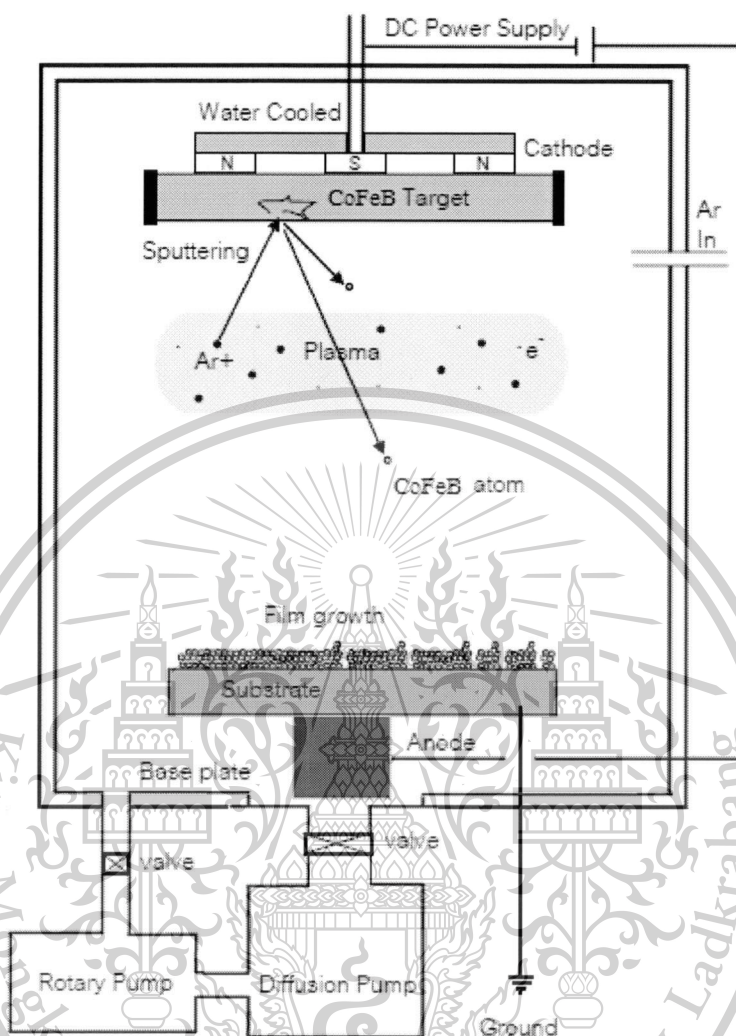
10. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเคลือบฟิล์ม ปิดชัตเตอร์ ปิดแหล่งจ่ายไฟ ปิดระบบน้ำหล่อเย็น และปิดแก๊สอาร์กอน รอให้ภายในภาชนะสุญญากาศค่อย ๆ เย็นลงแล้วจึงเปิดอากาศเข้าไปในภาชนะสุญญากาศเพื่อเปิดเอาชิ้นงานออกมา

11. นำชิ้นงานฟิล์มบางออกจากภาชนะสุญญากาศ และทำการวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 3.14 แสดงระบบดีซีแมกนีตรอนสเปตเตอร์ริง ที่มา: สุสิทธิ์ อธิบุก

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาถึงสภาวะเงื่อนไขต่าง ๆ ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่จะส่งผลต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบางที่เคลือบได้ โดยสภาวะเงื่อนไขที่สนใจ ทำการศึกษาเพื่อใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ประกอบด้วย

ก. สภาวะเงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มที่กัลังไฟฟ้าต่างกัน

ทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ตามขั้นตอนการเตรียมฟิล์มข้างต้นบนวัสดุรองรับ กระดาษไคต์และซิลิกอนเวเฟอร์ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขตามตารางที่ 3.1 โดยทำการเปลี่ยนกัลังไฟฟ้าในการเคลือบดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความดันก๊าซอาร์กอน (RUN PRESSURE) : 5×10^{-3} MBAR			
ความดันเริ่มต้น (BASE PRESSURE) : 8.5×10^{-6} MBAR			
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

ตาราง 3.1 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง CoFeB

หมายเหตุ ค่าความดันก๊าซอาร์กอน ความหนาฟิล์มบางและเวลาที่ใช้ในการเคลือบนั้นสามารถหาได้จากการศึกษาทดลองตามขั้นตอนและวิธีการดังแสดงในภาคผนวก

ข. สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กในระหว่างเตรียม

อีกหนึ่งวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อต้องการศึกษาผลของสนามแม่เหล็ก ที่ใส่เข้าไปขณะดำเนินการเตรียมฟิล์มที่มีต่อสมบัติทางโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติความเป็นแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์แมกเนติกเซนเซอร์ (Magnetic Sensors) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป

ทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ตามขั้นตอนการเตรียมฟิล์มข้างต้นดังกล่าวบนวัสดุรองรับทั้งสอง ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็ก (กระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์) ความเข้มข้น 300 Oe ในทิศทางขนาน (In plane) และทิศทางตั้งฉาก (Out of plane) เข้าไปในขณะดำเนินการเตรียมฟิล์มที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เงื่อนไขในการเตรียมฟิล์มบางที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และเนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลักษณะบริเวณในการจัดวางวัสดุรองรับของเครื่องสเปคโตริงนั้น มีข้อจำกัดอยู่ทำให้ไม่สามารถเตรียมฟิล์มบางในสภาวะเงื่อนไขได้อย่างปกติทั่วไป ดังนั้นจึงมีการประยุกต์และออกแบบอุปกรณ์ในการยึดติดวัสดุรองรับเข้ากับแท่นวางเพื่อให้สามารถดำเนินการเตรียมฟิล์ม CoFeB ภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะที่ทำการเคลือบได้ ดังรูปที่ 3.14 (a) และ (b) สำหรับไดอะแกรมอุปกรณ์การจัดวางวัสดุรองรับและการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนาน (In plane) และสนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก (Out of plane) ตามลำดับ

หมายเหตุ ในการเคลื่อนที่อนุภาคในสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปขณะดำเนินการเคลือบฟิล์มบางนั้นจำเป็นต้องใช้การเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้าเข้าไปช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ดังกล่าวด้วย ดังนั้น เพื่อที่จะช่วยการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า จึงต้องทำการเคลือบวัสดุรองรับทั้งสอง กระบอกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ด้วยไททานเนียม (Ti) ที่กำลังไฟฟ้า 150W เป็นเวลา 10 นาทีภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.1 เพื่อให้เป็นชั้นสัมผัส ก่อนที่จะทำการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ต่อไป

ความดันก๊าซอาร์กอน (RUN PRESSURE) : 5×10^{-3} MBAR		
ความดันเริ่มต้น (BASE PRESSURE) : 8.5×10^{-6} MBAR		
ความหนาฟิล์มบาง CoFeB : 5000Å		
กำลังไฟฟ้าในการเคลือบ : 200W		
เวลาที่ใช้ในการเคลือบ : 15 นาที		
ชิ้นงาน	วัสดุรองรับ	เงื่อนไขการเตรียมฟิล์ม
M01G/M01S	แก้ว/ซิลิกอน	ไม่ใส่สนามแม่เหล็ก
M02G/M02S	แก้ว/ซิลิกอน	ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน
M03G/M03S	แก้ว/ซิลิกอน	ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก

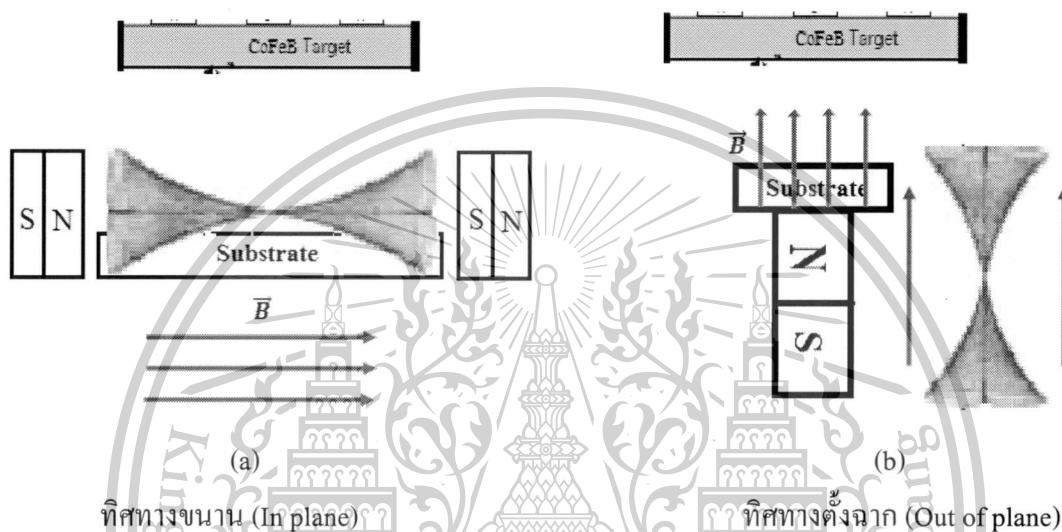
ตาราง 3.2 สภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองการเคลือบเพื่อศึกษาผลของสนามแม่เหล็กที่มีต่อสมบัติฟิล์มบาง CoFeB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หมายเหตุ จากตาราง 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มซึ่งได้แก่ ความดันก๊าซอาร์กอน ความดันเริ่มต้น ความหนาฟิล์มบาง กำลังไฟในการเคลือบ และเวลาที่ใช้ในการเคลือบนั้น ได้มาจากผลการวิเคราะห์สภาวะเงื่อนไขของการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน (ตามข้อ กซึ่งทำให้สมบัติ (โครงสร้าง สมบัติพื้นผิว และสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางที่ดีที่สุด



รูป 3.15 แสดงไดอะแกรมการเตรียมฟิล์มภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กระหว่างดำเนินการเคลือบฟิล์ม ที่มา: ชุติรัตน์ อีบุก

3. การวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง CoFeB

หลังจากเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์แล้ว นำฟิล์มบางที่ได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB โดยแบ่งการวิเคราะห์ตามสภาวะเงื่อนไขในการเตรียมทั้ง 2 สภาวะดังต่อไปนี้

3.1 ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สภาวะเงื่อนไขกำลังที่ไฟฟ้าต่างกัน

- การวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)
- การวิเคราะห์สมบัติพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM)
- การวิเคราะห์สมบัติการยึดเกาะ ด้วยเทคนิคการลอกของเทปกาว (Sticky Tape Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 พิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สภาวะเงื่อนไขการใส่สนามแม่เหล็กในขณะดำเนินการเคลือบ

- การวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD)
- การวิเคราะห์สมบัติพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscope: AFM)
- การวิเคราะห์สมบัติไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า (HP Digital Multimeter) ชนิด 4 โพรบ (4-point probe)
- การวิเคราะห์สมบัติความเป็นแม่เหล็ก ด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น (Vibrating Sample Magnetometer: VSM)

โดยในการศึกษานี้แบ่งการวิเคราะห์เปรียบเทียบออกเป็น 2 วัตถุประสงค์ด้วยกัน วัตถุประสงค์แรกคือเปรียบเทียบสภาวะเงื่อนไขที่สามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และอีกวัตถุประสงค์คือเปรียบเทียบผลของวัสดุรองรับทั้งสอง ฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document, when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ จะนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาและทดลองในบทที่ 3 โดยเริ่มจากการวิเคราะห์หาช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB วิเคราะห์หาเวลาที่สามารถเคลือบฟิล์มให้ได้ที่มีความหนาที่ต้องการ (5000Å) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มและวัสดุรองรับที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction) การศึกษาสมบัติพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscopy :AFM) การหาสมบัติการยึดเกาะด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว (Sticky Tape Test) การหาความต้านทานไฟฟ้าและสภาพต้านทานไฟฟ้าเพื่อศึกษาถึงสมบัติด้านไฟฟ้าด้วยเทคนิคชุดเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว (Four point probe) และการวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบสั่นตัวอย่าง (Vibrating Sample Magnetometer) เป็นต้น

4.1 ค่าช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB

จากการทดลองในบทที่ 3 ก่อนที่จะเริ่มทำการศึกษาในเรื่องนี้ต่าง ๆ ผู้วิจัยต้องทำการศึกษาถึงช่วงความดันก๊าซอาร์กอนที่ดีและเหมาะสมต่อการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีซีดีแมกนิตรอนสปีดเตอริงและต่อเครื่องเคลือบฟิล์มอีกด้วย เนื่องจากค่าความดันก๊าซหรือปริมาณความหนาแน่นของโมเลกุลก๊าซภายในระบบที่ใช้ในการสปีดเตอริงนั้นมีผลต่อกระบวนการ โกลดวิสซาร์จและมีผลต่อการเคลือบฟิล์ม

ในการทดลองได้สร้างภาวะสูญญากาศให้ภาชนะสูญญากาศมีความดันต่ำสุด (Base pressure) เท่ากับ 8.5×10^{-6} mbar และทำการทดลองที่ค่าช่วงความดันก๊าซอาร์กอนต่าง ๆ คือ 3×10^{-5} mbar, 5×10^{-5} mbar, 7×10^{-5} mbar และ 9×10^{-5} mbar ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) ที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งศึกษาหาความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กำลังไฟฟ้า : 150 W

เวลาในการเคลือบ : 15 นาที

ความดัน 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

ตาราง 4.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่บันทึกได้ในสภาวะเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง การเคลือบเพื่อหาช่วงความดันก๊าซที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB

1. ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์และสมบัติต่าง ๆ ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB

ในกระบวนการสเปคโตรริงเพื่อเคลือบฟิล์มแบบดีซีแมกนีตรอน สเปคโตรริงนั้น พบว่าค่าความดันก๊าซอาร์กอนที่เข้าสู่ระบบหรือที่เข้าสู่ภาชนะสุญญากาศนั้นจะมีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการเคลือบซึ่งได้แก่ ความต่างศักย์ดิสชาร์จและกระแสไฟฟ้า

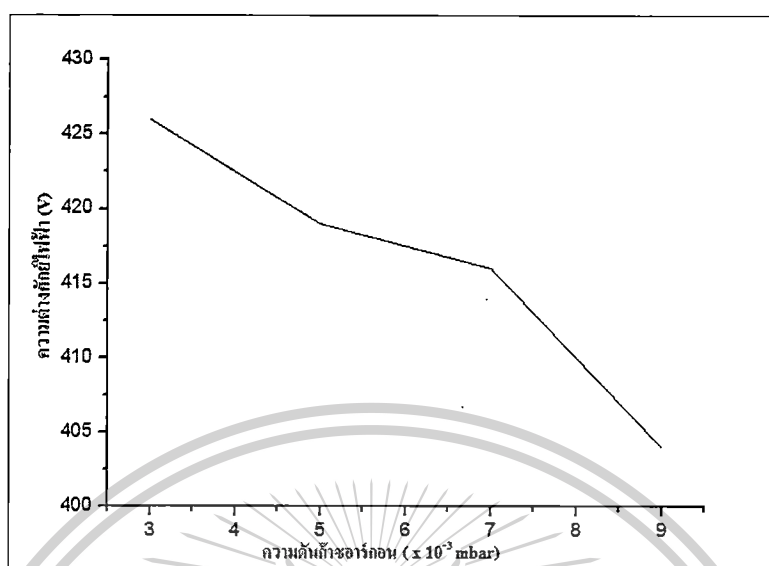
ก. ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน

จากกราฟที่ 4.1 พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอนนั้นมีความแปรผกผันกันอยู่ โดยเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนเข้าไปในระบบการเคลือบฟิล์ม ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าลดลงตามความดันก๊าซอาร์กอนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อค่าความดันก๊าซอาร์กอนเพิ่มขึ้นไปถึง 9×10^{-3} mbar ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจาก 416 V เป็น 404 V ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสเปคโตรริงแบบดีซี แมกนีตรอน ที่กล่าวไว้ ($P = IV$) ดังนั้นจะได้จากการทดลองนี้ความดันก๊าซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศในขณะเคลือบนั้นมีผลต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในกระบวนการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอน สเปคโตรริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอน

จ. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอน

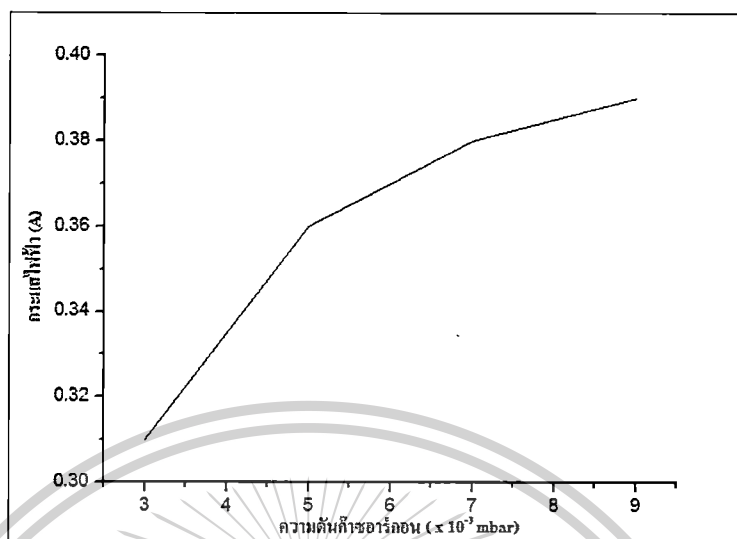
เมื่อทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่ากระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอนจะพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอนให้สูงขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ดังนั้นจะได้อะไรจากการศึกษาความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศในขณะเคลื่อนที่นั้น มีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการเคลือบดังกล่าว

ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศขณะเคลื่อนที่นั้น มีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคซีแมกนีตรอน สเปคโตรสโกปี อันเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอนในระบบสุญญากาศให้สูงขึ้นปริมาณแก๊ซอาร์กอนก็จะเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้เกิดการแตกตัวระหว่าง Ar^+ และ อิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้นซึ่งเมื่อมีปริมาณอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึงค่ากระแสไฟฟ้าในระบบก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในทางตรงกันข้ามจะทำให้ค่าความต้านทานที่อยู่ระหว่างเป้าสารเคลือบกับฐานของวัสดุรองรับนั้นลดลงซึ่งส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ในตำแหน่งดังกล่าวลดลงด้วย ดังนั้นจะได้อะไรจากการทดลองนี้ความเข้มข้นแก๊ซอาร์กอนที่ใส่เข้าไปในระบบสุญญากาศในขณะเคลื่อนที่นั้น มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ทั้งสอง ที่วัดได้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มบาง (กระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า) CoFeB ด้วยเทคนิคซีแมกนีตรอน สเปคโตรสโกปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความดันก๊าซอาร์กอน

ค. ความสัมพันธ์ระหว่างการยึดเกาะของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกับความดันก๊าซอาร์กอน

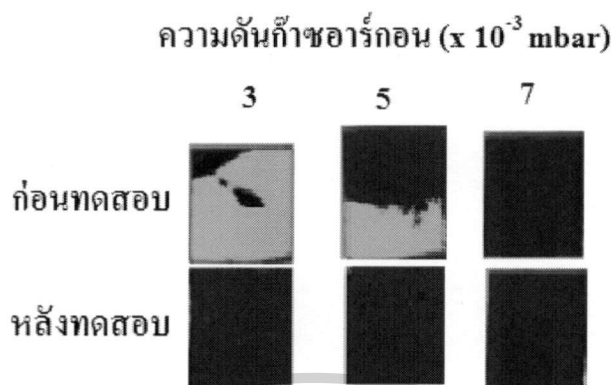
จากการนำฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ช่วงความดันก๊าซอาร์กอนต่าง ๆ กันไปทำการศึกษาสมบัติการยึดเกาะ (Adhesion property) ด้วยเทคนิคการลอกของเทปกาว (Sticky Tape Test) นั้นจะพบว่าหลังจากใช้เทคนิคการลอกเทปกาวแล้ว ฟิล์มบาง CoFeB ที่ถูกเคลือบที่ความดันก๊าซอาร์กอน 3×10^{-5} mbar, 5×10^{-5} mbar และ 7×10^{-5} mbar นั้นเหลือติดอยู่ที่แผ่นแก้วเรียงจากน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุดตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าสมบัติการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความดันก๊าซอาร์กอนในการเคลือบซึ่งอาจจะได้ว่าความดันก๊าซอาร์กอนนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบางเคลือบ CoFeB กับวัสดุรองรับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนแผ่นแก้ว

รูป 4.3 การทดสอบสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่ความดันก๊าซอาร์กอนต่างกัน

จากการทดลองจะเห็นว่าในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางที่ความดันของก๊าซอาร์กอน 5×10^{-5} mbar นั้นเป็นความดันที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB เนื่องจากสามารถทำให้ระบบเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงนั้นทำงานได้อย่างเสถียรและเกิดความคลาดเคลื่อนได้น้อยที่สุดในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าความดันที่มีค่าต่ำและสูงมากเกินไป (3×10^{-5} mbar, 7×10^{-5} mbar และ 9×10^{-5} mbar**) นั้นจะทำให้เกิดความไม่เสถียรของระบบและความคลาดเคลื่อนของความดันในขณะที่เตรียมฟิล์มอันเนื่องมาจากข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องเคลือบฟิล์มที่ใช้อยู่ และอีกนัยหนึ่งความดันที่น้อยจนเกินไปจะทำให้ก๊าซอาร์กอนที่เข้าไปปลั๊กดันอะตอม CoFeB ให้เคลื่อนที่ไปเกาะบนแผ่นรองรับช้าและน้อยส่งผลให้ฟิล์มบางที่ได้นั้นมีความบางมากจนเกินไปและในทางตรงกันข้ามความดันที่ใช้หากมากเกินไปจะทำให้ก๊าซอาร์กอนเข้าไปปลั๊กดันอะตอม CoFeB ให้เคลื่อนที่ไปเกาะบนแผ่นรองรับเร็วและมากเกินไปส่งผลให้ฟิล์มบางที่ได้นั้นมีความหนาจนเกินไปได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะนำค่าช่วงความดันก๊าซที่ได้จากการทดลองคือ 5×10^{-5} mbar ไปใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง ต่อไป

4.2 การทดลองหาอัตราการเคลือบของฟิล์มบาง CoFeB

ในการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติด้านต่าง ๆ ของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ด้วยวิธีดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอริงนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสม และสอดคล้องระหว่างเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์สมบัติ อาทิ) เช่น เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ กล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบบแรงอะตอม และเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั้น เป็นต้นและฟิล์มตัวอย่างที่นำไปศึกษา (วิเคราะห์) และเพื่อให้ฟิล์มตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์นั้นมีความสอดคล้องกับเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ฟิล์มตัวอย่าง CoFeB ที่เตรียมไว้นั้นต้องมีความหนาของชั้นฟิล์มอยู่ที่ 5000Å ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการเตรียมฟิล์ม CoFeB ด้วยการเคลือบแบบวิธีดีซี แมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงให้มีความหนาเท่ากับ 5000Å และพบว่าการที่จะเตรียมฟิล์มเพื่อให้ได้ความหนาดังกล่าว ต้องทำการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการเคลือบซึ่งได้แก่ ค่าความดันก๊าซอาร์กอน กำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเคลือบฟิล์ม เป็นต้น

ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองตามสภาวะเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นดังตารางที่ 4.2 เพื่อทำการวิเคราะห์หาความหนาในแต่ละกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB .5 แล้วทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

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

ตาราง 4.2 แสดงตารางสภาวะเงื่อนไขเพื่อหาเวลาในการเตรียมฟิล์มเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ (5000Å)

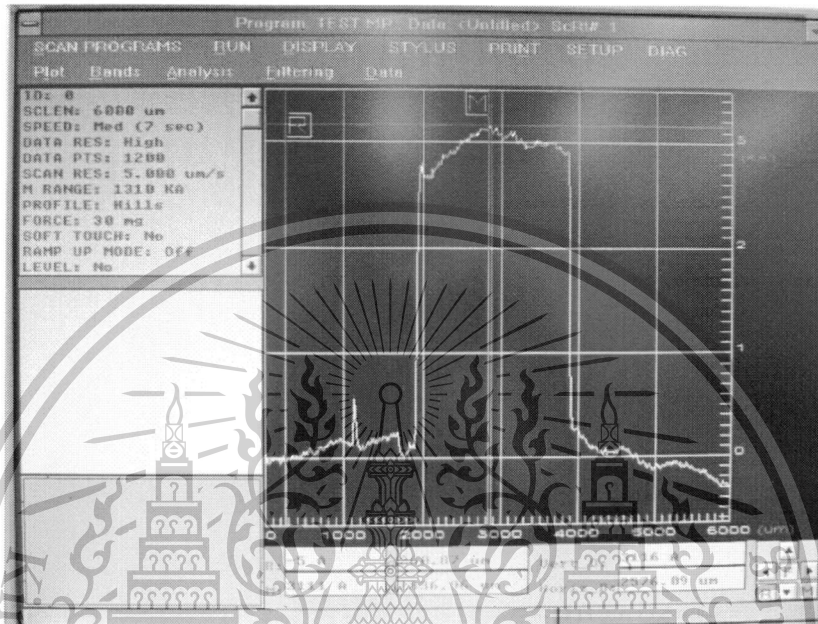
หลังจากนำฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมได้จากสภาวะเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น ไปวัดความหนา (Thickness) ด้วยเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ได้ผลความหนาดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ โดยในรูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าความหนาของฟิล์มบาง W001 ที่วัดได้จากเครื่อง Surface profiler ซึ่งจะเห็นระยะของกราฟในแนวตั้งจากเส้นระนาบพื้นผิว (ระนาบแผ่นรองรับ)

ได้เป็นระยะทางเท่ากับ (ระนาบของฟิล์ม) ขึ้นถึงจุดสูงสุดของเส้นกราฟ 3116 นั่นคือค่าความหนา Å เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

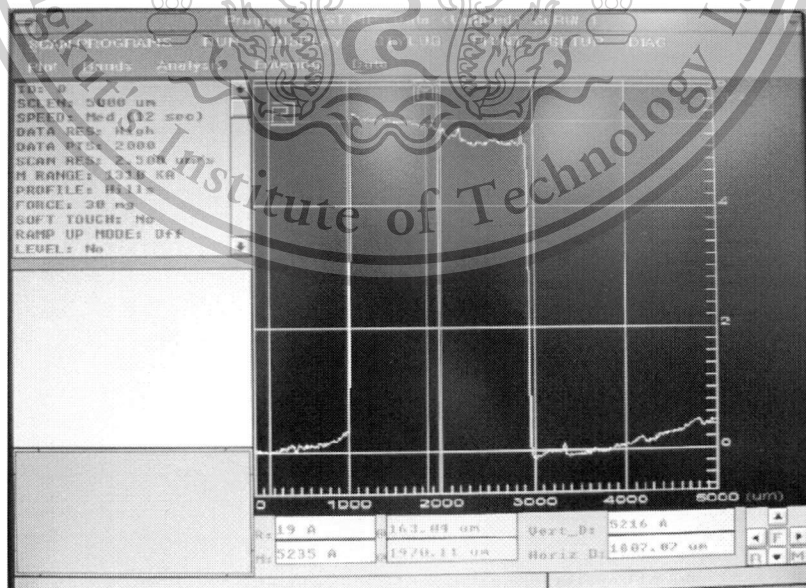
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของฟิล์มบาง CoFeB (W001) ที่เคลือบได้ และเท่ากับ 5216 Å, 3449 Å, 4884 Å และ 5209 Å สำหรับฟิล์มบาง W002, W003, W004(1) และ W004(2) ตามลำดับ หลังจากนั้นนำค่าความหนาที่วัดได้ไปหาค่าความหนาเฉลี่ยและนำไปหาอัตราการเคลือบ (Deposited rate : Å/sec) ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3



รูป 4.4 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W001



รูป 4.5 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W002

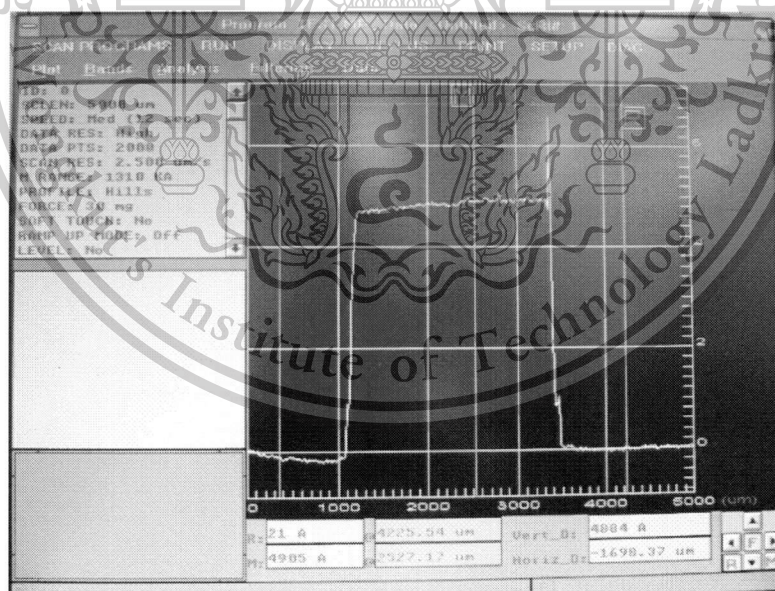
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.6 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W003

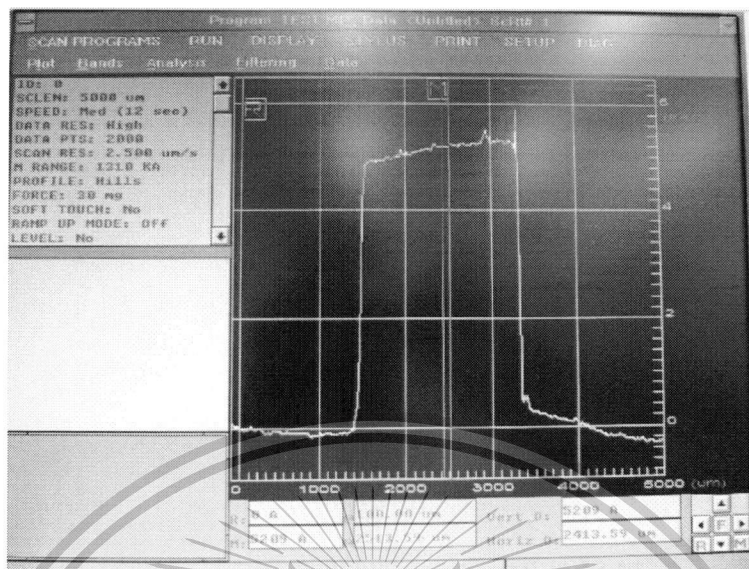


รูป 4.7 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W004 ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.8 ค่าความหนาที่วัดได้จากเครื่องวัดความหนาฟิล์ม (Surface profiler) ของฟิล์มบาง W004 ครั้งที่ 2

จากตารางที่ 4.3 จะได้ว่าที่การเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 50W, 100W, 150W และ 200W นั้นมีค่าความหนาเฉลี่ยของฟิล์มที่วัดได้เป็น 3138.5Å , 5216 Å , 3475.5 Å และ 5046.5 Å หลังจากนั้นนำความหนาดังกล่าวไปคำนวณหาอัตราการเคลือบได้เป็น 1.744, 2.898, 3.862 และ 5.607 Å/sec ตามลำดับ

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบแบบดีซีแมกเนตรอนสเป็คเตอรัง

ลักษณะความสัมพันธ์ของค่าอัตราการเคลือบฟิล์มกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบแบบดีซีแมกเนตรอนสเป็คเตอรังตามรายละเอียดที่ได้จากตารางที่ 4.3 สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 4.3 โดยพบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบจะทำให้อัตราการเคลือบเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจจะมาจากกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นทำให้เกิดโมเมนต์สูงของไอออนบวกเข้าไปชนกับอะตอมเป้าสารเคลือบ CoFeB ทำให้อะตอมหลุดออกมามากขึ้นและเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจลน์ที่สูงขึ้น ทำให้อะตอมที่ตกลงมานั้นมีพลังงานที่ได้รับจากโมเมนต์ในการชนที่สูงขึ้นส่งผลให้อะตอมมีความสามารถในการเคลื่อนที่ (Surface Mobility) ที่สูงเพิ่มขึ้นด้วย

หลังจากนั้นนำอัตราการเคลือบของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้มาคำนวณหาเวลาที่จะใช้ในการเคลือบ เมื่อต้องการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ให้มีความหนาเท่ากับ 5000Å โดยเวลาที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar						
ความดัน 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

ตาราง 4.3 ค่าอัตราการเคลือบที่คำนวณได้จากค่าความหนาของฟิล์มบางที่วัดได้ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน

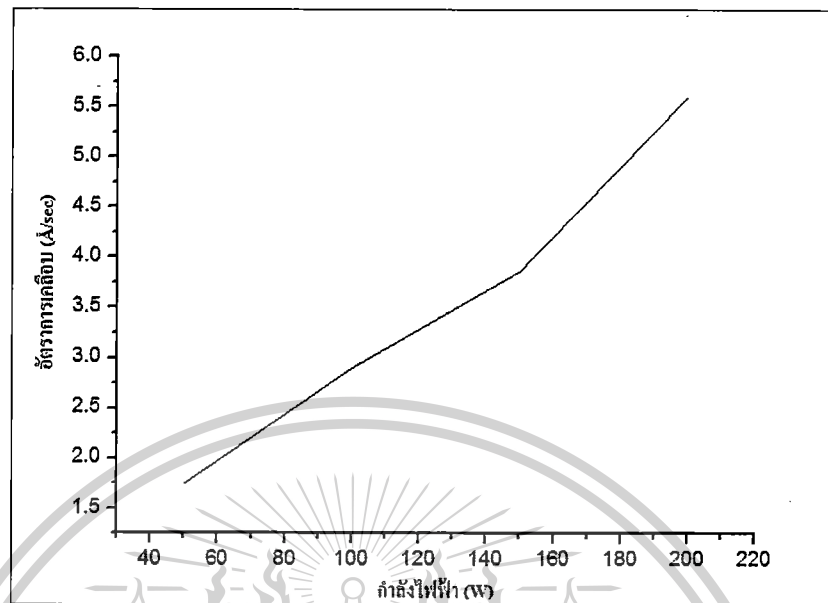
รหัสฟิล์มบาง	กำลังไฟฟ้า (W)	ความหนา (Å)	อัตราการเคลือบ (Å/sec)	เวลา (mins)
W001	50	5000	1.744	48
W002	100	5000	2.898	29
W003	150	5000	3.862	22
W004	200	5000	5.607	15
***	250	5000	7.353	11

ตาราง 4.4 เวลาที่คำนวณได้เพื่อใช้ในการเคลือบฟิล์มบางตามความหนาที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเคลือบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง

CoFeB

หมายเหตุ เนื่องจากต้องการทำการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 250W ด้วยดังนั้น จึงทำการหาค่าความหนาที่ กำลังไฟฟ้างกล่าวเพิ่มเติม โดยการจำลองกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มกับกำลังไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 4.4 โดยหา แนวโน้มความน่าจะเป็นของความหนาฟิล์มได้จากสมการกราฟเชิงเส้นดังต่อไปนี้

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

เมื่อ $R_1 = 2$; โดยที่ $x =$ กำลังไฟฟ้า (W)

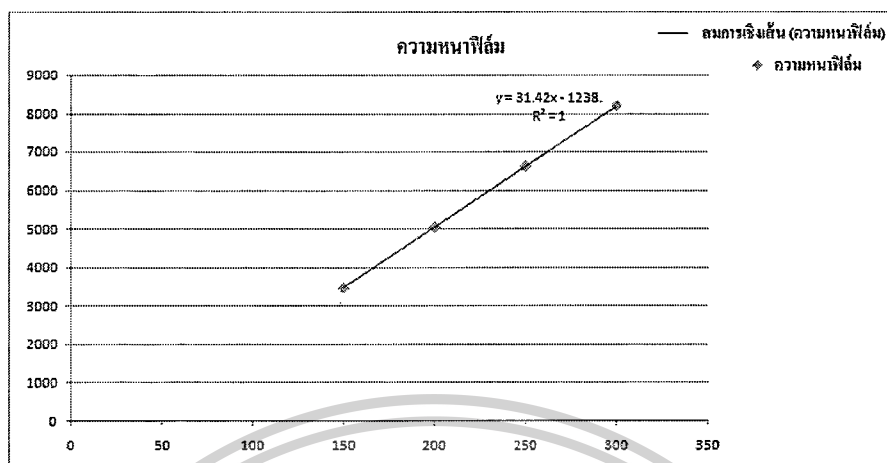
$y =$ ความหนาฟิล์ม (Å)

จากสมการ (4.1) ดังกล่าวข้างต้น เมื่อกำหนดให้ กำลังไฟฟ้า (x) = 250W จะได้ว่าความหนาฟิล์ม (y) = 6618Å และนำความหนาฟิล์มที่จำลองได้ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 250W ไปคำนวณค่าอัตราการเคลือบได้เป็น 7.353 Å/sec และได้เวลาที่จะใช้ในการเคลือบฟิล์มบางให้มีความหนาเป็น 5000Å เท่ากับ 11 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.4 กราฟแสดงการจำลองความสัมพันธ์เพื่อหาความหนาของฟิล์มที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 250W

เมื่อได้เวลาในการเคลือบที่เหมาะสมในแต่ละกำลังไฟฟ้างดตารางที่ 4.4 แล้วจะได้สภาวะเงื่อนไขในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์ ด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอน สเปคโตริเพื่อให้ได้ความหนาที่ 5000 Å ที่กำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 50W, 100W, 150W, 200W และ 250W นั้นจะต้องใช้เวลาในการเคลือบเป็น 48, 29, 22, 15 และ 11 นาที ตามลำดับ แต่เนื่องจากการเคลือบที่กำลังไฟฟ้า 50W นั้นใช้เวลาในการเคลือบนานเกินไป (48) นาทีซึ่งไม่เหมาะสมกับ (เครื่องสเปคโตริที่ใช้เนื่องจากอาจทำให้เกิดความไม่เสถียรและความไม่แน่นอนของระบบได้ ดังนั้นจึงเริ่มทำการทดลองตั้งแต่กำลังไฟฟ้าที่ 100W เป็นต้นไป

4.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB

4.3.1 ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

เมื่อนำฟิล์มบางที่เตรียมได้จากการเคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ภายใต้สภาวะตามตาราง 4.5 ด้วยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสเปคโตริ (DC Magnetron Sputtering) ที่อุณหภูมิห้อง (Room Temperature) มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction: XRD) จะได้ผลดังแสดงตามรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ โดยเมื่อดูจากกราฟจะเห็นได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 100W และ 150W นั้นไม่แสดงพีคของความเป็นผลึกใด ๆ จนกระทั่งกราฟแสดงการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เริ่มแสดงพีคความเป็นผลึกของ CoFe บนระนาบ 110 ให้เห็นที่มุมประมาณ 44.36° เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบเป็น 200W ซึ่งเมื่อนำไปอ้างอิงกับมาตรฐานของ JCP2:00-044-433 ที่พีคความเป็นผลึกของ CoFe ปรากฏอยู่บนระนาบ 110 ที่มุม 44.83° จะพบได้ว่ามุมที่เกิดพีคความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลึกของ CoFe ที่วัดได้จากฟิล์มตัวอย่างกับมาตรฐานการอ้างอิงนั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งนี้อาจจะเกิดจากผลของการที่มีอะตอมของธาตุโบรอน (B) เข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างผลึก CoFe จึงทำให้มุมที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎีเล็กน้อย และเมื่อทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มให้สูงขึ้นไปอีกถึง 250W พบว่าไม่มีพีคความเป็นผลึกของ CoFe ปรากฏให้เห็นในกราฟอีก จากคำอธิบายกราฟข้างต้น แสดงให้เห็นว่าในสภาวะการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยการเคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่อุณหภูมิห้อง ที่กำลังไฟฟ้าในการเคลือบต่ำจะทำให้ฟิล์มบาง CoFeB ที่มีสมบัติเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในการเคลือบเป็น 200W พบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้เริ่มมีโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) แต่โครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นนั้นกลับไม่เสถียรและหายไปเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบให้สูงขึ้นไปเป็น 250W ซึ่งโดยปกติแล้วการที่จะเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้ได้เป็นโครงสร้างผลึกบนวัสดุรองรับที่เป็นกระจกสไลด์ซึ่งมีสมบัติเป็นโครงสร้างแบบอสัณฐานด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สเปดเตอร์ริงโดยไม่มีการให้ความร้อนหรืออบร้อนนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยากเนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างของฟิล์มจะเป็นไปตามลักษณะโครงสร้างวัสดุรองรับและพลังงานความร้อนนั้นมีผลสำคัญต่อการกระตุ้นให้เกิดโครงสร้างผลึก แต่จากการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถหาสภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous) ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่มีการอบร้อนหรือให้ความร้อนใด ๆ ให้เป็นฟิล์มที่มีโครงสร้างผลึก (Crystalline) โดยการควบคุมสภาวะเงื่อนไขในการเคลือบดังนี้

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

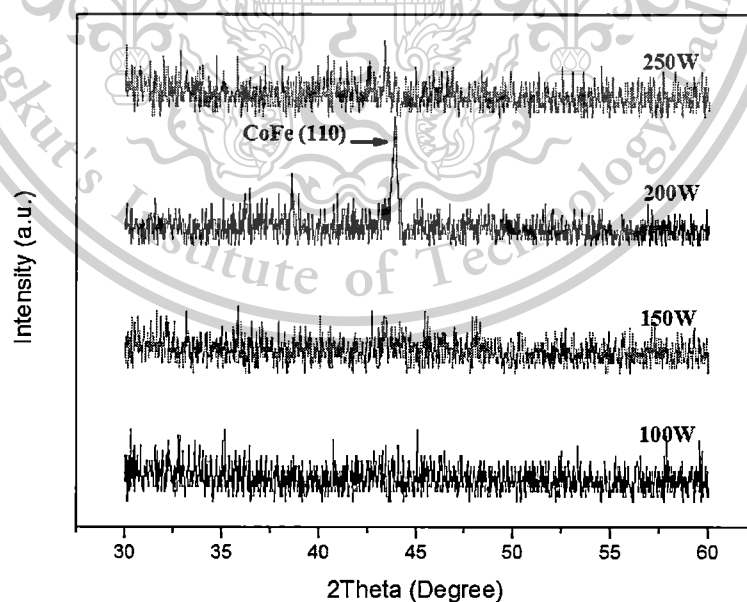
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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

ตาราง 4.5 สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่กำลังไฟฟ้าต่างกัน



รูป 4.11 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

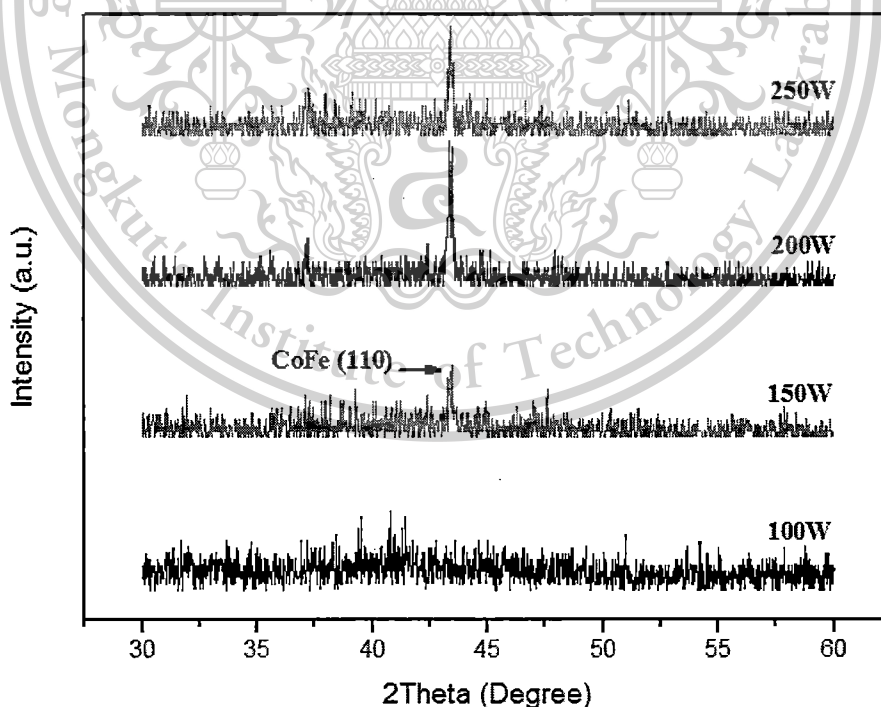
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 फिल्मบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

ภาพแสดงกราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในการวัดวิเคราะห์สมบัติของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่เตรียมด้วยสภาวะเงื่อนไขเดียวกันกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ดังกล่าวข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 4.6 นั้นแสดงให้เห็นว่ากราฟของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้เงื่อนไขกำลังไฟฟ้า 100W นั้นไม่แสดงพิกความเป็นผลึกใด ๆ แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเป็น 150W กราฟของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้เริ่มแสดงพิกของโครงสร้างผลึกโดยพิกที่ปรากฏนั้นเป็นพิกโครงสร้างผลึก CoFe บนระนาบ 110 ที่มุมเดียวกันกับพิกโครงสร้างผลึก CoFe ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ (44.36°) และกราฟยังคงแสดงพิกความเป็นผลึกอยู่บนระนาบเดิมที่และที่ตำแหน่งมุมเดิมเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ต่อไปเป็น 200W และ 250W ตามลำดับ จากผลของกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้มีโครงสร้างผลึกบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ (100) ซึ่งเป็นวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างผลึกนั้นสามารถทำได้ง่ายและเสถียรกว่าการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับออสัญฐาน (กระจกสไลด์) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นอีกว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มนั้นมีผลต่อสมบัติโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์



รูป 4.12 กราฟการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้นจากการวัดวิเคราะห์ฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองทำให้ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อให้ฟิล์มบางนั้นมีสมบัติเชิงโครงสร้างที่เป็นผลึกได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนิตรอน สเป็คเตอรिंग ได้ทั้งบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึกที่อุณหภูมิห้องโดย (กระจกสไลด์) และวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (ซิลิกอน เวเฟอร์) ไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อนโดยใช้สภาวะเงื่อนไขคือ
 - ความดันก๊าซอาร์กอน (Run pressure) : 5×10^{-3} mbar
 - ความดัน Base Pressure (Bp) : 8.5×10^{-6} mbar
 - กำลังไฟฟ้า 200W
 - เวลาที่ใช้ในการเคลือบ 15 นาที
2. การเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนิตรอนสเป็คเตอรिंगที่อุณหภูมิห้องนั้นส่งผลโดยตรงต่อสมบัติโครงสร้างของฟิล์ม โดยฟิล์มจะแสดงโครงสร้างที่เป็นผลึกของ CoFeB บางส่วนในระนาบ 110 ที่มุม 44.36° เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นเนื่องจากเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบแล้วจำนวนและโมเมนตัมของอนุภาคที่สเป็คเตอร์นั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทำให้อะตอมเกิดการเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันได้เร็วขึ้นและยังทำให้อัตราการระเหิดอนุภาคที่ผิวของเป้าสารเคลือบสูงขึ้นอีกด้วย

4.4 การวิเคราะห์สมบัติพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB

4.4.1 ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

ภาพของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) โดยใช้โหมดแบบไม่สัมผัส (Non contact mode) ที่มีขนาดในการสแกน (Scan size) เท่ากับ $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ ดังรูปที่ 4.7 นั้นแสดงให้เห็นว่าฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งเคลือบที่กกำลังไฟฟ้านั้นมีลักษณะเกรนเล็กละเอียดและมีพื้นผิวเรียบดังแสดงในรูปที่ 4.7 (a) และ 4.7 (b) แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบไปถึง 200W ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เริ่มขยายใหญ่ขึ้นพื้นผิวมีลักษณะที่หยาบมากขึ้นดังรูปที่ 4.7 (c) และขนาดเกรนกับพื้นผิวก็มีขนาดใหญ่และหยาบมากขึ้นไปอีกอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบต่อไปอีกจนถึง 250W แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อเกรนขยายใหญ่ขึ้นถึงระดับหนึ่งลักษณะของพื้นผิวจะหยาบจนสูญเสียความเป็นเอกรูป (Uniformity) ดังรูปที่ 4.7 (d) ในทางกลับกันจะเห็นได้ว่าหากพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นมีลักษณะเกรนที่ขยายใหญ่ขึ้น ค่าความหยาบที่วัดได้จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ก็จะมีค่าเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สูงขึ้นด้วยตามที่ได้แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.6 โดยจะเห็นได้ว่าการเคลือบที่กัลังไฟฟ้าต่ำเท่ากับ 100W ผิวของฟิล์มบาง CoFeB มีความละเอียด เท่ากับ 0.653 nm แต่เมื่อเพิ่มกัลังไฟฟ้าในการเคลือบให้สูงขึ้นไปเป็น 150W, 200W และ 250W พื้นผิวจะมีค่าความหยาบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 1.052 nm, 1.168 nm และ 1.215 nm ตามลำดับ

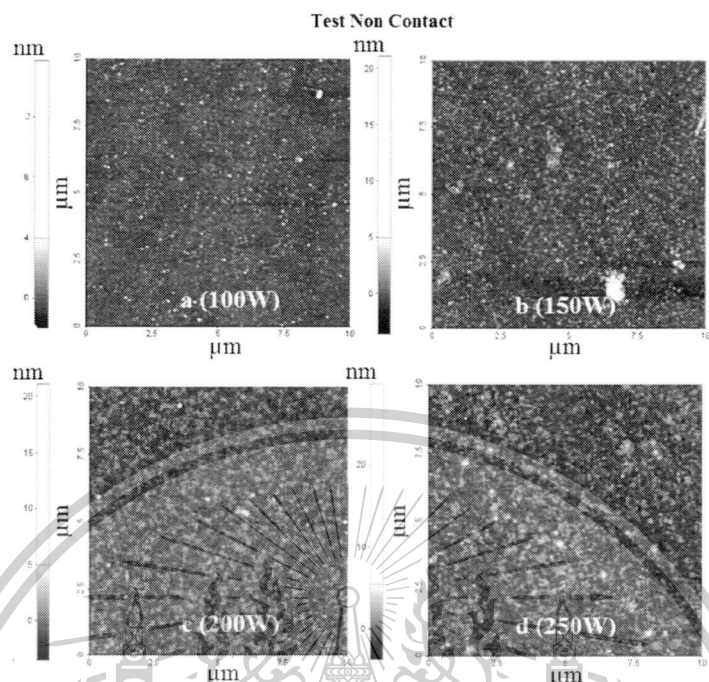
4.4.2 ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

ในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ ซึ่งพบว่าผลที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกันกับผลที่จากการวิเคราะห์พื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ โดยพบว่าที่ภาวะการเคลือบที่ใช้กัลังไฟฟ้าในการเคลือบที่ต่ำลักษณะขนาดของเกรนบนพื้นผิวมีขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 4.8 (a) และ 4.8 (b) และเมื่อเพิ่มกัลังไฟฟ้าในการเคลือบไปเป็น 200W และ 250W ขนาดเกรนบนพื้นผิวก็จะขยายใหญ่และชัดเจนมากขึ้นไปตามลำดับดังแสดงรูปที่ 4.8 (c) และรูปที่ 4.8 (d) ในเรื่องของค่าความหยาบของพื้นผิวฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นก็มิติศทางการแสดงผลไปในทิศทางเดียวกันกับฟิล์มบางที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งจะพบว่าพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นมีความละเอียดมากกว่าเมื่อใช้กัลังไฟฟ้าในการเคลือบที่ต่ำและพื้นผิวจะมีลักษณะหยาบมากขึ้นเมื่อกัลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าความหยาบเป็น 0.850 nm ในการเคลือบที่กัลังไฟฟ้าเท่ากับ 100W และมีค่าความหยาบเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 1.152 nm, 1.339 nm และ 1.617 nm เมื่อเพิ่มกัลังไฟฟ้าในการเคลือบเป็น 150W, 200W และ 250W ตามลำดับ

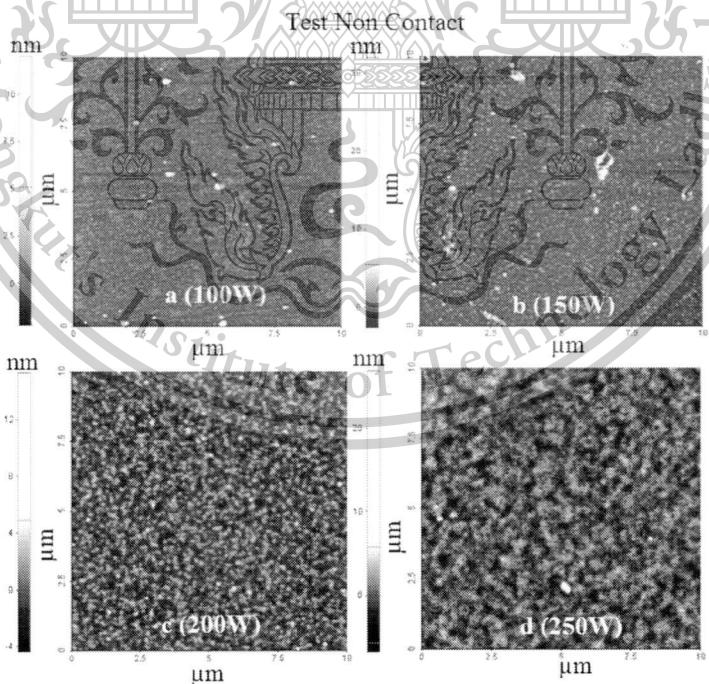
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.13 แสดงลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่กำลังไฟฟ้า
ต่างกัน



รูป 4.14 แสดงลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่กำลังไฟฟ้า
ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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

ตาราง 4.6 แสดงค่าความหยาบที่วัดได้จากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ของฟิล์มบาง CoFeB

ดังนั้นจากการวัดวิเคราะห์ฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองทำให้ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อให้ฟิล์มบางนั้นมีสมบัติพื้นผิวตามต้องการได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึก ซิลิกอน เวเฟอร์ (กระจกสไลด์) และวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐาน (ได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อนโดยเลือกใช้สภาวะเงื่อนไขตามตารางที่ 4.5 ได้เพื่อให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความละเอียดและความหยาบที่ต้องการ โดยทำการเปรียบเทียบผลจากรูปที่ 4.7 และ 4.8
2. ภาพจาก AFM แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับทั้งสองด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงที่อุณหภูมิห้องนั้นส่งผลโดยตรงต่อสมบัติพื้นผิวของฟิล์ม โดยฟิล์มที่ได้จะมีพื้นผิวที่หยาบมากขึ้นและขนาดเกรนก็จะขยายใหญ่และชัดเจนมากขึ้นเมื่อให้กำลังไฟฟ้าในการเคลือบที่สูงขึ้น เนื่องจากฟิล์มที่เตรียมที่กำลังไฟฟ้าสูงอะตอมจะมีพลังงานในการทับถมสูง พลังงานจลน์ของอะตอมสารเคลือบเพิ่มขึ้น ทำให้เคลื่อนที่ไปได้ทั่วบริเวณผิวที่มีพื้นที่ว่าง ส่งผลให้ได้เกรนขนาดใหญ่

4.5 สมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB

จากการวัดสมบัติการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับ กระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์ ด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว ((Sticky Tape Test) โดยการนับปริมาณอนุภาคฟิล์มบางที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับหลังจากการทดสอบ ซึ่งข้อดีของเทคนิคการลอกเทปกาวนี้คือเป็นวิธีการเชิงคุณภาพที่สามารถทำได้ง่ายและทำได้อย่างรวดเร็วในการวัดสมบัติการยึดเกาะของวัสดุเคลือบหรือฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เคลือบ และโดยปกติแล้วผลและลักษณะการยึดเกาะที่เกิดขึ้นของวัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยด้วยกันคือ

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

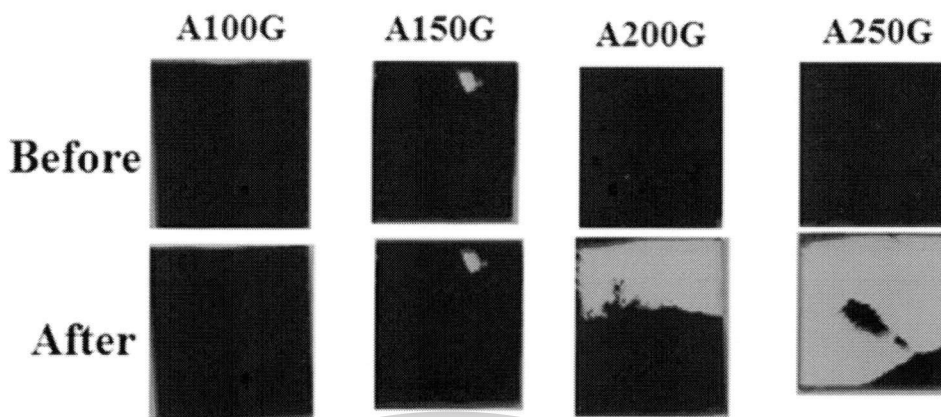
4.5.1 ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์

หลังจากการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปกาวเพื่อศึกษา และวิเคราะห์สมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ซึ่งเคลือบด้วยวิธีดีซีแมกเนตรอน สเป็คเตอริงที่สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มที่แตกต่างกัน (A100G, A150G, A200G, and A250G) พบว่าฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เตรียมภายใต้สภาวะเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าต่ำตั้งแต่ 100W ไปจนถึง 150W นั้นไม่มีการหลุดลอกออกจากวัสดุรองรับ แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบไปถึง 200W ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบอยู่บนวัสดุรองรับนั้นเริ่มที่จะหลุดลอกออกมาประมาณ 50% ของปริมาณอนุภาคฟิล์มบาง CoFeB ทั้งหมดที่เคลือบอยู่บนวัสดุรองรับ และหลุดลอกออกเกือบหมดประมาณ 90% เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB สูงไปจนถึง 250W ดังแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.7 ซึ่งจากการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว พบว่าสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นยังไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์ ดังนั้นจึงได้ว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์จะทำให้พันธะระหว่างอนุภาคฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันเองมีความแข็งแรงมากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งซึ่งแข็งแรงมากกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์ นอกจากนี้ประเภทของวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่มีโครงสร้างออสถุฐานนั้นก็มีส่วนสำคัญต่อสมบัติการยึดเกาะด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.15 ผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปขาว

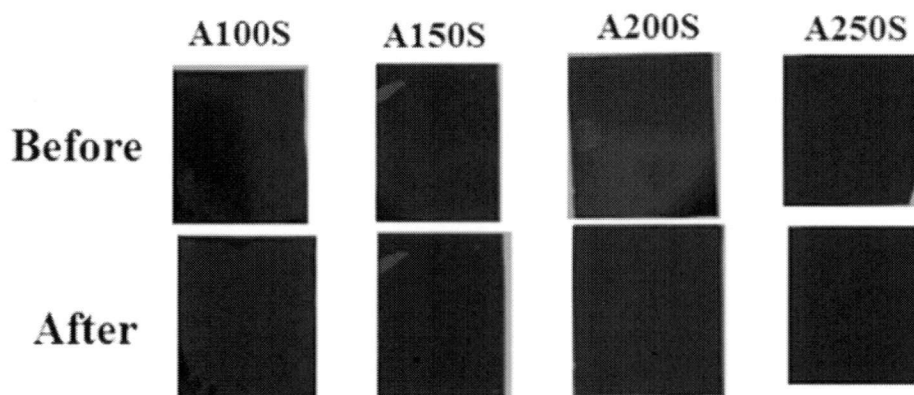
4.5.2 ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวัดสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ ด้วยเทคนิคการทดสอบเดียวกันกับการทดสอบสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ข้างต้น กลับพบว่าผลที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการไม่มีการหลุดลอกใด ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบอยู่บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์เลยในทุก ๆ สถานะเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบ ตั้งแต่ 100W ไปจนถึง 250W ดังแสดงผลในรูปที่ 4.10 ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบไปแสดงในรูปอัตราส่วนร้อยละ จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นมีความแข็งแรงมากถึงแม้ว่าจะเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลือบไปจนถึง 250W เนื่องจากการไม่มีการหลุดลอกของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ ในทุก ๆ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในการเคลือบ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากเนื่องจาก พันธะพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์นั้นมีความแข็งแรงมากกว่าพันธะที่เชื่อมอยู่ระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกัน ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์นั้นไม่มีผลใด ๆ ต่อสมบัติการยึดเกาะระหว่างฟิล์มบางกับวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.16 ผลการยึดเกาะฟิล์มบางบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบด้วยเทคนิคการลอกเทปกาว

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

ตาราง 4.7 แสดงผลของปริมาณอนุภาคฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เหลืออยู่บนวัสดุรองรับ จากการทดสอบสมบัติการยึดเกาะด้วยเทคนิคการลอกเทปกาวเป็นอัตราส่วนร้อยละจากการวัดวิเคราะห์ฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองเราจึงสามารถสรุปได้ว่า

- เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อให้ฟิล์มบางนั้นมีสมบัติการยึดเกาะที่ดีได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สเปคเตอรिंग บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างเป็นผลึก (ซิลิกอน เวเฟอร์) (กระจกสไลด์) และวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐานแต่หากต้องการเตรียมฟิล์มบนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างอสัณฐานต้องทำการเตรียมภายใต้เงื่อนไขที่ กำลังไฟฟ้าในการเคลือบต่ำไม่เกิน 200W โดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อน
- การเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอน สเปคเตอรिंगส่งผลต่อสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับ โครงสร้างอสัณฐาน เนื่องจากฟิล์มบาง CoFeB จะเริ่มสูญเสียการยึดเกาะเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเตรียมมากกว่า 200W ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่ากำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การรวมตัวและการจัดวางโครงสร้างของอะตอมนั้นมีมาก แข็งแรงและเป็นระเบียบมากขึ้นจนทำให้พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามกำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งความแข็งแรงดังกล่าวเริ่มที่จะมากกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับกระจกสไลด์ซึ่งมีสมบัติโครงสร้างเป็นอสัณฐาน โดยที่การจัดวางตัวของฟิล์มบางเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนเข้าไปจะทำให้โครงสร้างของฟิล์มบาง มีความเป็นผลึกและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งเมื่อไปอยู่บนวัสดุรองรับที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐานที่มีความหนาแน่นน้อย จึงยากต่อการที่จะยึดติดกันได้ดีเนื่องจากมีโครงสร้างในแบบที่ต่างกัน จึงทำให้สูญเสียสมบัติการยึดเกาะไป แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนกลับไม่มีผลต่อสมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งถึงแม้ว่ากำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้พันธะระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ด้วยกันนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ก็ยังไม่มากไปกว่าพันธะที่อยู่ระหว่างพื้นผิวประสานของฟิล์มบาง CoFeB กับวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่มีสมบัติโครงสร้างแบบผลึกซึ่งมีการจัดวางโครงสร้างแบบเดียวกันกับโครงสร้างของฟิล์มบางที่เป็นแบบผลึกเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการเคลื่อน ดังนั้นฟิล์มบาง CoFeB จึงยังสามารถยึดเกาะอยู่บนวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ได้ถึงแม้จะมีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนก็ตาม

4.6 สภาวะเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบางที่มีการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางต่างกัน

เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติด้านพื้นผิว สมบัติการยึดเกาะของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นภายใต้สภาวะเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าที่ต่างกันนั้นทำให้ทราบว่า การเตรียมฟิล์ม CoFeB ด้วยเทคนิคซีเอ็มเอ็นทีเอสที่เตอริงที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 200W ที่อุณหภูมิห้องนั้น เป็นสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมฟิล์ม CoFeB เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีสมบัติที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้งานที่ต้องการต่อไป ดังนั้นในการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้าง ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมด้วยเทคนิคเดียวกันโดยทำการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกันเข้าไปในระหว่างการเคลื่อนฟิล์มนั้นจึงได้เลือกสภาวะเงื่อนไขดังกล่าว (กำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนเท่ากับ 200W) มาใช้เป็นสภาวะเงื่อนไขในการเตรียมเบื้องต้นและเพิ่มสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกันในระหว่างการเคลื่อนฟิล์มบางดังกล่าวที่ ซึ่งในการวิเคราะห์สมบัติด้านต่างของฟิล์มบาง CoFeB ในสภาวะเงื่อนไขดังกล่าวนี้ จะทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลดังต่อไปนี้

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

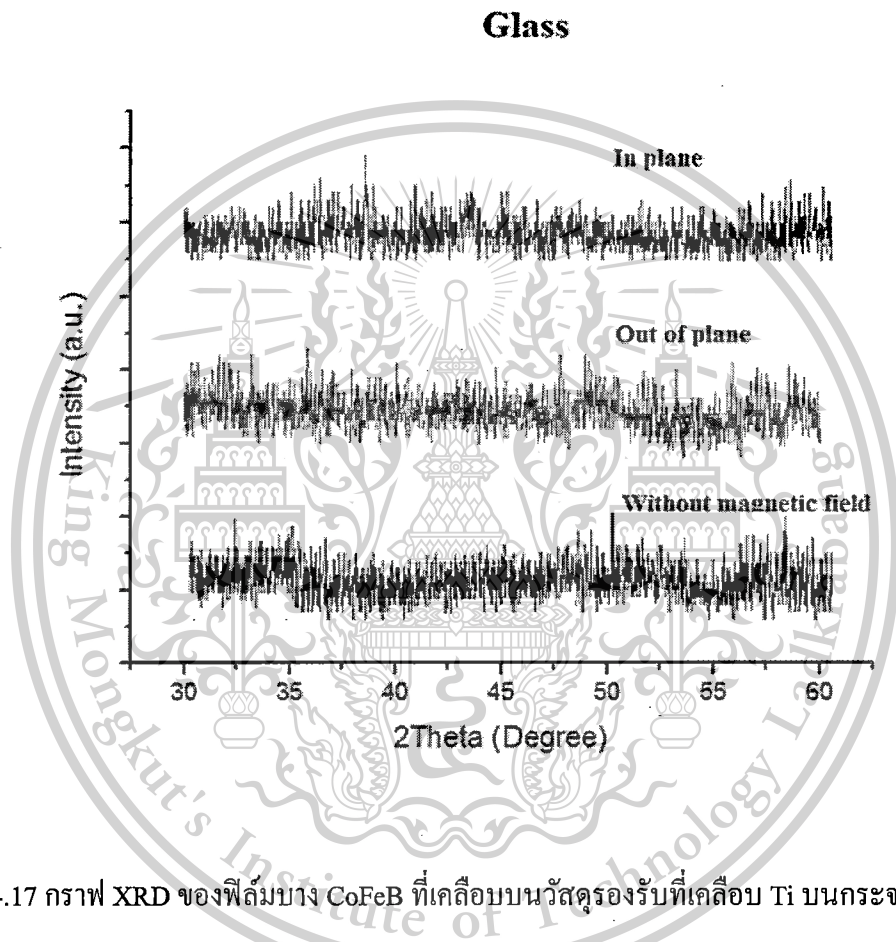
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6.1 สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์



จากผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ที่ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 นั้นแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักโครงสร้างของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ได้หลังการเตรียมภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปทั้งสองทิศทาง (ทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน) และภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กมีลักษณะเป็นโครงสร้างอสัณฐานทั้งหมด เนื่องกราฟ XRD ที่ได้ไม่นั้นไม่แสดงพีกที่ตำแหน่งใด ๆ ดังนั้นจะได้ว่าสนามแม่เหล็กที่ใช้ ในการเตรียม (ทั้งทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน) ต่อสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางอสัณฐาน ฟิล์มนั้นไม่ส่งผลใด ๆ CoFeB ที่เตรียมได้ นั้นหมายถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

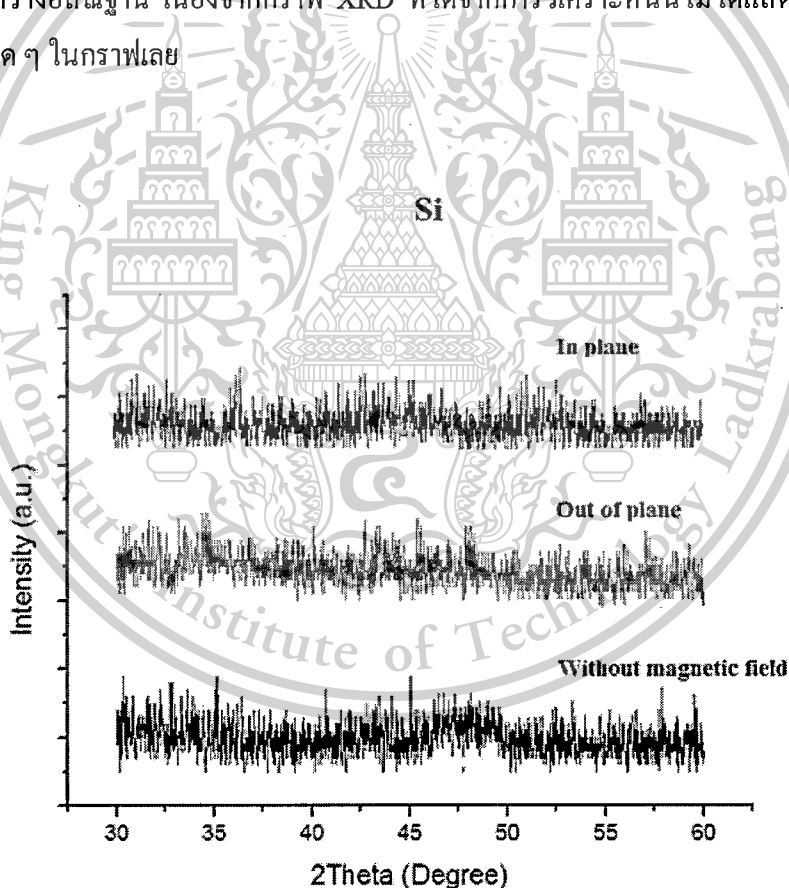
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ว่าสนามแม่เหล็กที่ใช้ในระหว่างเตรียมฟิล์มนั้นไม่มีผลทำให้โครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ก่อตัวไปเป็นโครงสร้างผลึกได้

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบด้วย Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์

จากรูปที่ 4.12 แสดงว่าผลของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบด้วย Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์ที่ได้จาก XRD นั้นได้ผลเช่นเดียวกันกับผลของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ดังกล่าวไปข้างต้น นั่นคือการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มไม่ได้ส่งผลใด ๆ ที่จะไปเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นโครงสร้างอสัณฐาน เนื่องจากกราฟ XRD ที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นไม่ได้แสดงพีคที่ตำแหน่งใด บนระนาบใด ๆ ในกราฟเลย



รูป 4.18 กราฟ XRD ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบด้วย Ti บนซิลิกอนเวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

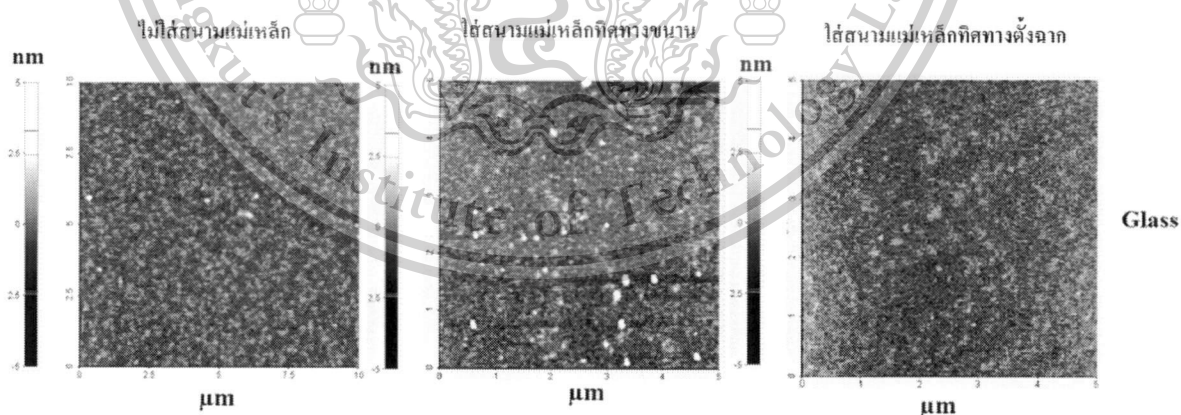
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวัดวิเคราะห์ฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับทั้งสองเราจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. ในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ให้มีโครงสร้างแบบผลึกด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สเปคเตอรืงภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียม บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ได้ ซึ่งต้องทำการศึกษาดังวิธีการปรับปรุงเพื่อให้ได้โครงสร้างผลึกที่ต้องการต่อไป
2. ในการทดลองนี้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอน สเปคเตอรืงนั้นไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มบางที่เตรียมบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์และซิลิกอนเวเฟอร์ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงสถานะเงื่อนไขให้ได้สมบัติเชิงโครงสร้างที่ต้องการต่อไป ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องมาจากความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใส่เข้าไปยังไม่มากพอที่จะเปลี่ยนทิศทางแมกนีไทเซชัน (Magnetization) ของแต่ละอนุภาคที่จะดึงดูดให้เข้าไปรวมกันกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้นหรือกลายเป็นผลึกได้

4.6.2 สมบัติพื้นผิวของฟิล์มบาง CoFeB

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์



รูป 4.19 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ จาก AFM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) โดยใช้โหมดแบบไม่สัมผัส (Non-contact mode) ที่มีขนาดสแกนเท่ากับ $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ พบว่าขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมฟิล์มโดยไม่ได้ใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.13 และขนาดเกรนดังกล่าวจะเล็กลงเมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไป ทั้งในทิศทางตั้งฉากและทิศทางขนาน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์ม (บาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมด้วยการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอน สเปคโตรริง ภายใต้เงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนานกับฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้จากการเตรียมภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากกลับพบว่าลักษณะขนาดเกรนนั้นไม่ได้แสดงความแตกต่างกันอย่างชัดเจนเท่าใดนัก แต่หากพิจารณาอย่างละเอียดแล้วจะพบได้ว่าลักษณะเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางขนานนั้นจะใหญ่กว่าขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti ภายใต้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก

นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) ยังแสดงถึงค่าความหยาบของพื้นผิว (R_q : nm) ของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งจะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมด้วยการเคลือบโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสเปคโตรริง ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปนั้นมีค่าความหยาบของพื้นผิวอยู่ที่ 1.052 nm และเมื่อใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนานเข้าไปในการเคลือบค่าความหยาบที่ได้นั้นจะลดลงอยู่ที่ 0.508 nm และลดลงไปอีกเป็น 0.465 nm เมื่อเปลี่ยนใช้สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากในการเคลือบ ดังนั้นจึงได้ว่าเมื่อเคลือบฟิล์มบาง CoFeB โดยใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปจะได้ฟิล์มบาง CoFeB ที่มีพื้นผิวที่ละเอียดมากขึ้นและเมื่อทำการเปรียบเทียบการเคลือบฟิล์มบาง CoFeB ที่ใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางที่ต่างกันเข้าไปจะพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบโดยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นจะมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

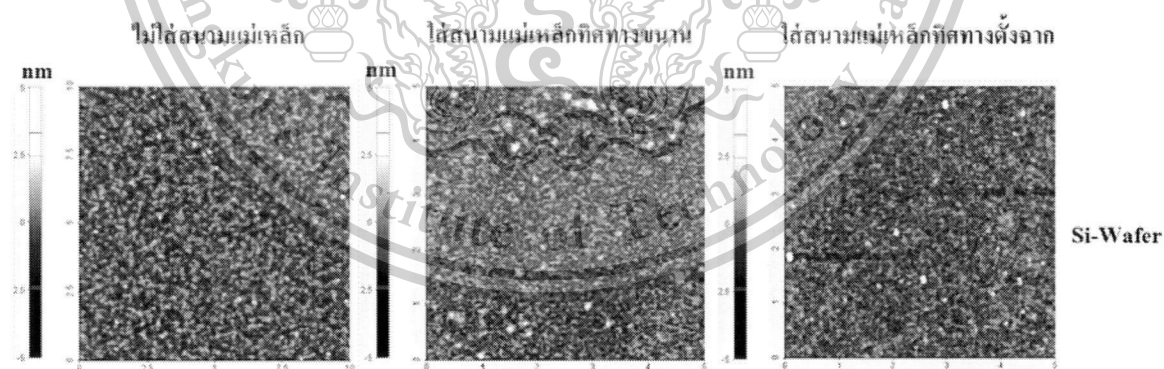
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 4.8 แสดงค่าความหยาบ (R_q : nm) ที่วัดได้จาก AFM ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมภายใต้ สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกัน (ทิศทางขนานกับทิศทางตั้งฉาก)

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์

จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ ที่เคลือบด้วย Ti ด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM) ด้วยเงื่อนไขเดียวกันกับการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ จะพบว่าผลของขนาดของเกรนและลักษณะพื้นผิวที่ได้ นั้น มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ขนาดเกรนของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบด้วยสภาวะเงื่อนไข เดียวกันกับการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ดังกล่าวข้างต้น จะ มีขนาดที่เล็กลงเมื่อมีการใส่สนามแม่เหล็ก เข้าไปในระบบการ (ทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉาก) เคลือบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กที่มี ทิศทางที่ต่างกันพบว่า ฟิล์มบางที่ได้มีขนาดของเกรนที่ไม่ต่างกันมากนัก แต่เมื่อได้ทำการพิจารณาอย่าง ละเอียดพบว่าฟิล์มบางที่ได้จากการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นมีขนาดเกรนที่ใหญ่กว่าฟิล์ม บางที่ได้จากการเคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉากอยู่เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูป 4.20 ภาพพื้นผิวของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์ จาก AFM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เช่นเดียวกันกับฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอะตอม (AFM) ดังตารางที่ 4.8 นั้นแสดงค่าความหยาบของพื้นผิวที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยสภาวะการเคลือบที่ใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในระบบนั้นจะได้ฟิล์มที่มีค่าความละเอียดที่มากกว่ามาก 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 ที่ได้ นั้นแสดงค่าความหยาบที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยโดยการเคลือบด้วยการใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นจะให้ฟิล์มบางที่มีลักษณะพื้นผิวที่หยาบกว่าฟิล์มบางที่เคลือบภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อให้ฟิล์มบางนั้นมีสมบัติพื้นผิวตามต้องการได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สเปคเตอร่าภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะที่เตรียม บนวัสดุรองรับทั้งสอง (ซิลิกอน เวเฟอร์ และกระจกสไลด์) (ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อน เพื่อให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความละเอียดและความหยาบที่ต้องการ
2. ภาพจาก AFM แสดงให้เห็นว่าการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะที่เตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับทั้งสองด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสเปคเตอร่าที่อุณหภูมิห้องนั้นส่งผลต่อสมบัติพื้นผิวของฟิล์ม โดยฟิล์มที่ได้จะมีพื้นผิวที่ละเอียดมากขึ้นเมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์ม แต่ความละเอียดของพื้นผิวจะแตกต่างกันไม่ชัดเจนมากเมื่อใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกัน (ขนานและตั้งฉาก)

4.7 สมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB

ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB โดยใช้เทคนิคของชุดเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว (Four point probe) พร้อมชุดจับยึดและขับเคลื่อนที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นโดยภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

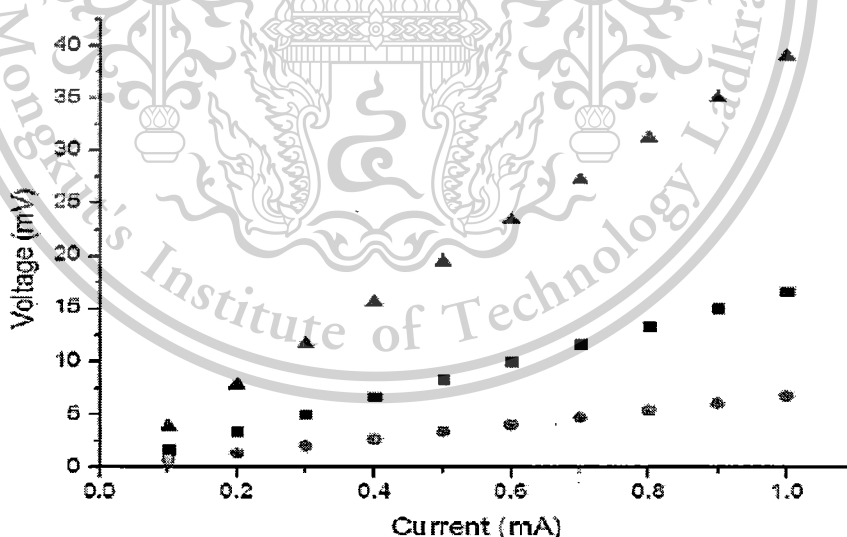
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ศักย์ไฟฟ้า (Voltage) กับกระแสไฟฟ้า (Current) ความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) สภาพต้านทานไฟฟ้า (Resistivity) ของฟิล์มบาง CoFeB ซึ่งเตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และซิลิกอน เวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti โดยเทคนิคดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริงภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกัน (ทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉาก)

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์

จากรูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนชั้นสัมผัสของวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว โดยเมื่อป้อนค่ากระแสไฟฟ้าจาก 0.1 mA ไปจนถึง 1.0 mA จะได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้างดแสดงในกราฟรูปที่ 4.15 โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จึงได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้านั้นมีความแปรผันตรงต่อกันซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของโอห์มที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าและความต้านทานในวงจรไฟฟ้า โดยในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการควบคุมการจ่ายค่าความต้านทานไฟฟ้า



- ▲ Without applied magnetic field
- Out of plane
- In plane.

รูป 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB

บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อทำการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่เตรียมได้ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กกับมีสนามแม่เหล็กทั้งในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากจะได้ผลของความสัมพันธ์ดังในกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งจะได้ว่าเมื่อป้อนค่ากระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็ก และเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็กแต่มีทิศทางที่แตกต่างกัน จะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนาน ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์

นอกจากนั้นยังได้ทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์ โดยการป้อนค่ากระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว หลังจากนั้นทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ที่ได้ดังกล่าวเช่นเดียวกับที่ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ห้กับฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ไปก่อนหน้านี้ โดยเมื่อทำการป้อนค่ากระแสไฟฟ้าจาก 0.1 mA ไปจนถึง 1.0 mA ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.16 โดยที่เมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นค่าความต่างศักย์ที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยผลที่ได้นั้นมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับผลความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนชั้นสัมผัสของวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่แสดงในรูปที่ 4.15

เช่นเดียวกันเมื่อทำการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ทำการเคลือบโดยไม่มีสนามแม่เหล็กกับมีสนามแม่เหล็กแต่ในทิศทางที่ต่างกันจะได้ผลของความสัมพันธ์ในกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งจะได้ว่าเมื่อป้อนค่ากระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็ก และเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็กแต่มีทิศทางที่ต่างกัน จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

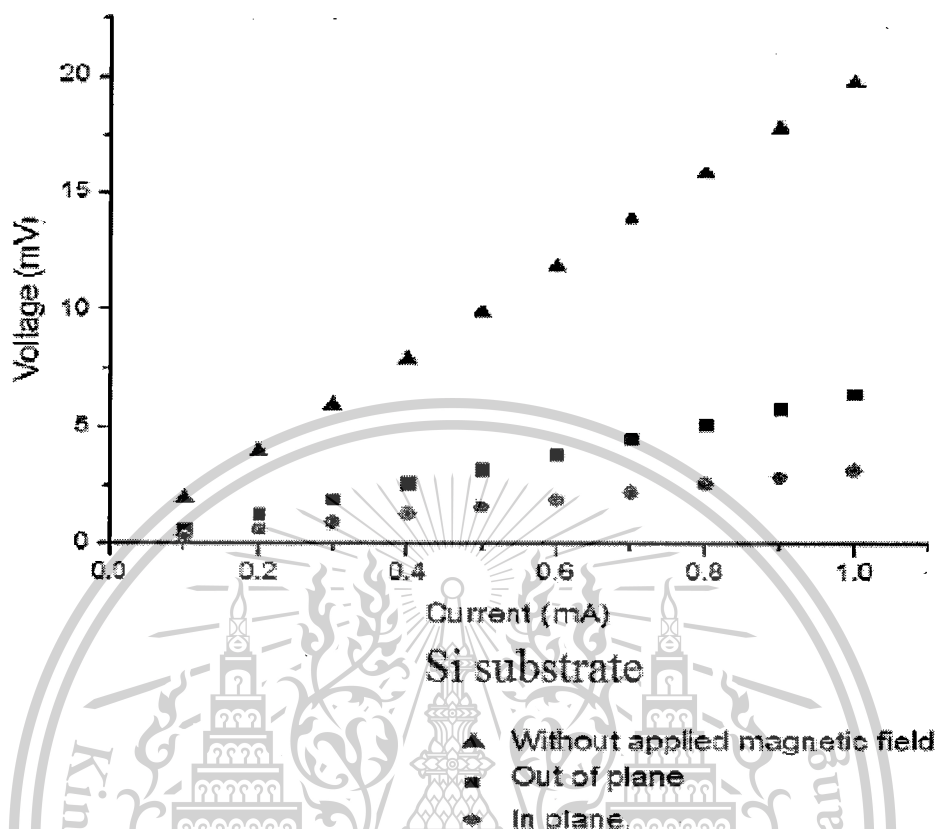
ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนาน ดังแสดงในรูปที่ 4.16

โดยสรุปแล้วจะได้ว่าจากการวัดผลความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ทั้ง 2 ที่เตรียมบนชั้นสัมผัสของวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอนเวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ด้วยเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้วนั้นให้ผลความสัมพันธ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16 โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้านั้นมีความแปรผันตรงต่อกันซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของโอห์มที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ และเมื่อทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบางเคลือบ CoFeB ที่ได้ดังกล่าวภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ทำการเคลือบโดยไม่มีสนามแม่เหล็กกับมีสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางต่างกันจะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็ก และเมื่อทำการเปรียบเทียบฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่มีสนามแม่เหล็กแต่มีทิศทางที่แตกต่างกัน จะได้ว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางตั้งฉากนั้นจะให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบภายใต้สภาวะเงื่อนไขสนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนาน ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB บนบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนซิลิกอน เวเฟอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัด โพรบสี่ขั้ว

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์และวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti

ทิศทางสนามแม่เหล็ก	วัสดุรองรับ	ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)	สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\mu\Omega\cdot m$)
ไม่ใส่สนามแม่เหล็ก	ซิลิกอน เวเฟอร์	19.85	44.98
ไม่ใส่สนามแม่เหล็ก	กระจกสไลด์	38.91	88.18
ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก	ซิลิกอน เวเฟอร์	6.45	14.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางตั้งฉาก	กระจกสไลด์	16.68	37.79
ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน	ซีลิกอน เวเฟอร์	3.2	7.25
ใส่สนามแม่เหล็กทิศทางขนาน	กระจกสไลด์	6.76	15.3

ตาราง 4.9 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว

ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti

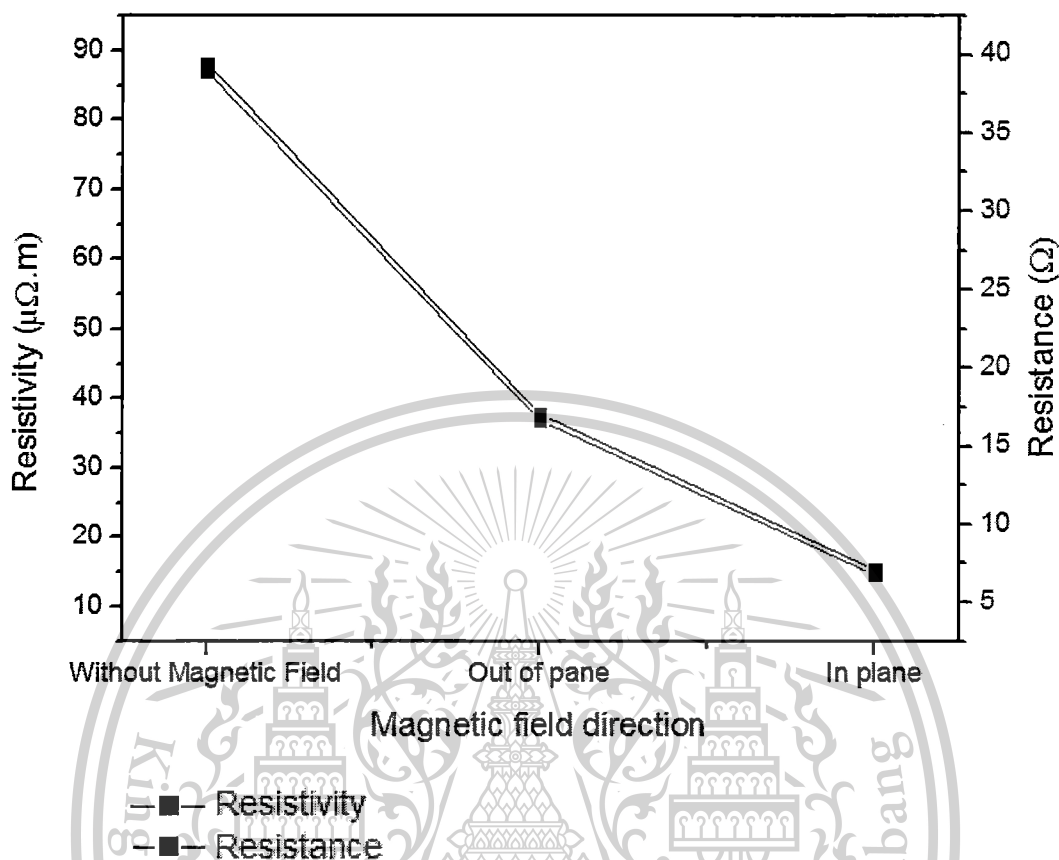
เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมขึ้นโดยไม่มีสนามแม่เหล็กและมีสนามแม่เหล็กทั้งในทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉากบนวัสดุรองรับที่เคลือบ Ti บนกระจกสไลด์ ทำให้ได้ว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB ในแต่ละเงื่อนไขการเตรียมนั้นค่อนข้างมีค่าที่ใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.17 โดยพบว่าฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยไม่มี การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กเข้าไปในระบบการสปีดเตอริงนั้นจะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่มากที่สุด และฟิล์มบางที่เตรียมภายใต้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นจะให้ค่าค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด

ดังนั้นจึงได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.23 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรบสี่ขั้ว ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti

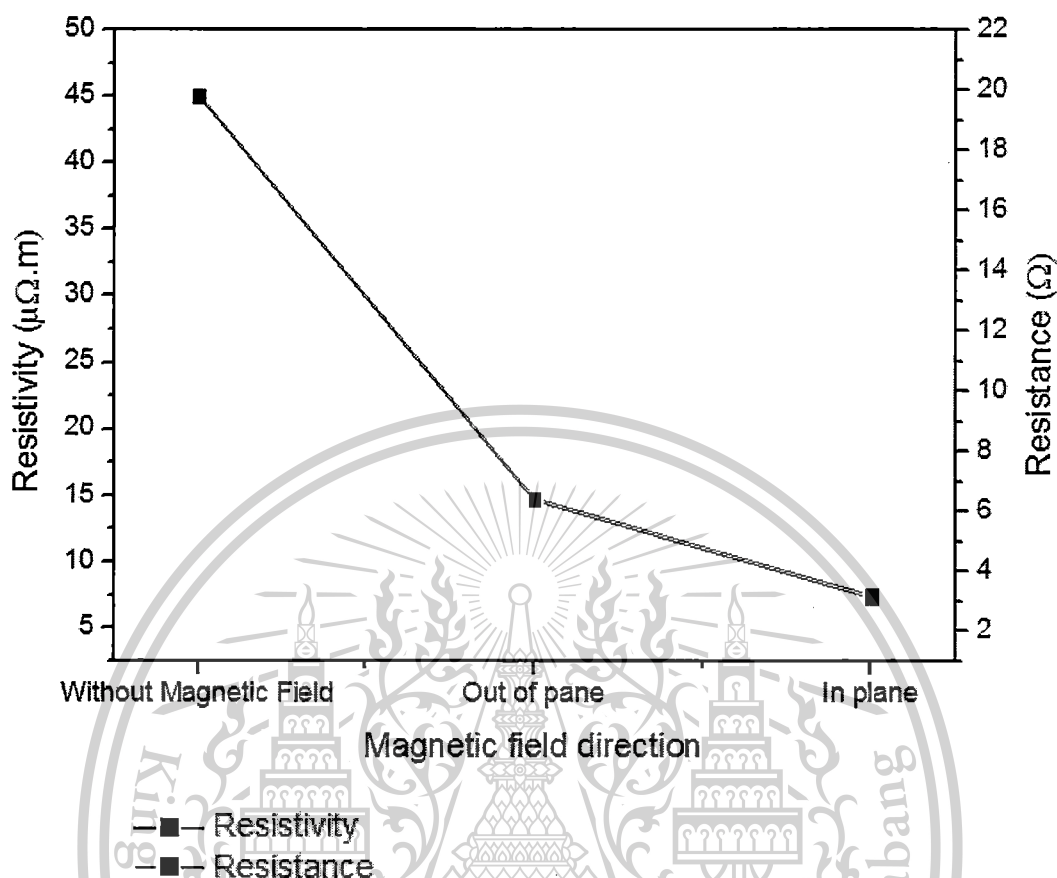
ฟิล์มบางเคลือบ CoFeB บนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่เคลือบด้วย Ti

เมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ภายใต้สถานะเงื่อนไขเดียวกันกับการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti นั้นพบว่าลักษณะกราฟความสัมพันธ์นั้นมิลักษณะคล้ายกันกับกราฟความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมบนวัสดุรองรับกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย Ti โดยที่ฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยไม่มีสนามแม่เหล็กนั้นจะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่มากที่สุด และฟิล์มบางที่เตรียมภายใต้การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในทิศทางขนานนั้นจะให้ค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูป 4.24 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรมบัสซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนบนวัสดุรองรับซิลิกอน เวเฟอร์ที่เคลือบด้วย Ti

จากการวิเคราะห์ถึงผลของการใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้นให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า

1. เราสามารถเตรียมฟิล์มบาง CoFeB เพื่อปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของฟิล์มบางให้ดีขึ้นได้ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบดีซี แมกนีตรอน สปีดเทอริงภายใต้การใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะที่เตรียม บนวัสดุรองรับทั้งสอง (ซิลิกอน เวเฟอร์ และกระจกสไลด์ (ที่ถูกเคลือบทับด้วย Ti ได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่จำเป็นต้องใช้การอบร้อน โดยสามารถใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางใด ๆ ก็ได้ แต่สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ หากเตรียมฟิล์มบาง (ทิศทางขนานและทิศทางตั้งฉาก) CoFeB ภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการใส่สนามแม่เหล็กที่มีทิศทางขนานจะให้ผลของสมบัติไฟฟ้าที่ดีที่สุด จากกราฟแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) และค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดโพรมบัสซ์ของฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบบนบนวัสดุรองรับทั้งสองนั้น แสดงให้เห็นว่าการใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมฟิล์มบาง CoFeB บนวัสดุรองรับทั้งสองด้วยเทคนิคการเคลือบแบบ ดีซีแมกเนตรอนสปัตเตอริงที่อุณหภูมิห้องนั้นส่งผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง โดยฟิล์มที่ได้เมื่อ ใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในขณะเตรียมจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าและสภาพความต้านทานไฟฟ้าที่ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากทิศทางการสปีนของอิเล็กตรอนในชั้นของฟิล์มบาง CoFeB ที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็กเฟอร์โรสามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยสนามแม่เหล็กภายนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อศึกษาเงื่อนไขการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB โดยเทคนิคดีซีแมกนีตรอน สเป็คเตอรืง เพื่อศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติแม่เหล็กของฟิล์มบาง CoFeB ที่เตรียมโดยวิธีดีซีแมกนีตรอนสเป็คเตอรืง และวิเคราะห์สภาวะเงื่อนไขในกระบวนการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB ที่เหมาะสมต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิวและสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เป็นต้น รวมทั้งศึกษาและวิเคราะห์ถึงผลของวัสดุรองรับที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มบาง CoFeB เช่น สมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติทางพื้นผิวและสมบัติความเป็นแม่เหล็ก จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพฟิล์ม ได้แก่ ชนิดของแผ่นรองรับ สภาวะเงื่อนไขในการเคลือบฟิล์ม และการใส่สนามแม่เหล็กในขณะที่เคลือบฟิล์ม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงโครงสร้าง สมบัติพื้นผิว และสภาพการยึดติดของฟิล์ม สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าในขณะที่เคลือบโดยฟิล์มจะเปลี่ยนโครงสร้างจาก อสัณฐาน ไปเป็นโครงสร้างแบบผลึกบางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากอะตอมมีพลังงานจลน์สูงขึ้นทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นผลึก การเตรียมฟิล์มลงแผ่นรองรับ Si-wafer ให้สมบัติเชิงโครงสร้างที่ดีกว่าการเตรียมลงบนกระจก เนื่องจากแผ่นรองรับมีการจัดเรียงอะตอมที่เป็นระเบียบมากกว่ากระจกที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน ผลจากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) พบว่า ฟิล์มบาง CoFeB ที่เคลือบลงบนกระจกให้ผลต่อลักษณะฟิล์มที่เรียบ ขนาดของเกรนที่เล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับ Si-wafer ผลการทดสอบสภาพการยึดติดของฟิล์มบาง CoFeB พบว่า ฟิล์มที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับกระจก หลุดลอกออกได้ง่ายกว่าฟิล์มที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับ Si wafer นอกจากนี้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อสภาพการยึดติดที่ลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อฟิล์ม

การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานและตั้งฉากกับแผ่นรองรับในขณะที่เคลือบฟิล์มเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กให้กับฟิล์ม CoFeB จากผลการทดลองพบว่า สมบัติเชิงโครงสร้างของฟิล์มไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางต่าง ๆ กัน อย่างไรก็ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กกับส่งผลโดยตรงต่อ สมบัติพื้นผิวและสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบาง CoFeB โดยอิทธิพลของสนามแม่เหล็กทำให้ฟิล์มมีความเรียบเพิ่มมากขึ้น และค่าความต้านทานไฟฟ้าลดต่ำลง นอกจากนี้ยังพบว่า การใส่สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับแผ่นรองรับส่งผลดีต่อค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ลดต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด จากข้อสรุปทำให้สามารถเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มบาง CoFeB สำหรับประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรมเอกสารอ้างอิง

- [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).
- [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).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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, 10520 Thailand

^asakuraloveharuka@gmail.com, ^bksracha@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 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].

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

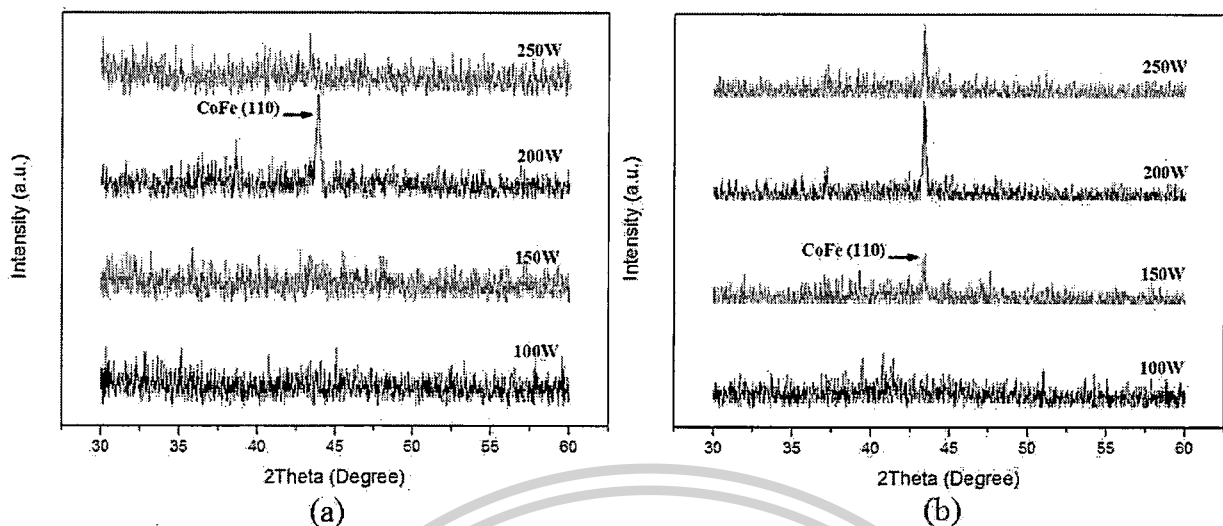


Fig. 1 XRD results for as-deposited CoFeB thin films on (a) glass substrates and (b) Si substrates at different power conditions

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).

Fig. 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 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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

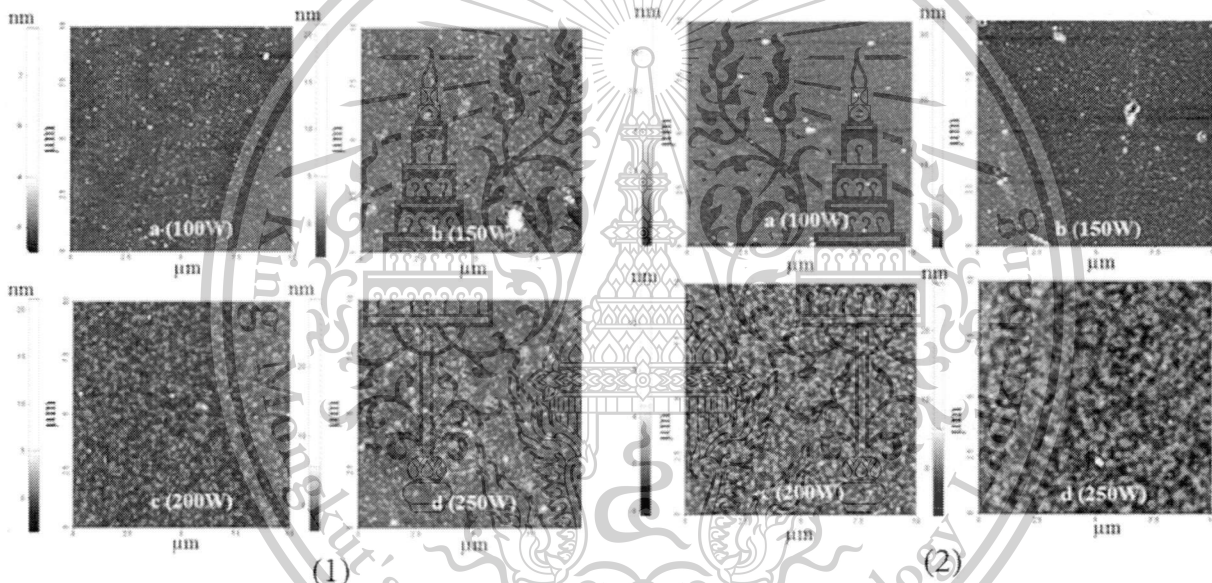


Fig. 2 AFM images for CoFeB thin films deposited on (1) glass substrates and (2) Si substrates at different sputtering powers.

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. ที่นั่น ไม่นุญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

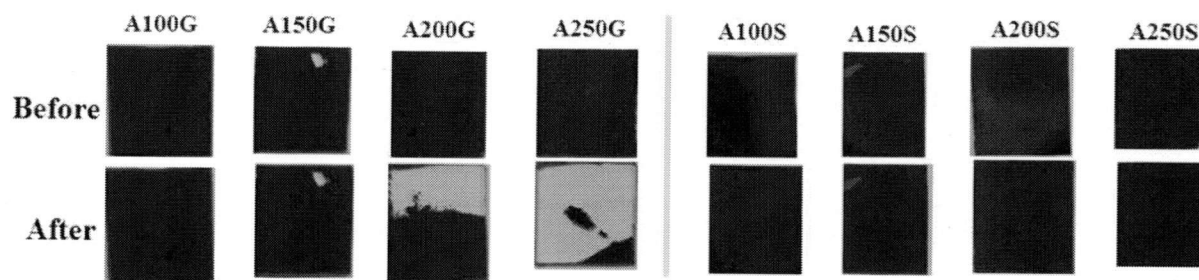


Fig. 3 The result after conducting Sticky Tape Test for CoFeB thin films deposited on glass and Si substrates

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.

Summary

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.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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. 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 ITiO 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

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.