

การแลกเปลี่ยนแบบคู่ควระหว่างชั้นแม่เหล็กชนิดแข็งกับชนิดอ่อนและการเกิดระเบียบของ
อะตอมของ FePd ในฟิล์มบาง FePd/Ru/CoFe

เอกพล แก้วนวม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

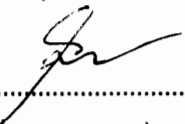
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เมษายน 2555


ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

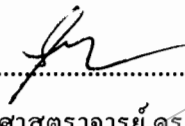
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ เอกพล แก้วนวม ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

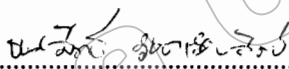
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

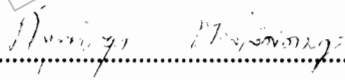

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศักดิ์ อีสโร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร จันทรรัตน์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศักดิ์ อีสโร)


..... กรรมการ
(ดร.ธนะสิทธิ์ รัชตเรืองสิทธิ์)


..... กรรมการ
(ดร.กัญญาชญา หงส์เลิศคงสกุล)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานูรักษ์)

วันที่.....12.....เดือน.....มิถุนายน.....พ.ศ. 2555

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศักดิ์ อิศโร อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ Prof. Veronique Pierron-Bohnes จากสถาบัน Institute for Physics and Chemistry of Materials in Strasbourg (IPCMS) ประเทศฝรั่งเศส ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งคุณอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาของการศึกษาในสถาบันแห่งนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้กำลังใจ ส่งเสริม และสนับสนุนผู้วิจัยในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งเพื่อน ๆ สาขาวิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และสร้างบรรยากาศทางวิชาการที่ดีตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูเวทิตาแด่ บุพการี บुरพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้ที่มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

เอกพล แก้วนวม

52910180: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)

คำสำคัญ: เหล็กพลาเดียม/ อันตรกิริยาคู่ควบแม่เหล็กแบบแอนติเฟอร์โร/ ค่าคงที่ของความแรงคู่ควบ

เอกพล แก้วนวม: การแลกเปลี่ยนแบบคู่ควบระหว่างชั้นแม่เหล็กชนิดแข็งกับชนิดอ่อน และการเกิดระเบียบของอะตอมของ FePd ในฟิล์มบาง FePd/Ru/CoFe

(EXCHANGE COUPLED HARD-SOFT MAGNETIC LAYERS AND ATOMIC ORDERING

OF FePd IN FePd/Ru/CoFe THIN FILMS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ชัยศักดิ์ อิศโร, DR. RER. NAT. 81 หน้า. ปี พ.ศ. 2555.

กระบวนการให้ความร้อนแบบไอโซโครนัล (Isochronal) ถูกนำมาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและสมบัติทางแม่เหล็กของชั้น FePd ที่มีผลต่ออันตรกิริยาคู่ควบแม่เหล็กแบบแอนติเฟอร์โร (Antiferromagnetic coupling; AFC) ในฟิล์ม FePd/Ru/CoFe เมื่อนำฟิล์มตัวอย่างผ่านการอบด้วยความร้อน พบว่าโครงสร้างของชั้น FePd เกิดการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างแบบ Face centered cubic (fcc; A1) ไปเป็นโครงสร้างแบบ Face centered tetragonal (fct; L1₀) ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของอะตอมที่เป็นระเบียบและมีสมบัติทางแม่เหล็กชนิดแข็งที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางแม่เหล็กของชั้น FePd เนื่องจากกระบวนการอบด้วยความร้อนนั้น ทำให้ค่าคงที่ของความแรงคู่ควบ (Coupling strength constant; J) ของอันตรกิริยาแบบ AFC ในฟิล์มตัวอย่าง FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(12 nm) เกิดการเปลี่ยนแปลง ในฟิล์มที่เตรียมได้ และฟิล์มที่ผ่านการอบความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 613 และ 733 K พบว่าค่า J ของฟิล์มตัวอย่างซึ่งแสดงอันตรกิริยาแบบ AFC มีค่าเท่ากับ -0.44, -0.36 และ -0.24 mJ/m² ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิ 813 K พฤติกรรมของการเกิดอันตรกิริยาแบบ AFC ไม่ปรากฏขึ้นในฟิล์มตัวอย่าง

52910180: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: FePd/ ANTIFERROMAGNETIC COUPLING/ COUPLING STRENGTH
CONSTANT

EAKGAPON KAEWNUAM: EXCHANGE COUPLED HARD-SOFT MAGNETIC
LAYERS AND ATOMIC ORDERING OF FePd IN FePd/Ru/CoFe THIN FILMS. ADVISORY
COMMITTEE: CHAISAK ISSRO, DR. RER. NAT. 81 P. 2012.

Heat treatment in isochronal process has been selectively used to study a change in structure and magnetic properties of a ferromagnetic FePd layer on antiferromagnetic coupling (AFC) in FePd/Ru/CoFe films. It was found that when the film was annealed, FePd structure changed from face centered cubic (fcc; A1) to face centered tetragonal (fct) structure ($L1_0$ -ordered FePd) and its hard magnetic properties increase as well. In this study, the effect on change of magnetic properties in FePd layer was done for study the coupling strength constant (J) of AFC in FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(12 nm) film. At as-prepared film and the films annealed to temperature of 613 and 733 K, the J value in the AFC film was -0.44, -0.36 and -0.24 mJ/m², respectively. While at 813 K, the AFC behavior disappeared in the film sample.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อันตรกิริยาคู่ควมแม่เหล็กแบบแอนติเฟอร์โร.....	4
2.2 อันตรกิริยาแลกเปลี่ยนคู่ควมแม่เหล็กระหว่างชั้นฟิล์ม.....	7
2.3 โลหะผสม FePd.....	20
2.4 โลหะผสม CoFe.....	23
2.5 สภาพต้านทานไฟฟ้า.....	26
2.6 เทคนิคการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีสปัตเตอร์.....	35
2.7 เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์....	40
2.8 เทคนิคการวิเคราะห์สมบัติทางแม่เหล็ก.....	43
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	49
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้.....	49
3.2 การเตรียมฟิล์ม FePd, CoFe และ FePd/Ru/CoFe.....	50
3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างและสมบัติทางแม่เหล็ก.....	51
3.4 การศึกษาการจัดระเบียบของอะตอมและการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง ของ FePd.....	51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.5 การศึกษาพฤติกรรมของการเกิดอันตรกิริยาแบบ AFC ด้วยการวัด GMR.....	52
4 ผลการวิจัย.....	54
4.1 ลักษณะทางโครงสร้างและสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มตัวอย่าง ที่เตรียมได้.....	54
4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างและการจัดระเบียบของอะตอม ของ FePd ในฟิล์มแบบ 3 ชั้น FePd/Ru/CoFe ด้วยการวัด REST.....	58
4.3 ลักษณะทางโครงสร้างและสมบัติทางแม่เหล็กของฟิล์มตัวอย่างที่ผ่านการ อบความร้อนแบบไอโซโครนัล.....	59
4.4 ผลการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดอันตรกิริยาแบบ AFC ด้วยการวัด GMR.....	66
5 อภิปรายและสรุปผล.....	68
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	75
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	81

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	แสดงชั้นวัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็กแบบ AFC..... 4
2	แสดงพัฒนาการของอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์..... 7
3	แสดงระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนในบ่อศักย์ที่มีความกว้าง L..... 8
4	แสดงโครงสร้างของแถบพลังงานในชั้นวัสดุแบบ FM และ NM..... 10
5	(ก) แสดงการเกิดอันตรกิริยาแบบ FC ในฟิล์มบางแบบ 3 ชั้น FM/NM/FM (ข) แสดงการเกิดอันตรกิริยาแบบ AFC ในฟิล์มบางแบบ 3 ชั้น FM/NM/FM..... 11
6	(ก) แสดงการลดลงของ E_n และการขึ้นพ้องของคลื่นอิเล็กตรอนที่ระดับ E_F เมื่อ D มีค่าเพิ่มขึ้น (ข) แสดงการแปรผันของพลังงานรวมใน QW ตามความหนาของชั้น NM ที่เปลี่ยนแปลงไป..... 13
7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของความแรงคู่ควบ และความหนาของชั้น NM..... 15
8	(ก) แสดงผิวเฟอร์มิของอิเล็กตรอนอิสระ เมื่อ q_c คือ critical spanning wave vector ของอิเล็กตรอนอิสระ (ข) แสดงตัวอย่างผิวเฟอร์มิของทองแดง เมื่อ q_L และ q_S คือ critical spanning wave vector ช่วงยาว และช่วงสั้นของทองแดง ตามลำดับ..... 16
9	แสดงการแทรกสอดแบบ Fabry-Pérot ของคลื่นแสงในอุปกรณ์ Etalon..... 17
10	(ก) แสดงค่าคงที่ของความแรงคู่ควบของอันตรกิริยา IEC ที่มีการแปรผันตามความหนาของชั้น NM ในฟิล์มบาง FM/NM/FM โดยที่ชั้น FM มีความหนาเกือบนันต์ (ข) แสดงค่าคงที่ของความแรงคู่ควบของอันตรกิริยา IEC ที่มีการแปรผันตามความหนาของชั้น FM ในฟิล์มบาง FM/NM/FM โดยที่มีการกำหนดความหนาของชั้น NM ให้มีค่าเท่ากับ 2.90, 3.65 และ 4.10 Å ตามลำดับ..... 19
11	(ก) แสดงลักษณะทางโครงสร้างของหน่วยเซลล์ (Unit cell) ที่มีโครงสร้างแบบ A1 (ข) แสดงลักษณะทางโครงสร้างของหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบ $L1_0$ (ค) แสดงการวางตัวของแมกนีไตเซชันของอะตอมในหน่วยเซลล์ที่มีโครงสร้างแบบ $L1_0$ ซึ่งมีสมบัติทางแม่เหล็กแบบเฟอร์โร..... 20
12	แสดงเฟสไดอะแกรมของ FePd..... 21

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
13	แสดงสภาพต้านทานไฟฟ้าค้ำงที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบความร้อนของ (ก) แผ่นฟอยล์ FePd ที่มีโครงสร้างแบบพหุผลึก (ข) ฟิล์มบาง FePd ที่มีโครงสร้างแบบพหุผลึก (ค) ฟิล์มบาง FePd ที่มีโครงสร้างแบบผลึกเดี่ยว.....	22
14	แสดงการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์แม่เหล็กที่เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิของการอบความร้อนใน $Co_{50}Fe_{50}$	23
15	แสดงเฟสไดอะแกรมของ CoFe.....	25
16	แสดงการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในวัสดุของแข็งที่มีพื้นที่หน้าตัด a และมีความยาว l	26
17	แสดงการกระเจิงของอิเล็กตรอนตัวนำและเกิดการเปลี่ยนสถานะจาก k เป็น k' ใน k-space.....	27
18	แสดงการเชื่อมต่อลวดตัวนำแบบต่าง ๆ สำหรับเทคนิคการวัดสภาพต้านไฟฟ้าแบบวนเดอพาว.....	29
19	แสดงการเชื่อมต่อลวดตัวนำของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	29
20	แสดงผลการวัดค่า GMR ของฟิล์มบางแบบหลายชั้น (Fe 30Å/Cr 9Å) ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำในงานวิจัยของ Fert.....	33
21	แสดงปรากฏการณ์ GMR.....	34
22	แสดงวิธีการวัด GMR แบบ CPP และ แบบ CIP.....	35
23	แสดงระบบการเคลื่อนตัวอย่างด้วยเทคนิคซีเอ็มเอ็นอีโรนสปีดเตอริง.....	37
24	แสดงระบบการเคลื่อนตัวอย่างด้วยเทคนิคอาร์เอฟเอ็มเอ็นอีโรนสปีดเตอริง.....	39
25	(ก) แสดงการสลับขั้วไฟฟ้าแอนโนด-แคโทดของเป่าวัสดุ แผ่นวัสดุรองรับและผนังห้องเคลือบ (ข) แสดงค่าศักย์ไฟฟ้า (V) ของเป่าวัสดุที่เป็นฟังก์ชันของเวลา (t).....	39
26	แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ผ่านระนาบของโครงร่างผลึก.....	40
27	แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRD ของ (ก) ฟอยล์บาง A1-FePd ที่เตรียมได้โดยวิธีรีดเย็น (cold-rolled) ที่อุณหภูมิห้อง (ข) ฟอยล์บาง $L1_0$ -FePd ที่เตรียมได้โดยการผ่านการอบความร้อนที่อุณหภูมิ 733 K เป็นเวลา 15 ชม.....	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
28	แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มบาง B2-Co ₅₀ Fe ₅₀ ที่เตรียมด้วยวิธี Pulsed laser deposition (PLD) ที่อุณหภูมิห้อง..... 42
29	แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มบาง A3-Ru ที่เตรียมด้วยวิธี Pulsed chemical vapor deposition (Pulsed CVD) ที่อุณหภูมิ 130 °C และที่ผ่านการอบความร้อนที่อุณหภูมิ 500 และ 750 °C เป็นเวลา 1 นาที..... 42
30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M กับ H ของ (ก) วัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็กแบบพารา (ข) วัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็กแบบไดอะ..... 44
31	แสดงวงฮิสเทอรีซิสของวัสดุที่มีสมบัติทางแม่เหล็กแบบเฟอร์โร..... 44
32	แสดงแผนภาพของชุดอุปกรณ์ VSM โดยที่ (1) คือ ชั้นงานตัวอย่าง, (2) คือ ขดลวดโลหะตรวจวัด (Detection coil), (3) คือ อุปกรณ์ให้กำเนิดการสั่น (Vibrator), (4) คือ แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) และ (5) คือ หัวตรวจวัดสนามแม่เหล็ก..... 46
33	แสดงแผนภาพชุดอุปกรณ์ AGFM โดยที่ A,B คือ ขดลวดโลหะที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กแบบ Gradient (Gradient field coil), M คือ ขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า และ S คือชั้นงานตัวอย่าง..... 47
34	แสดงลักษณะชั้นของฟิล์มตัวอย่างที่เตรียมได้ (ก) ภาพฟิล์มตัวอย่าง FePd(30 nm) (ข) ภาพฟิล์มตัวอย่าง CoFe(16 nm) (ค) ภาพภาพฟิล์มตัวอย่าง FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(x nm) เมื่อ x = 12, 14 และ 16 nm..... 50
35	(ก) แสดงการเชื่อมต่อลวดทองแดงที่มุมทั้งสี่ของฟิล์มตัวอย่างด้วยกาวเงิน (ข) แสดงการจัดวางฟิล์มตัวอย่างใน Chamber ของชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอน..... 51
36	(ก) แสดงการเชื่อมต่อลวดทองแดงที่บริเวณด้านข้างของฟิล์มตัวอย่าง (ข) แสดงการจัดวางฟิล์มตัวอย่างระหว่างขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า..... 53
37	แสดงผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มตัวอย่าง FePd(30 nm) ที่เตรียมได้..... 54
38	แสดงผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มตัวอย่าง CoFe(16 nm) ที่เตรียมได้..... 54
39	แสดงผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มตัวอย่าง FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(16 nm) ที่เตรียมได้..... 55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
40	56
แสดงวงฮิสเทอรีซิสที่มีการจ่ายสนามแม่เหล็กในทิศทางกับระนาบของฟิล์มตัวอย่างแบบ 3 ชั้น FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(12 nm) ที่เตรียมอุณหภูมิห้องก่อนผ่านการอบความร้อน.....	
41	58
แสดงผลการวัด REST ของฟิล์มตัวอย่างแบบ 3 ชั้น FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(x nm) เมื่อ x = 12, 14 และ 16 nm ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบไอโซโครนัล ($\Delta T = 20$ K, $\Delta t = 1200$ s).....	
42	59
แสดงผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มตัวอย่างแบบชั้นเดียว FePd(30 nm) ที่ผ่านการอบความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ 813 K.....	
43	60
แสดงผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มตัวอย่างแบบ 3 ชั้น FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(16 nm) ที่ผ่านการอบความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ 813 K.....	
44	62
แสดงวงฮิสเทอรีซิสที่มีการจ่ายสนามแม่เหล็กเข้าไปในทิศที่ขนานกับระนาบของฟิล์มตัวอย่าง FePd(30 nm) ที่ผ่านการอบความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 613, 733 และ 813 K.....	
45	62
แสดงวงฮิสเทอรีซิสที่มีการจ่ายสนามแม่เหล็กเข้าไปในทิศที่ขนานกับระนาบของฟิล์มตัวอย่าง CoFe(16 nm) ที่ผ่านการอบความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 613, 733 และ 813 K.....	
46	63
แสดงวงฮิสเทอรีซิสที่มีการจ่ายสนามแม่เหล็กเข้าไปในทิศที่ขนานกับระนาบของฟิล์มตัวอย่างแบบ 3 ชั้น FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(12 nm) ที่ผ่านการอบความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ 613, 733 และ 813 K.....	
47	64
แสดงวงฮิสเทอรีซิสที่มีการจ่ายสนามแม่เหล็กเข้าไปในทิศที่ตั้งฉากกับระนาบของฟิล์มตัวอย่างแบบ 3 ชั้น FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm)/CoFe(12 nm) ที่ผ่านการอบความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิ 613, 733 และ 813 K.....	
48	66
แสดงผลการวัด GMR ของฟิล์ม FePd(30 nm)/Ru(0.8 nm) /CoFe(12 nm) ที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิห้อง (AP) และผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบไอโซโครนัลจนถึงอุณหภูมิ 613 K, 733 K และ 813 K.....	