

한국자기학회 2012년도 임시총회 및 하계학술연구발표회

KMS 2012 Summer Conference

논문개요집



일시 2012. 5. 24 (목) ~ 5. 25 (금)

장소 호텔인터시티

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

Digests of the KMS 2012 Summer Conference
The Korean Magnetics Society

사단법인 한국자기학회

한국자기학회 2012년도 임시총회 및 하계학술연구발표회

KMS 2012 Summer Conference

논문개요집



일시 2012. 5. 24 (목) ~ 5. 25 (금)

장소 호텔인터시티

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

“이 발표논문집은 2012년도 정부재원(교육과학기술부)으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음”



공지사항

- 연구발표를 하시는 회원은 아래사항을 지켜주시기 바랍니다.
 - 포스터보드 크기는 한 분당 가로 1m X 세로 2.5m 사용할 수 있습니다.
 - 포스터 발표자는 발표시간 10분 전에 붙여주시기 바랍니다.

2. 일 정

5월 24일(목)

11:30 ~	참가자 등록
13:00 ~ 15:00	강습회 프로그램 I - 정보기록분과 (사파이어)
15:00 ~ 15:20	Coffee Break
15:20 ~ 17:20	강습회 프로그램 II - 이론분과 (사파이어)
17:20 ~ 17:30	Coffee Break
17:30 ~ 18:00	한국자기학회 임시총회 (에메랄드)
18:00 ~ 18:30	총회 특별초청강연 (에메랄드)
18:30 ~ 20:00	Gala Dinner (에메랄드)

5월 25일(금)

08:30 ~	참가자 등록	
09:30 ~ 10:30	초청강연 I (사파이어)	09:00 ~ 12:00 포스터발표 I (에메랄드)
10:30 ~ 10:45	Coffee Break	
10:45 ~ 11:30	구두발표 I (사파이어)	
12:00 ~ 13:30	점심	
14:00 ~ 15:00	초청강연 II (사파이어)	13:30 ~ 16:30 포스터발표 II (에메랄드)
15:00 ~ 15:15	Coffee Break	
15:15 ~ 16:00	구두발표 II (사파이어)	
16:30 ~ 17:00	Best Poster 시상식 및 폐회 (에메랄드)	

- 『Best Poster 시상』이 5월 25일(금) 16시 30분에 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여바랍니다.
(단, 수상자(발표자)가 불참시에는 수상이 취소됩니다.)

5월 24일 (목)

시 간	프로그램
11:30 ~	참가자 등록
	강습회 프로그램 I - 정보기록분과 (사파이어)
	좌장: 이기석(UNIST)
13:00 ~ 13:40	T-1 Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically Confined Nanomagnets : Fundamentals of Micromagnetics
	이제현(서울대)
13:40 ~ 14:20	T-2 Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically Confined Nanomagnets : Modeling
	최윤석(서울대)
14:20 ~ 15:00	T-3 Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically Confined Nanomagnets: Introduction of Micromagnetic Simulation Packages
	유명우(서울대)
15:00 ~ 15:20	Coffee Break
	강습회 프로그램 II - 이론분과 (사파이어)
	좌장: 민병일(포항공대)
15:20 ~ 16:00	T-4 What Makes Magnets Magnetic? Theories on Magnetism in Condensed Matter
	유윤종(GIST)
16:00 ~ 16:40	T-5 First-principles Investigation on the Electronic Structures and Magnetic Properties; Using All-electron FLAPW Method
	김미영(아주대)
16:40 ~ 17:20	T-6 Electronic Structure Calculation for Experimentalist by Experimentalist
	김복기(부산대)
17:20 ~ 17:30	Coffee Break
17:30 ~ 18:00	한국자기학회 임시총회 (에메랄드)
	총회 특별초청강연 (에메랄드)
	좌장: 홍순철(울산대)
18:00 ~ 18:30	이공분야 기초연구사업 및 자연과학분야 지원현황 소개
	김동호(한국연구재단 기초연구본부 자연과학단장)
18:30 ~ 20:00	Gala Dinner (에메랄드)



5월 25일 (금)

시 간	프로그램
08:30 ~	참가자 등록
09:00 ~ 09:30	초청강연 I (사파이어) 좌장: 이병찬(인하대)
09:30 ~ 10:00	I-1 Concurrent Magnetic and Ferroelectric Transitions in Quasi-layered Multiferroics 양찬호(한국과학기술원)
10:00 ~ 10:30	I-2 적층형 칩파워인덕터의 개발 동향 안성룡(삼성전기)
10:30 ~ 10:45	Coffee Break
	구두발표 I (사파이어) 좌장: 홍종일(연세대)
10:45 ~ 11:00	O-1 Morphological Features and Sanal's Magnetic Property of Primo Vascular System 이상석(상지대)
11:00 ~ 11:15	O-2 다결정 자성 가넷막을 이용한 collinear 홀로그램 메모리 백승민(고려대)
11:15 ~ 11:30	O-3 Electric Field Control of Nonvolatile Four-state Magnetization at Room Temperature 천세환(서울대)
11:30 ~ 12:00	
12:00 ~ 13:30	점 심
13:30 ~ 14:00	초청강연 II (사파이어) 좌장: 민병철(KIST)
14:00 ~ 14:30	I-3 Phase Separation in Proton-Irradiated Graphite 이철익(고려대)
14:30 ~ 15:00	I-4 Magnetoresistance in a Tunnel Junction with an Antiferromagnet Electrode 박병국(한국과학기술원)
15:00 ~ 15:15	Coffee Break
	구두발표 II (사파이어) 좌장: 홍지상(부경대)
15:15 ~ 15:30	O-4 상변태를 이용한 {100} 집합조직을 갖는 순철 판재 제조 및 자기 특성 평가 성진경(포항공대)
15:30 ~ 16:00	S-1 과학기술분야 미래직업 김희중(한국과학기술연구원)
16:00 ~ 16:30	
16:30 ~ 17:00	Best Poster 시상식 및 폐회 (에메랄드)

포스터발표 I (에메랄드)

좌장: 김인기(포항공대)
조성래(울산대)

Session MR[Magnetic recording]

Session MT[Magnetic theory and calculations]

Session NM[Nanostructured materials]

Session SA[Sensors and applications]

Session ST[Spintronics]

포스터발표 II (에메랄드)

좌장: 정종훈(인하대)
임혜인(숙명여대)

Session BM[Biomedical materials]

Session HM[Hard magnetic]

Session MO[Magnetic oxides and multiferroics]

Session SM[Soft magnetic]

Session OT[Others]

CONTENTS

KMS 2012 Summer Conference

5월 24일(목) 18:00~18:30
Session : 총회 특별초청강연

에메랄드

✿ 좌 장 : 홍순철(울산대)

총회초청 18:00 이공분야 기초연구사업 및 자연과학분야 지원현황 소개 3
김동호*

5월 24일(목) 13:00~15:00
Session : 강습회 프로그램 I - 정보기록분과

사파이어

✿ 좌 장 : 이기석(UNIST)

- T-1 13:00 Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically
Confined Nanomagnets : Fundamentals of Micromagnetics 7
Jehyun Lee*
- T-2 13:40 Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically
Confined Nanomagnets : Modeling 8
Youn-Seok Choi*
- T-3 14:20 Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically
Confined Nanomagnets : Introduction of Micromagnetic Simulation Packages 9
Myoung-Woo Yoo*

5월 24일(목) 15:20~17:20
Session : 강습회 프로그램 II - 이론분과

사파이어

✿ 좌 장 : 민병일(포항공대)

- T-4 15:20 What Makes Magnets Magnetic? Theories on Magnetism in Condensed Matter 13
Unjong Yu*
- T-5 16:00 First-principles Investigation on the Electronic Structures and Magnetic
Properties; Using All-electron FLAPW Method 14
Miyoun Kim*
- T-6 16:40 Electronic Structure Calculation for Experimentalist by Experimentalist 15
Bog G. Kim*

5월 25일(금) 09:30~10:30
Session : 초청강연 I

사파이어

✿ 좌 장 : 이병찬(인하대)

초청강연 I-1	09:30	Concurrent Magnetic and Ferroelectric Transitions in Quasi-layered Multiferroics	19
		Chan-Ho Yang*	
초청강연 I-2	10:00	적층형 칩파워인덕터의 개발 동향	20
		안성용*, 최강룡, 최동혁	

5월 25일(금) 10:45~11:30
Session : 구두발표 I

사파이어

✿ 좌 장 : 홍종일(연세대)

O-1	10:45	Morphological Features and Sanal's Magnetic Property of Primo Vascular System ·	23
		Young-Il Noh, Minsuk Rho, Yeong-Min Yoo, Sharon JY Jung, and Sang-Suk Lee*	
O-2	11:00	다결정 자성 가넷막을 이용한 collinear 홀로그래프 메모리	26
		백승민*, 신광호, 임상호, Alexander V. Baryshev, Pang Boey Lim, Mitsuteru Inoue	
O-3	11:15	Electric Field Control of Nonvolatile Four-state Magnetization at Room Temperature	28
		Sae Hwan Chun*, Yi Sheng Chai, Byung-Gu Jeon, Hyung Joon Kim, Yoon Seok Oh, Ingyu Kim, Hanbit Kim, Byeong Jo Jeon, So Young Haam, Ju-Young Park, Suk Ho Lee, Kee Hoon Kim, Jae-Ho Chung, Jae-Hoon Park	

5월 25일(금) 09:00~12:00
Session : 포스터발표 I

에메랄드

✿ 좌 장 : 김인기(포항공대) / 조성래(울산대)

○ Session MR [Magnetic recording]			
MR01 Poster		저온 성장시킨 FePt ₃ 박막에서의 자기적 특성 및 화학적 질서도에 대한 연구	31
		이년종*, 안재영, 배유정, Anny Michel, 김태희	
○ Session MT [Magnetic theory and calculations]			
MT01 Poster		Magnetic Property of One Dimensional FePt Atomic Chain on NiAl(110) surface ...	32
		Dongyoo Kim* and Jisang Hong	
MT02 Poster		Magnetic Properties of Fe/FeCo/Cu(001) and Fe/FeCo/Co/Cu(001) Films	33
		Dongyoo Kim*, Hashmi Arqum, Jisang Hong	

MT03 Poster	A First-principles Study on the Electronic Structures and Magnetism of Antiperovskite MnCo_3N (001) surfaces	34
	Kalpana K. Landge*, Beata Bialek, Jae Il Lee	
MT04 Poster	Fundamental Properties of MxP ($\text{M} = \text{Ti, V, Fe; } x = 2, 3$) Binary and Ternary Compounds	36
	Won Seok Yun*, Jee Yong Lee, and In Gee Kim	
MT05 Poster	On the Ising Characteristic of Bragg-Williams and Bethe Alloy Models	38
	Jee Yong Lee*, Won Seok Yun, In Gee Kim	
MT06 Poster	Structural and Electronic Structure of the Topological Insulator Bi_2Te_3 and Bi_2Se_3 from Density-functional Study	40
	Purev Taivansaikhan*, Dorj Odkhuu, and Soon Cheol Hong	
MT07 Poster	Effect of Spin-diffusion on a Vortex Dynamics in a Nanodisk	41
	J.-H. Moon*, A. Manshon, and K.-J. Lee	
MT08 Poster	First-Principles Study of Magnetic Phase of $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$	43
	Sung-Ho Na*, C. H. Park	
MT09 Poster	축방향 미소 결함의 측정을 위한 자기누설 비파괴 검사 시스템 개발	45
	김희민*, 박관수	
MT10 Poster	수직 자기 이방성을 갖는 강자성 박막과 나노점의 스핀 동역학	47
	윤정범*, 유천열, 정명화	
○ Session NM [Nanostructured materials]		
NM01 Poster	Fe 이온 주입을 통한 나노다이아몬드의 특성 분석	49
	전일근*, 석재권, 송종한, 채근화, 김철성, 이재용	
NM02 Poster	일차원 원판형-자성박막 사슬 구조 내 자기소용돌이-회전운동 모드의 실험적 관측	50
	한동수*, 정현성, 이기석, 김상국, Andreas Vogel, Guido Meier, Markus Weigand, Hermann Stoll, Gisela Schutz and Peter Fischer	
NM03 Poster	전기도금 방법에 의한 금속/자성 Double Shells Tube 제조	52
	전성재*, 김동영, 윤석수	
NM04 Poster	Oleic Acid가 산화철 나노입자 생성에 미치는 영향 분석	54
	김동영, 전성재*, 윤석수	
NM05 Poster	Magnetic and Electric Properties of Epitaxial Sr-doped BiFeO_3 Thin Films	56
	정종훈*, 성길동, 조영훈	
○ Session SA [Sensors and applications]		
SA01 Poster	홀 센서와 자기 코어를 이용한 하이브리드 차량용 전류센서	58
	이우재*, 연교흠, 김시동	
SA02 Poster	튜브형 페라이트 코어를 이용하여 제작한 직교 플렉스게이트 센서의 출력 특성	61
	김용민*, 김형관, 김진영, 백승민, 신광호	

SA03 Poster	NiFe-IrMn GMR-SV 소자의 패턴닝 이방성에 따른 자기저항특성에 관한 연구 63 최종구*, 박광준, 황도근, 이장로, 이상석
SA04 Poster	자기적 방법을 이용한 비접촉 탄속측정 장치제작 65 이성민*, 유일선, 김정윤, 신준규, 정규체, 유권상, 손대락
SA05 Poster	4 - 채널 자기장 분포 측정 장치 제작 66 김정윤*, 손대락
SA06 Poster	비정질 코어를 사용한 Feed-back형 전류센서 제작 68 연교흠*, 김시동, 손대락

○ Session ST [Spintronics]

ST01 Poster	Effects of Sputtering Ar Gas Pressure in The Exchange Stiffness of $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ Thin Films 70 Jaehun Cho*, Jinyong Jung, KA-EON Kim, Sukmock Lee and Chun-yeol You
ST02 Poster	기판변화에 따른 CoFeB 박막의 Exchange Stiffness Constant 특성 연구 72 정진용*, 조신용, 조재훈, 유천열
ST03 Poster	Composition Dependence of the Critical Current Density and Thermal Stability of MgO Magnetic Tunnel Junctions with a CoFeB Single Free Layer. 74 K.Y. Jung*, C. Ahn, B.C. Min, S.Y. Park, K. Rhie, and K. Shin
ST04 Poster	Cu/ $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ /Cu 박막에서의 자성층 두께에 따른 Gilbert damping α 값의 변화 76 조정구*, 윤상준, 문준, 최석봉
ST05 Poster	Rubrene를 이용한 Spintronic Device의 특성 연구 77 박소라*, 석재권, 전일근, 임성일, 홍종일, 이재용
ST06 Poster	^1H NMR Study of the Diluted Magnetic Semiconductor Mn-Doped ZnO 79 Jun Kue Park* and Cheol Eui Lee
ST07 Poster	Density Functional Theory Calculation of Hydrogenated Graphene 80 Gi-Wan Jeon*, Kyu Won Lee, and Cheol Eui Lee
ST08 Poster	Strain effect on Magnetocrystalline Anisotropy of Multiferroic Fe/BaTiO ₃ 81 D. Odkhuu*, W. S. Yun, O. R. Kwon, T. Tsevelmaa, P. Taivansaikhan, and S. C. Hong
ST09 Poster	Growth and Transport Properties of Epitaxial Fe-Ga thin film on GaSb (100) 82 Duong Anh Tuan*, Yooleemi Shin, and Sunglae Cho
ST10 Poster	교환 바이어스를 갖는 이중 접합 구조에서 강자성층의 감쇠 상수 83 윤정범*, 최혁철, 유천열

5월 25일(금) 14:00~15:00
Session : 초청강연 II

사파이어

✿ 좌 장 : 민병철(KIST)

- 초청강연 14:00 Phase Separation in Proton-Irradiated Graphite 87
I-3 Cheol Eui Lee*, Kyu Won Lee
- 초청강연 14:30 Magnetoresistance in a Tunnel Junction with an Antiferromagnet Electrode 88
I-4 Byong-Guk Park*

5월 25일(금) 15:15~15:30
Session : 구두발표 II

사파이어

✿ 좌 장 : 홍지상(부경대)

- O-4 15:15 상변태를 이용한 {100} 집합조직을 갖는 순철 판재 제조 및 자기 특성 평가 91
성진경*, 구양모
- S-1 15:30 과학기술분야 미래직업 93
김희중*

5월 25일(금) 13:30~16:30
Session : 포스터발표 II

에메랄드

✿ 좌 장 : 정종훈(인하대) / 임혜인(숙명여대)

○ Session BM [Biomedical materials]

- BM01 Poster 홀센서 손목 착용형 맥진기를 이용한 혈류속도 및 맥파전달속도 측정 및 분석 97
김담비, 최슬기, 장덕형, 유재영, 조현성, 이남규, 김근호, 손일호, 최종구, 이상석*

○ Session HM [Hard magnetic]

- HM01 Poster Dy합금 분말 혼합에 따른 (Nd, Dy)-Fe-B 소결자석의 자기특성 변화 99
이민우*, 남궁석, 장태석, 김태훈, 이성래
- HM02 Poster Oxidation and Coercivity of Near Single Domain Size Nd-Fe-B-type Alloy
Particles 101
H. W. Kwon*, and J. H. Yu
- HM03 Poster 급속응고법에 의한 Nd-Fe-B-X계 합금스트립 제조 및 HDDR프로세스에 의한 자기적
특성 102
전병서*, 최영진, 송창빈
- HM04 Poster 방전 플라즈마 소결로 제조된 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석의 미세구조가 자기적 특성에
미치는 영향 103
김진우*, 송선용, 김영도

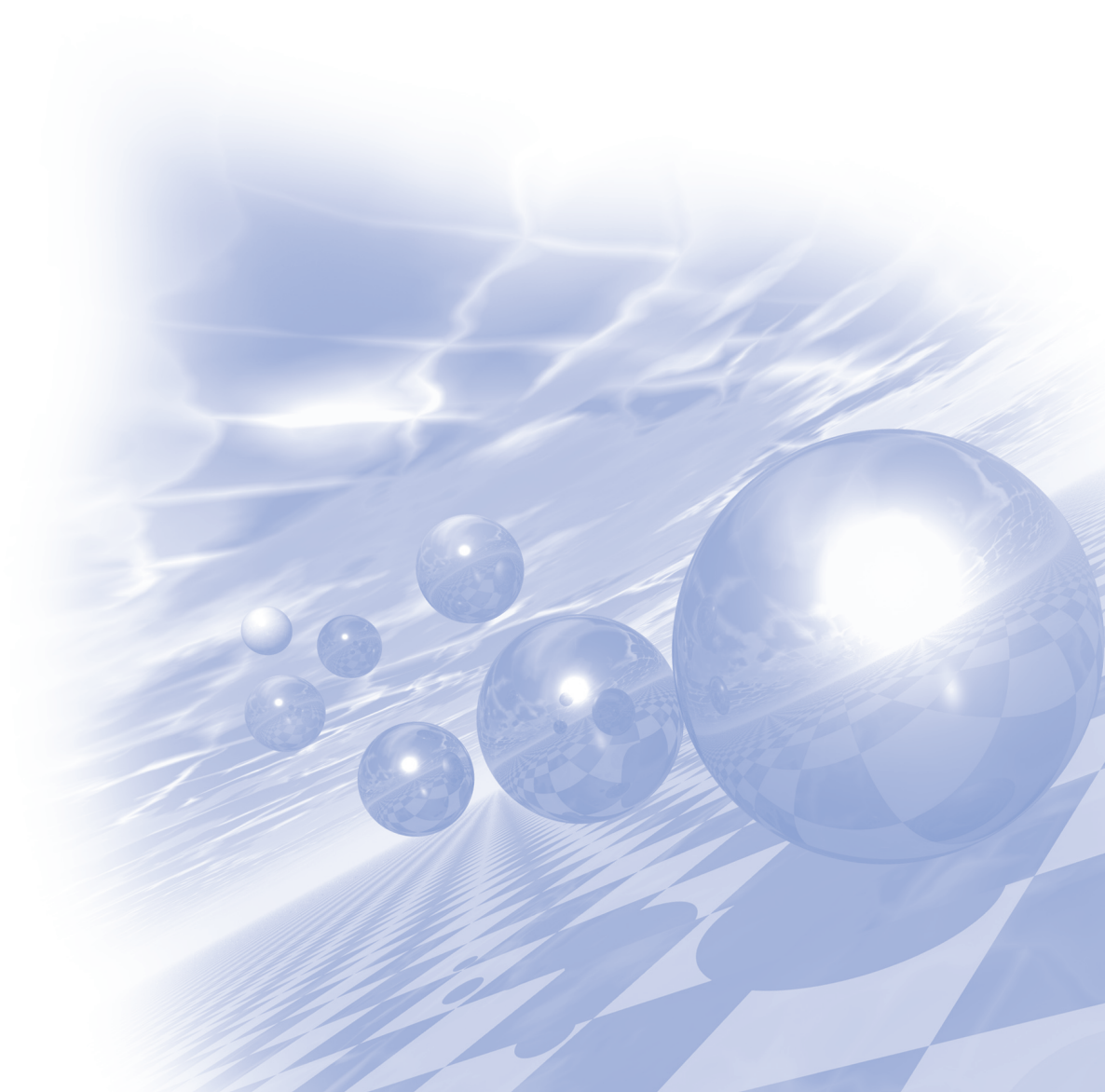
HM05 Poster	Nd-Fe-B 이방성 본드자석의 이방화율 향상과 영구자석 DC모터에의 응용	105
	김효준*, 김상면, 고창섭	
○ Session MO [Magnetic oxides and multiferroics]		
MO01 Poster	Excellent Low Field Magnetoresistance Properties of Mn Ferrites	107
	Hyo-Jin Kim* and Sang-Im Yoo	
MO02 Poster	Olivine 구조의 Li 이온 양극물질의 중성자 회절 연구	108
	권우준*, 김희승, 김민선, 김문환, 최정훈, 김성백, 김철성	
MO03 Poster	FeGa ₂ O ₄ 박막의 자기적 특성연구	110
	한승규*, 명보라, 김진모, 김삼진, 김철성	
MO04 Poster	Ba _{1-x} La _x Ti _{1-y} Fe _y O ₃ 의 Multiferroic 특성	112
	김재영*, 권윤미, 이보화	
MO05 Poster	Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ 의 온도에 따른 자화율의 불가역성	114
	권윤미*, 야구스티나, 김재영, 이보화	
MO06 Poster	핵자기공명 실험을 이용한 스피넬 산화물 CuCr ₂ O ₄ 의 자기적 특징 및 궤도정렬에 관한 연구	116
	조은아*, 이순철	
MO07 Poster	⁵⁵ Mn ²⁺ 와 ⁵⁵ Mn ³⁺ 핵자기공명으로 연구한 Mn ₃ O ₄ 의 자기이방성 상수와 교환상호작용 상수	118
	김창수*, 심정현, 조은아, 이순철	
MO08 Poster	Electron-Spin-Resonance study of Ball Milled BaTi _{0.98} Mn _{0.02} O ₃ Nanocrystalline	120
	P. Zhang*, T. L. Phan, Y. D. Zhang, D. Nanto, and S. C. Yu	
MO09 Poster	Development of Spontaneous Polarization of Epitaxial Iron-Excess Gallium Ferrite Thin Films	121
	S. H. Oh*, R. H. Shin, J. H. Lee, W. Jo, C.Lefevre, F. Roulland, A. Thomasson, C. Meny, and N. Viart	
○ Session SM [Soft magnetic]		
SM01 Poster	선택산화 된 Fe-Al 분말코어의 자기특성	123
	신승찬*, 장평우	
SM02 Poster	고주파수 소자용 Ba ₂ Co _{1.6} Zn _{0.4} Fe ₁₂ O ₂₂ 의 자기적 특성 연구	125
	조광래*, 이찬혁, 윤성욱, 강주홍, 고태준, 김철성	
SM03 Poster	Zn가 치환된 Ba ₂ Co ₂ Fe ₁₂ O ₂₂ 의 자기적 특성 연구	127
	임정태*, 원미희, 이용혜, 현성욱, 김철성	
SM04 Poster	자기소용돌이 회전 운동 시 쌍극자-결합된 원판형 자성 박막간 에너지 전달 속도 및 에너지 감쇠	129
	김지혜*, 이기석, 정현성, 한동수, 김상국	
SM05 Poster	자기소용돌이 배열을 이용한 XOR 논리연산의 실험적 구현	131
	정현성*, 최윤석, 한동수, 유명상, 이기석, 임미영, Peter Fischer, 김상국	

SM06 Poster	Induction Coupling을 이용한 근거리 비접촉 전력전송기기의 개발	133
	김진성*, 박관수	
SM07 Poster	PFC프로세스 의한 Fe기 비정질 합금 스트립 제조 시 비정질 형성능과 표면조도에 미치는 영향	135
	최영진*, 장세종, 김상욱, 전병서, 전현준, 김용찬, 남궁 정, 송창빈	
SM08 Poster	스마트 그리드 디지털 전력량계용 갭 코어 제조	136
	전병서*, 최영진, 최종식, 황영일, 송창빈	
○ Session OT [Others]		
OT01 Poster	합정의 기동 각도별 소자 성능 예측	137
	최낙선*, 정기우, 양창섭, 정현주, 김동훈	
OT02 Poster	MR유체를 이용한 가변인덕터 설계	139
	김동욱*, 정상식, 김동훈	
OT03 Poster	Si기판 위에 증착 된 Co 박막 계면의 자기적 특성 연구	141
	조창우*, 박수환, 배종성, 박성균	
OT04 Poster	펄스 자기장의 자극에 노출된 손에서 적혈구의 형태학적인 변화	142
	김우리*, 이진용, 김성현, 김영진, 김재현, 이현숙, 유준상, 황도근	
OT05 Poster	바닥 상태 염화철(III)의 스핀의 특성에 대한 연구	144
	강병기*, 김창수, 조은아, 권상일, 이순칠	
OT06 Poster	Magnetotransport Properties of CrAs Thin Films on Si(111) Substrate	146
	Yooleemi Shin*, Duong Anh Tuan and Sunglae Cho	
OT07 Poster	합곡 경혈점에서 저출력 레이저와 펄스자기장 자극의 영향에 대한 PPG 분석	147
	김영진*, 김재현, 서주연, 김성현, 이진용, 황도근, 이현숙	
OT08 Poster	NMR study on $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{Zn}_2(\text{Fe}_{0.92}\text{Al}_{0.08})_{12}\text{O}_{22}$	149
	권상일*, 이순칠, 천세환, Chai Yi Sheng, 김기훈	
OT09 Poster	산소결핍을 포함하는 SrTiO_3 박막의 전기적특성	150
	신현섭*, 송종현	
OT10 Poster	Lanthanum and Calcium Deficiency of $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Mn}_{0.975}\text{O}_{3.05}$ on Magnetocaloric Effect	151
	Dwi Nanto*, Seong-Cho Yu, Andrey Telegin	



KMS 2012 Summer Conference

총회 특별초청강연



이공분야 기초연구사업 및 자연과학분야 지원현황 소개

김동호*

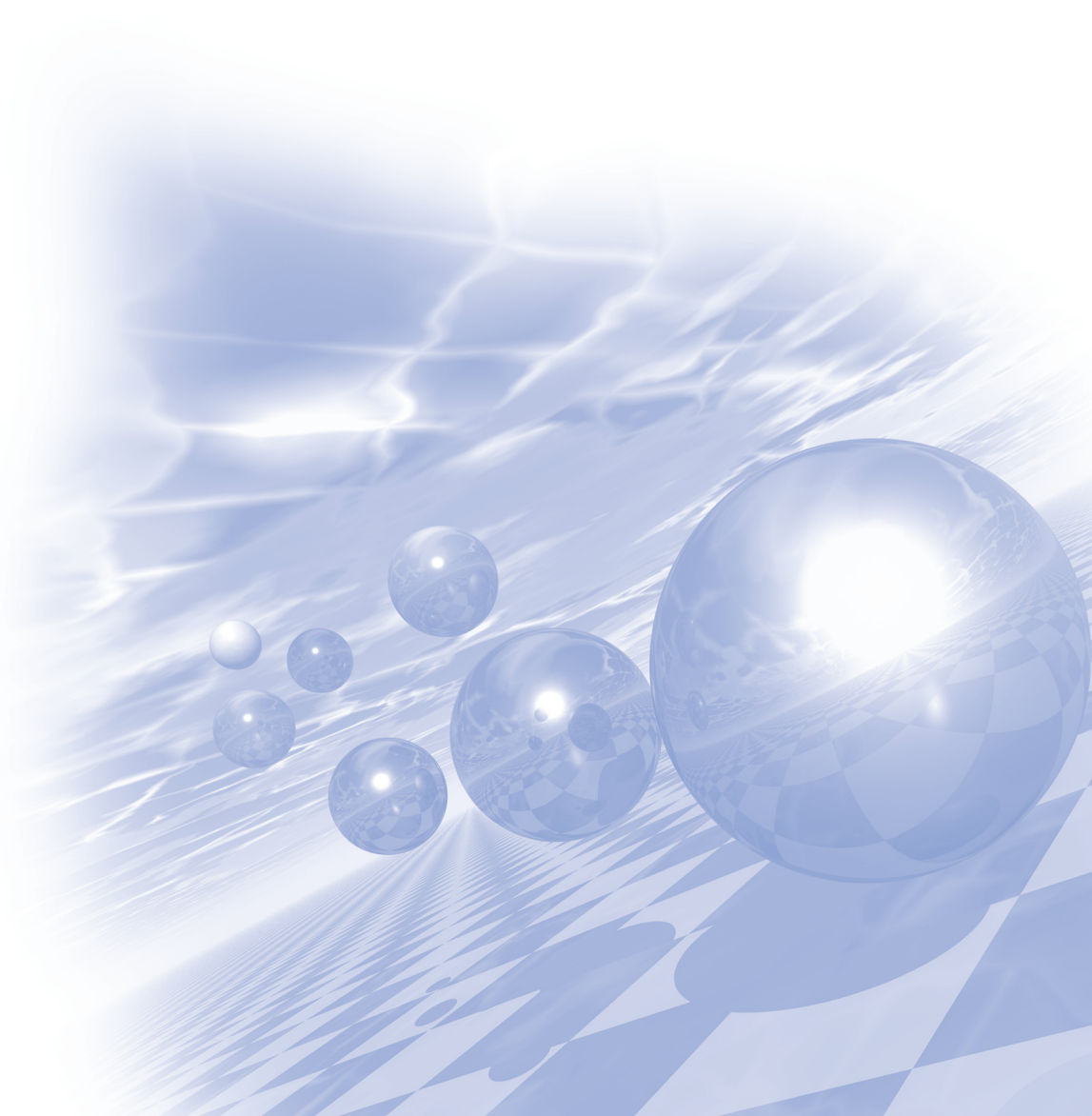
한국연구재단 기초연구본부 자연과학단장

2012년 기초연구사업의 추진방향 및 세부사업별 추진계획 등을 소개하고 2012년 상반기 기초연구사업에 대한 자연과학분야(물리학 등) 선정결과 분석 및 하반기 추진 사업에 대한 자료를 제시하여 기초연구사업에 대한 연구자의 이해를 높인다.



KMS 2012 Summer Conference

강습회 프로그램 (I)



Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically Confined Nanomagnets : Fundamentals of Micromagnetics

Jehyun Lee*

National Creative Research Initiative Center for Spin Dynamics & Spin-Wave Devices and Nanospinics Laboratory,
Department of Materials Science & Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, South Korea

미소자기학(Micromagnetism)은 수 나노에서 수 마이크로미터 크기의 자성 물체가 주어진 조건에서 어떤 특정 스핀 구조를 가지고, 주어진 환경에서 수십 나노미터 이내의 짧은 시간에 스핀들이 어떤 구조를 가지고 어떻게 거동하는지를 예측할 수 있도록 해주는 방법이다[1]. 미소자기학은 양자역학과 달리 연속체 이론에 기반하여, 대상이 되는 자성체를 유한한 개수의 절점(node)으로 나눈 후 각 절점에서의 스핀의 거동을 여기에 인가되는 자기 돌림힘(magnetic torque)을 이용하여 계산해낸다. 대개 하나의 자성체를 크기와 물성에 따라 수백에서 수만 개의 절점으로 나누기 때문에 전산모사(computer simulation)를 이용한 유한차분법(finite different method)이나 유한요소법(finite element method)와 같은 수치해석적 방법이 동반된다[2-3]. 미소자기학은 실험으로는 관측하기 어려운, 나노미터 크기의 작은 환경에서 피코초 단위의 짧은 시간동안에 발생하는 거동을 예측하고 해석하기 용이하다는 장점이 있어 MRAM(Magnetic Random Access Memory)이나 자성을 이용한 논리 소자 등의 연구 개발에 핵심적으로 사용되고 있다[4-5]. 최근에는 이러한 미소자기학의 장점을 활용하여, 스핀 파(spin wave)와 자기 소용돌이(magnetic vortex)를 이용하여 적은 전력으로 정보를 저장하고 읽고 전달하려는 연구들이 활발하게 진행 중이다[6].

본 강연에서는 미소자기학 전산모사의 여러 실례를 보임으로써 미소자기학이 다룰 수 있는 대상을 확인하고, 한편으로는 미소자기학의 한계를 짚어봄으로써 자성 및 자기 소자 연구에 미소자기학이 어떻게 사용될 수 있는지를 살펴보고자 한다.

참고문헌

- [1] J. Brown, William Fuller, Micromagnetics, Interscience (1962).
- [2] J.E. Miltat, M.J. Donahue: *Numerical Micromagnetics: Finite Difference Methods*, in: *Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials*, (John Wiley & Sons, Ltd, 2007).
- [3] T. Schrefl et al.: *Numerical Methods in Micromagnetics (Finite Element Method)*, in: *Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials*, (John Wiley & Sons, Ltd, 2007).
- [4] J. Åkerman, Science, **308**, 508 (2005).
- [5] D.A. Allwood et al., Science, **309**, 1688 (2005).
- [6] Y.-S. Yu et al., Appl. Phys. Lett., **98**, 052507 (2011).

Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically Confined Nanomagnets : Modeling

Youn-Seok Choi*

National Creative Research Initiative Center for Spin Dynamics & Spin-Wave Devices and Nanospinics Laboratory,
Department of Materials Science & Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, South Korea

최근 스핀의 동적 거동을 기반으로 한 자기기록소자 개발이 이루어짐에 따라 스핀 동역학에 대한 학문적, 기술적 관심이 급증하고 있다. 특히 나노자성체 제작기술[1] 및 스핀 동역학 측정기술의 발달[2]로 수십에서 수백 나노미터(nm) 크기로 패터닝(patterning)된 구조체내 스핀의 동적 거동을 실험으로 측정할 수 되었을 뿐 아니라, 수 나노미터 공간 및 수 피코초(ps) 시간 분해능을 가지는 미소자기 전산모사(micromagnetic simulation)를 통해 실험으로 관측이 불가능한 다양한 구조체 내의 스핀 동역학을 연구할 수 있게 되었다[3].

자성체내 스핀의 동적 거동은 Landau-Lifshitz Gilbert (LLG) 방정식[4]으로 기술할 수 있으며, 미소자기 전산모사는 유한 차분법(Finite Difference Method, FDM)[5] 혹은 유한 요소법(Finite Element Method, FEM)[5] 이용하여 상기 방정식의 해를 계산하는 과정으로 이해될 수 있다. 본 강연에서는 미소자기 전산모사의 배경 이론을 간략히 소개하고, 이를 계산하기 위한 여러 수치 해석적 방법들을 살펴보기로 한다. 또한 더 나아가 자구벽(domain wall)의 이동, 스핀소용돌이 핵(magnetic vortex core)의 동적 거동 및 스핀파(spin wave) 등과 같이 최근 이루어지고 있는 연구에서 미소자기 전산모사가 적용된 사례를 살펴봄으로써 미소자기 전산모사를 이용한 스핀 동역학 연구에 대한 이해를 돕고자 한다.

참고문헌

- [1] J. Lau and J. Shaw, J. Phys. D: Appl. Phys. **44**, 303001 (2011).
- [2] Yimey Zhu (Eds.): *Modern Techniques for Characterizing Magnetic Materials*, (Springer, New York, 2005).
- [3] S.-K. Kim, J. Phys. D: Appl. Phys. **43**, 264004 (2010).
- [4] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, Phys. Z. Sowjetunion **8**, 153 (1935); T. L. Gilbert, Phys. Rev. **100**, 1243 (1955).
- [5] H. Kronmuller and S. Parkin (Eds.): *Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials*, (Wiley, Weinheim, 2007).

Micromagnetic Simulations of Collective Spin Excitations in Geometrically Confined Nanomagnets : Introduction of Micromagnetic Simulation Packages

Myoung-Woo Yoo*

National Creative Research Initiative Center for Spin Dynamics & Spin-Wave Devices and Nanospinics Laboratory,
Department of Materials Science & Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, South Korea

나노미터 (nm) 의 공간 분해능과 피코초 (ps) 의 시간 분해능을 지닌 미세 자기구조 측정장비의 발달 [1] 및 이의 정보처리, 저장소자로서의 응용 가능성 [2] 이 밝혀짐에 따라 지난 10여년 간 스핀 동역학에 대한 연구는 학계 및 산업분야의 큰 관심을 받아왔다. 그리고 컴퓨터의 처리속도와 저장용량의 급격한 증가로 인해 실험 결과의 해석 및 예측에 있어 컴퓨터를 이용한 미소자기 전산모사 (micromagnetic simulation) 에 대한 중요성도 크게 증가하였으며 현재 미소자기 전산모사는 미세자기구조 동역학 연구에 있어 실험, 이론 해석과 함께 중요한 도구로 자리잡고 있다.

스핀 동역학에 대한 미소자기 전산모사는 Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 방정식 [3] 을 유한차분법 (Finite Differential Method, FDM) 혹은 유한요소법 (Finite Element Method, FEM) 을 이용하여 계산함으로써 이루어진다. 초기에는 LLG 방정식을 풀기 위해 연구자들이 직접 프로그램을 만들어 사용하였으나 현재는 완성된 패키지가 연구자들에게 배포 및 판매되어 수고를 줄여주고 있다. 이 강연에서는 유한차분법을 사용하는 Object Oriented MicroMagnetic Framework (OOMMF), [4] LLG Micromagnetics Simulator [5] 및 유한요소법을 사용하는 Finite Element MicroMagnEtics (FEMME) [6] 등을 중심으로 현재 미소자기 전산모사에 많이 사용되고 있는 대표적인 패키지들을 스핀파 및 자기소용돌이 동역학 등에 대한 예제를 바탕으로 구조를 만드는 방법 및 전산모사 조건 인가 방법, 그리고 데이터 처리 방법을 중심으로 살펴보도록 한다.

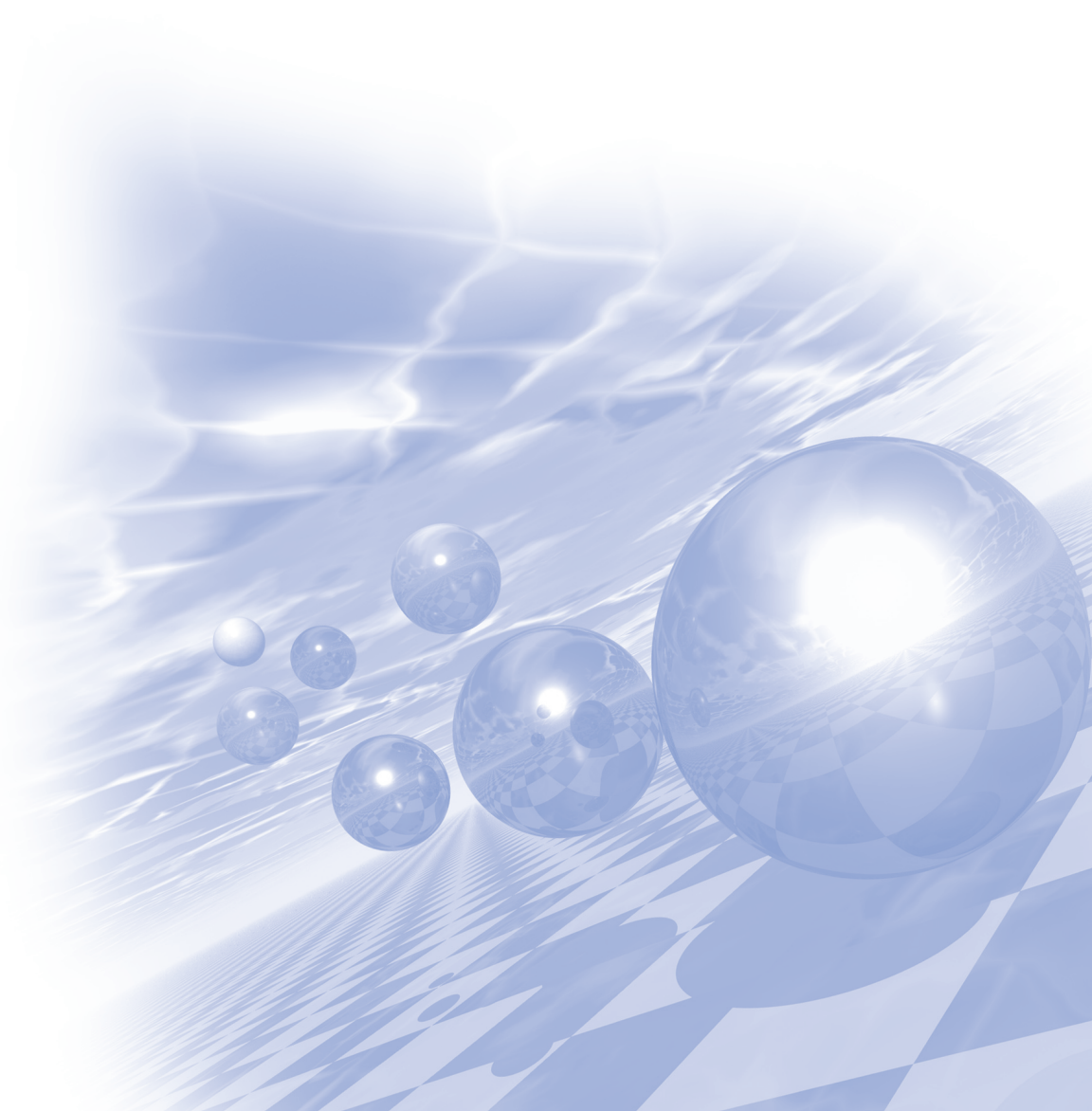
참고문헌

- [1] S. B. Choe *et al.*, Science **304**, 420 (2004).
- [2] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater. **159**, L1 (1996).
- [3] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, Phys. Z. Sowjetunion **8**, 153 (1935); T. L. Gilbert, Phys. Rev. **100**, 1243A (1955).
- [4] M. J. Donahue and D. G. Porter, OOMMF User's Guide, Version 1.0 (NIST, Gaithersburg, MD, 1999).
- [5] See <http://llgmicro.home.mindspring.com>.
- [6] T. Schrefl and J. Fidler, J. Magn. Magn. Mater. **155**, 389 (1996).



KMS 2012 Summer Conference

강습회 프로그램 (Ⅱ)



What Makes Magnets Magnetic? Theories on Magnetism in Condensed Matter

Unjong Yu*

GIST-college, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju 500-712, Korea

Magnets have been known to human beings for nearly three thousand years, but our understanding on magnetism is far from complete. What is the origin of magnetism? Why is magnetism so difficult to study theoretically? How to overcome such difficulties? In this talk, modern understanding on the essence of magnetism in condensed matter is discussed, and important theories and their recent development are reviewed. We introduce basic models to study magnetism (the Heisenberg model, the Hubbard model, and the periodic Anderson model) and methods to solve those models (the mean-field theory (Stoner model and Weiss model), Monte-Carlo methods, the dynamical mean-field theory, and the dynamical cluster approximation).

First-principles Investigation on the Electronic Structures and Magnetic Properties; Using All-electron FLAPW Method

Miyoung Kim*

Division of Energy System Research Ajou University, Suwon 443-749, Korea

We're witnessing the golden age of innovation with novel materials in both basic science and technological point of view, where the computation and simulation are playing an important role as a major component. The first-principles electronic structure investigation is one of the crucial parts of the computational material science. In this talk, we're going to review and discuss the all-electron approach of the DFT based electronic structure investigations from the basics to the specific advances including the various spin-orbit coupling induced phenomena.

Electronic Structure Calculation for Experimentalist by Experimentalist

Bog G. Kim*

Dept. of Physics, Pusan National University, Pusan 609-785

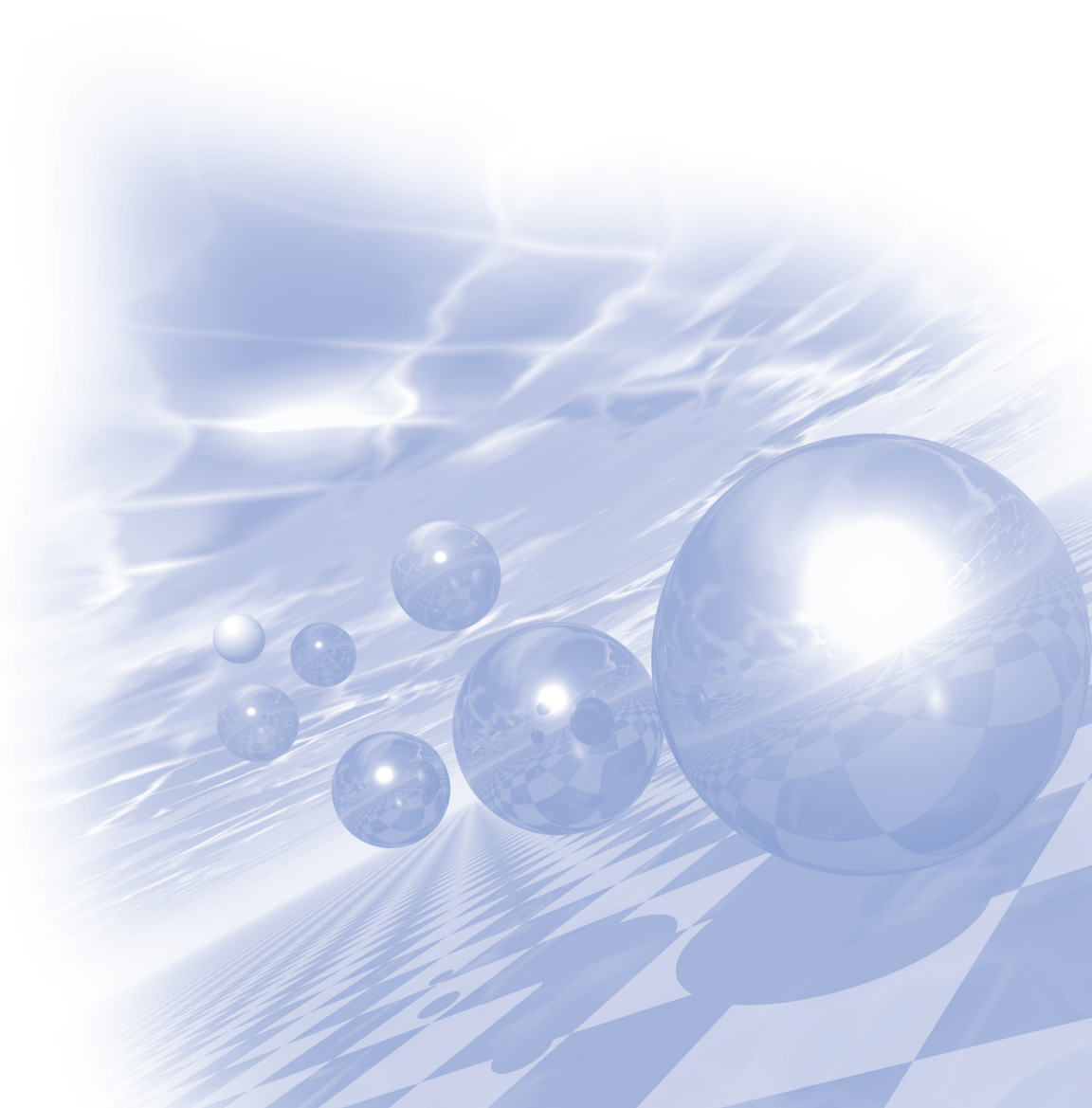
최근 들어 전자구조 계산을 위한 여러 가지 프로그램의 인터페이스가 향상되고, 컴퓨터의 사양이 비약적으로 발전하면서, 응집물리 실험가의 입장에서 쉽게 전자구조 계산을 수행할 수 있게 되었다. 본 실험실의 그간의 경험을 바탕으로 실험가들의 입장에서 어떻게 전자구조 계산에 쉽게 접근할 수 있는지를 소개하고자 한다. 실험가의 입장에서 보면 전자구조 계산은 실험과 유사한 과정을 거쳐서 해 볼 수 있다. 우선 전자구조 계산을 위한 컴퓨터로는 현재 인텔 혹은 AMD의 6 core 1 CPU 시스템을 갖추면 크게 무리가 없다. 향후 2-4 CPU 워크스테이션, 또는 KISTI의 슈퍼컴퓨팅자원을 이용하면 장비 면에서는 아무런 무리가 없다. 본 실험실은 Gaussian Type 의 LCAO(Linear Combination of Atomic Orbit) 방법을 이용하는 CRYSTAL 이라는 상용프로그램과 Planewave pseudopotential 방법을 사용한 VASP의 상용프로그램을 사용하고 있다. 실제 계산에서는 “0: Dry run”, “1: Optimization” “2: Band and DOS”, “3: Phonon” “4: Other Calculations” 의 스텝을 사용하고 있다. 이는 실험에서 시료제작 - 시료제작 최적화 - 구조분석 - 저항/자성특성분석 - 다른 전문실험의 과정과 매우 유사하다. 본 튜토리얼에서는 이와 같은 방법을 자세히 하나하나씩 소개하고자 한다. 한편 최근의 계산 결과로 Layered ZnO 의 구조적 안정성에 관한 결과와 Binary Oxide 의 자성 구조 분석에 관한 결과도 함께 발표하고자 한다.

*E-mail : boggikim@pusan.ac.kr



KMS 2012 Summer Conference

초청강연 (I)



Concurrent Magnetic and Ferroelectric Transitions in Quasi-layered Multiferroics

Chan-Ho Yang^{1,2*}

¹Department of Physics, KAIST, Daejeon 305-701, Republic of Korea

²KAIST Institute for the NanoCentury, Daejeon 305-701, Republic of Korea

Our quest for the ultimate multiferroic material over the last year has drawn our focus on the highly strained ($c/a \sim 1.26$) BiFeO_3 phase and we have found very astonishing results [1]. The antiferromagnetic transition temperature of the highly-elongated phase is largely suppressed to near room temperature and moreover the ferroelectric order undergoes a first order transition to another ferroelectric state simultaneously at the magnetic transition temperature indicating strong spin-lattice coupling. The c-axis lattice parameter change at the magnetic transition temperature is $\sim 0.2\%$ which is comparable with current commercialized magnetostrictive alloys like Terfenol-D. Our findings reveal a unique example of a concurrent magnetic and ferroelectric transition at the same temperature in a proper ferroelectric, potentially providing an avenue for room temperature magnetoelectric applications.

참고문헌

- [1] K. T. Ko *et al.*, *Nature Communications* 2, 567 (2011)

적층형 칩파워인덕터의 개발 동향

안성용^{1*}, 최강룡¹, 최동혁¹

¹삼성전기 중앙연구소 AMD랩

적층형 칩파워인덕터(Multilayer chip power inductors), 적층형 칩비드(Multilayer chip beads), 및 적층형 칩 인덕터 (Multilayer chip inductors) 등의 적층형 칩부품에 전통적으로 NiZnCu ferrite 재료가 사용되고 있으며 상대적으로 낮은 소성온도와 높은 전기 비저항, 높은 투자율, 및 화학적 안정성을 갖는 특성으로 인해 고주파용 재료로 사용되어 왔다[1-2].

적층형 칩파워인덕터는 NiZnCu ferrite green sheet에 내부전극을 인쇄하고 sheet를 적층 한 후 NiZnCu ferrite와 내부전극을 동시 소성하여 제조하기 때문에 NiZnCu ferrite 내부에 전극이 권선되어 있는 구조를 갖는다. 인가 전류에 의한 인덕턴스변화율을 작게 하기 위해 자성체 sheet 중간에 비자성체 gap 층을 삽입하며 기종별, 용량별로 gap 층의 층수가 달라지게 된다. 내부전극은 Ag/Pd alloy에 비해싼 가격으로 인하여 Ag 전극을 사용하고 있으며 Ag 전극을 내부 전극으로 사용하기 위해서 Ag의 용융 온도인 961 °C 보다 낮은 온도에서 NiZnCu ferrite의 소성이 가능해야 한다[3].

920 °C 이상의 높은 소결온도에서는 NiZnCu ferrite 내부로 Ag의 확산에 의하여 내부 전도체의 저항증가와 손실계수 Q값 저하 및 인덕턴스 값의 저하를 유발 할 수 있다. 또한 고온에서의 CuO의 분해로 인하여 자기적 특성이 감소할 수 있다. 그러므로 안정적인 칩인덕터 제조를 위해 NiZnCu ferrite의 소결온도를 900 °C 이하로 낮추는 저온소결 제조기술이 요구된다[4-5].

이러한 적층형 칩파워인덕터의 특징은 권선형에 비해 소형화가 가능하다는 장점이 있으며 내부 전극 도체가 자성체로 피복 되어 있기 때문에 누설 자속 또한 발생하지 않는다는 장점이 있다. 이러한 적층형 칩파워인덕터에 사용되기 위한 재료는 내부 전극인 Ag가 직접 인쇄되기 때문에 저항 값이 높은 재료여야 하며 Ag 보다 낮은 온도에서 소결이 가능해야 한다. 그러나 페라이트를 이용한 적층형 칩파워인덕터의 경우 포화자화값이 비교적 작으므로, 최근 금속자성분말을 이용하여 칩파워인덕터를 제조하고자 하는 연구 경향이 있다. 이렇게 포화자화값이 큰금속자성분말을 이용하면 인가전류에 의한 인덕턴스변화율을 작게 할 수 있으며 high current 용으로써 적합하다.

본 연구에서는 적층형 칩파워인덕터의 개발 동향을 확인하고 전자부품 기기의 소형화 및 스마트폰의 발달로 인한 high current에서의 동작 특성이 우수한 적층형 칩파워인덕터의 개발 방향에 대해 논의 하고자 하였다.

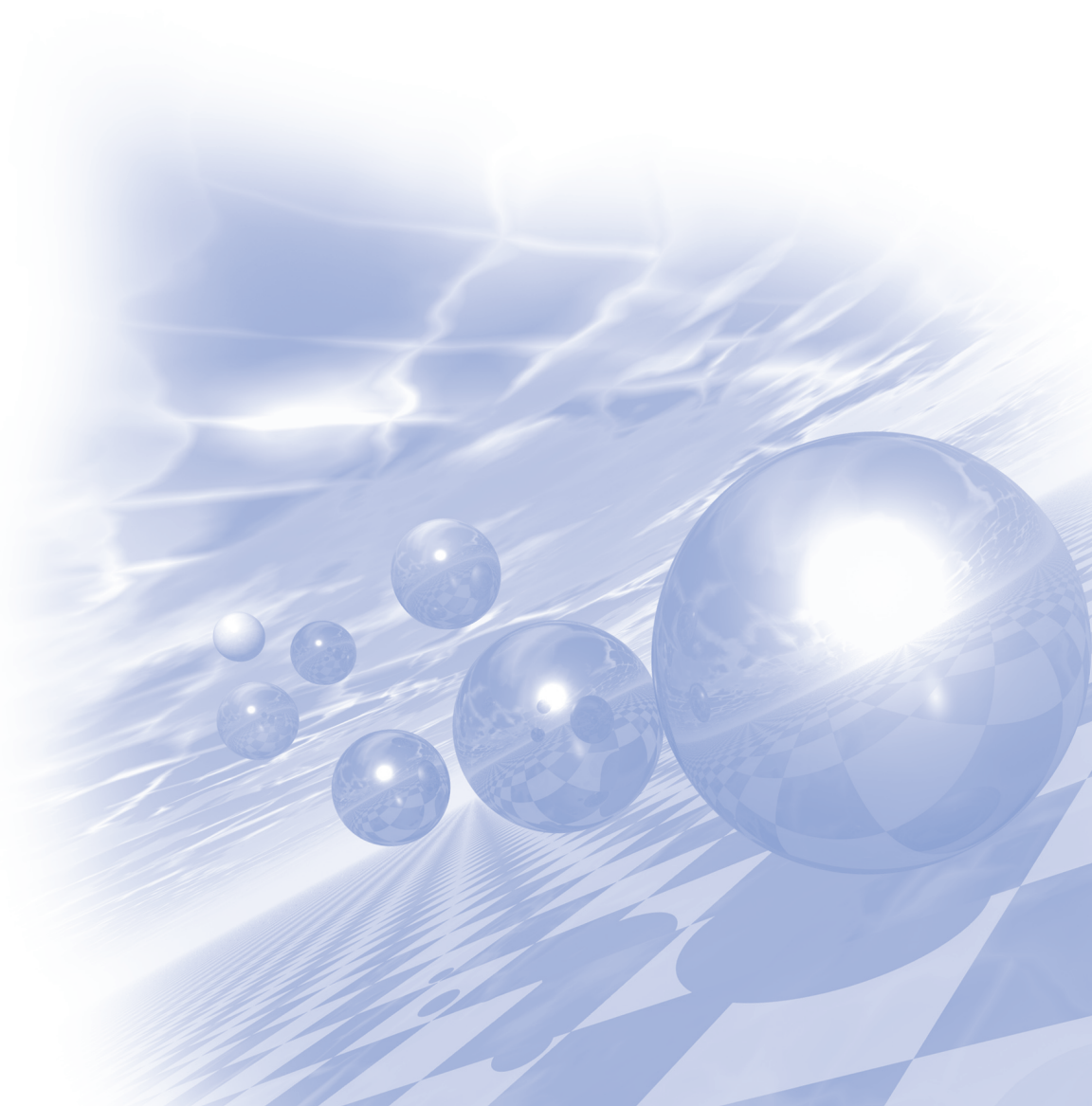
참고문헌

- [1] J. Murbe and J. Topfer, *J. Electroceramics*, **15** 215 (2005).
- [2] H. Su, H. Zhang, X. Tang, L. Jia, and Q. Wen, *Mater. Sci. Eng. B.*, **129** 172 (2006).
- [3] H. Su, H. Zhang, X. Tang, *Mater. Sci. Eng. B.*, **117**, 231 (2005).
- [4] 안성용, 위성권, *한국자기학회지*, **18** 43 (2008).
- [5] M. Pal, P. Brahma, and D. Chakravorty, *J. Magn. Magn. Mater.*, **152** 370 (1996).



KMS 2012 Summer Conference

구두발표 (I)



Morphological Features and Sanal's Magnetic Property of Primo Vascular System

Young-II Noh¹, Minsuk Rho¹, Yeong-MinYoo², Sharon JY Jung³, and Sang-Suk Lee^{1*}

¹Department of Oriental Biomedical Engineering, College of Health and Science,
Sangji University, Wonju-si, Gangwon-do, Republic of Korea

²Department of Biomedical Engineering, College of Health and Science,
Yonsei University, Wonju-si, Gangwon-do, Republic of Korea

³Nano Primo Research Center, Advanced Institute of Convergence Technology,
Seoul National University, Suwon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

1. Morphological Features of Primo Vascular System Floating in Rabbit Lymph Vessel

Until now there have been no statistical data on the primo vessels and primo nodes in the lymph flow. We repeated the experiment with ten New Zealand White rabbits in order to obtain the statistical data about the primo vascular system. We suggest primo vessels could be easily identified in lymphatic nodes around abdominal aorta with simple Alcian blue staining under the digital microscope. Also, we observed the lymph valve and the primo vessel floating in lymph vessel without Alcian blue staining. The specimen reveals the rod-shaped nuclei stained by Acridine orange.

TABLE 1. Morphological data of the PVS and the lymph vessels near the caudal vena cava of ten rabbits

Subject Number	Sex	Weight (kg)	Lymph Vessel			Primo Vessel		
			PV	LV	L _D (mm)	PN	P _D (mm)	l(mm)
1	F	2.2 kg	O	X	200	3	20.1	1.0
2	F	2.0 kg	O	O	235	4	23.5	1.5
3	F	1.8 kg	O	O	225	5	22.8	1.4
4	F	1.8 kg	O	X	215	4	21.9	2.5
5	F	1.9 kg	O	X	225	5	22.6	5.6
6	F	1.8 kg	O	O	270	4	27.2	2.0
7	F	1.8 kg	O	O	265	4	26.7	1.2
8	F	1.8 kg	O	O	275	3	27.8	2.1
9	F	1.8 kg	O	O	350	5	35.1	2.3
10	F	1.8 kg	O	O	325	4	32.6	3.9
Ave.					258.5		26.0	2.4
S.D.					46.2		4.6	1.3

PV, the observation of primo vessel; LV, the observation of lymph valve; L_D, the diameter of the lymph vessel; PN, the number of primo node; P_D, the diameter of the primo vessel; l, the average length of primo vessel; Ave., the average value; S.D., the standard deviation.

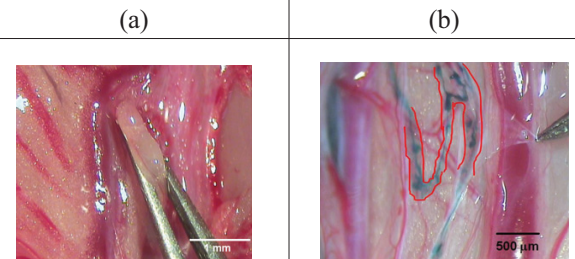


Fig. 1. (a) Rabbit lymph bundles before Alcian blue injection. (b) Lymphatic primo vessels stained by Alcian blue floating in lymph vessels (red solid lines).

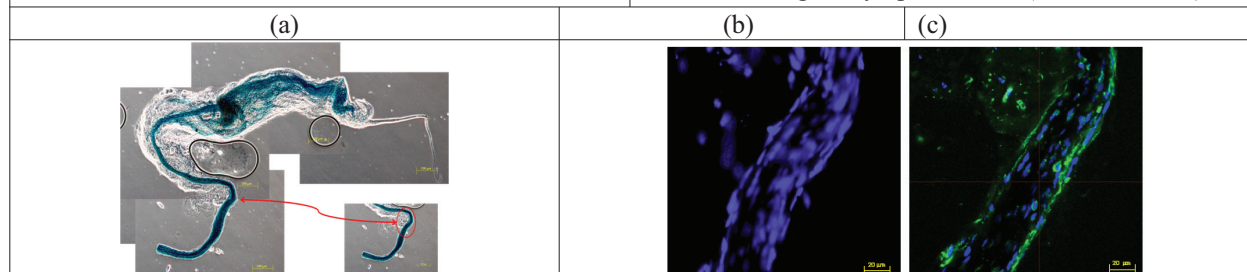
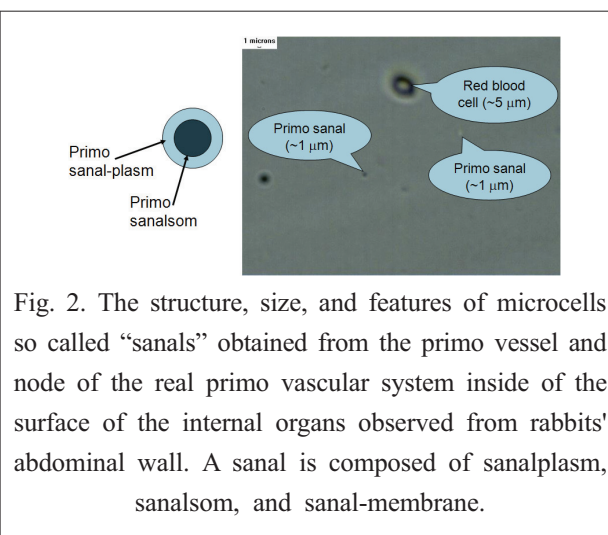
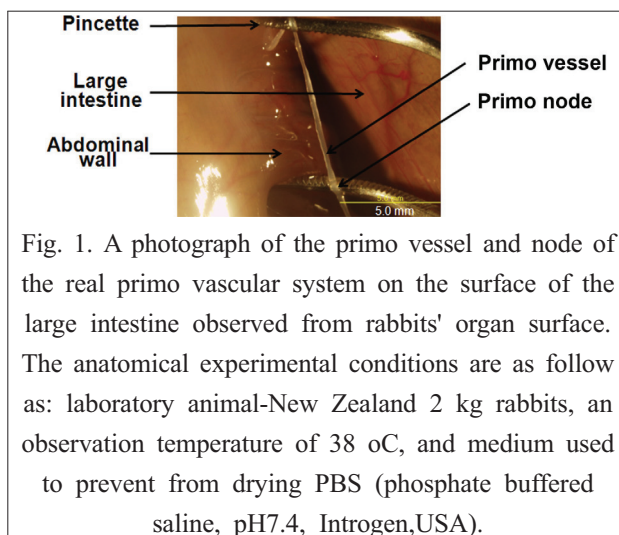


Fig. 2. The differential interference contrast microscope image of abdominal lymph node in the neighbor region of rabbit's caudal vena cava (a). A confocal laser scanning microscope image (stereo microscope image) the same specimen as in part A inset of (a). (b) Image by DAPI nuclear staining; (c) Image by Acridine orange and DAPI nuclear staining. The samples taken from the lymph vessel were put on the slide after washed with phosphate-buffered solution.

The blue stained nuclei distributed in broken-lined stripe forms tube structure with about 20 mm diameter. The distance between two neighboring nuclei of the cells on an aligned line, and the diameter of the micro tube structure is measured about $5\text{ }\mu\text{m} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$. We obtained 3 ~ 5 primo nodes in the average length 2.4 mm and up to 5.6 mm in the longest of the primo vessels. The average size of the primo node was $50\text{ }\mu\text{m}$ and the average diameters of the primo and lymph vessel were $26.0\text{ }\mu\text{m}$ and $258.5\text{ }\mu\text{m}$, respectively. We also expect the traditional Korean meridian system which has stand on invisible world for the thousands of year could be revealed to visible scientific world soon.

2. Motion Property of Biomolecule Sanals of Primo Vascular System under Magnetic Field

The motion property of sanals of the primo vascular system (PVS) is investigated under a low static magnetic field of 100 Oe. The sanals with a size of about $1\text{ }\mu\text{m}$ are selected and separated from the primo vessel and node of rabbits' organ surface. The average moving velocity of ten sanals inside of physiological saline solution parallel and perpendicular to the direction of applied magnetic field is about of 0.9 pixel/s and random, respectively. It implies that the rotating motion of sanal with nuclei DNA composed of many inorganic magnetic materials of Mn and Co is monotonically weakened by the increase of applied magnetic field.



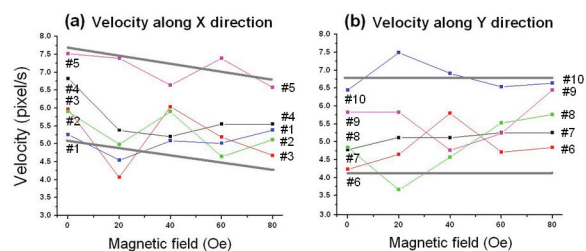
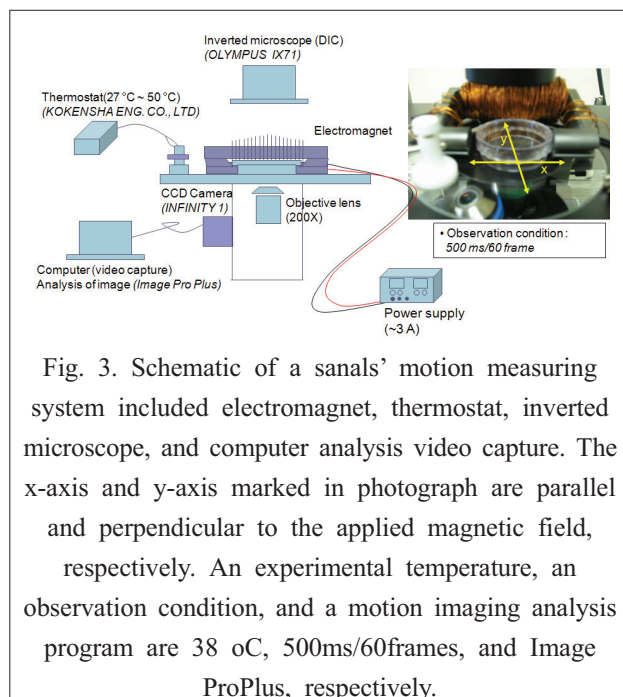


Fig. 4. Analysis of 10 sanals' moving velocities along the direction of magnetic field (x-direction) (a) and perpendicular to the direction of magnetic field (y-direction) (b) under the low magnetic field of 0 Oe, 20 Oe, 40 Oe, 60 Oe, and 80 Oe, respectively. The gray bold lines in two graphs velocity versus magnetic field are shown two major tendencies for variation of sanals' moving velocity.

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (2011-0007552).

다결정 자성 가넷막을 이용한 collinear 홀로그램 메모리

백승민^{1*}, 신광호², 임상호¹, Alexander V. Baryshev³, Pang Boey Lim³, Mitsuteru Inoue³

¹고려대학교 반도체기술연구소, ²경성대학교 정보통신공학과, ³Toyohashi University of Technology (Japan)

1. 서론

정보사회의 급격한 발전에 따라 정보저장장치가 점유하는 역할이 커지고 대규모 정보를 고속으로 기록·재생하는 메모리의 실현이 열망되고 있다. 홀로그램을 이용한 고밀도 광 기록 기술은 이러한 요구를 만족시킬 후보기술 중 하나이다. 홀로그램 메모리는 과거에도 몇 번의 시도된 기술이지만, 시스템을 구성하는 레이저, 공간광변조기(SLM), CMOS이미지 센서 등 광디바이스의 발전과 더불어 새롭게 주목받고 있다. 특히 두꺼운 포토폴리머 재료에 홀로그램을 체적으로 기록·재생하는 디지털 체적 홀로그래피[1]와 겹보기에는 하나의 빛으로 홀로그램을 기록·재생하는 collinear 홀로그래피[2]등이 개발되어 보안이 지극히 높은 고밀도 고속 광 메모리에 응용이 세계적으로 검토되고 있다.

본 연구에서는 이러한 홀로그램 메모리 응용을 위해 투과성이 높은 자성 가넷막의 제작과 collinear 자기홀로그램의 기록·재생 시스템 구축에 대하여 조사하였다. 열자기 기록 방식에 의한 다결정 자성 가넷막의 홀로그램의 기록·재생에 대해 실험적으로 조사하였다.

2. 실험 방법

자성 가넷막 제작은 SGGG기반상에 마그네트론 스퍼터링법에 의해 $3.3\ \mu\text{m}$ 성막하였다. 성막 후 비정질 상태의 가넷을 결정화하기 위해 $750\ ^\circ\text{C}$ 에서 10분간 열처리를 행하였다. 이렇게 얻어진 시편의 파단면 관찰 및 자기특성, 투과율, 자기광학효과를 SEM, VSM, UV probe, 자기광학효과 평가 장치를 이용하여 측정하였다. 그림 1은 홀로그램의 기록·재생 실험을 위해 자체 개발한 collinear 홀로그래픽 시스템이다. SLM에 표시된 신호 패턴은 기록 시 신호 패턴(중심부분)과 참조 패턴(외곽부분)을 모두 표시하여 기록하고, 재생 시 참조 패턴만 표시하여 재생되는 신호 패턴을 CCD카메라에 의해 취득하였다. 파장 $633\ \text{nm}$ 의 적색 레이저는 시편의 초점을 맞추기 위해 사용되었다.

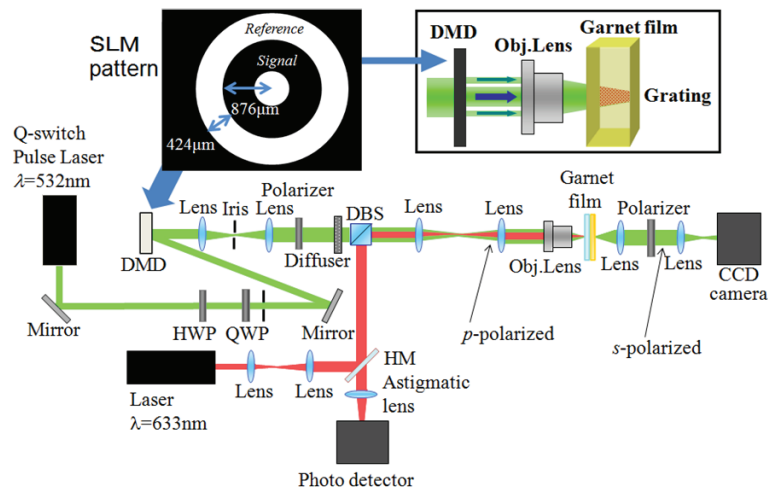


그림 1. 홀로그램 기록·재생을 위한 광학 시스템

3. 실험결과 및 고찰

제작된 가넷 막은 수직자화막으로 큐리온도는 170 °C이다. 파장 532 nm에 있어서 투과율은 14 %, 자기광학 패러데이 회전각은 -9.7 °이다. 시편의 파단면 관찰 결과 평균 입자크기는 45 nm 정도이다. 이 시편에 있어 자구를 편광현미경으로 관찰하였지만 명확한 것은 보이지 않았으며, 외부 자계 인가에 의해 막 표면의 전체적 명암변화가 관찰 되었다. 이것은 상기방법으로 얻어진 다결정막을 구성하는 자성입자간의 결합이 약하고, 각각의 입자가 독립적인 자화반전을 나타내고 있다는 것을 추측할 수 있다. 실제 간단한 에너지 계산으로부터 입자간의 결합이 약한 다결정 상태의 막에서 이러한 자화과정이 나타날 수 있다는 것이 보고되었다[3].

그림 2는 다결정 자성 가넷막에 홀로그램 기록·재생 광학 시스템을 이용하여 서로 다른 두 신호 패턴에 대한 재생 결과이다. 두 가지 패턴을 재생한 결과 식별 가능한 신호 패턴을 얻을 수 있었고, 이것은 열자기 기록 방식과 collinear 홀로그래피를 이용하여 다결정 가넷막상에 홀로그램 간섭패턴이 자화의 방향에 의해 기록되었다는 것을 의미한다.

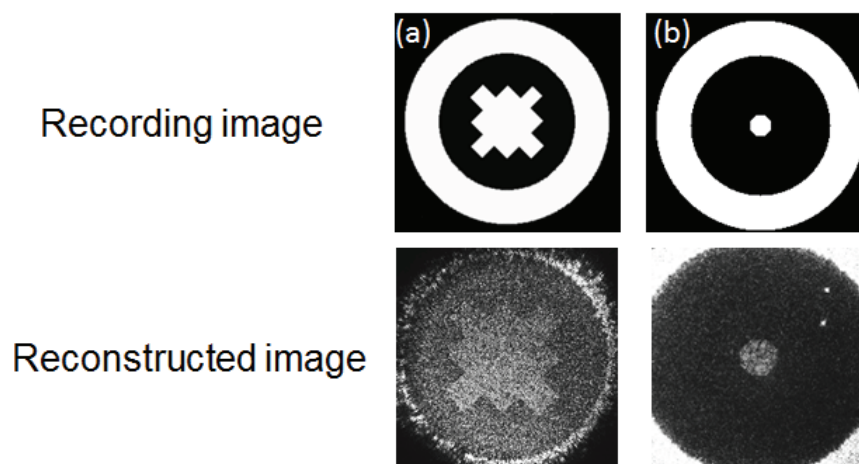


그림 2. 다결정 가넷막을 이용한 홀로그램 기록·재생 결과

4. 결론

본 연구에서는 투과성이 높은 다결정 가넷막을 이용하여 홀로그램의 기록·재생에 관하여 검토하였다. 제작된 다결정 자성 가넷막은 홀로그램 기록매체로서의 가능성을 확인할 수 있었고, 앞으로 회절 효율의 향상 및 노이즈 감소 방법 등에 관한 검토가 필요할 것으로 예상된다.

5. 참고문헌

- [1] H. J. Coufal, D. Psaltis, G. T. Sincerbox eds., “Holographic Data Storage,” Springer Series in Optical Sciences, 10, (2000)
- [2] H. Horimai and X. Tan, “Collinear technology for holographic versatile disc,” Appl. Opt., vol.45, No.5, pp.910-914, (2006)
- [3] S. Mito, J. Kim, K. H. Chung, K. Yamada, T. Kato, H. Takagi, P. B. Lim and M. Inoue, “Magnetic property of polycrystalline magnetic garnet for voltage driven type magneto-optic spatial light phase modulator,” J. Appl. Phys., vol.107, 09A948, (2010)

Electric Field Control of Nonvolatile Four-state Magnetization at Room Temperature

Sae Hwan Chun^{1*}, Yi Sheng Chai¹, Byung-Gu Jeon¹, Hyung Joon Kim¹, Yoon Seok Oh¹, Ingyu Kim¹, Hanbit Kim¹, Byeong Jo Jeon¹, So Young Haam¹, Ju-Young Park¹, Suk Ho Lee¹, Kee Hoon Kim¹, Jae-Ho Chung², Jae-Hoon Park³

¹CeNSCMR, Department of Physics and Astronomy, Seoul National University, Seoul 151-747, Korea

²Department of Physics, Korea University, Seoul 136-713, Korea

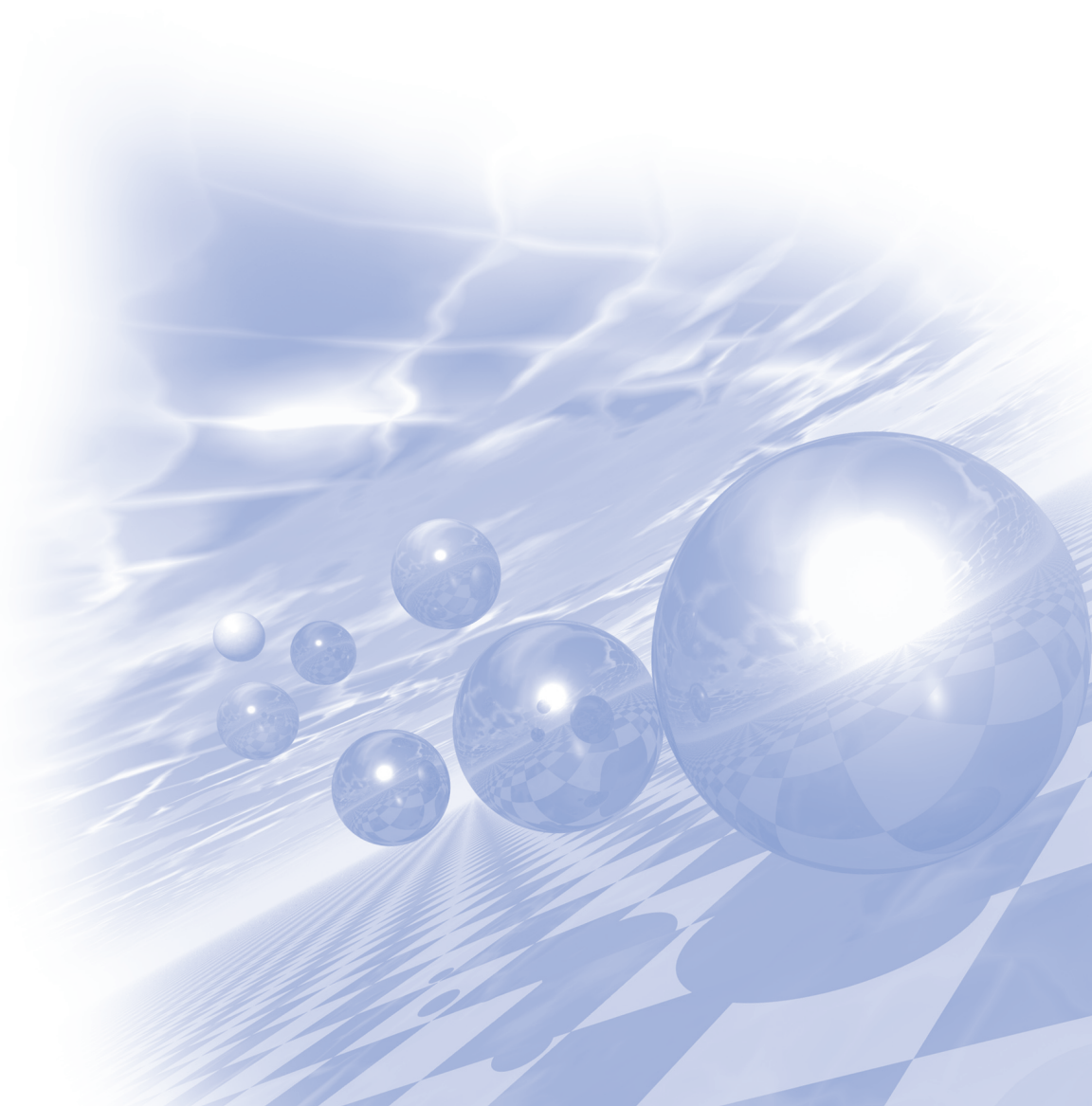
³Department of Physics and Division of Advanced Materials Science, POSTECH, Pohang 790-784, Korea

The control of magnetization by an electric field at room temperature remains as one of the great challenges in materials science. Multiferroics, in which magnetism and ferroelectricity coexist and couple to each other, could be the most plausible candidate to realize this long-sought capability. While recent intensive research on the multiferroics has made significant progress in sensitive, magnetic control of electric polarization, the electrical control of magnetization, the converse effect, has been observed only in a limited range far below room temperature. Here we demonstrate at room temperature the control of both electric polarization by a magnetic field and magnetization by an electric field in a magnetoelectric (ME) hexaferrite $\text{Ba}_{0.52}\text{Sr}_{2.48}\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$. The electric polarization in this compound rapidly increases in low magnetic fields (~ 5 millitesla), and its magnetoelectric susceptibility reaches the highest value (3200 ps/m) among single-phase materials. The magnetization is then modulated up to 0.62 $\mu\text{B}/\text{formula unit}$ in an electric field of 1.14 MV/m. We find further that four ME states induced by different ME poling exhibit unique, nonvolatile magnetization versus electric field curves, which can be approximately described by an effective free energy with a distinct set of ME coefficients.



KMS 2012 Summer Conference

포스터발표 (I)



저온 성장시킨 FePt₃ 박막에서의 자기적 특성 및 화학적 질서도에 대한 연구

이년종^{1*}, 안재영¹, 배유정¹, Anny Michel², 김태희¹

¹이화여자대학교 물리학과

²PHYMAT, Universite de Poitiers, Futuroscope-Chasseneuil 86962, France

다층박막증착 기법을 이용하여 제작한 FePt₃ 박막의 화학적인 질서도에 따른 자기적 특성변화를 XRD, TEM 을 이용한 구조적 특성의 측정 및 VSM, SQUID를 이용한 자화도 측정을 이용하여 고찰하였다. XRD, TEM 결과로부터 (001)방향으로 우세한 배향성을 갖는 FePt₃ 박막을 Si 기판 위에 MgO(001) 하지층 위에 배향성을 갖는 얇은 Pt(001) 박막을 기저층 이용하여 300 °C 이하의 저온에서 성장시켰음을 확인하였다. L12상의 단결정 FePt₃의 경우 160 K 이하의 Neel 온도(TN)[1] 보다 조금 낮은 130 K 이하에서 반강자성의 L12구조가 형성됨을 확인하고, 반면 구조적 질서도 저하된 FePt₃의 경우 상온에서 강자성 특성이 발현됨을 관찰하였다. 또한 인위 적으로 미량의 B 을 첨가에 의한 상온에서의 강자성 특성 유도 가능성을 심층적으로 탐구하였다. 미소한 B이 첨가되었을 때 FePt₃구조적 배향성은 우수해졌으나 자기적 특성에는 큰 변화를 보이지는 않았다. 본 연구결과 를 토대로 B 투입에 따른 FePt₃ 박막의 강자성 유도 가능성에 대해 논의하고자 한다.

참고문헌

[1] Proc. R. Soc. London. Ser. A **272**,387(1963)

Magnetic Property of One Dimensional FePt Atomic Chain on NiAl(1 1 0) surface

Dongyoo Kim* and Jisang Hong

Department of Physics, Pukyong National University

Through the full potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method, the magnetic property of one dimensional (1D) FePt diatomic chain has been explored. We find ferromagnetic (FM) ground state for both free standing and supported system on NiAl(110) surface. In free standing state, both Fe and Pt atoms have magnetic moments of 3.47 and 0.74 μ_B , respectively. On NiAl(110) surface, the magnetic moment of Fe becomes 2.97 μ_B and there is no spin polarization in Pt atom. In contrast, the surface Ni has an induced magnetic moment of 0.2 μ_B . It is found that the direction of magnetization is substantially affected by the NiAl(110) surface. For instance, the magnetization aligns perpendicular to the chain axis for free standing state, whereas the magnetic anisotropy parallel to the chain axis is observed. Besides, the magnitude of anisotropy energy is strongly influenced by the presence of NiAl(110) substrate

Magnetic Properties of Fe/FeCo/Cu(001) and Fe/FeCo/Co/Cu(001) Films

Dongyoo Kim*, Hashmi Arqum, Jisang Hong
Department of Physics, Pukyong National University

Using the full potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method, we have investigated the thickness dependence magnetic properties of Fe/FeCo/Cu(001) and Fe/FeCo/Co/Cu(001) films. We have observed that magnetic moment of Fe atoms located at FeCo alloy layer show different value with two types of structure. For instance, magnetic moment of Fe atom at FeCo alloy layer have been enhanced in Fe/FeCo/Cu(001), but suppressed magnetic moments are observed in Fe/FeCo/Co/Cu(001) structure. This means that the interaction between nearest atoms is the most important factor in the essential magnetic interaction. Also, we have calculated Fe thickness dependent magnetocrystalline anisotropy energy (MCA). In Fe/FeCo/Cu(001) structure, spin reorientation transition (SRT) phenomenon is obtained with increasing Fe thickness. In Fe/FeCo/Co/Cu(001) structure, all of structures show perpendicular magnetization with surface, and the value of MCA is decreased by increasing Fe thickness.

A First-principles Study on the Electronic Structures and Magnetism of Antiperovskite MnCo_3N (001) surfaces

Kalpna K. Landge*, Beata Bialek, Jae Il Lee

Department of Physics, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

Ferromagnetic transition metal nitrides are very interesting materials for future applications in spintronics [1] whose electronic properties have been extensively investigated. The crystal structure of the nitrides richest in transition metal is said to be fcc with a nitrogen atom in the center of the cube. If the atoms at the face centers are substituted by another element, a simple cubic antiperovskite structure is obtained.

We report the study of the electronic structures and the magnetic properties of manganese substituted cobalt nitride (MnCo_3N) (001) surface carried out with the use of all-electron full potential linearized augmented plane-wave (FLAPW) method [2] as embodied in the QMD-FLAPW code, within the generalized gradient approximation to the exchange correlation potential. In MnCo_3N there are two possible terminations of (001) surface: one contains Mn and Co atoms only, and the other is composed of Co and N atoms, as shown in Fig.1.

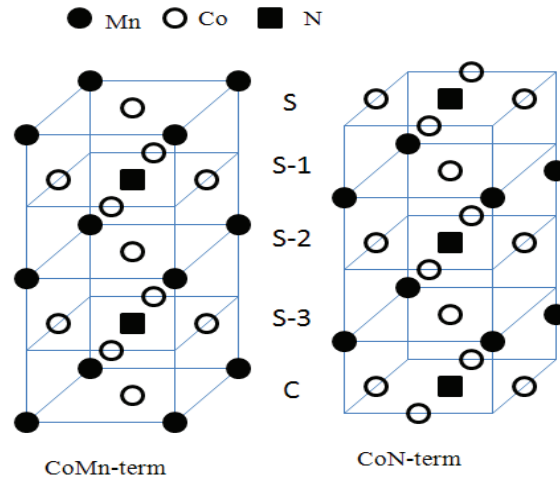


Figure 1. Schematic view of the MnCo_3N (001) surface with CoMn-term and CoN-term.

In Table I, l-decomposed majority and minority spin electrons inside the muffin-tin sphere of the atoms in S, S-1, and C layers of MnCo_3N (001) surface with CoMn-term and CoN-term and the values of the magnetic moments (MMs) calculated for the atom are collected. The values obtained for the atoms in the S-2 and S-3 layers are not shown since they were very close to those calculated for the atoms in the C layer.

TABLE I. l-decomposed majority and minority spin electrons inside the muffin-tin sphere of atoms in the S, S-1, and C layers of MnCo_3N (001) surface with CoMn-term and CoN-term together with the values of the magnetic moments (MMs) calculated for the atoms.

CoMn-term					
Atom	s ($\uparrow \downarrow$)	p ($\uparrow \downarrow$)	d ($\uparrow \downarrow$)	total ($\uparrow \downarrow$)	MM [B]
Co(S)	0.09/0.08	0.06/0.06	3.99/2.72	4.14/2.87	1.270
Mn(S)	0.08/0.06	0.04/0.04	4.05/0.45	4.17/0.56	3.607
Co(S-1)	0.09/0.09	0.09/0.10	3.98/2.70	4.17/2.89	1.282
N(S-1)	0.66/0.65	1.38/1.28	0.03/0.03	2.07/1.96	0.109
Co(C)	0.09/0.09	0.09/0.10	4.03/2.65	4.22/2.84	1.373
Mn(C)	0.07/0.06	0.06/0.06	3.97/0.53	4.10/0.65	3.450
CoN-term					
Co(S)	0.09/0.09	0.08/0.08	4.07/2.59	4.25/2.76	1.488
N(S)	0.66/0.66	1.36/1.26	0.02/0.02	2.04/1.94	0.105
Co(S-1)	0.09/0.09	0.09/0.10	4.00/2.67	4.20/2.86	1.342
Mn(S-1)	0.07/0.06	0.06/0.06	3.97/0.53	4.10/0.65	3.447
Co(C)	0.09/0.09	0.09/0.09	4.03/2.66	4.22/2.85	1.370
N(C)	0.66/0.65	0.40/1.27	0.03/0.03	2.09/1.95	0.144

Co atoms in the CoN-terminated surface have enhanced magnetic properties, as compared with the CoMn-terminated surface, which is confirmed by the calculated values of magnetic moments (MM) on these atoms (1.49 and 1.27 μB , respectively). In contrary, the magnetic properties of Mn atoms are manifested stronger at CoMn-terminated surface. The Mn atom at the topmost layer has MM of 3.61 μB while the MM on Mn subsurface atom in CoN-terminated surface is 3.45 μB . The surface Mn atoms are dominant for the magnetic properties of the systems. Since the calculated MMs on the atoms in the deeper layers of the both systems are considerably smaller than those at the surface, we conclude that the existence of the surface enhances the magnetic properties of MnCo_3N .

참고문헌

- [1] S. Ishida and K. Kitawatase, J. Magn. Magn. Mater. **130**, 353 (1994).
- [2] E. Wimmer, H. Krakauer, M. Weinert, and A. J. Freeman, Phys. Rev. B **24**, 6864 (1981) M. Weinert, E. Wimmer, and A. J. Freeman, Phys. Rev. B **26**, 4571 (1982).

Fundamental Properties of M_xP ($M = \text{Ti, V, Fe}$; $x = 2, 3$) Binary and Ternary Compounds

Won Seok Yun*, Jee Yong Lee, and In Gee Kim[†]

Graduate Institute of Ferrous Technology, Pohang University of Science and Technology, Pohang 790-784,
Republic of Korea

[†] Corresponding Author: igkim@postech.ac.kr

1. Introduction

The magnetic and structural properties of 3d transition metal phosphides are of considerable interest. For example, the crystal structure of Fe_3P belong to the Ni_3P -type which has the space group $\bar{I}4$, eight formula units in a tetragonal unit cell and three crystallographically different Fe atom sites (denoted as FeI, FeII, and FeIII) [1]. In addition, the magnetic ground state of Fe_3P compound is a ferromagnetic (FM) with a high Curie temperature of 692 K and saturation magnetic moment of 1.89 $\mu\text{B}/\text{Fe}$ atom at 10 K [2]. From Mössbauer and neutron diffraction measurements, the magnetic moments of FeI, FeII, and FeIII have been estimated to be 2.12, 1.25, and 1.83 μB , respectively [3]. As a same space group with Fe_3P , Mn_3P compound is antiferromagnetic (AFM) with the Néel temperature about 115 K, and Ni_3P and Cr_3P compounds show the Pauli-type paramagnetism [4]. The Co_3P phase does not exist in the binary system [5]. On the other hand, the other 3d transition metal phosphides, namely Ti_3P and V_3P , known to be Ti_3P -type (space group $\text{P}4_2/\text{n}$) crystal structure [6]. Here, we investigated fundamental magnetic and structural properties of M_xP ($M = \text{Ti, V, Fe}$; $x = 2, 3$) binary and ternary compounds using the highly precise all-electron full-potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method [7] based on density functional theory.

2. Computational Method and Models

The Perdew-Burke-Ernzerhof form of the generalized gradient approximation (GGA) [8] for the exchange correlation potential was used. An energy cutoff of 5.0 ($2\pi/a$), where a is the lattice parameter, was employed for expanding the linearized augmented plane wave basis set. An 18 ($2\pi/a$) star function cutoff was used for depicting the charge density and potential in the interstitial regions. Lattice harmonics with $l \leq 12$ were employed to expand the charge density, potential, and wave functions inside each muffin-tin sphere, with radii of 2.2 ~ 2.3 a.u. and 1.9 a.u. for 3d transition metals and P atoms, respectively. Integrations inside the Brillouin zone (BZ) were performed using the improved tetrahedron method over a $5 \times 5 \times 9$ mesh within the three-dimensional (3D) BZ.

3. Results and Discussions

From the total energy calculations, we determined the equilibrium lattice constants and value of M_3P and M_2P as shown in Table I. One can see that the calculated volume of Ti phosphides is the largest in the considered systems since the ionic radius of Ti is larger than the other elements. We also confirm that the lattice constants of these compounds are well consistent with experimentally estimated values. From magnetic point of view, it

is interesting found out that only iron phosphides system have magnetism, which the ground magnetic state was investigated by calculating the total energy with the nonmagnetic (NM) and FM states. As a result, the FM state of Fe_3P compound is more stable than the NM one by energy difference of 809 meV/f.u. Furthermore, the calculated magnetic moments of Fe_3P compound were calculated to be 2.367, 1.665, and 2.104 μB for FeI, FeII, and FeIII atoms, respectively. Overall the magnitudes of magnetic moments are rather overestimated compared to the neutron diffraction measurement [3]. The magnetic moment of P atom is coupled negatively to Fe atoms, even though its magnitude is small.

Table I. The calculated equilibrium lattice constant a (in \AA) and volume V_0 (in $\text{\AA}^3/\text{f.u.}$) of $M_3\text{P}$ and $M_2\text{P}$ compounds.

	System	Space Group	Magnetic State	a	c/a	V_0
M3P	Ti_3P	$\text{P4}_2/\text{n}$	NM	9.989	0.501	62.42
	V_3P	$\text{P4}_2/\text{n}$	NM	9.360	0.508	52.07
	Fe_3P	$\overline{\text{I4}}$	FM	9.039	0.486	44.86
M2P	Ti_2P	$\overline{\text{P6}}2\text{m}$	NM	6.555	0.528	44.93
	V_2P	$\overline{\text{P6}}2\text{m}$	NM	6.428	0.500	38.32
	Fe_2P	$\overline{\text{P6}}2\text{m}$	FM	5.821	0.591	33.68

4. Summary

In this study, the fundamental properties of $M_x\text{P}$ ($M = \text{Ti}, \text{V}, \text{Fe}$; $x = 2, 3$) binary compounds were investigated in terms of the FLAPW method within GGA. The calculated lattice parameters are well consistent with experimental values. Among considered systems, only the FM state of Fe_xP compounds found to be more stable compared to the NM one. Discussion on the fundamental properties of $M_x\text{P}$ ternary compounds also will be given.

5. References

- [1] S. Rundqvist *et al.*, Acta Chem. Scand. **16**, 242 (1962).
- [2] H.-P. Liu *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **189**, 69 (1998).
- [3] E J Lisher *et al.*, J. Phys. C: Solid State Phys. **7**, 1344 (1974).
- [4] R. J. Gambino *et al.*, J. Appl. Phys. **38**, 1253 (1967).
- [5] P. H. Spriggs, Inorg. Nucl. Chem. Lett. **5**, 1344 (1969).
- [6] T. Lundstrom, Acta Chem. Scand. **17**, 1166 (1963).
- [7] E. Wimmer *et al.*, Phys. Rev. B **24**, 864 (1981); M. Weinert, *et al.*, *ibid.* **26**, 4571 (1982).
- [8] J. P. Perdew *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77**, 3865 (1996); *ibid.* **78**, 1396 (E) (1997).

On the Ising Characteristic of Bragg-Williams and Bethe Alloy Models

Jee Yong Lee*, Won Seok Yun, In Gee Kim

Graduate Institute of Ferrous Technology, Pohang University of Science and Technology,
Pohang 790-784, Republic of Korea

Corresponding Author: igkim@postech.ac.kr

1. Introduction

The study on order-disorder transition of alloy has been done for a long time. However, it mostly relies on only a few physical models, such as the Bragg-Williams model [1-3] which is similar to the Ising model of ferromagnetism with the mean field approximation, and the Bethe model [4] which is an extension of the Bragg-Williams model. These models need some parameters, and the CALPHAD method, which relies on the Bragg-Williams model to calculate phase diagrams of alloys, uses the experimental data for parameters [5].

Firstly, we intended the use of experimental data of alloy model to be replaced by the computational data from the first-principles calculations, to result in a more accurate simulation of the order-disorder transition of the alloy system, without experiments. Moreover, we have observed the alloy models with respect to the general Ising model, and have made various attempts to obtain characteristics of the models.

2. Calculation models

At equilibrium the free energy derivative with respect to the order parameter ϕ should be zero:

$\frac{\partial S}{\partial \phi} = T^{-1} \frac{\partial U}{\partial \phi}$. The Bragg-Williams model for binary alloy uses some assumptions:

1. All the α -positions (A-atom reservoir) are identical and all the β -positions (B-atom reservoir) are identical.
2. The interchange of an A atom in an α -position with a B atom in a β -position means a unique increase in Δ in internal energy.
3. The internal energy U associated with the atomic arrangement is a unique function of ϕ .

$$\Delta(\phi) = - \frac{1}{[rn(q-a)]} \frac{\partial U(\phi)}{\partial \phi}$$

where n , a , r are parameters representing the total number of atoms, the fraction of A atoms, and the fraction of α -sites, respectively. Also, q is the maximum value of probability p for an A atom to occupy at an α -site.

Then the equilibrium condition is

$$f_1(\phi) \equiv \ln \left\{ \frac{p(1-r-a+rp)}{(1-p)(a-rp)} \right\} = \frac{\Delta}{kT} \equiv f_2(\phi)$$

Calculations were done in a numerical manner with the C++ language.

3. Results

Figure 1 shows the calculational result of the Bragg-Williams model with atom A and B, for the composition of A atom $a = r = 1/2$, and the interaction coefficient J as 20.83 meV, and the coordination number z as 6, 8, 12, respectively. The equilibrium order parameters are obtained by solving the equation $f_1(\phi) = f_2(\phi)$ in a self-consistent way at each value of the temperature T . We obtained the interaction coefficient J from the case of Fe3Al, which is FCC structure and has the order-disorder critical temperature, at which complete disorder becomes unstable, as 1450 K. The results clearly show the decreasing behavior of the order parameter of the system with respect to the increase of the temperature, and the critical temperatures are obtained from the relations between the Bragg-Williams model and the Bethe model:

$$\Delta_0 = 2r(1-r)^{-2}(q-a)zJ$$

where Δ_0 is the increasing energy caused by the one position of disorder. Then the critical temperature of the system would be

$$T_c = (2zJ/k)a(1-a)r(1-r)^{-1}.$$

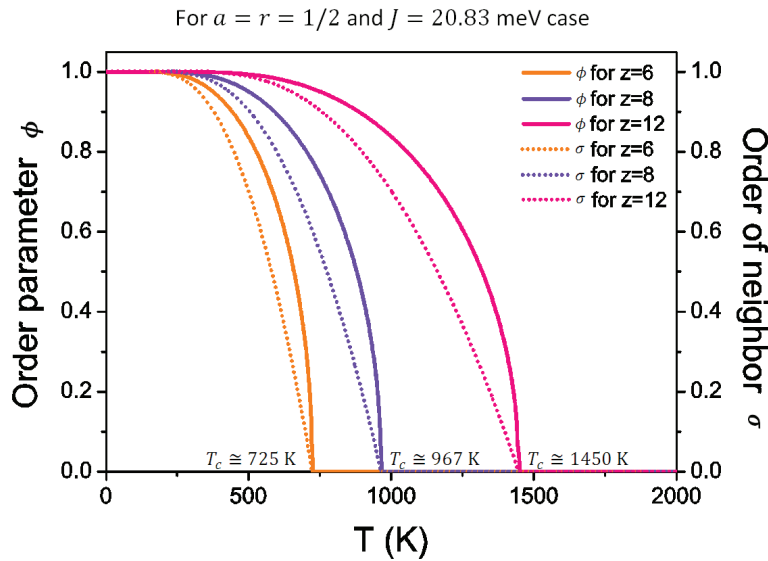


Fig. 1 Calculated results of the Bragg-Williams model with interaction coefficient $J = 20.83$ meV, and the coordination number $z = 6, 8, 12$, respectively. The order parameter decreases as the temperature increases, until it becomes zero at the critical temperature.

4. References

- [1] W. L. Bragg and E. J. Williams, Proc. R. Soc. Lond. A **145**, 699-730 (1934).
- [2] W. L. Bragg and E. J. Williams, Proc. R. Soc. Lond. A **151**, 540-566 (1935).
- [3] W. L. Bragg and E. J. Williams, Proc. R. Soc. Lond. A **152**, 231-252 (1935).
- [4] H. A. Bethe, Proc. R. Soc. Lond. A **150**, 552-575 (1935).
- [5] G. Inden. Acta. Metall. **22**, 945-951 (1974).

Structural and Electronic Structure of the Topological Insulator Bi_2Te_3 and Bi_2Se_3 from Density-functional Study

Purev Taivansaikhan*, Dorj Odkhuu, and Soon Cheol Hong[†]

Department of Physics and EHSRC, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

[†] Corresponding author: schong@mail.ulsan.ac.kr

Bismuth telluride (Bi_2Te_3) and bismuth selenide (Bi_2Se_3) compounds attract much attention recently as a topological insulator. By means of the density-functional theory based on general gradient approximation, we studied the structural and electronic properties of Bi_2Te_3 and Bi_2Se_3 . Being consistent with experiments, the total energy calculations showed that the optimized lattice parameters a and c of the hexagonal unit cell are 4.44 and 32.20 Å for Bi_2Te_3 , those of Bi_2Se_3 are 4.18 and 31.50 Å. Bulk band gaps of 0.09 eV for Bi_2Te_3 and 0.3 eV for Bi_2Se_3 are calculated in consistent with experimental values. To elucidate the nature of topological insulator, we have taken into account the surface states with spin-orbit coupling interaction. Te(Se)-termination with Bi-subsurface is found to be most stable, where a metallic state is realized in contrast to its insulating in bulk.

Effect of Spin-diffusion on a Vortex Dynamics in a Nanodisk

J.-H. Moon^{1*}, A. Manshon², and K.-J. Lee¹

¹Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

²Materials Science and Engineering, Division of Physical Science and Engineering, KAUST, Thuwal 23955, Saudi Arabia

Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) equation with spin torque term (Eq. 1) is widely used for interpreting and understanding current-induced spin dynamics.

$$\partial \mathbf{M} / \partial t = -\gamma \mathbf{M} \times \mathbf{H} + (\alpha / M_s) \mathbf{M} \times (\partial \mathbf{M} / \partial t) + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{M} - (\beta / M_s) [\mathbf{u} \cdot (\mathbf{M} \times \nabla) \mathbf{M}] \quad (\text{Eq. 1})$$

The first term describes the precession of the magnetization around the effective field (\mathbf{H}) and the second term describes the damped motion of magnetization. The third and the last term are adiabatic and nonadiabatic spin-torque terms respectively. Theoretically, it is known that the dynamics of magnetic texture highly depends on the ratio between damping (α) and non-adiabatic parameter (β). It is reported that the value of β is controversial both theoretically [1-4] and experimentally [5-10]. Moreover, it is recently reported that the value of β is affected by the spin configuration which comes from spin-diffusion [13]. In order to understand the spin dynamics under complex spin texture, it is needed to study the effect of spin-diffusion on β .

In this work, we performed micromagnetic simulation using LLG equation with spin torque term, and spin-diffusion. The current-induced dynamics of a vortex core is micromagnetically modeled using a computational framework based on the fourth-order Runge-Kutta method. The model system is a circular Permalloy disk with the thickness of 20 nm and the diameter of 270 nm which is vortex favored dimension. The unit cell size is $1 \times 1 \times 20 \text{ nm}^3$ on a two-dimensional grid. The a.c. current with the frequency of 605.5 MHz flows along the x-axis uniformly through the disk. The maximum current density is $1 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$. Standard material parameters for Permalloy are used: $M_s = 800 \text{ emu/cm}^3$, $\gamma = 1.76 \times 10^7 \text{ Oe}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $\alpha = 0.01$, $P = 0.7$, and the exchange constant $A_{\text{ex}} = 1.3 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$.

Fig. 1 shows the initial trajectory of a vortex core with different β and λ_{ex} (transverse spin-diffusion length). The symbols indicate the initial trajectory of a core without spin-diffusion. It is observed that the initial trajectory of a core is shifted upward as β increases [14]. The yellow and purple lines indicate the initial trajectory of a core with spin-diffusion. It is observed that there is a shift in trajectories just as there exists non-adiabatic spin torque even though the modeling was performed in the adiabatic limit. Estimated additional β originated from spin-diffusion is α (or 3α) for $\lambda_{\text{ex}} = 0.8 \text{ nm}$ (or $\lambda_{\text{ex}} = 1.5 \text{ nm}$). The further studies will be discussed in detail.

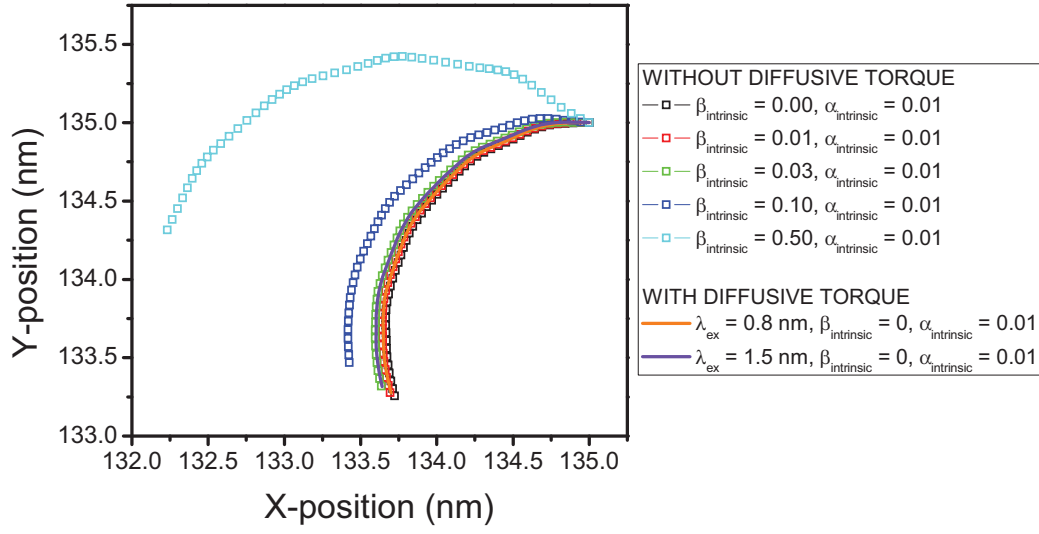


Fig. 1. Initial trakectories of a core with different λ_{ex} and β .

References

- [1] S. E. Barnes and S. Maekawa, Phys. Rev. Lett. 95, 107204 (2005).
- [2] Y. Tserkovnyak, H. J. Skadsem, A. Brataas, and G. E. W. Bauer, Phys. Rev. B 74, 144405 (2006).
- [3] H. Kohno, G. Tatara, and J. Shibata, J. Phys. Soc. Jpn. 75, 113706 (2006).
- [4] J. Xiao, A. Zangwill, and M. D. Stiles, Phys. Rev. B 73, 054428 (2006).
- [5] L. Thomas et al., Nature _London_ 443, 197 (2006).
- [6] M. Hayashi et al., Phys. Rev. Lett. 96, 197207 (2006).
- [7] M. Hayashi et al., Phys. Rev. Lett. 98, 037204 (2007).
- [8] R. Moriya et al., Nat. Phys. 4, 368 (2008).
- [9] L. Heyne et al., Phys. Rev. Lett. 100, 066603 (2008).
- [10] L. Heyne et al., Phys. Rev. Lett. 105, 187203 (2008).
- [11] S. Zhang and S.-L. Zhang, Phys. Rev. Lett. 102, 086601 (2009).
- [12] J.-H. Moon, S.-M. Seo, and K.-J. Lee, IEEE Trans. Magn., vol. 46, p.2167 (2010)
- [13] A. Manchon, W.-S. Kim, and K.-J. Lee, unpublished.
- [14] J.-H. Moon et al., Phys. Rev. B 79, 134410 (2009).

First-Principles Study of Magnetic Phase of $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$

Sung-Ho Na^{1*}, C. H. Park²

¹Korea Astronomy and Space Science Institute

²Research Center for Dielectric and Advanced Matter Physics, Pusan National University

Manganese oxide $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ has a perovskite structure and shows quite variable physical properties. Depending on the alloy ratio x of bismuth and calcium, $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ has been reported to show different electric, magnetic, and other physical characteristics. So far, most of pre-existing studies on $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ were conducted experimentally, and theoretical investigation has been done only for limited range of bismuth/calcium content. The purpose of this study is to identify the stable magnetic phase of $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ through the first-principles electronic structure calculations for whole range of its bismuth/calcium content x .

We performed the first-principles calculations based on density functional theory for $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ of $x = 1, 0.875, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125$, and 0 . For the $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ having each of these seven compositions, we compared stabilities of ferromagnetic phase and three anti-ferromagnetic phases; G-type, A-type, and C-type (Fig. 1). Local spin density approximation with on-site Coulomb interaction scheme was taken and the projection augmented wave pseudopotentials were used. Each supercell was consisted of eight manganese atoms, eight bismuth/calcium atoms, and twenty four oxygen atoms, so that various magnetic phase stability could be compared.

Based on our calculations, it is found that $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ is ferromagnetic for x larger than 0.5 and antiferromagnetic for x smaller than 0.25 . Two calculated electronic density of states for $x = 1$ or 0.5 are illustrated in Fig. 2. The calculated magnetic moments of manganese ions for each compositions are given in Fig. 3.

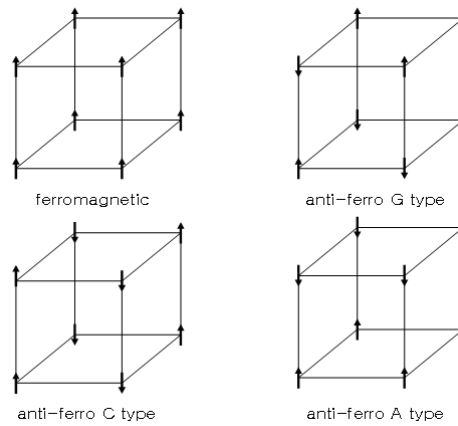


Fig. 1. Schematic illustrations for magnetic phases

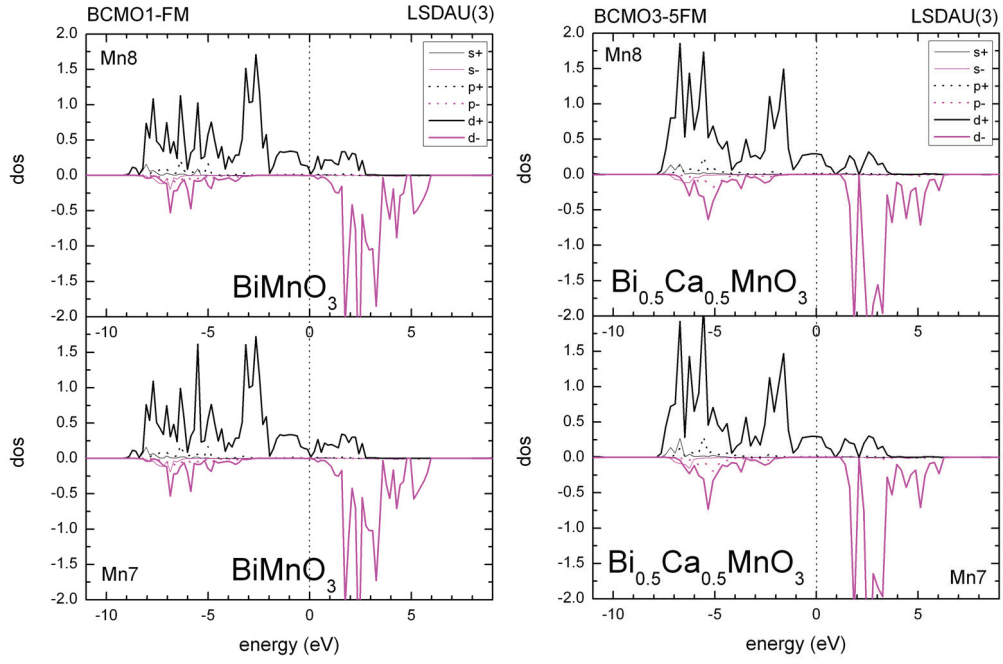


Fig. 2. Density of electronic states of $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ for $x=1$ and 0.5 . LSDA+U calculation predicts ferromagnetic states for both compositions.

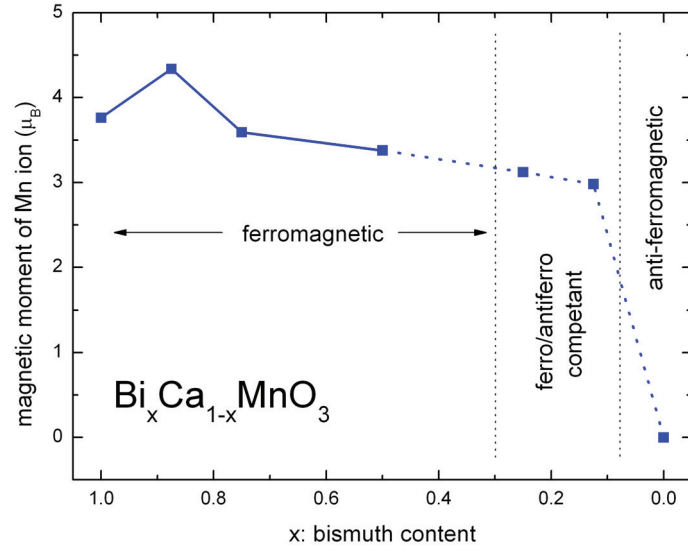


Fig. 3. Calculated magnetic moments of $\text{Bi}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ in this study.

축방향 미소 결함의 측정을 위한 자기누설 비파괴 검사 시스템 개발

김희민^{1*}, 박관수²

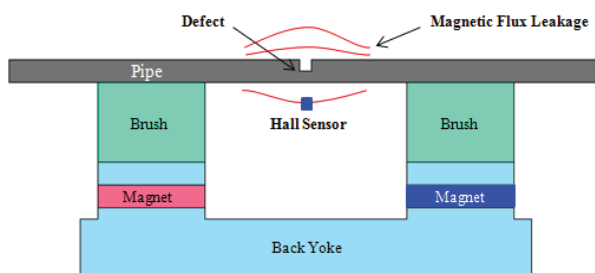
¹부산대학교 전기공학과, ²부산대학교 전기공학과

1. 서론

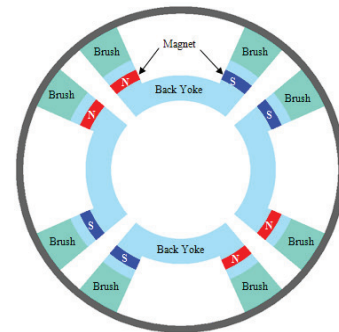
MFL PIG는 배관의 단면적이 변화할 때 발생하는 누설 자계를 검출하고, 검출 된 누설 자속 신호의 분포 및 크기를 이용하여 배관 내·외벽에 발생하는 결함의 유무를 검사하는 방법이다. 기존의 MFL PIG는 금속 손실이나 균열, 부식과 같은 결함을 검출하는데 효과적이었으나 배관 내·외부의 압력차로 인하여 발생하는 가로축 방향의 가늘고 긴 미소결함을 검출하기 위하여 원주방향으로 자기장 누설을 최대화 하는 CMFL (Circumferential MFL) PIG의 개발이 필요하다.

2. 실험방법

배관용 자기누설 비파괴 검사 시스템은 금속배관을 착자시키기 위해 희토류 영구자석인 NdFeB를 이용하여 자기장을 인가하며 전체 시스템은 자기회로를 구성한다. 배관의 결함을 검사하기 위하여 비파괴 검사 시스템은 배관을 자기 포화시키며 배관을 따라 이동하면서 검사를 수행한다. 배관에 자계를 인가 시 높은 자기 효율을 얻기 위해 Back yoke를 PIG 몸체로 사용하며, 그 위에 네오디뮴 자석 그리고 판형 브러시를 탑재하여 배관을 포화시키도록 배치한다. 자기누설 신호를 검출하기 위해 홀센서를 배관 내벽으로부터 3mm 떨어진 지점에 탑재한다.



(a) MFL PIG 동작원리 및 구조



(b) CMFL PIG 구조

그림 1. 자기누설 비파괴 검사 시스템의 구조

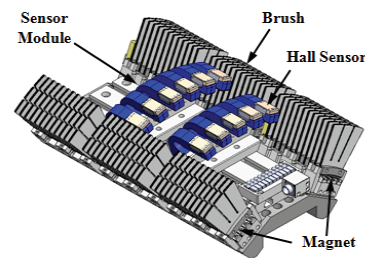
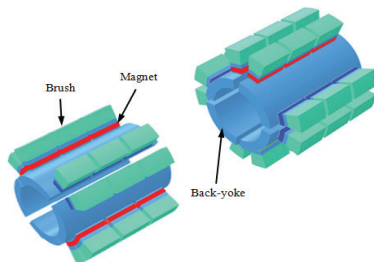


그림 2. PIG 자계 인가시스템 설계 및 제작

3. 실험결과

3차원 정자계 유한요소해석 결과를 이용하여 CMFL PIG의 자계 분포를 그림 3에 나타내었다. 전체 시스템의 자속밀도 분포로부터 배관의 중심부분에 자기장이 집중된다. 배관의 포화 자속 밀도는 1.75~1.8[T] 이다. 배관에 발생한 축방향 미소결함에 따라 누설 자속 신호의 크기와 분포는 변한다. 실험을 통하여 실측 데이터와 유한요소해석 결과를 비교 및 검증함으로써 결함의 형상변화에 따른 누설 자속 밀도의 크기 및 분포 변화를 분석하였다.

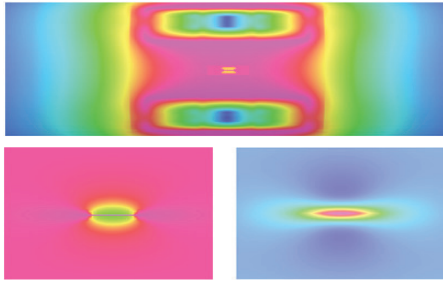


그림 3. FEM을 이용한 자계 분포 해석

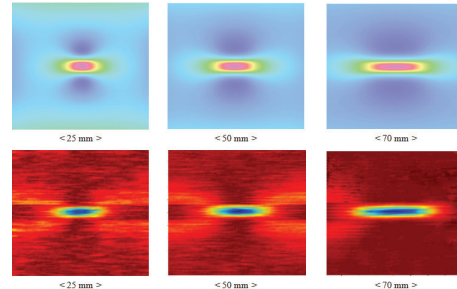


그림 4. 결함의 길이에 따른 누설 자계 분포

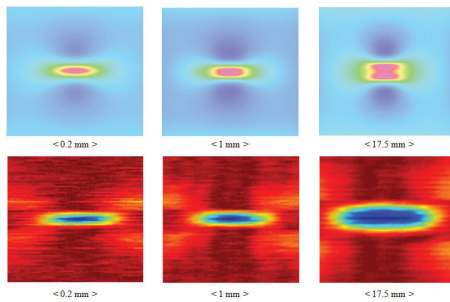


그림 5. 결함의 폭에 따른 누설 자계 분포

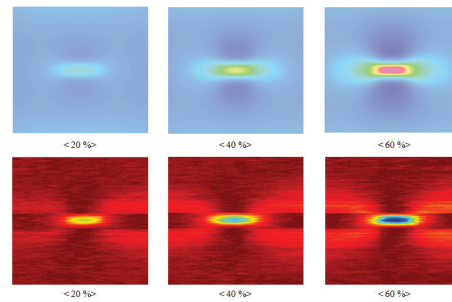


그림 6. 결함의 깊이에 따른 누설 자계 분포

4. 고찰

결함의 형상에 따른 검출 신호의 크기변화와 상호 의존성을 찾기 위하여 기준 축방향 결함을 설정하였다. 결함의 크기는 폭 0.2[mm], 길이 25[mm], 깊이 25[%]이다. 결함의 깊이 단위 %는 배관의 두께 17.5[mm]에 대한 비율을 나타낸다.

5. 결론

3차원 수치 유한요소법을 이용한 비선형 자계 해석 결과와 실측 검출 신호의 비교 및 분석을 통하여 설계된 PIG를 검증하였고, 결함의 형상 변화에 따른 검출 신호의 크기와 분포 변화를 분석하였다. 원주 방향으로 위치한 여러 개의 센서의 오프셋 신호가 각각 다르며 이를 고려한 검출 신호로부터 순수 결함신호를 추출하였다. 또한 순수 결함신호 데이터를 취합하고, 결함의 유무 판별을 위한 Defect Image를 재합성하여 누설 자계 분포를 표현하였다.

6. 참고문헌

- [1] K. K. Tandon, "MFL Tool Hardware for Pipeline Inspection," Materials Selection & Design, pp. 75-79, Feb.1997.
- [2] Vijay Babbar, James Bryne and Lynann Clapham, NDT & E International, 38, 471, 2005.

수직 자기 이방성을 갖는 강자성 박막과 나노점의 스핀 동역학

윤정범^{1*}, 유천열¹, 정명화²

¹인하대학교 물리학과, ²서강대학교 물리학과

1. 서론

차세대 자기 메모리로 이슈가 되고 있는 STT-MRAM(spin-transfer torque-magnetic random access memory)은 초고집적화를 이루고 좀더 저전력으로 안정적인 구동을 하기 위해 활발히 연구되고 있다. 위에서 제시한 차세대 메모리의 요건을 갖추기 위해 다층 박막 구조에서 강자성층의 종류나 구조에 대한 연구는 매우 중요하다. 최근 발표된 수직 자기 이방성을 갖고 있는 CoFeB-MgO 구조를 이용한 자기 터널 접합 구조(MTJ; magnetic tunnel junction)는 기존에 보고된 MTJ보다 자화 반전을 위한 전류밀도의 크기가 작고 열적 안정성도 좋다[1]. 위에서 언급했던 것과 같이 MTJ에서 자유층을 수직 자기 이방성 물질로 사용하면 소자의 크기를 좀더 줄일 수 있고 열적 안정성을 갖출 수 있으나 자화 반전 임계 전류와 비례 관계가 있는 감쇠 상수가 일반적으로 수평 자기 이방성 물질에 비해 크기 때문에 자화 반전 전류가 커질 수 있다. 이처럼 감쇠 상수는 자화 반전 전류에 대해서 매우 중요한 변수이며 자기 이방성과 밀접한 관계를 갖고 있다. 감쇠 상수를 연구하기 위해서는 스핀의 동역학적 거동에 대한 분석이 필요하다. 본 논문은 전산모사를 통해서 강자성 박막 또는 나노점에서 강자성 공명 현상을 이용하여 스핀의 동역학적 거동을 분석하였다.

2. 미세자기 동역학

Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식을 푸는 object oriented micromagnetic framework (OOMMF[2]) 코드로 시뮬레이션을 하여 강자성 박막과 나노점에서 스핀의 동역학적 신호의 변화를 연구하였다. 시뮬레이션을 위한 강자성 물질의 자성은 S. Ikeda 논문[1]을 참고하여 CoFeB에 대한 자기적 변수로 설정하였다. 박막은 $125 \times 125 \times 1.3 \text{ nm}^3$ 인 크기의 슬레이트에 주기적 경계조건(periodic boundary condition)을 적용하여 계산하였고 나노점은 $50 \times 40 \times 1.3 \text{ nm}^3$ 인 원판 모양으로 계산하였다. 여기서 수직 자기 이방성은 평면에 수직인 방향으로 $1.0 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ 로 설정하였다. 시료의 강자성 공명을 분석하기 위해 ‘sinc’ 함수인 $H_y = H_0 \sin(2\pi f_h(t - t_{f/2}))/2\pi f_h(t - t_{f/2})$ 꼴의 자기장을 시료 전체에 인가하여 RF 자기장을 적용하였다[3]. 박막과 나노점의 감쇠 상수를 구하기 위해 외부 DC 자기장을 변화시키며 RF 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 변화를 확인하였다. 공명 주파수는 0.01 nsec 간격으로 각각의 cell의 $M(z, y)$ 를 100 nsec 동안 저장하여 분석하였다. 그리고 저장한 결과를 시간에 대하여 fast Fourier transform 하여 주파수에 대한 정보를 얻었다. f_h 는 45 GHz, H_0 는 10 mT를 적용하였다.

3. 계산 결과 및 논의

CoFeB 박막과 나노점에서 평면상으로 외부 DC 자기장을 인가하고 동시에 그에 수직인 방향으로 RF 자기장을 인가하여 강자성 공명 주파수 스펙트럼을 그림 1과 같이 확인하였다. 수직 자기 이방성을 갖고 있는 박막에서 평면상으로 외부 자기장이 인가되면 Zeeman 에너지와 수직 자기 이방성 에너지의 경쟁에 의해 자화방향이 결정된다. 박막 또는 나노점에서 스핀의 동역학적 거동은 공명 주파수 스펙트럼에서 자화 방향과 자기장의 방향을 고려하여 분석하였다. Zeeman 에너지가 수직 자기 이방성 에너지보다 커지는 임계 자기장(critical field)의 크기는 나노점이 모양에 의한 반자성 에너지가 크기 때문에 박막보다 크다. 또한, 그림 2와 같이 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 반치폭(full width at half maximum; FWHM)을 구하였다. 시뮬레이션에 적용한

감쇠 상수는 0.027이고 시뮬레이션 결과를 분석하여 얻은 박막과 나노점의 감쇠 상수는 자화 방향이 자기장과 일치할 때는 0.0194 ± 0.0003 로 같고 자화 방향과 자기장의 방향이 다를 때에는 각각 0.0165 ± 0.0003 와 0.0202 ± 0.0003 로 다르게 계산됨을 확인하였다.

4. 결론

본 연구는 CoFeB 박막과 나노점에서 강자성 공명 시뮬레이션을 이용하여 스핀의 동역학적 거동을 확인하였고, 공명 주파수의 스펙트럼을 분석하여 자기장에 대한 반치폭의 변화로부터 감쇠 상수를 계산하였다. 그 결과, 나노점에서 자화방향이 수직인 경우와 수평인 경우에 각각 다른 감쇠상수가 얻어짐을 확인하였다. 이를 통해서 실험적으로 감쇠상수의 값을 결정할 때, 분석에 있어서 추가적인 주의가 필요하다는 것을 확인하였다.

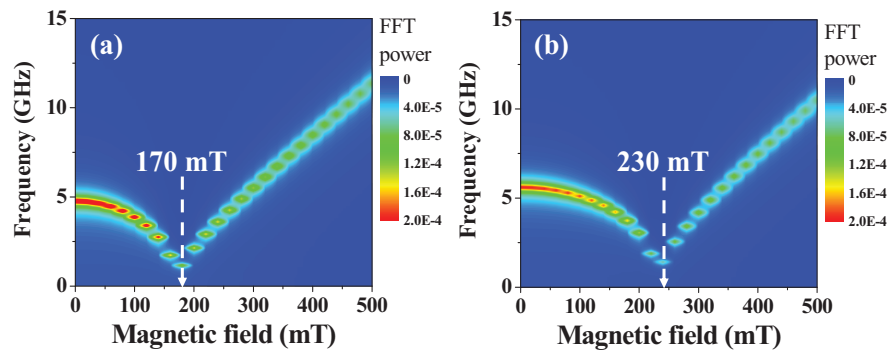


그림 1. 수직 자기 이방성이 있는 박막(a)과 나노점(b)에서 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수 스펙트럼.

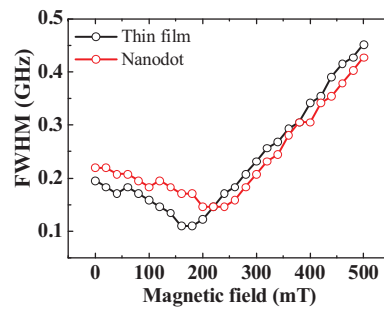


그림 2. 외부 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 반치폭.

5. 참고 문헌

- [1] S. Ikeda *et al.*, Nature Mater. **9**, 721 (2010).
- [2] <http://math.nist.gov/oommf>
- [3] K.-S. Lee *et al.*, Phys. Rev. Lett. **102**, 127202 (2009).

Fe 이온 주입을 통한 나노다이아몬드의 특성 분석

전일근^{1*}, 석재권¹, 송종한², 채근화², 김철성³, 이재용¹

¹연세대학교 물리학과, ²한국과학기술연구원 특성분석센터

³국민대학교 물리학과

1. 서론

Nanodiamond는 보통 중앙 부분에는 sp^3 결합으로 diamond구조를 가지고 외곽 부분은 sp^2 결합인 graphite구조를 가지는 물질이다. 이 nanodiamond를 제작하는 방법에 따라 sp^3/sp^2 비율에서 차이가 날 수 있다. 우리는 detonation 방법으로 만들어진 nanodiamond에 Fe 이온을 주입하여 그 구조와 자기적 성질이 어떻게 나타나는지에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

Silicon기판위에 detonation nanodiamond를 도포한 후 spin coating을 이용하여 시료를 만들었다. 이 시료의 두께를 측정하기 위하여 Scanning Electron Microscope(SEM)을 사용하여 알아 본 결과 약 200nm인 것을 알 수 있었다. 그 후 Fe 이온을 조사하는 데에 있어 에너지를 결정하기 위해 Stopping and Range of Ions in Matter(SRIM) simulation을 이용하였다. Simulation 결과를 토대로 40KeV와 80KeV의 에너지로 Fe 이온을 조사를 하였고 dose량을 $1 \times 10^{14} \sim 5 \times 10^{16}$ 으로 변화하면서 시료를 제작하였다.

3. 실험결과 및 고찰

이온 조사된 시료의 자기적인 특성 변화를 알아보기 위하여 Vibrating Sample Magnetometer(VSM)로 측정하였다. 그 결과 이온 조사를 하지 않은 시료와는 달리 이온 조사를 한 시료들은 상온에서 superparamagnetism 성향을 보였다. 그리고 Fe 이온의 조사량이 많아질수록 nanodiamond의 자기모멘트도 커진다는 것을 알 수 있었다. VSM을 통해 나온 Magnetic signal이 nanodiamond layer에서 측정된 것임을 확인하기 위하여 RBS측정을 했다. RBS 측정 결과에 의하면 대부분의 Fe 이온들이 nanodiamond layer에 존재하는 것을 확인하였다. 혹시 이온 조사한 Fe 이온의 상당량이 Silicon 기판에 존재하여 VSM의 Magnetic signal이 나온 게 아닌지를 확인하기 위하여 dose량이 1×10^{15} ions/cm²인 시료의 nanodiamond layer를 제거하고 RBS측정한 결과, Fe signal이 나오지 않아 VSM의 측정 결과는 nanodiamond layer의 Fe 이온 주입으로 인한 결과라는 것을 확인할 수 있었다. 높은 dose인 2×10^{16} ions/cm²인 시료는 layer가 제거가 되지 않아 확인하지 못하였다.

4. 결론

Dedonation 방법으로 만들어진 nanodiamond 시료에 Fe 이온 조사를 한 결과, superparamagnetism을 보인다는 것을 알 수 있었다. Fe 이온조사 시 발생하는 nanodiamond의 결합구조의 변화를 알아보기 위하여 XPS 측정을 할 것이다. 이때, 이온 조사량에 따른 sp^2/sp^3 비율을 깊이 별로 측정하여 nanodiamond의 구조가 어떻게 바뀌는지 알아볼 것이다. 그리고 XRD를 통해서 nanodiamond의 입자의 크기를 알아볼 예정이다. 여기서 확인한 내용을 TEM과 EELS를 통하여 Fe 이온이 nanodiamond layer에 어떻게 위치하는지 다시 확인할 예정이다.

5. 참고문헌

- [1] PRL 95, 097201 (2005)
- [2] Appl. Phys. Lett. 91, 051918 (2007)
- [3] PHYSICAL REVIEW B 77, 054418 (2008)

일차원 원판형-자성박막 사슬 구조 내 자기소용돌이-회전운동 모드의 실험적 관측

한동수^{1*}, 정현성¹, 이기석¹, 김상국¹, Andreas Vogel², Guido Meier²,
Markus Weigand³, Hermann Stoll³, Gisela Schutz³ and Peter Fischer⁴

¹서울대학교 재료공학부 스핀과 동역학 소자 연구단, 서울특별시 관악구 관악로 1, 151-744

²함부르크 대학교, 응용물리연구소, 함부르크 20355, 독일

³막스-플랑크 연구소, 슈투트가르트 70569, 독일

⁴로렌스 버클리 국립 연구소 X-선 광학 센터, 버클리 94720, 미국

1. 서론

최근 휴대용 정보기기 사용이 급증함에 따라 전력소모가 적은 새로운 정보신호전달 방법에 대한 연구가 큰 관심을 받고 있다. 특히 쌍극자-결합된 자기소용돌이 핵의 동적 거동을 이용한 신호전달 방식은 적은 에너지로 신호 발생이 가능하며 신호 전달시 에너지 소모가 적어 저전력, 고효율의 정보신호 소자로써 응용이 가능할 것으로 기대된다[1-5]. 본 연구에서는 기존에 수행된 두 개의 쌍극자-결합된 원판형 자성박막 구조를 확장하여 [1,4,5], 일차원으로 배열된 원판형 자성박막 구조에서 자기소용돌이 핵의 집단적 회전 운동 및 상기 회전 운동의 분산 관계를 실험, 미소자기 전산모사(micromagnetic simulation) 및 해석적 계산(analytical calculation)을 통해 살펴보았다. 본 연구는 자기소용돌이 핵의 동적 거동을 이용한 신호전달 제어 방법을 제공할 것으로 기대된다.

2. 실험 및 계산 방법

본 실험을 위해 퍼말로이($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$)합금으로 구성된 5개의 동일한 원판형 박막을 100 nm 두께의 Si_3N_4 의 얇은 막 위에 스퍼터(sputter) 및 전자빔 식각법(E-beam Lithography)를 이용하여 증착하였다. 각 원판은 60 nm의 두께, $2\mu\text{m}$ 의 지름을 가지며, 각 원판 중심 간의 거리가 $2.25\mu\text{m}$ 의 간격이다. 이 때 배열의 한쪽 끝에 위치한 원판 위에는 800 nm의 너비, 120 nm의 두께를 가지는 구리(Cu) 스트립선로(stripline)를 증착하여 외부에서 전류를 인가할 수 있도록 하였다. 위의 구조에서, 1.8n의 시간 간격을 가지는 펄스 형태의 전류를 스트립선로에 인가 한 후, 독일 MAXYMUS 빔라인에 있는 주사형 X선 투과현미경(Scanning Transmission X-ray Microscopy)를 이용하여 시간에 따른 수직 자화 성분을 측정하였다[6]. 위의 실험을 통해 얻은 결과는 실험과 동일한 구조에서 수행된 미소자기 전산모사 및 해석적 계산을 통해 비교, 분석 되었다.

3. 결과 및 결론

본 연구를 통해 쌍극자-결합된 자기소용돌이가 일차원으로 배열된 구조 내에 존재하는 자기소용돌이 핵의 집단적 회전운동 모드를 살펴보았으며 상기 모드를 구성하는 두 파동인자간의 분산관계를 밝혀냈다. 자기소용돌이 핵의 회전운동 분산관계는 자기소용돌이 핵의 수직 자화 성분의 주기성에 크게 의존하며, 각 원판 내 자기소용돌이 핵의 동적 거동에 의해 유발되는 유효자화 간의 위상관계 및 상호작용 에너지에 의해 결정된다는 사실을 알아냈다. 이러한 결과는 자기소용돌이 핵의 동적 거동을 이용한 정보신호전달 소자 개발 시 신호 제어에 대한 핵심 아이디어를 제공한다는 점에서 의의가 있다.

4. 참고문헌

- [1] J. Shibata *et al.*, Phys. Rev. B **67**, 224404 (2003).
- [2] J. Shibata and Y. Otani, Phys. Rev. B **70**, 012404 (2004)
- [3] S. Barman *et al.*, IEEE Trans. Mag. **46**, 1342 (2010)
- [4] H. Jung *et al.*, Appl. Phys. Lett. **97**, 222502 (2010); H. Jung *et al.*, Sci. Rep. **1**, 59 ; DOI:10. 1038/srep00059 (2011), A. Vogel *et al.* Phys. Rev. Lett. **106**, 137201 (2011); S. Sugimoto *et al.* Phys. Rev. Lett. **106**, 197203 (2011)
- [5] K.-S. Lee *et al.*, J. Appl. Phys. **110**, 113903 (2011) ; O.V. Sukhostavets, Appl. Phys. Express **4**, 065003 (2011).
- [6] M. Kammerer *et al.*, Nature Commun. **2**, 279; DOI:10.1038/ncomms1277 (2011).

이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20120000236).

전기도금 방법에 의한 금속/자성 Double Shells Tube 제조

전성재*, 김동영, 윤석수

안동대학교 물리학과

1. 서론

금속/자성 다층 나노 튜브 및 와이어는 메타 복합재료 또는 바이오 소재로 이용 가능하기 때문에 이를 제조하고 응용하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

본 연구에서는 전기도금 방법으로 금속/자성 multi-shell tube를 제조하는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

전기도금에 사용한 도금 cell은 원판형 백금판으로 된 counter electrode(CE), Ag/AgCl reference electrode (RE), 금을 한쪽 면에 증착시킨 track etched polycarbonate 형판의 working electrode(WE)로 구성되었다. Track etched polycarbonate(PC) 형판은 whatman 사의 Nuclepore 제품을 사용하였다. 전기도금에 사용한 Au 용액은 SME 사의 제품(24K)을 사용하였으며 Ni 도금 용액은 DI water 1 리터에 기준에 NiSO_4 15.48 g, H_3BO_3 12.37 g을 용해시켜 제조하였다.

본 연구에서 사용한 전기도금 방식은 통상적으로 사용하는 Fig.1 (a)와 같이 PC의 WE 면을 아래로 하여 도금하는 방법(Face-Down 도금)대신 Fig.1 (b)와 같이 WE 면을 위로하여 도금하는 새로운 방식으로(Face-Up 도금)를 도입하였다. 전기도금은 potentiostatic 방식을 적용하였다.

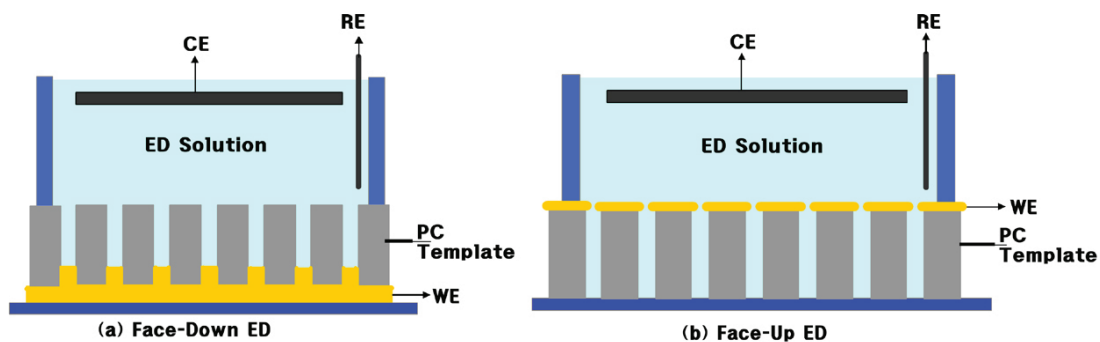


Fig.1 (a) 통상적인 Face-Down 도금과 새로운 Face-Up 도금 방법

3. 실험결과

Fig.2는 400 nm 기공을 가진 형판에 Au를 Face-Up 방식으로 도금한 후 NiFe를 Face-Down 방식으로 제작한 시편의 FE-SEM 사진을 보여준다. 약 50 nm 두께의 Au tube 속에 약 150 nm 두께의 Ni tube가 2층으로 형성된 double shells tube가 잘 만들어졌음을 보여준다.

도금 전하량을 조절하면 shell의 두께를 원하는 값으로 제작할 수 있었다. 도금 후 PC 형판을 녹이면 Au 기판위에 견고하게 스스로 서있는 double shells tube 구조도 제작할 수 있었다.

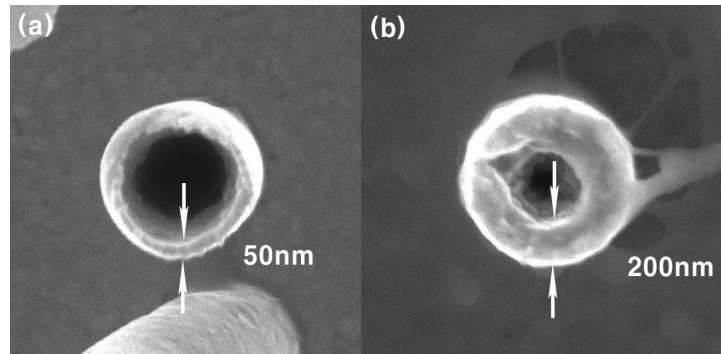


Fig. 2. 400 nm 형판에 (a) Au를 먼저 Face-Up 도금하여 형성한 외부 Au shell (b) 여기에 Ni를 Face-Down 도금하여 형성한 Au/Ni double shells tube의 윗면 FE-SEM사진

4. 결론

본 연구를 통해 수십에서 수백 nm 범위에서 두께 조절이 가능한 Au/Ni double shells tube 제조 방법을 확립할 수 있었다. 이 소재는 향후 메타복합 및 바이오 소재로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2011도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0009408).

Oleic Acid가 산화철 나노입자 생성에 미치는 영향 분석

김동영, 전성재*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

자성나노입자는 NMR 이미지의 해상도 향상을 위한 agent, 자성 입자를 이용한 hyperthermia, 신약 전달, 조기 암진단을 위한 바이오 마커 등 바이오 제품에 응용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 바이오 연구에 적용하기 위한 자성 나노입자는 크기가 동일하고(monodispersed), 재료의 구성 성분 및 구조가 균일한 특성을 가져야 한다. 이러한 자성 나노입자는 precursor의 열분해를 통한 입자 형성법, 주입에 의한 입자 생성법, sonochemical 방법, 침전법 등 다양한 방법들을 이용하여 합성되고 있으며, 계면활성제를 사용하여 나노 입자의 평균 크기 및 형상을 조절하고 있다. 본 연구에서는 나노입자를 합성하기 위하여 precursor 및 solvent로 Fe Oleate와 Trioctylamine을 사용하며, 열분해법으로 산화철 나노 입자의 생성시 계면활성제로 첨가된 Oleic Acid가 나노입자의 생성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실험방법

산화철 나노입자의 합성을 위하여 15 g의 Trioctylamine 용액, 2 mmol의 Fe Oleate(FeOL) 및 Oleic Acid(OA, OA/FeOL = 0, 1, 2 mmol)를 200 ml의 플라스크에 넣고 진동기를 이용하여 고르게 섞었다. 전열기와 온도 조절기를 이용하여 플라스크용기의 온도를 조절하였다. 이때 온도 상승률은 3.3 °C/min으로 설정하여 온도를 상승시켰으며, 297 °C에서 4 시간 동안 aging 후 상온으로 온도를 낮추었다. Oleic Acid가 나노입자의 생성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 온도상승 구간 및 온도 유지구간에서 시편 용액을 채취하였다. TEM 이미지를 이용하여 입자의 생성 상태 및 구조를 확인하였으며, 강자성공명 신호(FMR 신호)를 이용하여 자성상의 생성 정도 및 자성특성을 분석하였다. FMR 신호는 Bruker Xepr을 사용하여 9.84 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다.

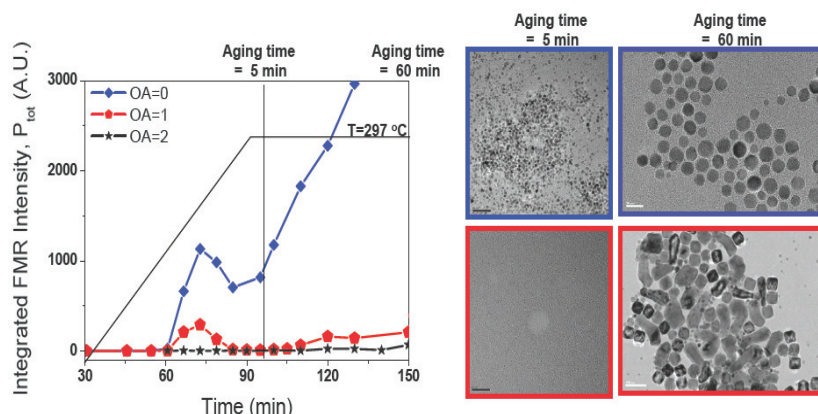


Fig. 1. (a) Integrated FMR intensity with time for OA=0, 1, 2 samples (b) TEM photography of OA=0, 1 samples for 5 min and 60 min of aging time.

3. 실험결과 및 고찰

FeOL은 고온에서 열분해에 의하여 active monomer를 발생시키고, 이들 active monomer가 자성 나노입자를 생성한다. 이들 나노입자의 생성과정은 Fig.1과 같이 산화철 나노 입자의 합성 과정 동안 시간에 따른 FMR 신호 특성 및 TEM사진으로부터 알 수 있다. Fig. 1(a)에서 OA=0 시료는 온도가 상승하는 구간의 약 60분(200 °C) 근처에서 자성 나노입자가 생성되기 시작하여 70분(250 °C) 근처에서 최대, 90분 근처에서 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보인다. 한편 OA의 양이 증가할수록 70분 (250 °C) 근처에서의 FMR 신호가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이는 OA의 첨가에 의하여 FeOL의 구조가 안정화되어 열분해에 의한 active monomer의 생성이 감소되었음을 알 수 있다. 95분 (aging time=5 min)에서 관측한 TEM사진에서 OA=1시편은 자성 나노입자가 생성되지 않았음을 보인다. 한편 150분 (aging time=60 min)에서 OA=1시편의 FMR신호는 매우 조금 증가하였으며, 이는 적은 양의 자성 나노입자가 형성되었음을 의미하며, TEM 사진을 통하여 이를 확인할 수 있다. Fig. 2에서 AO=0시편의 FMR증가는 약 110분 근처에서 가장 급격하게 변화하지만, OA=1시편에서는 220분 근처에서 급격하게 증가한다. 즉 OA의 첨가에 의하여 안정화된 FeOL은 장시간의 aging에 의하여 열분해가 일어날 수 있으며, 이는 나노입자의 생성 과정이(nucleation process) 연기되는 것과 같은 현상으로 나타남을 알 수 있다.

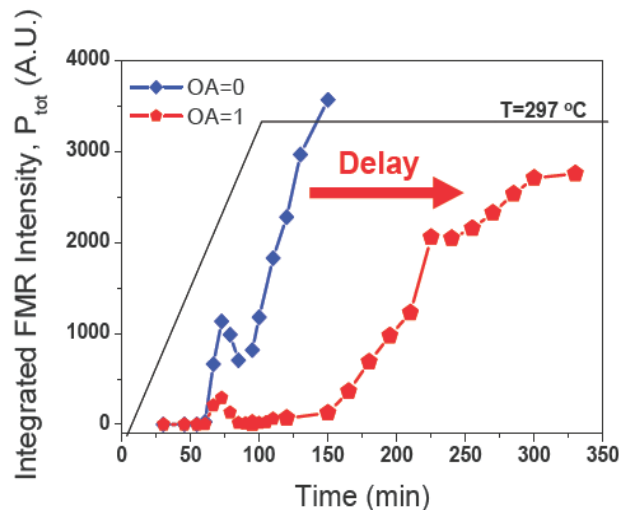


Fig. 2. Integrated FMR intensity with time for OA=0, 1 samples

4. 참고문헌

- [1] J. Park, et. al, *Nat. Mater.* **3**, 891 (2004)
- [2] L. M. Bronstein, et. al, *Chem. Mater.* **19**, 3624-3632 (2007)
- [3] M. F. Casula, et. al, *J. Am. Chem. Soc.* **124**, 3343. (2002)

Magnetic and Electric Properties of Epitaxial Sr-doped BiFeO₃ Thin Films

정종훈^{1*}, 성길동¹, 조영훈²

¹인하대학교 물리학과, 인천 402-751

²양자물질 연구팀, 한국기초과학지원연구원 대전 305-333

1. 서론

최근 들어, 두 가지 이상의 질서 매개 변수가 동시에 존재하고 이들 사이에 결합이 존재하는 다강체 물질에 대해 많은 연구진들이 관심을 가지고 있다[1,2]. 특히, 상온에서 강유전성 및 자성을 보이는 BiFeO₃는 다양한 응용이 가능하기 때문에 집중적으로 연구된 물질 중의 하나이다. 하지만, 이 물질은 상온에서 반강자성체이기 때문에, 이를 강자성체로 변환시키기 위해서 화학적 치환, 에피택시얼 스트레인 등의 방법을 이용하였다 [3,4].

본 연구에서는 Bi³⁺이온 대신에 Sr²⁺ 이온을 치환시켜 산소 결함을 만들거나 혹은 혼합 전자 가를 만들어 spiral 구조의 반강자성을 약한 강자성으로 변환할 수 있다는 기존 논문들[5, 6]을 검증하기 위해서 Sr²⁺가 치환된 BiFeO₃ 박막을 산소의 분압에 따라 체계적으로 합성하고 자기적 전기적 성질의 변화를 연구하였다.

2. 실험방법

펄스 레이저 증착법을 이용하여, 700 °C의 온도에서 산소의 분압을 50 - 400 mTorr까지 변화시키면서 에피택시얼 박막을 증착하였다. 이 박막의 구조적, 전기적, 자기적 성질을 각각 XRD, TF-Analyzer, SQUID를 이용하여 측정하였다. 특히, 자기적 성질을 자세히 분석하기 위해 포항방사광 가속기의 XMCD 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

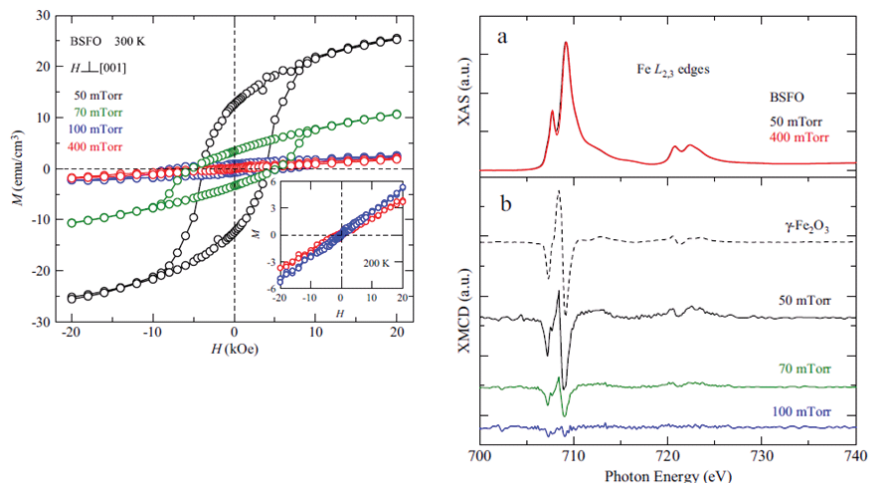


그림 1. (좌) 산소 분압에 따른 M-H 커브. 그림 2 (우) XAS, XMCD 실험 결과. γ -Fe₂O₃ 스펙트럼을 참조로 같이 보임.

산소 분압에 따라서 자기적 성질을 매우 큰 변화를 보인다. 그림 1은 상온에서 측정한 Sr-도핑된 BiFeO₃

박막의 M-H 커브를 보여준다. 50 mTorr에서 증착한 박막은 매우 확실한 히스테리시스 커브를 보이지만 400 mTorr에서 증착한 박막은 그렇지 않다. 이와 같은 강자성체와 같은 자기적 성질의 원인을 파악하기 위해서, XMCD 실험을 수행하였고 그 결과를 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 와 비교하였다. 그림 2에서 보여준 바와 같이 50 mTorr에서 증착한 박막은 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 와 거의 같은 시그널을 보이는데, 이로부터 이 시료의 자성은 기존 논문과 다르게 BiFeO_3 자체의 자성의 변화라기보다는 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 불순물에 의한 것이라고 결론 내릴 수 있었다.

산소 분압에 따라서 전기적 성질 또한 매우 큰 변화를 보인다. 그림 3은 산소 분압에 따른 I-V 특성과 P-E 커브를 보여준다. 산소 분압이 낮아짐에 따라서 전기적 손실이 커지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성은 전기적 분극 실험을 통해서도 확인 될 수 있는데 특히 400 mTorr에서 성장한 시료는 강유전 특성을 보이는 것을 P-E 커브 실험을 통해 확인하였다.

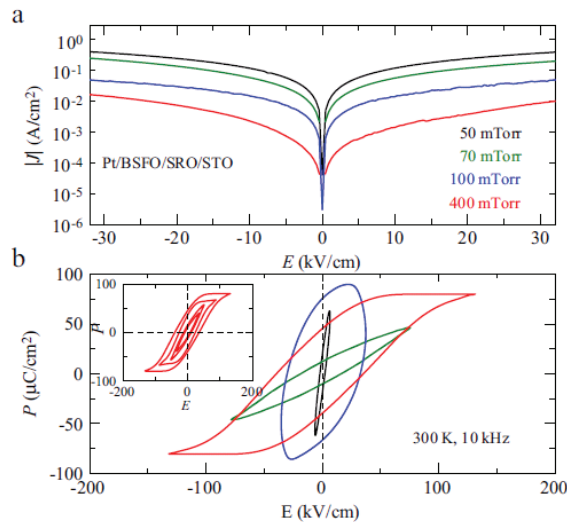


그림 3. 산소 분압에 따른 I-V, P-E 커브

4. 결론

우리는 $\text{SrRuO}_3/\text{SrTiO}_3$ (001) 박막위에 Sr이 도핑된 BiFeO_3 박막을 펄스 레이저 증착법을 이용하여 다양한 산소 분압에서 합성하였다. 산소의 분압이 낮은 경우에는 매우 확실한 M-H 커브를 관측할 수 있었으나 XMCD 실험을 통해서 그 원인이 $g\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 불순물 때문이라는 것을 밝혀내었다. 반면 산소 분압이 높은 경우에는 매우 확실한 P-E 커브를 관측하였고, 이를 통해 강유전성을 가진다는 것을 밝혀내었다.

5. 참고문헌

- [1] S-W. Cheong, M. Mostovoy, Nature Mater. 6, 13 (2007)
- [2] R. Ramesh, N. A. Spaldin, Nature Mater. 6, 21 (2007).
- [3] B. Ruetter, S. Zvyagin, A.P. Pyatakov, A. Bush, J.F. Li, V.I. Belotelov, A.K. Zvezdin, D. Viehland, Phys. Rev. B 69, 064114 (2004) .
- [4] J. Wang, J.B. Neaton, H. Zheng, V. Nagarajan, S.B. Ogale, B. Liu, D. Viehland, V. Vaithyanathan, D.G. Schlom, U.V. Waghmare, N.A. Spaldin, K.M. Rabe, M. Wuttig, R. Ramesh, Science 299, 1719 (2003).
- [5] V. A. Khomchenko, D. A. Kiselev, J. M. Viera, A. L. Kholikim, M. A. Sa, Y. G. Pogorelov, Appl. Phys. Lett. 90, 242901 (2007).
- [6] D. H. Wang, W. C. Goh, M. Ning, C. K. Ong, Appl. Phys. Lett. 88, 212907 (2006).

홀 센서와 자기 코어를 이용한 하이브리드 차량용 전류센서

이우재*, 연교흠, 김시동

(주)오토산업 기술연구소

요 약

전류센서는 전기차 시대의 도래와 함께 전기차의 주용 부품으로써, 차량용 전기가 충방전하는 동안의 전류의 흐름을 측정하고, 전지관리시스템이 모니터링하는 목적으로 사용되어 진다. 본 논문은 Hall-effect를 이용하여 전류에 의해 의기된 자장이 자성코어에 집중되어 코어의 공극에서 측정되도록 전류센서를 구성하였다.공극 간의 자속을 측정하기 위하여, GaAs 계열의 Hall 센서가 사용되었다. 본 논문이 제안하는 센서는 측정 결과, 출력 특성의 선형성과 온도 안정성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 제안된 전류센서가 산업용으로 적용이 가능함을 보여준다.

I. 서론

전류센서는 하이브리드자동차 및 전기자동차의 주요부품으로, 배터리 충방전시 전류를 측정하는 역할을 한다. 이번 연구에서는 전류에 의한 자기장이 발생되면, Core에 의해 집중되어 자기장이 분포하는 공극에 홀센서를 삽입하여 측정이 가능하도록 전류센서를 구성하였다.

Core는 winding한 후에, annealing 및 molding을 한 후 공극을 cutting하여 제작하였고, GaAs 계열의 Linear type hall sensor를 사용하여 공극에서의 자기장을 측정하였다.

II. 전류센서

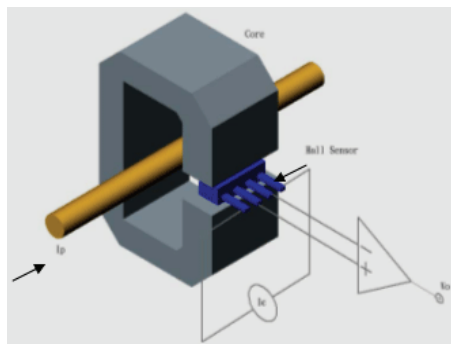


그림 1. Schematic diagram of the current sensor

그림 1.은 제안하는 전류센서의 구성과 동작 원리를 설명하는 그림으로, 자성 core를 관통하는 측정 전류가 발생하는 자속이 core의 공극(Gap)사이에서 밀집되며, 이 자속을 Hall-effect를 이용한 센서 IC를 통하여 측정하는 구성을 나타낸다. 전류 센서에는 동작을 위해 필요한 구동전압(+5V)이 인가되고, core를 관통하는 전류의 양에 비례하는 출력 전압을 낸다. 제안된 전류센서의 출력 전압의 범위는 0.5~4.5V로 하였으며, 이는 -400 ~ +400A의 전류량에 일차함수로서 대응 된다. 이러한 이론적 설계에 대한 측정치가 그림2.에 나타나 있다.

Fig.2는 -400A ~ +400A 범위의 전류에 대한 전류센서의 출력 전압을 나타내는 그래프이다. 측정전류에 일

차 함수로 대응되는 출력은 0.5~4.5V이고, 측정 범위의 입력전류에 대해서는 clipping 되어 진다. 즉, 전류센서의 전압출력은 4.5V를 초과할 수 없고, 0.5V이하일 수 없다. 또한, Offset voltage, 즉 전류가 인가되지 않은 상태(0A 인가)의 출력값은 2.5V이다. 측정된 출력전압의 선형 특성(linearity)은 0.03%으로써, 이는 전기자동차 업체가 요구고 있는 선형도 수준(0.1%)를 충분히 만족한다.

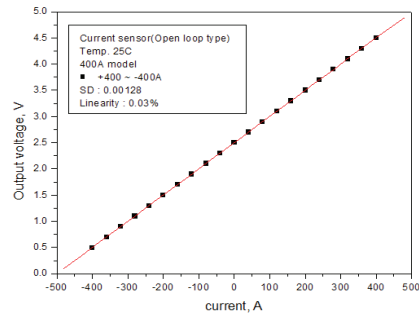


그림 2. Sensor output voltage vs. applied current to demonstrate linearity of the sensor

주파수 대역 특성의 측정을 위하여, 800KHz의 대역폭 성능을 내는 전력증폭기와 비유도성 선트가 사용되었다. 그림3에서는 제안된 전류센서의 40A·turns를 인가하였을 때의 출력 전압의 주파수 특성을 나타낸다.

100KHz 까지의 대역에서 3dB 이하의 출력 편차를 보이고 있다. 이는 전기 차량의 구동 모터의 최대 회전수를 충분히 수용할 수 있는 주파수 특성을 나타낸 것으로, 전기차량의 모든 주행 조건에 대한 소비 전류의 주파수 전대역의 변화 성향을 왜곡없이 관찰 할 수 있음을 의미한다.

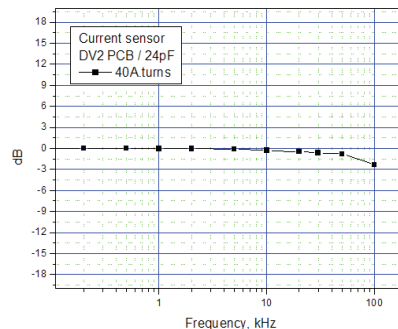


그림 3. Sensor output voltage vs. frequency at applied current of 40 A·turns

또한 Fig.4에서는 전류센서의 응답 속도 특성을 나타내는 그림으로, 전류센서의 출력전압이 최대치의 90%까지 이르는 데 발생하는 지연이 2μs이하임을 보이고 있다. 이는 입력 신호의 인가로부터 2μs 이내에 입력 전류와의 선형적 비례관계의 출력 전압이 측정되어 지는 것으로, 전류센서의 동작 특성이 피측정 전류의 급격한 변화를 충분히 감지하고, 감지된 물리량의 변화를 전기적 신호로 출력할 수 있음을 보여 주고 있다.

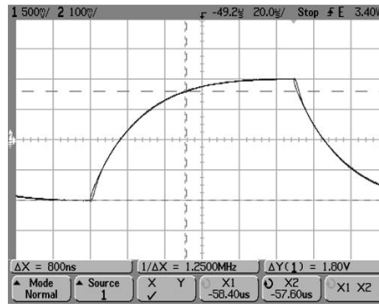


그림 4. Dynamic response of the sensor under 100 A·turns steps

III. 결론

이상에서 살펴본 바와 같이, 본 논문에서는 Hall effect를 이용한 IC를 사용하여, 주파수대역폭 100kHz, 반응속도 $2\mu\text{s}$ 이하, 선형도 0.03%의 성능을 갖는 자동차용 전류센서를 개발하여, 그 성능을 측정하였다. 본 논문에서의 전류센서는 하이브리드 및 전기자동차 업체가 요구하는 정적(linearity) 및 동적(주파수, 응답 속도) 특성을 모두 만족하는 것으로, 이것은 외국 선진 전류센서 양산업체가 제시하는 성능에 뒤지지 않기 때문에, 국내 전기자동차업체가 구동 전류의 변화를 신뢰성 있게 관찰할 수 있는 전류센서로써, 국내 개발된 제품을 적용할 수 있는 길이 열렸음 보인다.

IV. 참고문헌

- [1] R. Boll and K. J. Overshott, Sensor Vol 5. (Magnetic Sensors), 78(1989).

튜브형 페라이트 코어를 이용하여 제작한 직교 플럭스게이트 센서의 출력 특성

김용민^{1)*}, 김형관¹⁾, 김진영¹⁾, 백승민²⁾, 신광호¹⁾

¹⁾경성대학교 정보통신공학과

²⁾고려대학교 반도체 기술 연구소

1. 서론

상온에서 구동하는 고감도 자계 센서중 하나인 플럭스게이트 센서는 1930년대에 처음으로 개발되어 세계2차 대전에 군사적인 목적으로 함정에 의한 지자계 왜곡을 측정 하는데 사용되었으며, 현재에는 항공, 지자기 관측 등의 많은 곳에서 널리 사용되고 있다. 2000년대에 센서의 성능 향상을 위한 연구로 구동신호에 바이어스 전류를 인가하는 바이어스 효과에 대한 연구가 진행되었다[1-2]. 본 연구에서는 고감도 및 넓은 자계 대역폭을 가지는 직교 플럭스게이트 센서를 제작하기 위하여 튜브형 페라이트 코어를 이용한 직교 플럭스게이트 센서를 제작하고 센서의 구동 조건에 따른 입출력 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

Fig. 1. (a)는 본 연구에서 제작한 센서 소자의 개략도를 나타낸 것이다. 자기 코어는 외경 1.6 mm, 내경 0.8 mm, 길이 5 mm의 튜브형 페라이트 코어를 사용하였고, 자기 코어를 여자 시키기 위해 페라이트 코어 중심부에 직경 0.8 mm의 도선을 삽입하였다. 검출코일은 에나멜 동선의 솔레노이드 형상으로 사용하였고, 코일의 직경과 권선수는 각각 50um 와 1200턴이다. 자성 코어를 여자 시키기 위해 함수발생기(Tektronix AFG3021)를 이용하여 교류전압 43 mV ~ 217 mV, 바이어스 전압 11 mV ~ 114 mV, 주파수 160 kHz ~ 320 kHz로 가변 하면서 인가하고, 검출 코일의 출력 신호는 전자 오실로스코프(Tektronix TDS1012)를 이용하여 측정 하였다 (Fig. 1. (b)). 외부 자계를 인가하기 위하여 헬름홀츠 코일을 사용하였고, 외부 인가 자계는 검출 코일의 길이 방향으로 -60 Oe ~ 60 Oe를 인가였다.

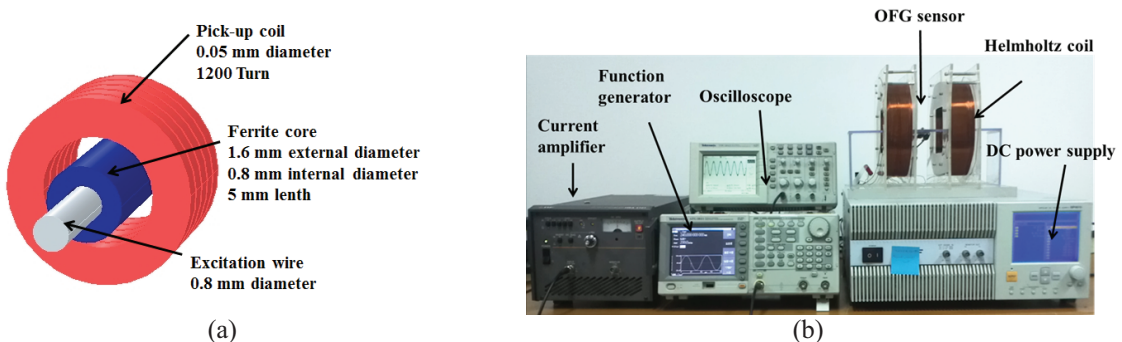


Fig. 1. (a) 센서 소자 개략도 (b) 센서 성능 측정 시스템

3. 결과 및 고찰

플럭스게이트 센서의 구동 주파수는 코일의 LC 공진 특성에 의해 정해진다. 구동 주파수를 160 kHz ~ 320 kHz 로 가변 하면서 센서의 출력을 조사한 결과로부터 측정된 센서의 최대 감도는 240 kHz에서 0.23 V/Oe

로 측정되었다. Fig. 2. 은 주동 주파수가 240 kHz, 교류 전류의 첨두치 108 mV, 외부 자계 -60 Oe ~ 60 Oe로 인가하고 여자 바이어스 전류를 각각 11 mV, 57 mV 로 인가하였을 때의 출력 전압을 비교한 그림이다. 직류 바이어스로 57 mV를 구동신호에 인가하여 센서를 구동시켰을 때 센서 출력의 비선형성을 제거 되는 효과와 높은 감도를 얻을 수 있었다.

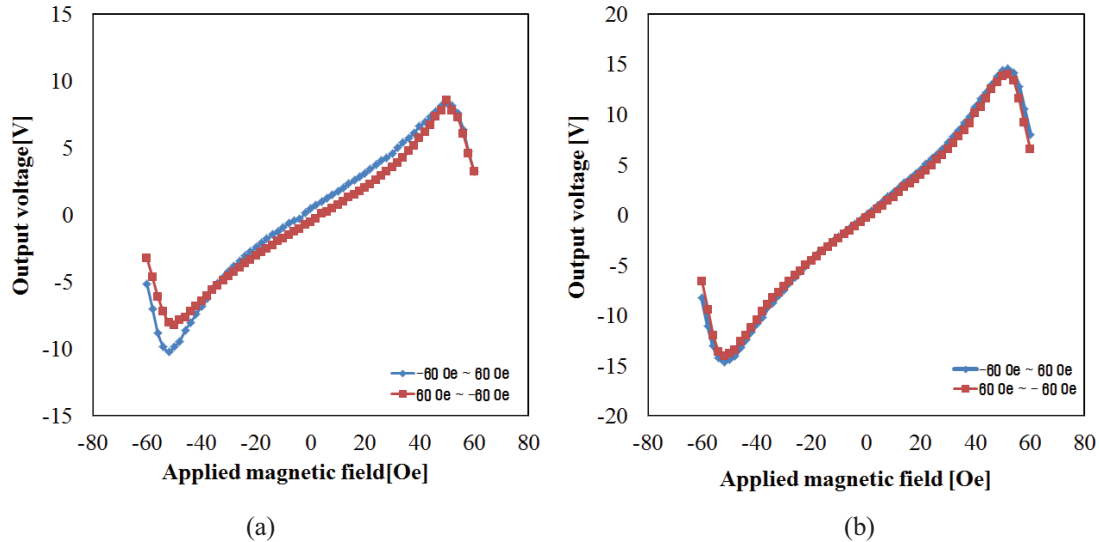


Fig. 2. 출력 전압의 바이어스 전압 의존성 (a) 바이어스 전압 11 mV (b) 바이어스 전압 57mV

4. 결론

본 연구에서는 튜브형 페라이트 코어를 이용하여 직교 플럭스게이트 센서를 제작하였고, 본 센서의 동작 특성을 조사하였다. 센서의 최대 감도는 실험적인 결과 값으로 240 kHz에서 0.23 V/Oe, 대역폭은 - 50 Oe ~ 50 Oe 로 측정되었고, 측정된 대역폭은 기존 플럭스 게이트 센서의 대역폭이 ~2 Oe [1], ~ 1 Oe [3] 와 비교하여 큰 대역폭 측정에 사용 가능함을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] I. Sasada, "Orthogonal fluxgate mechanism operated with dc biased excitation", J. Appl. Phys., vol
- [2] E. Paperno, "Suppression of magnetic noise in the fundamental-mode orthogonal fluxgate", Sensors and Actuators A 116 (2004) 405-409
- [3] P. Ripka, G. Vertesy, "Sensor based on soft magnetic materials Panel discussion", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 215-216(2000) 795-799

NiFe-IrMn GMR-SV 소자의 패턴닝 이방성에 따른 자기저항특성에 관한 연구

최종구^{1*}, 박광준², 황도근², 이장로³, 이상석²

¹동서의료공학과 대학원 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 산 660번지

²한방의료공학과 보건과학대학 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 산 660번지

³나노물리학과 숙명여자대학교, 서울시 용산구 청파동 2가

I. 서론

GMR-SV(Giant magnetoresistance-spin valve) 소자를 이용한 바이오센서는 분자수준 크기의 특이 종을 선택함에 있어서 자성신호를 측정하여 생물학적 또는 화학적 분자의 운동을 관찰하는데 용이할 수 있다. GMR-SV 소자는 나노공학 및 생명공학의 기술과 의학 및 생물학의 학제간 융합연구가 발전하여 DNA(deoxy nuclei acid) 분자 칩(chip)이나 고감도 생체센서로 활용하기까지 이르렀다. 생체분자로부터 나오는 생체신호를 검출하기 위해 개발된 전형적인 바이오센서(biosensor)는 생물학적 인지시스템과 물리화학적 신호변환기(transducer)를 조합하여 특이한 분자 종을 선택적으로 반응하여 분석하는 핵심소자들로 구성되어 있다.

본 연구는 나노자성 감지 GMR-SV 바이오센서로 이용하기 위해 제작한 소자의 고감도 기능을 향상시키는 방법에 대해 실험적인 결과를 바탕으로 제시하는 것이다. 즉 자성 다층박막에서 고정층은 박막 제작시 인가하는 외 자기장 방향을 정하고, 소자 제작시 임의의 길이 방향으로 형상 자기이방성을 갖도록 유도하여 그 자기저항 특성을 관찰하여 비교 분석하였다.

II. 실험방법

Ta(bottom)/NiFe/Cu/NiFe/IrMn/Ta(top) 다층박막을 3×10^{-6} Torr 인 고진공 증착 시스템을 이용하여 유리(Corning 7059) 기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 상온에서 증착하였다. 다층박막 증착시 인가된 영구자석의 자기장 크기는 350 Oe 이었다. Ta, NiFe, Cu, IrMn의 독립적인 3인치 타겟들을 증착할 때 플라즈마의 상호 간섭이나 타겟 성분들 간의 혼재를 막기 위해 분리막을 사용하였다. Ta, NiFe, Cu, IrMn의 박막에 대한 증착률은 각각 0.1 nm/sec, 0.15 nm/sec, 0.12 nm/sec, 0.1 nm/sec 이었다. 이번 다층박막 구조에서 바닥층 Ta, 자유층 NiFe, 사잇층 Cu, 고정층 NiFe, 반강자성층 IrMn, 보호층 Ta의 두께를 각각 5 nm, 8 nm, 2.3 nm, 4 nm, 5 nm, 2.5 nm 으로 설정하였다.

광 리소그래피 공정으로 1 μm 의 폭 크기와 20 μm 의 길이를 갖는 GMR-SV 소자를 제작하기 위해 먼저 금속 그림자 마스크(shadow mask)없이 증착한 시료에 PR(Photoresistance) 영역을 남기도록 하였으며, 전자 사이클로트론 공명 장치(Electron Cyclotron Resonance ; ECR)를 이용한 Ar^+ 이온 밀링으로 식각을 하였다. 여기서 증착할 때 인가한 자기장의 자화 용이축 방향을 정하고 소자의 패턴시 임의의 길이 방향으로 하여금 형상 자기이방성 효과가 나타나도록 하였다. 이 소자의 제조 공정에서 밀링 후 아세톤으로 PR을 제거하였으며, 2차 광 리소그래피 공정으로 폭 크기는 변하지 않고 길이는 4.5 μm 로 실제 영역만 남기도록 하였다. 그 위에 Cr(50 nm)과 Cu(50 nm)를 차례로 증착한 후 lift-off 방법으로 전극을 형성시켰다. 이 소자의 공정 과정에서 생긴 산화막 및 표면오염으로 인한 자기저항 특성의 변화를 최소화하기 위해 표면처리 과정을 거친 후 *in-situ* 방법으로 바로 전극을 형성시켰다. 모든 소자들은 열처리를 하지 않고 증착된 상태를 유지하였다. 소자의 자기저항 특성을 보여주는 보자력(coercivity; H_c), 교환결합세기(exchange coupling field; H_{ex}), 자기저항비(magnetoresistance ratio; $MR(\%)$) 그리고 자장감응도(magnetic sensitivity; $MS(\%/\text{Oe})$)는 상온에서 2단자 자기저항 측정 시스템으로 얻은 값의 자기저항 곡선으로부터 각각 결정하였다.

III. 실험결과 및 분석

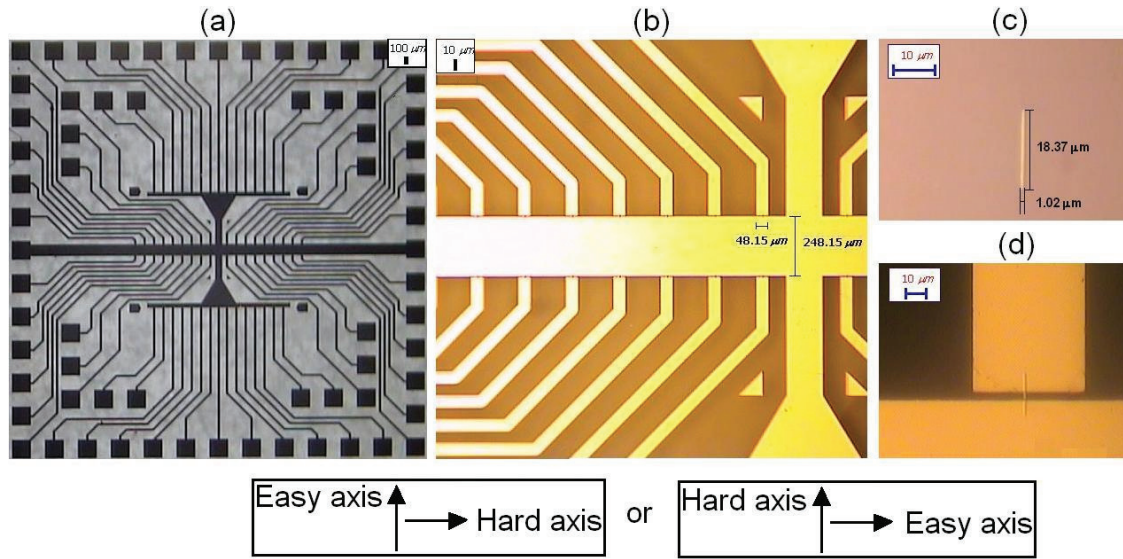


Fig. 1. (a) Real photograph of the GMR-SV devices with 2-probe electrodes of 66 number patterned by photo lithography. The GMR-SV multilayer structure was Ta(5 nm)/NiFe(8 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(4 nm)/IrMn(5 nm)/Ta(2.5 nm). (b) Real photograph of the GMR-SV devices with 2-probe electrodes of 16 number. (c) Real photo of one GMR-SV device with a size of $1.02 \mu\text{m} \times 18.37 \mu\text{m}$ before deposition 2-probe electrodes of Cr/Cu thin films. (d) Real photograph of the GMR-SV device with 2-probe electrode. Here the marks of several arrows are noticed the easy and hard axes with switching status in each other for the two cases.

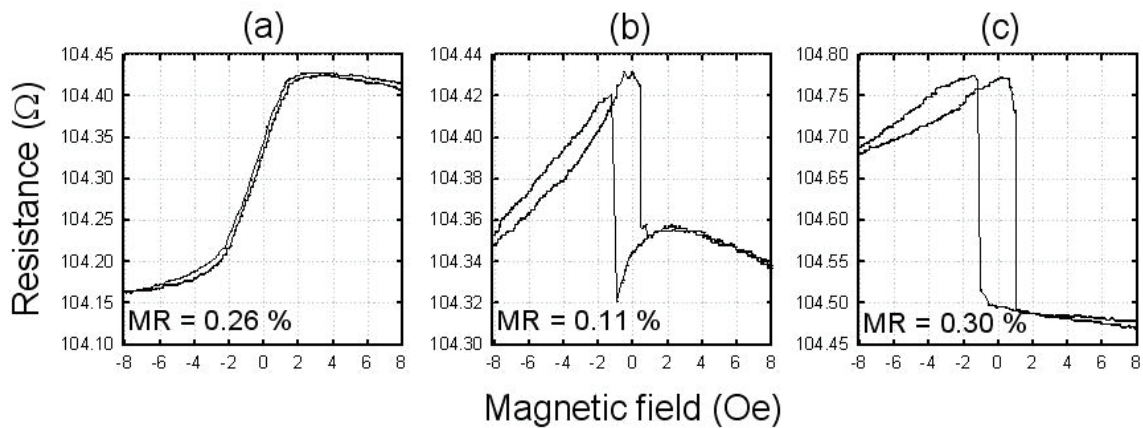


Fig. 2. The minor magnetoresistive curves measured by 2-probe method for the micro-patterned GMR-SV device with Ta(5 nm)/NiFe(8 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(4 nm)/IrMn(5 nm)/Ta(2.5 nm) multilayer structure. The easy axis is perpendicular to the sensing current direction. The easy axis of pinned NiFe/IrMn bilayer oriented to the transversal direction of device and the direction of the easy axis of free NiFe layer oriented to the longitudinal direction of device due to the shape anisotropy. The minor loops of MR curve according to the three device rotation angles ; (a) 0° , (b) 45° , and (c) 90° .

※ 본 연구는 교육과학기술부 한국연구재단의 지원을 받아 수행하고 있는 2010년도 하반기 기본연구지원사업(2010-0024665)과제의 연구결과이다.

자기적 방법을 이용한 비접촉 탄속측정 장치제작

이성민^{1*}, 유일선¹, 김정윤¹, 신준규², 정규체², 유권상³, 손대락¹

¹대전광역시 대덕구 오정동 133, 한남대학교 물리학과

²대전광역시 유성구 외삼동 52-1, 한화중합연구소

³대전광역시 유성구 가정로 297, 한국표준과학연구원

1. 서론

중소구경 탄의 시한정밀도를 향상시키기 위해서, 탄 비행 시 소염기 부분에서 탄속을 비접촉으로 측정하는 개념을 도입하고 있다. 소염기 부분에서 탄의 비행속도에서 비 접촉으로 신호를 주기위한 방법으로 광학적인 방법이 있으나, 본 연구에서는 신뢰성이 우수한 자기적 방법에 대하여 연구를 하였다. 자기적 방법으로 탄에 신호를 주는 방법으로 소염기 부분에 영구자석을 일정한 간격으로 부착하고 탄에 탐지코일을 권선하여 탄의 탐지코일에 유도되는 기전력의 시간차이를 측정하고 영구자석 사이의 거리를 이 시간 차이로 나누게 되면 탄속을 측정하는 방법을 택하였다. 영구자석의 구조로는 막대자석을 소염기에 부착하는 방법이 있으나, 이 경우 외부로 누설되는 자속이 많아서 누설 자속을 최소로 하고 탄에 권선된 탐지코일에 효과적으로 자속의 변화를 주기 위한 ring 형태의 Nd자석과 yoke를 사용하는 최적의 조건과 영구자석에 의하여 발생하는 자기장하에서 탄이 비행 시에 발생하는 와전류에 의한 자기장 차폐효과에 의한 탐지코일에 유도되는 기전력의 변화를 FEM simulation을 하고, 이를 바탕으로 측정 장치를 설계제작하여 수치적 계산결과와 비교를 할 계획이다.

2. 수치해석결과

그림 1 은 영구자석과 yoke가 있는 ring구조의 단면으로 Nd자석의 단면 1 cm × 1 cm 이고 양쪽 yoke의 단면이 1 cm × 2 cm 인 구조에서 yoke의 안쪽 면을 절단하면서 yoke 면상으로부터 탄이 지나가는 거리인 5 mm에서 자속밀도를 FEM simulation 한 결과이다.

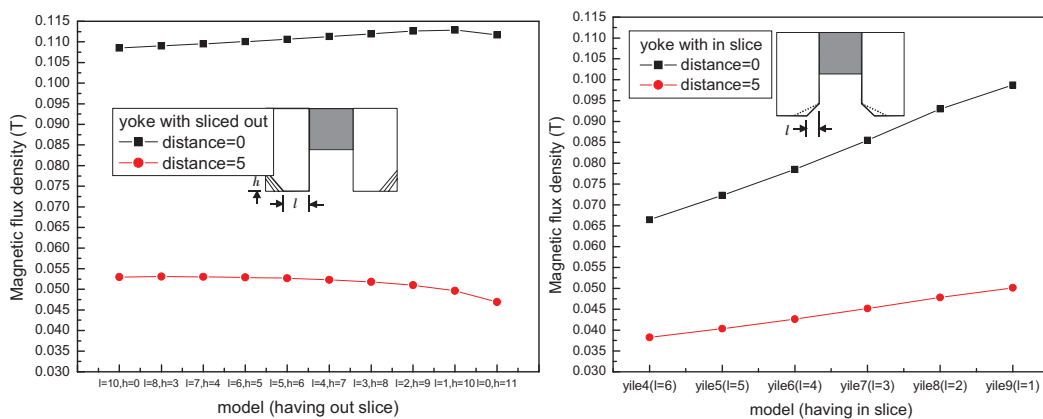


그림 1. Yoke의 단면적 모양의 변화에 대한 yoke 끝면의 중심부분 및 5 cm 아래에서의 자속밀도.

4 - 채널 자기장 분포 측정 장치 제작

김정윤*, 손대락

한남대학교 물리학과, 대전광역시 중구 오정동 133

1. 서론

본 연구는 영구자석을 이용한 제품이나, 철 계통의 합금이 기계적 가공을 하는 과정에서 발생 할 수 있는 자화된 상태를 Hall probe를 이용하여 4채널을 동시에 측정하는 장비를 개발 하였다.

2. 측정 장치 제작

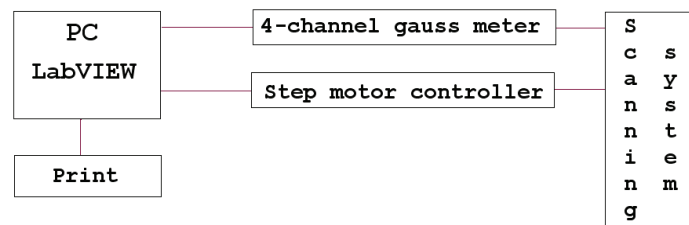


그림 1. 자기장분포 측정장치의 개략도.

그림 1은 본 연구에서 제작한 자기장 분포측정 장치의 개략도 이다. 스캔장치는 먼저 PC를 통해 step motor 를 제어하여 원하는 위치에 Hall probe 를 이동시킨 후 4-channel Gaussmeter로 자기장을 측정하고 측정한 자기 장 값을 4-channel data acquisition module을 통해 PC의 USB port 로 데이터를 전송하여 분석하는 방식을 택하 였다. 스캔장치의 구조는 그림 2 에서 보는 바와 같이 4개의 Hall sensor를 동시에 ± 25 cm 스캔할 수 있게 장치 를 설계한 것으로 일차원 상으로 회전이 없이 왕복운동을 할 수 있게 설계를 하였고, 또한 4 - ch Gauss meter 를 이동시키기 위한 stepping 모터로써, 일차원 운동을 강제로 시키기 위하여 12개의 베어링을 사용하였고, 좌 우 4개의 베어링은 좌우이동을 방지하고, 아래 4개와 위의 4개 베어링은 상하의 진동을 방지하는 기능을 하고 있다. 조립이 된 스캔장치는 이동시 ± 0.10 mm 이내 1차원운동을 하고 있음을 확인 하였다.

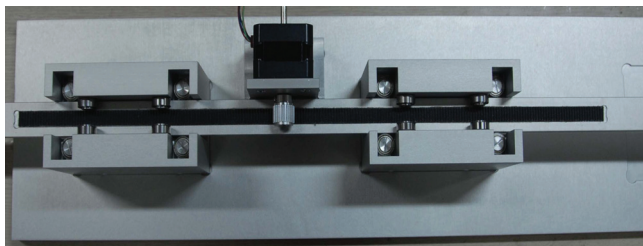


그림 2. 스캔장치에서 스텝모터 부분.

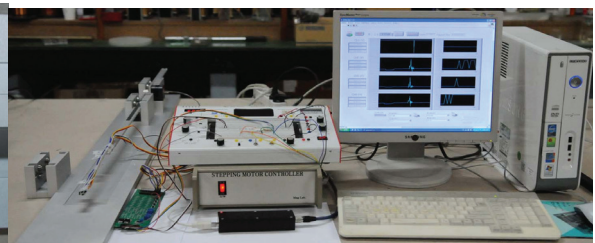


그림 3. 자기장분포 측정장치.

4개 채널의 Hall 센서를 사용 자기장을 측정하고 이들 측정 데이터를 PC로 가져오기 위한 전자회로를 설계 및 제작을 하였다. Hall 소자는 InSb 소자인 HW-300A로 센서의 단면적은 $2.4\text{ mm} \times 2.9\text{ mm}$ 이다. 그림 4 는 4 - channel 홀센서를 이용한 가우스 미터의 전자장치의 사진으로 홀센서에 일정한 전류를 인가하기 위하여 정전 압원 Ref43을 사용하였으며 2.5 V의 정전압을 일정한 전류로 변환하기 위하여 OPA07 증폭기를 사용 하였으며

홀소자 양단에 걸리는 전압은 계측증폭기인 INA118을 사용하였으며 증폭기 출력을 OPA07을 사용 증폭도를 조절할 수 있게 하여 가우스미터를 교정할 수 있게 하였고, 가변저항을 이용해 출력의 Offset을 교정 할 수 있게 하였다.

그림 5 는 4 - channel Gaussmeter의 출력을 컴퓨터로 가져가기 위한 Data acquisition module 이다. AD converter는 24bit δ - σ 형태의 ADC인 AD1253을 사용하였으며 이 ADC를 제어하고, 측정한 값을 computer의 USB port로 보내기 위하여 AVR2313을 사용하였다.

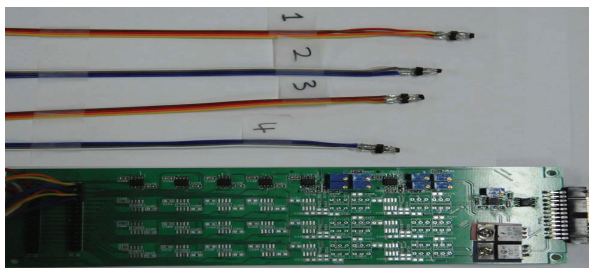


그림 4. 4-channel Hall effect gaussmeter



그림 5. 4-channel data acquisition module.

3. 측정 software

본 측정 software에서는 LabVIEW 프로그램을 사용하여 step motor controller 의 제어 및 4-channel data acquisition module를 통해 데이터를 수집 할 수 있게 programming 하였다. LabVIEW를 통해 제어되는 step motor controller를 제어함으로써 4 - ch Gaussmeter의 이동 속도와 회전 방향을 제어하였고, 최소 0.1 mm의 이동거리를 제어할 수 있음을 확인하였다. 또 수집된 자기장의 세기를 Excel파일로 저장하고, LabVIEW의 interface를 통해 자기장의 세기 및 자속밀도를 그래프와 차트로 분석 할 수 있게 하였다.



그림 6 . LabVIEW를 통한
4-channel Hall effect gaussmeter의 구현.

	ch1	ch2	ch3	ch4
2	11.152	-0.025	0.077	-0.018
3	11.152	-0.025	0.077	-0.017
4	11.152	-0.025	0.077	-0.017
5	11.152	-0.025	0.077	-0.018
6	11.152	-0.022	0.077	-0.017
7	11.152	-0.022	0.077	-0.017
8	11.152	-0.022	0.077	-0.017
9	11.152	-0.022	0.077	-0.017
10	11.152	-0.022	0.077	-0.017
11	11.152	-0.022	0.077	-0.017
12	11.152	-0.022	0.077	-0.017
13	11.152	-0.022	0.077	-0.017
14	11.152	-0.022	0.077	-0.017
15	11.152	-0.022	0.077	-0.017
16	11.152	-0.022	0.077	-0.016
17	11.152	-0.022	0.076	-0.017
18	11.152	-0.022	0.077	-0.017
19	11.152	-0.022	0.077	-0.016
20	11.152	-0.021	0.076	-0.016
21	11.152	-0.021	0.077	-0.016

그림 7. LabVIEW를 통해
데이터를 Excel 파일로 저장.

4. 참고문헌

- [1] David J. Griffiths 김진승 역 “기초전자기학” 3판 진샘미디어 (2006).
- [2] 이정용 “기초전자현미경” 대영사 (2002).
- [3] 김병훈, 이재영 외 1명 “센서기술” 내하출판사 (2009).
- [4] 광두영 "LabVIEW 데이터수집 및 COMPACTRIO" OHM사 (2011).

비정질 코어를 사용한 Feed-back형 전류센서 제작

연교흠^{1*}, 김시동¹, 손대락²

¹오토산업(주), 서울 구로구 한신 IT타워 14층

²한남대학교 물리학과, 대전 오정동 133

1. 서론

측정전류와 전류를 측정하는 회로와 전기적으로 분리된 potential free current sensor는 전력제어용전원장치에서 전류측정에 중요하게 사용되고 있다. 전력장치의 인버터용으로 사용되는 전류센서의 경우 측정범위가 DC는 800 A, AC의 경우 500 Arms 이고 주파수측정 범위는 100 kHz이상을 요구하고 있다. 본 연구에서는 주파수 특성을 향상시키기 위하여 Co-based 비정질 리본인 2714A를 사용한 코어와 Hall센서를 사용한 feed-back형 전류센서를 개발 제작하고 그 측정을 조사하였다.

2. 센서의 제작

Feed-back형 전류센서의 원리는 그림 1과 같이 피측정 전류에 의하여 공극이 있는 코어를 자화시키면 코어의 공극에서 자기장이 발생되고, 이 자기장을 Hall센서를 사용하여 측정하고 Hall센서의 출력 전압을 증폭하여 2차 코일에 전류를 공급하여 $I_p = I_s N_s$ 가 되게 negative feedback을 하는 방식으로, 이 경우 shunt 저항 R_M 에 인가되는 전압 V_s 와 피측정 전류 I_p 사이의 관계는 다음과 같다.

$$V_s = \frac{R_M}{N_s} I_p \quad (1)$$

따라서 V_s 측정함으로써 I_p 를 측정하는 방식이다.

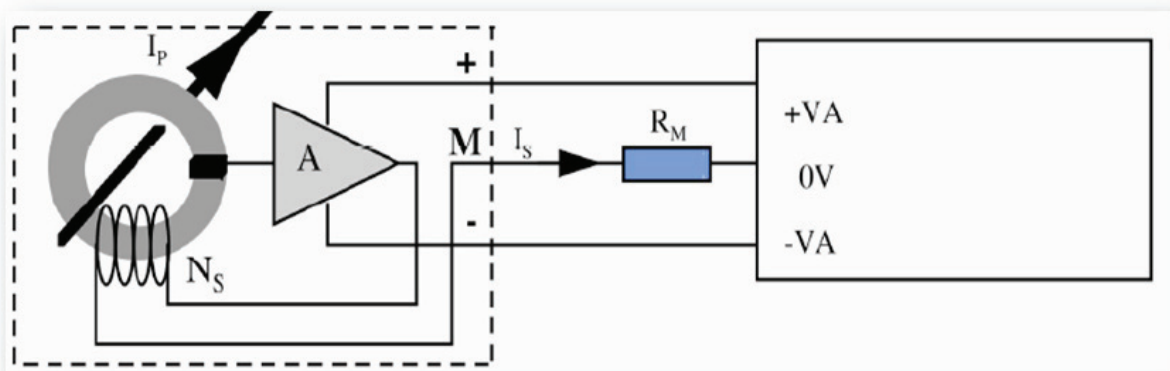
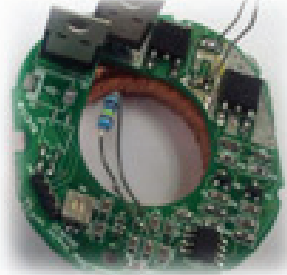


그림 1. Feed-back형 전류센서의 원리.

코어는 두께 $0.25 \mu\text{m}$ 인 Co-계열의 Metglass2714A를 권취하여 3 mm의 공극이 되게 절단을 한 코어를 사용하였으며, 2차 코일은 2,000회 전선을 하였다. 그림 2는 본 연구에서 제작한 전류센서의 사진으로 그림 2-(a)는 코어에 2차 코일에 권선된 모양의 사진이고, 그림 2-(b)는 코어와 전자회로를 조립한 전류센서의 사진으로 앞에서 보이는 부분이 전자회로 기판이다.



(a)



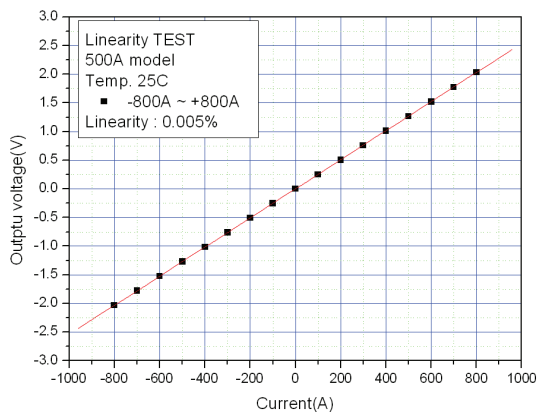
(b)

그림 2. 제작된 feed-back형 전류센서의 사진; (a) 센서코어, (b)전자회로 기판.

3. 센서의 특성측정

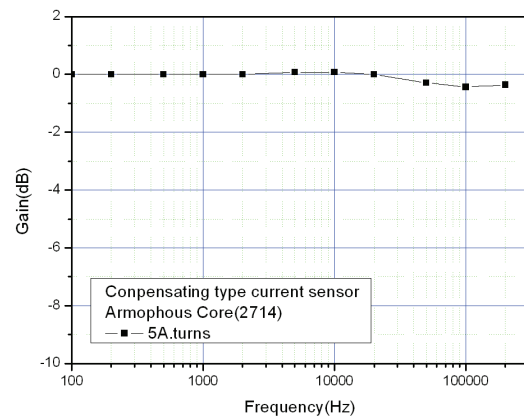
센서의 선형도를 측정하기 위한 전류공급장치는 출력 전압과 전류가 각각 10 V, 1000 A인 장치와 정확도가 0.02 % 이고 저항 값이 0.1 m Ω 인 shunt를 사용하였다. 주파수 대역폭을 측정하기 위한 교류 증폭기는 주파수 대역폭이 800 kHz 를 사용하였고 전류의 측정은 비유도성 박막저항 0.1 Ω 의 shunt를 사용하였다.

센서의 선형도를 측정한 결과가 그림 3와 같으며 선형도는 0.005 % 매우 우수한 센서특성을 보였으며, 동특성도 그림 4와 같이 200 kHz 까지 1 dB 이하였다.



(a)

그림 3. 측정범위 +/- 800 A 범위에서 센서의 선형도.



(b)

그림 4. 주파수 200 kHz 범위에서 센서의 응답특성

4. 참고문헌

[1] R. Boll and K.J. Overshott, Sensors Vol.5 "Magnetic sensors", VCH (1991).

Effects of Sputtering Ar Gas Pressure in The Exchange Stiffness of Co₄₀Fe₄₀B₂₀ Thin Films

Jaehun Cho*, Jinyong Jung, KA-EON Kim, Sukmock Lee and Chun-yeol You

Department of Physics, Inha University

I. Introduction

Recently, the magnetic properties of CoFeB are actively studied because it is possible candidate materials for the spin transfer torque magnetic random access memory (STT-MRAM) application due to the large tunneling magneto-resistance and perpendicular magnetic anisotropy. However, only a few researches have been found for the exchange stiffness constants of CoFeB [1]. The exchange stiffness constant is very basic physical quantity and related with the exchange energy, or Curie temperature of the materials. In spite of the importance of the exchange stiffness constant, there is no systematic study about the exchange stiffness constant dependence on the fabrication processes such as Ar gas pressure. Furthermore, recently, it is predicted that the switching current density depends on the exchange stiffness constant [2]. In this work, we investigate the dependence of the exchange stiffness constants on the Ar gas pressure. We employ the Brillouin light scattering (BLS) to measure the surface and standing spin waves (SSW) modes of magnon in Co₄₀Fe₄₀B₂₀ thin films, from the resonance frequencies we can determine the exchange stiffness constants.

II. Experiment

Co₄₀Fe₄₀B₂₀ thin films were fabricated on Si(100) substrate using a dc magnetron sputtering system. The Ar gas pressure during sputtering processes was varied with 1.5, 4.5, 7.5, 10 mTorr. The thickness of Co₄₀Fe₄₀B₂₀ thin films was fixed at 25 nm and Ta (5 nm) layers were used as seed and capping layers. The magnetic properties of the samples were studied by a Sandercock (3+3) type Fabry-Perot interferometer [3]. The light source is a single frequency 514.5 nm an Argon ion laser with output power of about 160 mW. Back scattering geometry used to observe the light scattered by thermal excitations with an in-plane wavenumber $q_{\parallel} = 1.727 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ with the angle of incident as 45o.

III. Results

The frequencies of the Damon-Eshbach(DE) and the first standing spin wave mode versus the applied magnetic field is plotted in Fig. 1. The frequencies of each modes are analyzed using [4]

$$f_{DE} = \frac{\gamma}{2\pi} \left[H(H + 4\pi M_s) + (2\pi M)^2 (1 - e^{-2q_{\parallel}d}) \right]^{1/2}$$

$$f_{SSW} = \frac{\gamma}{2\pi} \left[\left(H + \frac{2A}{M_s} \left(q_{\parallel}^2 + \left(\frac{n\pi}{d} \right)^2 \right) \right) \left(H + \frac{2A}{M_s} \left(q_{\parallel}^2 + \left(\frac{n\pi}{d} \right)^2 \right) + 4\pi M_s \right) \right]^{1/2}$$

H is the applied magnetic field, γ is the gyromagnetic ratio, d is the thin film thickness, n is the number of order for standing spin wave mode, $4\pi M_s$ is the saturation magnetization, A is the exchange stiffness constant.

The saturated magnetization was determined by DE mode, and the exchange stiffness constant was determined by 1st standing spin wave mode. Fig. 2. is the exchange stiffness constant as a function of Ar gas pressure. We found that increasing Ar gas pressure, exchange stiffness constant decrease from 1.41 to 0.98×10^{-11} J/m. We believe that these results are caused by the variation of micro-structure with sputtering Ar gas pressures. It is physically reasonable because exchange stiffness constant is related with the number of nearest neighborhood magnetic atoms.

IV. Summery

In summary, the BLS experiments was applied to investigate the magnetic properties of $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ thin films. We find that the exchange stiffness constant decrease with increasing Ar gas pressure.

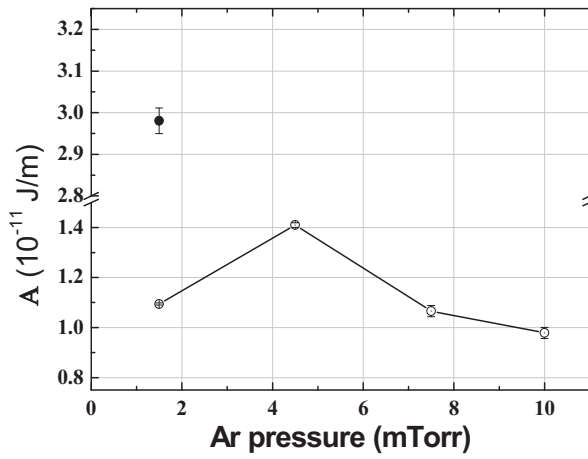


Fig. 1. Exchange stiffness constant in $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ and $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ films as a function of Ar gas pressure. The closed circle is $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ film and the open circle are $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ films.

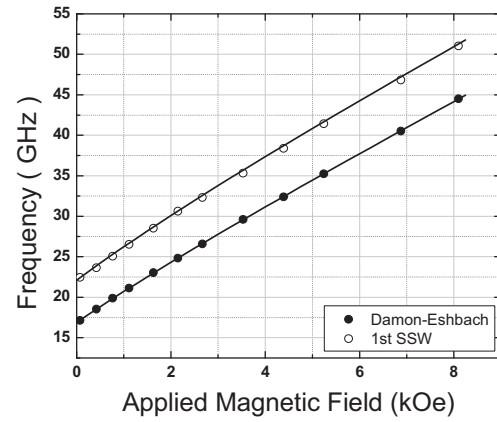


Fig. 2. Variation of spin wave frequency with an applied field for the 1.5 mTorr $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ film. The closed circle are Damon-Eshbach mode and the open circles are 1st order SSW mode. The lines are fitted curve.

V. Reference

- [1] C. Bilzer, T. Devolder, Joo-Von Kim, G. Counil, and C. Chappert, J. Appl. Phys. 100, 053903 (2006).
- [2] C.-Y. You, unpublished.
- [3] J. R. Sandercock: in Light Scattering in Solids III, ed by M. Cardona and G. Guntherodt (Springer-Verlag, Berlin, 1982) p. 173.
- [4] R. W. Damon and J. R. Eshbach, J. Phys. Chem. Solids. 19, 308 (1961)

기판변화에 따른 CoFeB 박막의 Exchange Stiffness Constant 특성 연구

정진용*, 조신용, 조재훈, 유천열
인하대학교 물리학과

1. 서론

Spin transfer torque magnetic random access memory(STT-MRAM)는 데이터를 전력 없이 저장할 수 있으며, 초고속과 저전력으로 동작이 가능하다. 이러한 비휘발성의 장점과 함께 데이터의 안정성을 두루 갖춘 STT-MRAM은 각광받고 있는 유력한 차세대 메모리 중에 하나이다. 최근 CoFeB은 차세대 메모리로 부상 중인 STT-MRAM의 적합한 물리적 특성을 가지고 있어, CoFeB의 물성에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[1][2]. 하지만 강자성체인 CoFeB의 가장 기초적인 물리량인 exchange stiffness constant(교환뻣뻣함 상수, A)에 대한 연구는 찾아보기 힘들다. Exchange stiffness constant는 강자성체가 가지는 Curie temperature 등과 밀접한 관련이 있다. 최근 임계전류밀도가 exchange stiffness constant에 의존한다고 연구 결과가 제안이 되어졌다[2]. 본 연구에서는 다양한 종류의 기판에 따라 증착된 CoFeB층의 exchange stiffness constant가 변함을 확인 하였고, 그 값을 실험적으로 결정하였다.

2. 실험방법

기판변화에 따른 $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 의 exchange stiffness constant를 확인하기 위해 총 세 가지의 기판위에 CoFeB을 증착하였다. 증착된 시료는 DC 마그네트론 스퍼터링(DC magnetron sputtering) 방식으로 CoFeB 층의 두께를 25 nm로 고정하여 증착하였고, 시료의 산화를 방지하기 위하여 Ta을 CoFeB 위에 5 nm의 두께로 증착시켰다. Exchange stiffness constant를 결정하기 위해 장치로는 Sandercock 방식의 고 분해능 이중 패브리-페로 간섭계(tandem Fabry-Perot interferometer)가 사용된 Brillouin light scattering으로 이용하였고, 시료에 인가 해주는 자기장의 변화에 따른 산란된 스핀파 진동수 변이를 통해 측정 및 분석하였다.

3. 실험결과

실험으로 기판의 변화에 따라서 $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 층이 가지는 exchange stiffness constant와 Magnetization saturation(포화자화값 : MS), g-factor(g인자 : g)의 자기상수를 확인하였다. 이때에 측정된 스핀파의 진동수와 자기 상수들의 관계는 참고문헌에 스핀파 진동수 분산관계를 이용하여 결정하였다[3].

4. 결론

동일한 증착 조건에서 시료를 제작하였음에도 불구하고, 기판의 종류가 변함에 따라 $4\pi\text{MS}$ 값은 14.94 ± 0.03 kOe에서 14.34 ± 0.05 kOe으로 큰 차이가 없는 반면, A값은 $1.401 \pm 0.003 \times 10^{-11}$ J/m에서 $1.094 \pm 0.003 \times 10^{-11}$ J/m까지 크게 변화함을 보였다. 이 결과는 기판이 CoFeB의 구조에 영향을 준 것으로 생각할 수 있으며, 물리적으로 포화자화 값은 박막의 밀도와 비례하고 exchange stiffness constant의 변화에서 최인접 자기원자수의 변화에 따른 결과로 설명이 가능하다.

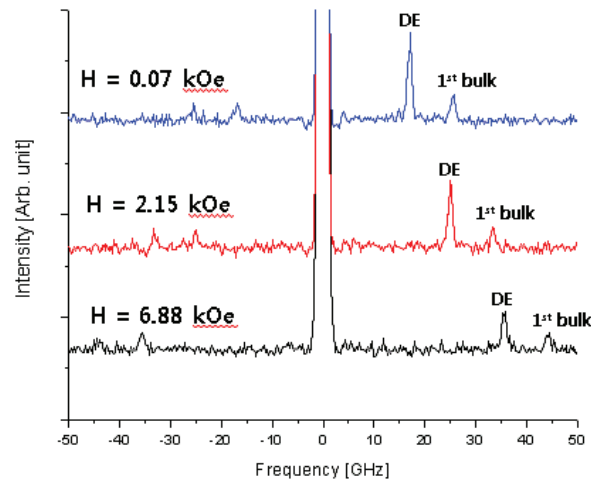


그림 1. MgO기판 위에 증착된 CoFeB 시료의 외부 자기장이 0.07 kOe에서 8 kOe 까지 변화할때 측정된 BLS의 대표적인 스펙트럼이다. 여기서 DE는 Damon-Eshbach mode이고, 1st bulk는 기판에서 처음으로 발생하는 bulk mode이다.

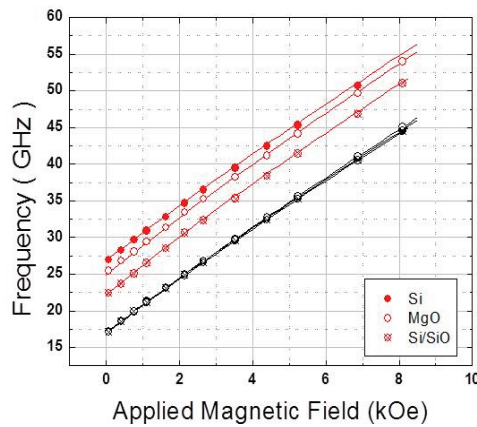


그림 2. 외부에서 인가하는 자기장을 변화시켜주며, 각각의 기판에 대한 스핀파 진동수의 변화를 전시하였다. 여기서 검정색 선은 기판에 대한 DE mode이며, 붉은색 선은 기판에 대한 1st bulk mode이다. 빨간색 닫힌 원은 Si기판을, 빨간색의 빈 원은 MgO기판을, 빈 원에 X는 Si/SiO기판을 의미한다.

5. 참고문헌

- [1] C. Bilzer, T. Devolder, Joo-Von Kim, G. Counil, and C. Chappert, J. Appl. Phys. 100, 053903(2006).
- [2] C.-Y. You, Curr. Appl. Phys 10, 952-956 (2010)
- [3] P. Grunberg et al. JMMM 28, 319(1982)

Composition Dependence of the Critical Current Density and Thermal Stability of MgO Magnetic Tunnel Junctions with a CoFeB Single Free Layer.

K.Y. Jung^{1,3*}, C. Ahn¹, B.C. Min¹, S.Y. Park², K. Rhie³, and K. Shin¹

¹Spin Convergence Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 136-791, Korea

²Division of Material Science, Korea Basic Science Institute, Daejeon, 305-333, Korea

³Applied Physics Department, Korea University, Seoul, 136-701, Korea

1. Introduction

A large thermal stability and small switching current are major prerequisites for the spin-transfer-torque magnetoresistive memory (STT-MRAM) technologies [1]. The two parameters are influenced by the properties of magnetic tunnel junctions, for example, in-plane and perpendicular spin transfer torque efficiency, interface and bulk magnetic anisotropy, and magnetostatic interactions, which are closely associated with the composition of the free layer. In this study, we have investigated the composition dependence of the critical current density and thermal stability of MgO magnetic tunnel junctions (MTJs) with a CoFeB single free layer.

2. Experiments

We have prepared MgO MTJs with varying the CoFeB free layer composition, Fe-rich (MTJ₁), equi-composition (MTJ₂), and Co-rich ones (MTJ₃). The MTJ stacks, consisting of substrate/ buffer/ CoFe/ Ru/ CoFeB/ MgO/ Co_xFe_{80-x}B₂₀ (x= 20, 40, 60)/ capping layer, were deposited using an ultra high vacuum DC/RF magnetron sputtering system. The films were patterned into elliptical-shaped MTJs of 150 nm x 50 nm size using electron beam lithography and Ar ion milling.

3. Results

The tunnel magnetoresistance (TMR) of MTJ₁, MTJ₂, and MTJ₃ having a 1.7-nm-thick free layer is, respectively, 120%, 145%, and 132% at room temperature. The switching phase diagrams (SPD), where H_c is measured as a function of bias voltage or current, shows that the current induced magnetization switching (CIMS) are influenced by the free layer composition.

In order to obtain the intrinsic thermal stability ($\Delta 0$) and the critical switching current (I_{co}), we have measured the time-dependent probability of CIMS under external magnetic fields. Employing the thermal activation model with the Stoner-Wohlfarth field dependence and a linear current dependence of magnetization switching, we have obtained the $\Delta 0$ and I_{co} of MTJs [2-7].

For the P-to-AP switching, the $\Delta 0$ of the MTJ₁, MTJ₂, and MTJ₃ is respectively, 30.5, 35.3, and 24.1, and the corresponding I_{co} is, respectively, -0.73, -0.89, and -0.72 mA. For the AP-to-P switching, the $\Delta 0$ of the MTJ₁, MTJ₂, and MTJ₃ is, respectively, 41.6, 39.3, and 24.1, and the corresponding I_{co} is, respectively, 0.38, 0.52, and 0.63 mA. In summary, The Fe-rich composition gives rise to a largest figure of merit, $\Delta 0/I_{co}$, whereas the Co-rich composition presents smallest $\Delta 0/I_{co}$.

4. Conclusion

We find that the composition of free layer influences the critical current density and thermal stability of MgO magnetic tunnel junctions (MTJs) with a CoFeB single free layer. Especially, the I_{co} for the AP-to-P switching is greatly influenced by the free layer composition. In terms of the figure of merit, it is likely that the Fe-rich free layer is a suitable choice for the free layer. A further investigation is required to clarify the relation between the composition of the free layer and critical factors for CIMS, for example, the perpendicular spin transfer torque and interface magnetic anisotropy.

5. References

- [1] J. Hayakawa et al. Trans. Magn. Vol. 44. 1962-1967, (2008).
- [2] P. J. Flanders and M. P. Sharrock, J. Appl. Phys. 62, 2918 (1987).
- [3] Z. Li and S. Zhang, Phys. Rev. B 69, 134416 (2004).
- [4] R. H. Koch, J. A. Katine, and J. Z. Sun, Phys. Rev. Lett. 92, 088302 (2004).
- [5] Stoner and Wohlfarth, Philos. Trans. R. Soc. (1948).
- [6] S. Yakata, et al, Appl. Phys. Lett. 95, 242504 (2009).
- [7] Li and Zhang, PRB 69 (2004).

Cu/Co₄₀Fe₄₀B₂₀/Cu 박막에서의 자성층 두께에 따른 Gilbert damping α 값의 변화

조정구*, 윤상준, 문준, 최석봉

서울대학교 물리천문학부

차세대 메모리의 개발과 더불어 강자성체 소자의 동역학 현상에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 자구벽 나노 소자에서 Landau-Lifshitz-Gilbert(LLG) Equation의 Gilbert damping α 값은 자구벽의 속도 증가와 구동 전류밀도 감소에 밀접한 관계가 있음이 예측되었다. 최근 학계가 주목하고 있는 CoFeB 자성 물질의 경우, 자구벽 나노소자를 구현하기 위해 자성층 두께에 따른 Gilbert damping α 값의 상호관계에 대한 연구가 시급한 상황이다.

본 연구에서는 Cu/Co₄₀Fe₄₀B₂₀/Cu 샘플에 대해 CoFeB의 두께를 바꾸어 가며 펄스 프루브 방식으로 Gilbert damping α 값의 변화를 측정하였다. 샘플은 UHV DC magnetron Sputter를 이용하여 GaAs 기판 위에 Cu(5 nm)/Co₄₀Fe₄₀B₂₀(tx nm)/Cu(5nm) (tx=10, 15, 20, 25, 30)의 두께로 만들어졌다. 세차 운동을 유도하기 위해 샘플의 수직 방향으로 외부자기장을 2.5 kO의 크기로 걸어 주었고, 780nm 파장의 펄스레이저가 2mW 세기로 입사하였다. 그림 1에 나타난 결과를 통해 CoFeB 두께에 따라서 Gilbert damping α 값이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 이에 대한 정량적인 분석결과를 논의 하고자 한다.

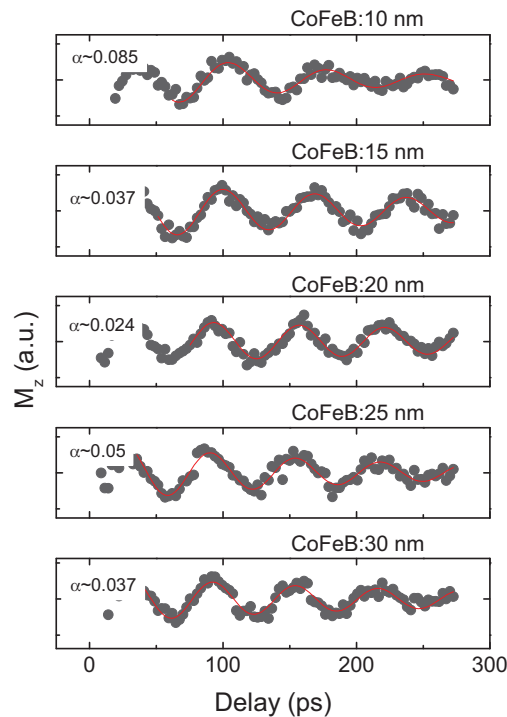


그림 1. CoFeB 자성층 두께에 따른 Gilbert damping α 값의 변화

Rubrene를 이용한 Spintronic Device의 특성 연구

박소라^{1*}, 석재권², 전일근¹, 임성일¹, 홍종일³, 이재용¹

¹연세대학교 물리학과

²한국과학기술연구원 특성분석센터

³연세대학교 신소재공학과

1. 서론

Spintronic은 앞으로 electronic의 새로운 패러다임으로서 정보를 저장하고 수행하는 능력을 확장시켜줄 것이다. 일반적인 spintronics device인 spin valve는 비자성인 spin-transporting spacer로 분리된 두 개의 자성 층을 가진다. 이 때 두 개의 자성 층은 서로 다른 coercivity를 가진다. 본 실험에서는 spin-transporting spacer로 유기물 반도체를 이용하였다. 이는, 기존의 spintronics에서 많이 이용되는 반도체에 비하여, 약한 spin-orbit coupling과 약한 hyperfine interaction 때문에 유기물 반도체에서 스핀은 long lifetime을 가진다고 알려졌기 때문이다. spin valve에 전류가 흐를 때, 아래 층과 위 층의 자기모멘트가 parallel이나 antiparallel이냐에 따라 다른 MR (Magnetoresistance)를 가지게 되는데, parallel일 때를 On, antiparallel일 때를 Off로 정하여 정보를 저장할 수 있게 된다.

앞으로 spintronic을 이용하여 electronic보다 확장된 기능을 가진 device들이 나오게 될 것이다. 이를 위해 알맞은 material을 찾고, 알맞은 조건의 device를 만들기 위한 기초적인 실험을 수행하였다.

2. 실험방법

spin valve 구조를 만들기 위해 아래 층에 Co, 위 층에 Py($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$)를 이용하였으며, 각각의 자성 층은 e-beam evaporation으로 성장시켰다. silicon 기판 위에 Co를 성장시킨 뒤에 thermal evaporation을 이용하여 유기물 반도체를 증착 시키고, 그 위에 AlOx를 증착 한다. 얇은 AlOx layer는 metal/organic interface의 화학적 reaction을 방지하고, 효과적인 spin-polarized carrier injection을 돕기 위해 사용되었다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 첫째로 상온에서 작동하는 spin valve를 구현하기 위하여 다양한 유기물 반도체(pentacene, Alq_3 , rubrene)를 spin transporting로 사용하였다. 각각의 유기물 반도체는 spin lifetime, mobility 등에서 다른 특성을 가진다. rubrene을 이용한 spin valve에서 MR을 상온에서 측정하였고, rubrene을 이용한 실험을 계속하였다.

다음으로 다양한 두께, 즉 spin transport length를 변화시켜가며 실험했다. 5~50nm까지 rubrene 층의 두께를 변화시켜 가며 spin valve의 적당한 organic spacer의 두께를 찾았다.

Keithley 2400 source meter를 이용하여 IV curve와 MR(IH curve)를 측정하였다. MR은 80K부터 상온까지 bias voltage에 따라 측정하였다. MOKE(Magneto-optic Kerr Effect)를 이용하여 아래 층과 위 층 각각 및 junction 부분의 coercivity를 측정하였다. 특히 junction부분의 coercivity는 두 자성 층의 상호작용에 의하여 약간의 변화를 보였으며, junction 부분의 MR과 일치하는 것을 확인하였다. AFM(Atomic Force Microscopy)을 이용하여 유기물 반도체의 rms roughness를 알아볼 예정이며, organic layer의 구조는 x-ray diffraction(XRD)을 이용하여 조사할 예정이다.

4. 결론

상온에서 구현될 spintronic을 위한 유기물 반도체를 찾고, 알맞은 조건을 찾기 위한 실험을 하였다. 그 중 rubrene을 이용한 spin valve가 상온에서 MR 데이터를 얻을 수 있었다. 유기물 반도체의 두께는 약 10~15nm까지 MR 데이터를 얻을 수 있었다. MR을 MOKE 데이터와 비교해봄으로써 일치하는 것을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] V. Dediu, L. E. Hueso, I. Bergenti, A. Riminucci, F. Borgatti, P. Graziosi, C. Newby, F. Casoli, M. P. De Jong, C. Taliani, and Y. Zhan, Phys Rev B 78, 115203 (2008)
- [2] F.J. Wang, Z.H. Xiong, D. Wu, J. Shi, Z.V. Vardeny, Synthetic Metals 155 (2005) 172–175

¹H NMR Study of the Diluted Magnetic Semiconductor Mn-Doped ZnO

Jun Kue Park* and Cheol Eui Lee

Department of Physics and Institute for Nano Science, Korea University, Seoul 136-713, Republic of Korea

As one of the best spintronics (spin+electronics) materials with potential technological applications, ZnO-based diluted magnetic semiconductors (DMSs) have initiated enormous scientific interest. In spite of tremendous efforts focusing on transition metal (tM) doped ZnO DMS, its origin of ferromagnetism has not yet been well understood and is still controversial. As a dominant extrinsic impurity defect, unintentionally doped hydrogen can mediate ferromagnetic ordering among the tM ions. Here, we employed magic-angle-spinning (MAS) ¹H nuclear magnetic resonance (NMR) to probe spin relaxation between proton and Mn ions in Mn-doped ZnO. Two distinct spin relaxation behaviors are found in the temperature range of 200 K to 400 K. The mechanism governing the relaxation is due to the dipolar interaction induced by the paramagnetic impurities of Mn ions, dominantly affecting below 300 K. Besides, NMR relaxation rate follows a Korringa relaxation, indicating a small density of carriers at the Fermi level above 300 K. The understanding of proton relaxation as a function of temperature opens an opportunity to study ZnO-based DMSs with NMR techniques.

Density Functional Theory Calculation of Hydrogenated Graphene

Gi-Wan Jeon*, Kyu Won Lee, and Cheol Eui Lee

¹Department of Physics and Institute for Nano Science, Korea University, Seoul 136-713

Density functional theory (DFT) calculation was carried out to investigate the magnetic properties of hydrogenated graphene. Density of states, band structure, and spin density of hydrogenated graphene were calculated by using a pwscf DFT package. Spin-restricted calculation on the hydrogenated graphene gave a flat band near the Fermi level with a high density of states. Spin-unrestricted calculation gave a spin-splitting of flat band on the Fermi level, which corresponds to the magnetic moment in the hydrogenated graphene.

Strain effect on Magnetocrystalline Anisotropy of Multiferroic Fe/BaTiO₃

D. Odkhuu^{1*}, W. S. Yun², O. R. Kwon¹, T. Tsevelmaa, P. Taivansaikhon¹, and S. C. Hong^{1†}

¹Department of Physics and Energy Harvest-Storage Research Center, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

²Graduate Institute of Ferrous Technology, Pohang University of Science and Technology, Pohang 790-784, Republic of Korea

[†] Corresponding author: schong@mail.ulsan.ac.kr

Using the highly precise full-potential linearized augmented plane-wave method within general gradient approximation, we studied the magnetism of Fe monolayer on BaTiO₃ (BTO), which has been recently expected as a multiferroic heterostructure. As previously predicted with the pseudo-potential method [C.G. Duan *et al.*, Phys. Rev. Lett. 97, 047201 (2006), Appl. Phys. Lett. 92, 122905 (2008)], we approved that the ferroelectric Ti polarization alters significantly the magnetic moment and magneto-crystalline anisotropy energy (EMCA) of Fe/BTO. In addition to the change of EMCA due to the electric polarization, it is also found to be very sensitive to substrate strains. As the compressive strain is applied, the calculated EMCA decreases from 1.4 meV/Fe at the lattice constant (3.991 Å) of BTO to 1 meV/Fe at the compressive strain of 2.2 % which corresponds to the lattice of SrTiO₃ (STO). Whereas, the tensile strain increases the EMCA and large value of 2 meV/Fe is obtained at the tensile strain of 3 %. Magnetic moments of Fe and Ti atoms reduce (increases) slightly as the compressive (tensile) strain increases. An example model of Fe/BTO/STO in this study reveals that the changes of magnetization of a ferromagnet in response to the ferroelectric polarization across the interface can also be manipulated by the lattice strain with a suitable third alien.

Growth and Transport Properties of Epitaxial Fe-Ga thin film on GaSb (100)

Duong Anh Tuan*, Yooleemi Shin, and Sunglae Cho[†]

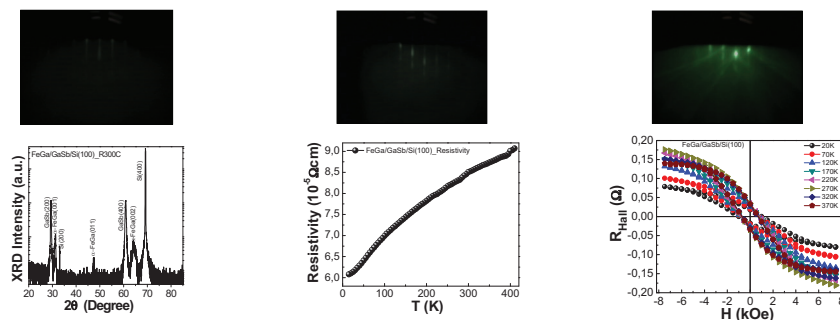
Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

[†] Corresponding author: slcho@ulsan.ac.kr

The Fe-Ga alloys have recently attracted great interests because they exhibited ferromagnetic properties with high Curie temperature (T_C), high saturation magnetization (M_S) and unique magnetostriction properties which are promising to real applications such as actuators, acoustic sensors, torque sensors, and positioning devices in particular for micro and nano-electromechanical systems (MEMS and NEMS) and the integrated magnetostrictive devices (MagMEMS) [1-4]. Clark *et al.* reported that in the bulk $\text{Fe}_{1-x}\text{Ga}_x$ ($4 < x < 27$) alloy, the magnetostriction constant (λ_{100}) has two maximum values; 265 ppm at $x = 19$ and 235 ppm at $x=27$ [1]. Similar results are reported by Kellogg et al. that single crystal $\text{Fe}_{0.81}\text{Ga}_{0.19}$ has the saturation magnetostriction and magnetization of 298 ppm and 1265 emu/cm^3 at 80°C , respectively, and by Cullen et al. that $\text{Fe}_{0.82}\text{Ga}_{0.18}$ has ~ 300 ppm [5,6]. Epitaxial Fe-Ga thin film has been grown on GaSb (100) substrate by molecular beam epitaxy. The bcc -Fe crystal structure (A2) with the lattice parameter as 2.967\AA was observed by X-ray diffraction. The temperature dependent resistivity showed metallic behavior. The Hall resistance, R_{Hall} , is given by the sum of the ordinary Hall effect (OHE) due to the Lorentz force and the anomalous Hall effect (AHE) originating from asymmetric scattering in the presence of magnetization. The carrier densities, which are calculated from Hall measurements as $2.05 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ at 370K and decrease to $1.11 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ at 20K .

참고문헌

- [1] A. E. Clark, K. B. Hathaway, T. A. Lograsso, V. M. Keppens, G. Petculescu, and R. A. Taylor, *J Appl. Phys.* **93**, 8621 (2003).
- [2] P. Zhao, Z. Zhao, D. Hunter, R. Suchoski, C. Gao, S. Mathews, M. Wuttig, and
- [3] A. Javed, N. A. Morley, and M. R. J. Gibbs, *J. Appl. Phys.* **107**, 09A944 (2010).
- [4] A. Javed, N. A. Morley, M. R. J. Gibbs, *J. Magn. Magn. Mater.* **321**, 2877 (2009).
- [5] J. R. Cullen, A. E. Clark, M. Wun-Fogle, J. B. Restor, T. A. Lograsso, *J. Magn. Magn. Mater.* **230**, 948 (2001).
- [6] R. A. Kellogg and A. B. Flatau, *J. Appl. Phys.* **91**, 10 (2002).



교환 바이어스를 갖는 이중 접합 구조에서 강자성층의 감쇠 상수

윤정범^{1*}, 최혁철¹, 유천열¹

¹인하대학교 물리학과

1. 서론

디지털 정보량의 증가로 고집적화되며 저전력으로 고속 작동할 수 있는 차세대 반도체 소자의 개발이 필요함에 따라 스핀을 응용한 자기 소자가 이슈가 되어 활발히 연구되고 있다. 매우 빠르게 작동하는 자기 소자에서 스핀의 동역학에 관한 연구는 매우 중요하다. 또한 다층 박막으로 이루어진 자기 메모리 구조에서 교환 바이어스 효과를 이용한 구조는 반드시 필요하기 때문에 이에 대한 연구도 중요하다. 이미 교환 바이어스 효과는 오래전부터 연구되었지만 스핀 동역학적 연구 결과는 많지 않다. 일반적으로 스핀 동역학에 관한 연구는 자성을 갖고 있는 물질로부터 감쇠 상수와 같은 기초적인 물리량을 구할 수 있다. 본 연구는 교환 바이어스를 갖는 이중 접합 구조인 반강자성층/강자성층 구조에서 외부 자기장에 대한 강자성층의 강자성 공명 주파수를 측정하여 스핀의 동역학적 거동을 분석하고 감쇠 상수를 구하였다.

2. 실험

강자성층인 NiFe(Py, 15 nm)에 교환 바이어스를 형성하기 위해 반강자성층인 FeMn(10 nm)를 자기 스퍼터 링으로 증착하여 이중 접합 구조를 만들었다. FeMn에 의한 Py의 교환 바이어스를 확인하고 Py의 스핀 동역학을 분석하기 위해 VSM (vibrating sample magnetometer)으로 자기 이력 곡선을 측정하고 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 강자성 공명 주파수를 측정하였다. 교환 바이어스의 유무에 대한 Py의 스핀 동역학적 거동을 비교하기 위해 단층 박막으로 Py를 15 nm 증착하여 자기 이력 곡선과 강자성 공명 주파수를 측정하였다. 강자성 공명 주파수를 측정하기 위해 자화 용이축으로 DC 자기장을 인가하고 벡터 네트워크 분석기로 coplanar wave guide (CPW)에 0 - 20 GHz 영역의 마이크로파를 입력하여 자화 용이축에 수직인 방향으로 RF 자기장을 유도하였다. 결과적으로 CPW에서 반사된 마이크로파를 벡터 네트워크 분석기로 측정하여 강자성 공명에 의해 흡수된 신호로부터 강자성 공명 주파수를 구하였다.

3. 계산 결과 및 논의

그림 1과 같이 FeMn이 있는 Py의 자기 이력 곡선이 107 Oe 만큼 이동한 것을 확인함으로써 교환 바이어스가 형성됨을 확인하였다. 교환 바이어스가 형성된 Py의 스핀에 대한 동역학적 거동을 분석하기 위해 DC 자기장을 변화시켜가며 벡터 네트워크 분석기로 강자성 공명 주파수를 측정하였고 그 결과를 그림 2에서 확인할 수 있다. 그림 2는 왼쪽 축은 강자성 공명 주파수, 오른쪽 축은 자기 이력 곡선을 보여주고 있다. 자화 반전이 일어나는 곳에서 가장 낮은 공명 주파수를 확인 할 수 있다. 스핀의 거동을 나타내는 Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 방정식으로 부터 강자성 공명에 대한 스핀 동역학적 식을 유도하고 DC 자기장에 대한 강자성 공명 스펙트럼의 반치폭(Δf)의 변화를 식 $\alpha_{app} = \frac{2\pi\Delta f}{\gamma[2(|H_{ext} - H_{eb}| + H_{uni}) + M_{eff}]}$ 으로부터 겉보기 감쇠 상수

(apparent damping; α_{app})를 계산했다. 여기서, 겉보기 감쇠 상수는 불균일한 외적 요소가 포함되어 있는 고유 감쇠 상수(intrinsic damping)보다 항상 크다. H_{ext} 는 외부 DC 자기장, H_{uni} 는 단축 이방성 (= 0 Oe), H_{eb} 는 반강자성층에 의해서 유도된 교환 바이어스 (= -117 Oe), M_{eff} 는 유효 자화를 나타낸다. 그림 3은 교환 바이어스가

형성된 Py의 겹보기 감쇠 상수가 자기장의 방향에 대한 상대적인 자화 방향에 따라 달라짐을 나타내고 있다. 단, 포화 자화가 되지 않은 곳에서의 겹보기 감쇠 상수는 삭제하였다. 겹보기 감쇠 상수는 자기장이 커짐에 따라 고유 감쇠 상수에 가까워진다. 결과적으로 고유 감쇠 상수는 자기장의 방향이 음일 때 0.0103이고 자기장의 방향이 양일 때는 0.0088이 되기 때문에 자기장과 자화 방향에 따라 달라진다. 참고로 같은 방법으로 측정된 15 nm Py 단층 박막의 고유 감쇠 상수는 0.0058이다.

4. 결론

본 연구는 교환 바이어스가 형성된 Py/FeMn 이중 접합 구조에서 Py의 강자성 공명 주파수를 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. LLG 방정식으로 부터 스핀의 동역학적 거동에 관한 식을 유도하고 DC 자기장에 대한 강자성 공명 주파수의 반치폭을 분석하여 고유 감쇠 상수를 구했다. 교환 바이어스가 형성된 Py의 감쇠 상수는 자기장의 방향에 따라 달라진다. 결과적으로 교환 바이어스를 갖는 강자성층의 동역학적 거동은 자기장의 방향에 대한 상대적인 자화 방향에 의존함을 확인하였다.

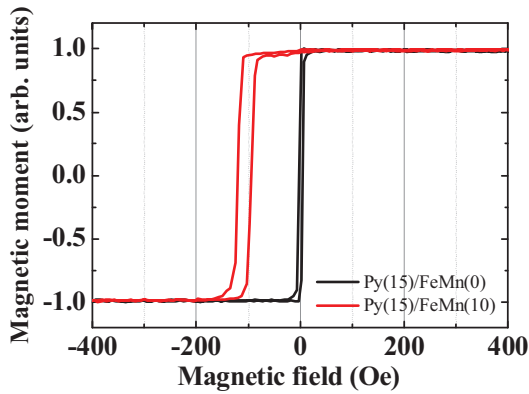


그림 1. FeMn 유무에 대한 Py의 자기 이력 곡선.
(단위 nm)

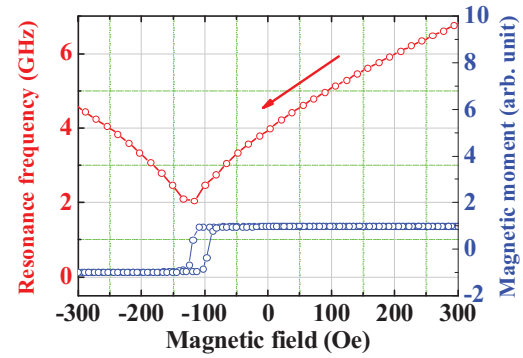


그림 2. Py/FeMn 구조에서 DC 자기장에 대한
강자성 공명 주파수와 자기 이력 곡선. 화살표는
자기장의 인가 순서를 나타낸다.

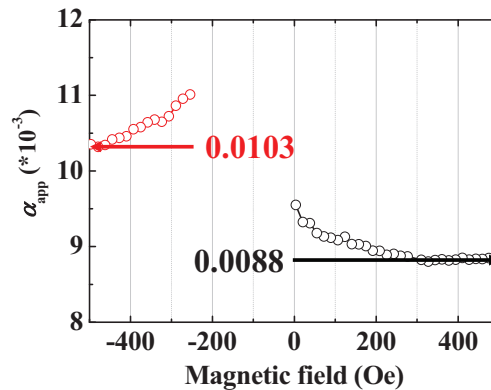
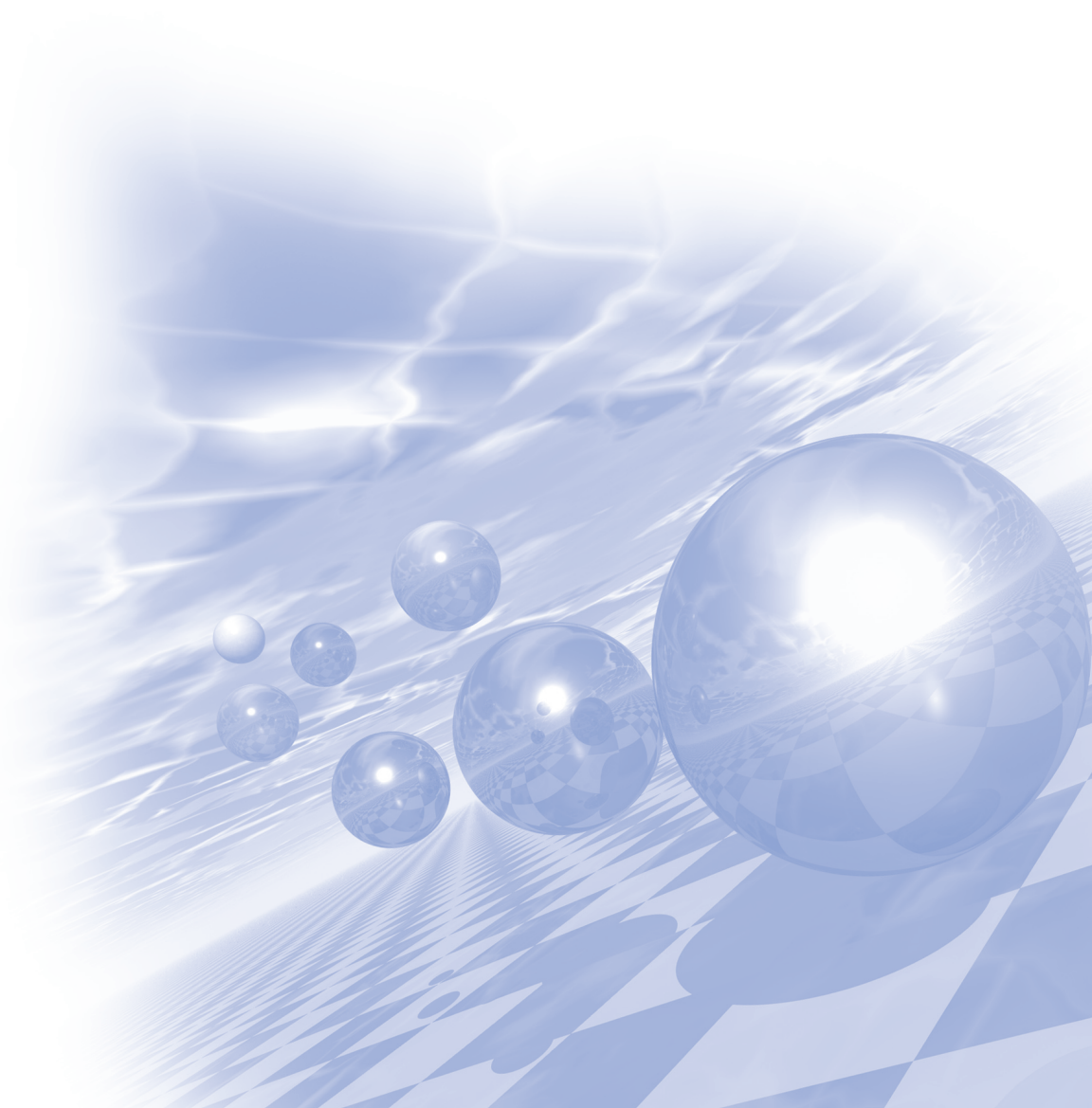


그림 3. Py/FeMn 구조에서 자기장 방향에 대한
겹보기 감쇠 상수와 고유 감쇠 상수



KMS 2012 Summer Conference

초청강연 (Ⅱ)



Phase Separation in Proton-Irradiated Graphite

Cheol Eui Lee*, Kyu Won Lee

Department of Physics and Institute for Nano Science, Korea University, Seoul 136-713, Republic of Korea

Detailed nature of magnetism and defects in proton-irradiated graphite has been revealed by our electron spin resonance measurements. Proton irradiation creates defect regions confined and imbedded in the graphite background, consisting of a central part of itinerant spins and an outer part of localized, magnetically correlated spins. Our results indicate that proton-irradiation creates confined defect regions of a metallic island surrounded by an insulating magnetic region which “isolates” the metallic island inside from the metallic graphite background outside. We have thus come up with a picture of phase separation in proton-irradiated graphite comprising three regions of distinct electrical and magnetic properties. In effect, an illuminating phase separation picture was addressed in this work, involving two metallic regions “insulated” by a magnetic region in between.

Magnetoresistance in a Tunnel Junction with an Antiferromagnet Electrode

Byong-Guk Park*

Materials Science and Engineering, KAIST, Daejeon, Korea

A spin valve is a microelectronic device in which high- and low-resistance states are realized by using both the charge and spin of carriers. Spin-valve structures used in modern hard-drive read heads and magnetic random access memories comprise two ferromagnetic electrodes whose relative magnetization orientations can be switched between parallel and antiparallel configurations, yielding the desired giant or tunneling magnetoresistance effect. Here, we demonstrate a large magnetoresistance effect in a tunnel junction with an AFM electrode of IrMn and a nonmagnetic counter electrode [1]. Antiferromagnets (AFM's) have been used in spintronics devices so far only to pin the magnetization direction of a ferromagnetic electrode through the exchange-bias effect. Spintronics devices whose transport is governed by AFM's have been theoretically proposed, but remain a great challenge for experimental realization. In our device, the tunneling resistance depends on the magnetization direction of the IrMn electrode, so-called tunneling anisotropic magnetoresistance (TAMR) effect, which is based on the spin-orbit coupling. This is quite different from the conventional spin-valves where the resistance depends on the relative magnetization directions of two ferromagnetic electrodes. The magnetization direction of the AFM IrMn layer was manipulated with a relatively small magnetic field of 50mT by the exchange spring effect of coupled soft NiFe. In addition, We employ this device to study the behavior of exchange coupling between an antiferromagnetic IrMn and a ferromagnetic NiFe. Experiments performed by common laboratory tools for magnetization and electrical transport measurements allow us to directly link the broadening of the NiFe hysteresis loop and its shift (exchange bias) to the rotation and pinning of antiferromagnetic moments in IrMn [2].

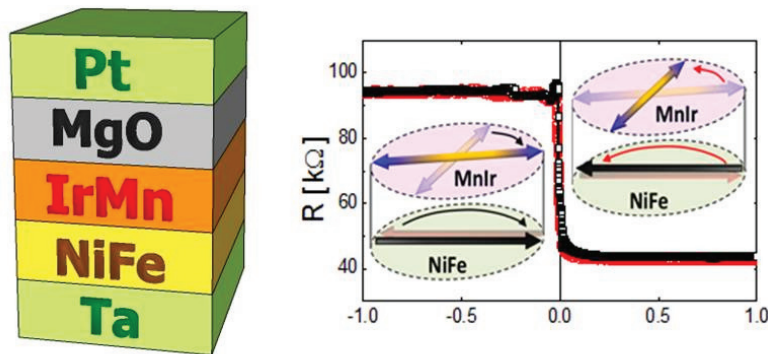


Fig1. Schematics of a tunnel junction with an antiferromagnetic IrMn electrode and its Magnetoresistance

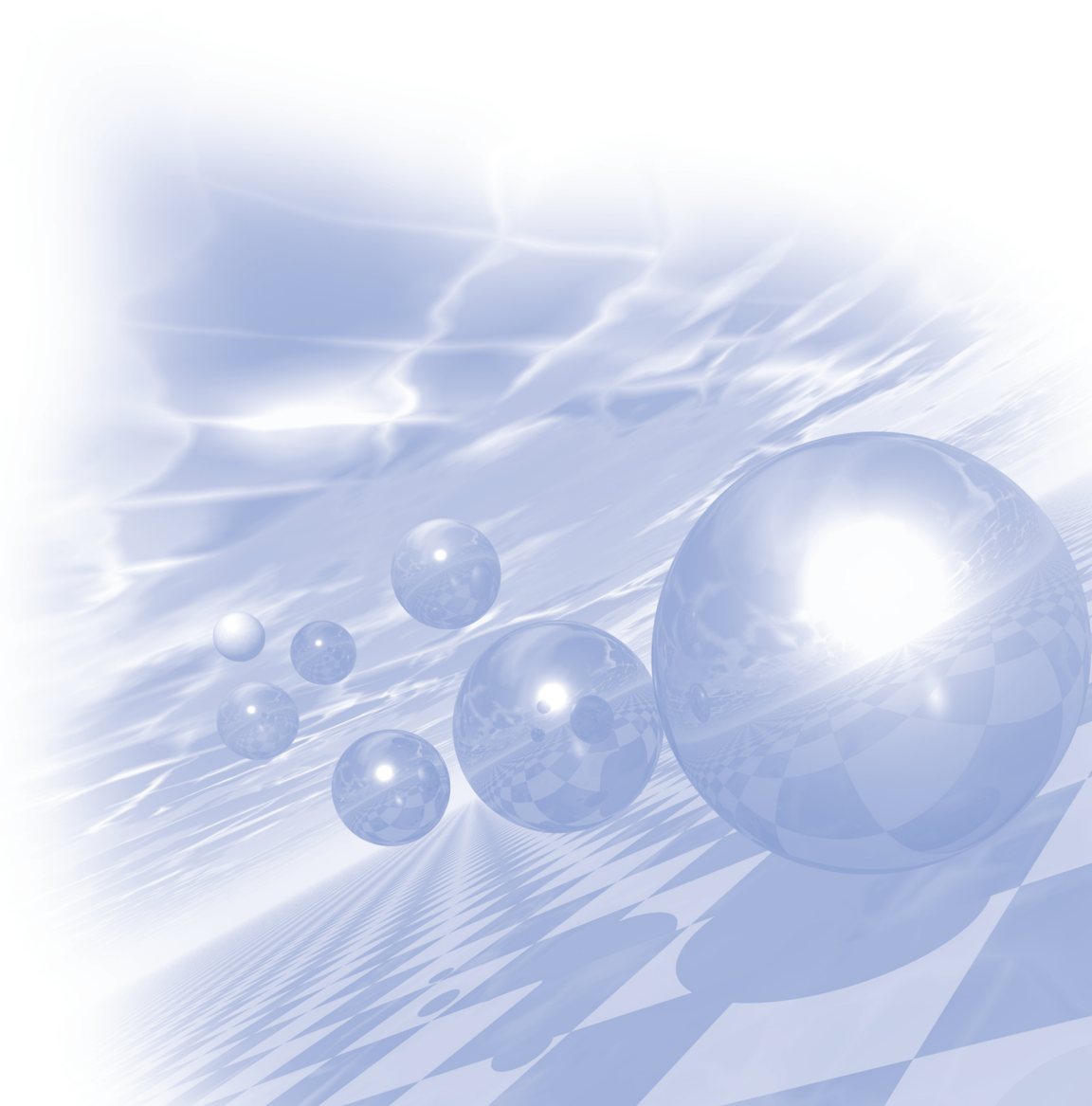
Reference

- [1] B. G. Park et al, Nature Materials 10, 347 (2011)
- [2] X. Marti, B. G. Park, et al, Phys. Rev. Lett 108, 017201 (2012)



KMS 2012 Summer Conference

구두발표 (II)



상변태를 이용한 {100} 집합조직을 갖는 순철 판재 제조 및 자기 특성 평가

성진경^{1*}, 구양모¹

¹포항공과대학교 철강대학원

1. 서론

본 연구의 목적은, 순철에서 감마-알파 상변태가 발생할 때 {100} 집합조직이 형성되는 현상에 대한 이해의 폭을 넓히는데 있다. 연자성 재료로 사용되는 철 및 철계 합금에서는 {100} 집합조직의 형성이 매우 중요한 이슈인데, 그 이유는 철 및 철계 합금의 자기이방성 때문이다. 즉 철 및 철계 합금에서는 [001] 방향이 자화용이 방향이고 [111] 방향이 자화난이 방향이다. 따라서 {100} 집합조직을 형성하게 되면 자화용이 방향이 두개 그리고 자화난이 방향이 없는 판재를 얻을 수 있어 매우 우수한 자기 특성을 갖는 판재를 제조할 수 있게 된다.

철 및 철계 합금에서 {100} 집합조직을 얻기 위해서는 금속 표면에 산화가 발생하지 않는 조건에서 상변태가 진행되어야 한다¹⁾. 본 연구에서는 순철에서 {100} 집합조직이 형성되는 조건을 제시하고, {100}면이 형성된 판재의 자기특성을 관찰하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 순철의 조성은 아래 표 1과 같다.

표 1. 사용된 재료의 화학적 조성 (wt%)

Alloys	Fe	Si	Mn	P	Al	Ti	C	S	O
Pure Iron	bal	<0.001	0.003	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0005	0.0015

열처리하는 수소 분위기에서 실시하였다. 열처리가 완료된 시편의 집합조직은 X-ray 회절, 극점도 분석 등을 이용하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 이슬점이 -60°C인 수소 분위기에서 10분간 열처리를 실시한 시편의 온도에 따른 집합조직을 보여주고 있다. 주어진 판재를 감마-알파 상변태를 경험하는 온도인 910°C 이상에서 열처리를 실시하면 강한 {100} 집합조직(>90%)이 형성되어 있음을 알 수 있다. 그러나 감마-알파 상변태를 경험하지 못하는 910°C 이하의 온도에서 열처리된 시편은 일반적인 재결정 집합조직인 강한 γ 섬유(fiber) 집합조직을 보여주고 있다.

Fig. 2는 950°C에서 10분간 열처리한 시편의 미세조직을 보여주고 있다. 미세조직의 특징은 입자의 크기가 매우 조대해서 하나의 입자 크기가 판재의 두께보다 큰 columnar 구조를 갖고 있다는 것이다. 이렇게 조대한 입자가 형성된 이유는 사용한 재료의 순도가 매우 높기 때문에, 상변태가 발생할 때 상 계면의 이동 속도가 매우 크기 때문이라고 판단된다.

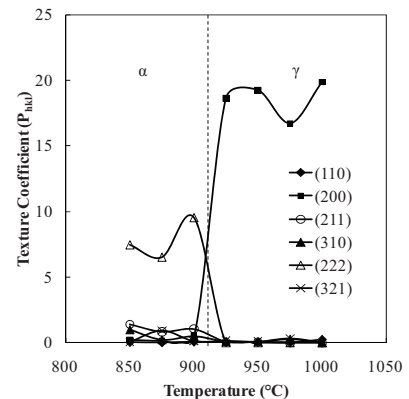


Fig. 1 Effect of annealing temperature on texture evolution

한편, 이러한 조대한 columnar 구조를 갖는 입자가 뜻하는 바는 앞서 관찰한 표면에서 나타나는 {100} 집합조직은 재료 내부에서도 유효하다는 것을 뜻하며, 따라서 판재 전체가 {100} 집합조직을 갖는다는 것을 의미한다.

Fig. 3은 950°C에서 10분간 열처리한 시편의 (200) 및 (110) 극점도를 보여주고 있다. 이 결과에 따르면 시편 표면에는 강한 {200} 집합조직이 형성되어 있으며, 또한 <100> 방향은 방향성이 없어서, cube-on-face 집합조직이 형성되어 있음을 알 수 있다.

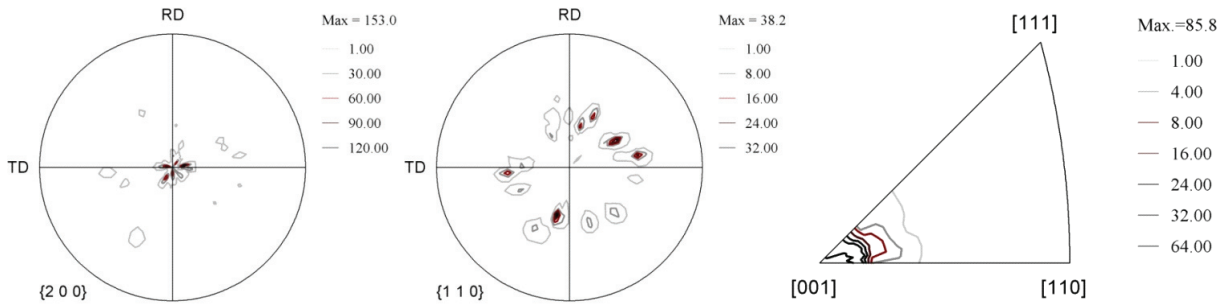


Fig. 3 (200) and (110) pole figures and inverse pole figures of pure iron, which were heat-treated at 950° for 10 min in H₂ atmosphere (dew point: -60°C)

그림 4는 {100} 집합조직을 갖는 순철 및 규소강(350μm)의 철손 값을 보여주고 있다. 순철의 경우 W15/50은 4.05 W/kg로 매우 낮게 나타났으며, B50은 1.84T로 매우 우수한 자기 특성을 보여주고 있었다. 철에 규소 등을 첨가하면 철손 값은 W15/50이 2.5 W/kg 이하가 될 수 있음을 확인하였다. 이러한 저철손 고자속 밀도 재료의 개발은 작고 강력한 모터를 필요로 하는 전기 자동차 개발 등에 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

4. 결론

순철에서 {100} 집합조직을 형성하면 매우 우수한 연자성 특성을 얻을 수 있음을 확인하였다. 순철의 경우 W15/50= 4.05 W/kg, B50= 1.84T의 자기 특성을 보여주었다.

5. 참고문헌

- [1] J.K. Sung, D.N. Lee, D. H. Wang, and Y. M. Koo, ISIJ Int. 51 (2011) 284-290.



Fig. 2 Optical micrographs of the annealed samples at 950°C for 10 min in hydrogen atmosphere

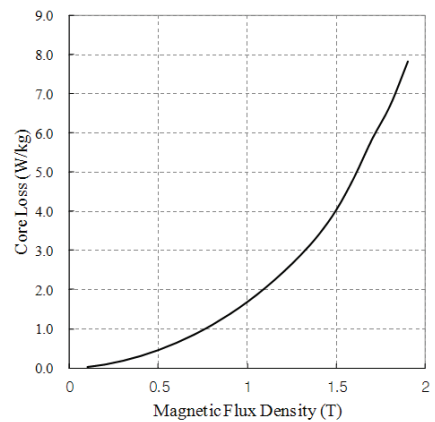


Fig. 4 Core loss of pure iron and Si steels with {100} texture

과학기술분야 미래직업

김희중*

한국과학기술연구원

현대는 불확실성이 많은 미래예측이 쉽지 않은 시대이다.

백여년의 역사를 가진 코닥같은 무너지지 않을 것 같던 거대한 다국적기업들이 속속 무너지고, 수십년간 승승장구하던 소니를 필두로 한 일본의 전자업체들도 고전을 면치 못하고 있다.

페이스북, 트위터 같은 SNS에 관련된 신생기업들이 혜성처럼 등장하여 우리 사회의 문화를 빠르게 바꾸면서 산업시스템의 근간을 격동시키고 있다.

새로운 개념, 효용, 기술이 등장하여 이들의 생산재화가 임계 크기를 넘어서면 신산업이 형성되고, 신산업이 형성되면 거기에 관련된 새로운 직업이 생기게 된다.

모든 생명체처럼 직업도 생로병사의 과정을 거친다. 그 중 수렵인이나 농업인처럼 인류 초창기부터 아직까지 유지하고 있는 직업이 있는 반면 키펀처, 버스 차장같은 직업은 필요가 없어지거나 경비문제로 수십년 이내에 사라졌다.

여러 노동관련 기관들은 불확실성이 높은 현재 시점에서 어떤 미래직업이 유망할까를 연구하여 가끔 발표하고 있다.

미래 유망직업은 결국 미래 수요가 큰 분야에서 창출되고 발전하게 된다.

인간의 수명 연장, 질병 퇴치, 건강 증진 등 보건의료에 관련된 분야, 좋은 교육을 받고 성공하고 싶다는 욕구에 관련된 교육분야, 인간의 편의성을 증진하는 각종 기계, 정보기기 개발 및 제조분야, 인간의 감성을 증진하고 심리상태를 안정시키는 데 관련된 분야, 돈을 많이 벌 수 있는 최적방안을 찾는 금융기술분야 등등이 미래에 유망한 직업군이 될 것이다.

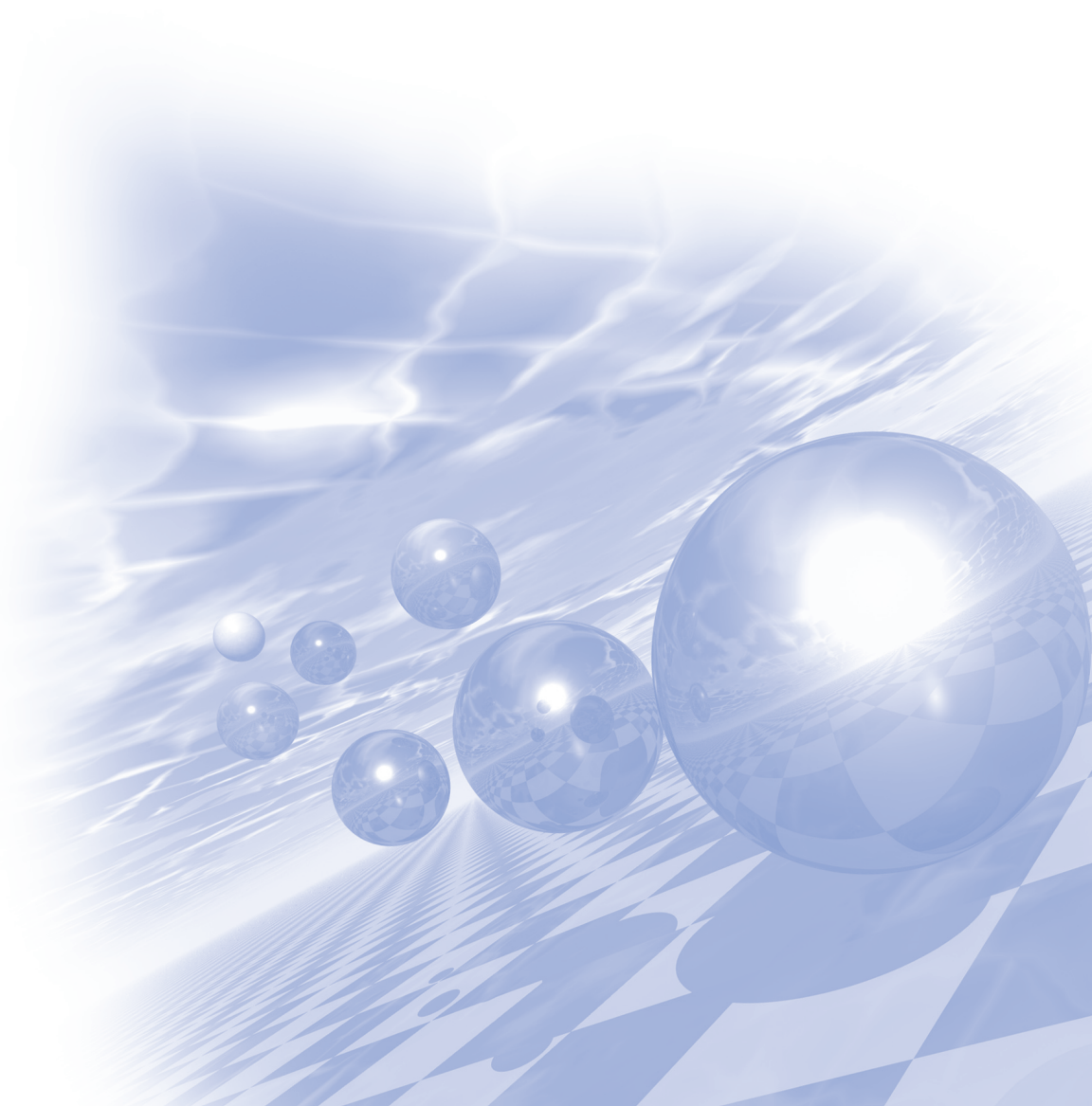
본 강연에서는 과학기술에 관련된 직업들에 한정하여 미래 유망직업들에 관해 소개하고자 한다.

먼저 현 시점에서 연봉이 높은 직업군과 이미 발표된 기존 유망직업들을 소개할 것이다. 마지막으로 나름대로 생각하는 몇 개의 유망직업들을 추가하고자 한다.



KMS 2012 Summer Conference

포스터발표 (Ⅱ)



홀센서 손목 착용형 맥진기를 이용한 혈류속도 및 맥파전달속도 측정 및 분석

김담비¹, 최슬기¹, 장덕형², 유재영², 조현성¹, 이남규¹, 김근호¹, 손일호³, 최종구⁴, 이상석^{1*}

¹한방의료공학과, 보건과학대학, 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 산 660

²(주)메디아나, 강원도 원주시 문막읍 동화리 1650-1

³(주)신명정보통신, 서울시 금천구 가산동 345-9

⁴동서의료공학과 대학원, 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 산 660

재현성 있는 생명 정보의 정확도가 낮은 경우에는 의료기기를 통한 진단 및 치료에 필요한 정보로 사용할 수 없다. 맥박수, 심박수 및 혈압을 모니터링 할 수 있는 가정용 혈압기는 환자들의 손목이나 팔뚝에 착용하여 가압한 상태에서 자신의 건강상태가 어떠한지 판단할 수 있다. 따라서 간편한 손목 착용형 혈압 모니터를 이용한 정밀한 맥박수, 심박수, 혈압의 측정은 곧 다가올 유비쿼터스 헬스케어 산업을 위한 필수 전제조건이다. 재현성과 신뢰성이 있는 한방진단기기는 객관적인 임상자료가 요구된다. 맥진파형을 찾는 시간을 극소화 하고, 휴대용 맥진기가 진단 기구로 널리 보급되기 위해 홀소자를 이용한 집게형 맥진기 개발이 필요하다.

한의학은 한국에서 고대로부터 발달해 온 의학으로서 수천 년 임상의 결과물이라 할 수 있다. 한의학의 중요한 진단 방법의 하나인 맥진은 요골동맥의 촌, 관, 척을 짚어 환자의 내부 장기의 상태를 판단한다. 맥진은 의사마다 주관적인 판단으로 이루어지고 있고, 이를 두고 “한의학은 과학적이다 또는 비과학적이다”라는 논쟁이 많이 일어난다. 맥진이 보다 과학적인 접근을 통한 정확한 판단이 필요한 이유이다. 최근에는 이러한 문제점들을 토대로 다양한 방식의 맥진기가 개발되고 있다. 이처럼 한의학을 현대화하려는 노력에도 불구하고 맥진기에는 객관적이지 못한 오류가 존재한다.

본 연구에 사용한 집게형 맥진기 시제품은 영구자석, 홀센서, 측정 부분, LED, 디스플레이, USB port, 스위치 부분으로 구성되어 있다. 특히 피부를 국소적으로 누르지 않기 위하여 피부 접촉 부분의 표면재질로는 탄성이 좋은 라텍스 고무를 이용하였다. 지름 2 mm, 높이 1 mm 크기의 원통모양이고, 표면에서의 자기장이 약 300 Oe인 영구자석은 탄력 있는 고무의 중심 위치에 자리해 에폭시로 고정시켰다. 즉, 영구자석의 원판 중심이 요골동맥의 "관" 부분에 위치하고 고르게 늘어난 상태의 라텍스 고무는 손목 피부 접촉면을 둘러싸게 하였다. 요골동맥의 피부와 접촉한 원통형 영구자석은 맥박의 진동에 따라 쉽게 위치가 움직일 수 있게 되어 있다. 본 실험에 사용된 양손 측정 맥진기의 핵심부품인 홀 효과 소자와 자석 사이 변위는 2.5 mm이다. 1 mm 이내에 1개의 영구 자석이 동맥 맥박에 있는 맥박 높고 낮은 진동에 의하여 상하로 움직인다.

집게형 맥진기에서 획득한 맥진파형의 입력신호를 자동적인 0의 설정, 노이즈 제거, 1000 points/s의 출력 데이터를 획득하여 PC에서 분석할 수 있는 비주얼(visual) C++ 프로그램이 내장되게 설계하였다. 즉, 시간에 따른 맥진파형에서 두드러진 한 점이 어디인지 선택한 후 집게형 맥진기를 통해 검출된 5개 이상의 반복되는 맥파신호를 정하여 본 연구팀에서 자체 개발한 사용자 메뉴얼으로 계산할 수 있었다. 프로그램의 기본 기능을 이용한 과정은 다음과 같이 4단계를 지나도록 하였다. ① 집게형 맥진기에서 측정한 데이터를 기반으로 맥파를 보여 준다. ② 측정한 기반의 데이터로 특정한 데이터를 계산함 ③측정한 데이터를 저장 할 수 있다. ④ 측정한 데이터를 차후에 불러와서 다시 볼 수 있다. ⑤ 측정중인 그래프는 자동적으로 스케일이 변환되어 그래프에 출력된다.

심장 수축시 대동맥에 압력파가 발생하며, 이 압력파는 대동맥을 따라서 요골동맥으로 전달된다. 요골동맥에 도달하는 압력맥파는 심장에서 요골동맥까지의 거리에 따라서 도달시간에 차이가 있어 이 압력맥파가 전달되어 온 거리를 도달시간의 차이로 나눈 것으로 표시하는 방법이 맥파전달속도(PWV; pulse wave velocity)이다.

대체적으로 근위부에서 말초부위까지 0.8 m의 거리를 맥파가 도달하는데 약 0.25초가 걸렸다고 하면 맥파속도인 PWV는 3.2 m/s가 된다. 보통 심장으로부터의 좌우 요골동맥의 거리가 다르면 5 cm 정도 차이만 고려할 수 있으므로, 임상적으로 널리 알려진 동맥경화가 진행되면 동맥의 탄성도가 감소하고 경직도가 증가하여 혈류 및 PWV가 빨라지는 데서 심장을 중심으로 하여 좌우 혈관길이의 차이가 무시할 수 있음이 타당하다고 볼 수 있다.

한편 혈관 직경의 크기에 따라서 혈류의 속도는 차이가 있다. 이미 알려진 바와 같이 혈류속도는 대동맥에서 약 50 cm/s 모세혈관에서는 약 0.5 mm/s 대정맥에서는 약 25 cm/s 모세혈관은 여러 곳으로 갈라져 있으므로 총단면적이 넓어져 혈류속도가 느려진다. 심박출량은 안정시에 약 5 l/min이며 온 몸을 순환하는데 걸리는 시간은 약 50 s ~ 60 s 걸린다. 이것은 심장의 수축력, 심장 박동수, 혈액의 점성, 혈액량 등 여러 요인과 그리고 성별, 몸의 자세, 바깥 온도 등 혈관계 이외의 요인에 따라 항상 달라지게 된다.

따라서, Fig. 1에서 알 수 있듯이 홀소자가 장착된 집게형 맥진기로 요골동맥의 맥진파형과 PPG 혹은 SPO2의 용적맥파형을 동시에 비교하였을 때 두 파형의 피크값들이 시간차로 나타난다. 피실험자의 손목과 손가락 끝의 거리를 디스플레이된 두 파형의 시간차를 나눈 값이 혈류속도를 내포하는 맥파전달속도로 측정할 수 있다. 이러한 실험결과를 통계적으로 임상데이터를 분석하면 추정혈압과의 상관관계를 유도할 수 있다.

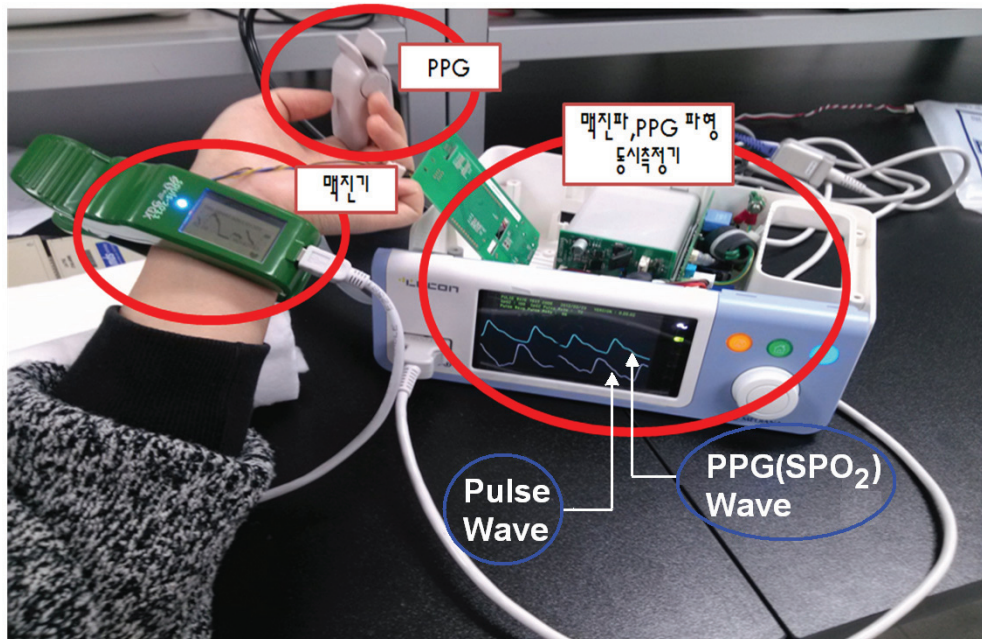


Fig. 1. Schematic diagram of simultaneously radial artery pulse wave and PPG (photoplathysmography) wave diagnostic system by using Hall device clip-type pulsimeter with real picture, respectively. The schematic and the real measuring feature of the prototype of a clip type pulsimeter is equipped with a Hall effect device passed signals through the voltage detecting hardware system.

※ 본 연구는 보건복지부와 강원도청의 지원을 받아 각각 수행하고 있는 한의약선도 기술과제의 한방의료 기기개발과제 (B100030)와 강원도 - 호주의 NSW주 국제공동연구에 대한 연구결과이다.

Dy합금 분말 혼합에 따른 (Nd, Dy)-Fe-B 소결자석의 자기특성 변화

이민우^{1*}, 남궁석¹, 장태석¹, 김태훈², 이성래²

¹선문대학교 대학원 재료금속공학과

²고려대학교 신소재공학부

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석에서 보자력을 증가시키기 위하여 Dy 또는 Tb과 같은 중희토류 원소의 첨가는 필수적이다. 그러나 이들 원소는 Nd에 비해 매우 비싸고 자원이 부족하여 많은 양이 사용될 경우 자석 가격의 상승과 자원 고갈 문제도 심각하게 대두될 수 있다. 따라서 최소의 중희토류 원소를 사용하거나 중희토류 원소를 사용하지 않고 보자력을 증가시키는 연구가 진행되고 있다. 그 중 중희토류 원소를 자석 표면에 다양한 방법으로 Dy (또는 Tb)를 코팅한 후 열처리를 하여 입계를 따라 Dy가 확산되어 들어가도록 하는 연구가 주목을 받고 있다. 이는 역자구가 생성되기 용이한 강자성 2:14:1 상의 계면부분을 중희토류 원소로 치환하여 자기이방성이 높은 층을 형성함으로써 보자력을 향상시키는 방법이다 [1, 2]. 그러나 이 경우 제조 공정이 복잡해지고 자석 두께에 따라 Dy가 불균일하게 확산되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고자 Dy 화합물(Dy₂O₃, DyF₃) 분말을 사용하여 강자성 분말과 혼합한 후 소결함으로써 Dy를 확산 시키는 방법이다 [3, 4]. 그러나 이러한 화합물들은 산소농도의 증가와 NdOF상과 같은 불필요한 상들을 형성함으로써 잔류자속밀도를 감소시키는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 Dy-TM 합금분말을 첨가분말로 선택하여 자성분말과 혼합, 소결함으로써 새로운 상의 형성을 억제하고, 소결체의 각 결정립이 균일하게 자기이방성이 높은 층으로 둘러싸인 core-shell type 구조를 가질 수 있도록 하여 보자력을 증가시키고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 32.6RE(Dy 4.9 wt%)TM-B 합금을 용해한 후 스트립캐스터를 통해 급속 냉각하여 합금스트립을 제조하였다. 제조된 스트립은 0.1 MPa의 수소압력으로 400°C에서 2시간 동안 수소처리를 실시한 후 진공 분위기에서 가열하여 수소를 제거하였다. 수소/탈수소 처리한 스트립은 젯밀을 이용하여 분쇄하였으며 약 5 μm의 분말을 제조하였다. 제조된 자성분말에 소량의 Dy-TM 합금분말을 혼합한 후 건식 혼합하였다. 이렇게 혼합된 분말은 1.9 T의 자장하에서 일축자장성형을 한 후, 진공소결을 하였다. 이후 850 °C, 530 °C, 500 °C에서 순차적으로 각각 2시간씩 1, 2, 3차 열처리를 실시하였다. 소결체의 미세구조는 주사전자현미경(SEM; Hitachi S-3000N)을 통하여 분석하였고, 소결체의 자기특성은 BH loop tracer (Magnet physik Permagraph C-300)를 이용하여 측정하였다. 소결체 내 첨가 화합물의 분포 및 성분은 SEM-EDS와 EPMA를 통하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Dy-TM 합금분말은 자성분말과 혼합하여 소결자석내의 Dy 함량이 6.5wt% 되도록 하였으며, 혼합된 분말은 소결하여 자기특성을 측정하였다(그림 1). 주로 Co를 함유한 합금분말의 보자력이 약 4 kOe 증가하였으며, 그 중에서 DyCo 합금분말은 다른 첨가 합금분말에 비해 잔류자화의 감소폭이 가장 낮은 값을 나타내었다.

DyCo 합금분말을 각각 0.5, 1.0, 1.5, 1.9 wt%로 첨가량에 변화를 주어 자성분말과 혼합 후 소결을 실시한 결과 첨가량에 비례하여 보자력이 증가하는 것을 확인할 수 있었고, DyCo 합금분말을 첨가하지 않은 소결자석

과 비교하였을 때 보자력이 약 4.4 kOe 증가한 것을 확인할 수 있었다. 또한 합금 용해공정인 스트립상태에서 Dy를 6.9 wt%포함한 소결자석과 비교하였을 때 보자력이 1 kOe 이상 더 높게 나타났으며, 잔류자화의 감소폭도 3% 이내로 낮은 값을 나타내었다.

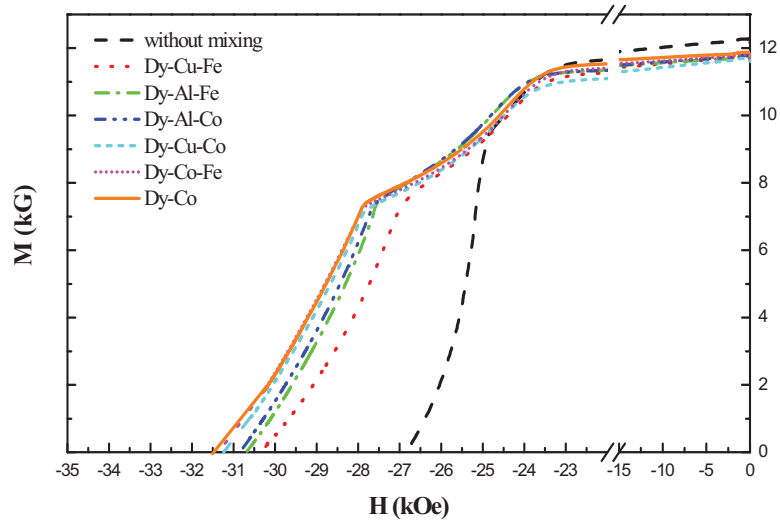


Fig. 1. Demagnetization curves of sintered magnets prepared by mixing various Dy-TM alloy powders.

4. 결론

Dy-TM 합금분말을 첨가하였을 때 DyCo 합금분말을 첨가한 소결자석의 자기특성이 가장 우수하였으며, 첨가량이 증가할수록 보자력은 4.4 kOe까지 증가하였고, 잔류자화는 최대 3% 이하의 감소폭을 나타내었다.

5. 참고문헌

- [1] K. Hirota, H. Nakumura, T. Minowa and M. Honshima, IEEE Trans. Magn., vol. 42, no. 10, pp. 2909-2911, Oct. 2006.
- [2] M. Komuro, Y. Satsu and H. Suzuki, IEEE Trans. Magn., vol. 46, no. 11, pp. 3831-3833, Nov. 2010.
- [3] S.E. Park, T.H. Kim, S.R. Lee, D.H. Kim, S. Namkung and T.S. Jang, IEEE Trans. Magn., vol. 47, no. 10, pp. 3259-3262, Oct. 2011.
- [4] T. Hidaka, C. Ishizaka and M. Hosako, in Proc. 21th Int. Workshop Rare-Earth magnets and Their Applications, pp. 100-102, 2010.

* 본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Oxidation and Coercivity of Near Single Domain Size Nd-Fe-B-type Alloy Particles

H. W. Kwon^{1)*}, and J. H. Yu²⁾

¹⁾ Pukyong National University, Nam-Gu, Busan 608-739, Korea

²⁾ Korea Institute of Materials Science, Changwon 641-831, Korea

Fine particles of Nd-Fe-B alloy in near single domain size have increasingly found new applications for high performance micro-magnet. However, because of high oxygen-affinity and high specific surface area, the ultra-fine Nd-Fe-B-type particles are readily oxidized in air, hence causing a radical coercivity loss. In the present study, an ultra-fine Nd-Fe-B-type particles in near single domain size was prepared by ball milling of HDDR-treated Nd_{12.5}Fe_{80.6}B_{6.4}Ga_{0.3}Nb_{0.2} alloy. The prepared near single domain size Nd-Fe-B-type powder ($\approx 0.3 \mu\text{m}$) had high coercivity over 9 kOe. However, the coercivity was radically reduced as the temperature increased in air ($< 2 \text{ kOe}$ at 200°C) (Fig. 1(c)). This radical coercivity reduction was attributed to the soft magnetic phases, α -Fe and Fe₃B (Fig. 1(a), (b)), which were formed on the surface of the fine particles due to the oxidation. The magnetic soft phases (α -Fe, Fe₃B) at the surface of fine Nd-Fe-B-type particle facilitate the nucleation of a reverse domain, hence reducing coercivity radically. Feasibility of surface nitrogenation of the fine particles for improving the long-term stability of coercivity was studied. Long-term stability of coercivity of the nitrogenated fine powder was improved markedly. The nitrogenated powder showed no coercivity reduction even after 1 month in air at room temperature. In this article, the surface passivation of near single domain size Nd-Fe-B-type particles by nitrogenation for improving long-term stability of coercivity is to be discussed.

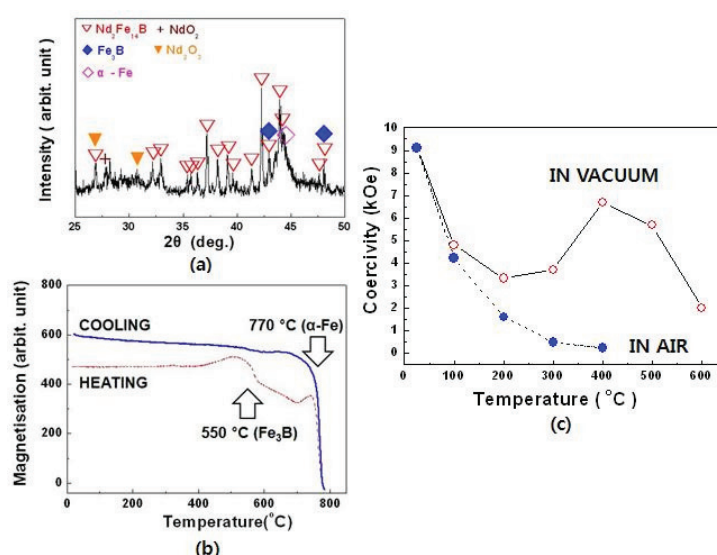


Fig. 1. XRD pattern (a) and TMA trace (b) of oxidised alloy, and the coercivity variation with temperature (c) for the near single domain size Nd-Fe-B-type powder.

급속응고법에 의한 Nd-Fe-B-X계 합금스트립 제조 및 HDDR프로세스에 의한 자기적 특성

전병서*, 최영진, 송창빈[†]

공주대학교

최근 고성능 희토류계 영구자석은 HEV, FCEV 및 EV 등의 구동용 모터 및 각종 전기전자기기용 IT제품 등의 고효율/고성능/경량화를 위한 핵심소재로서 그 수요량이 증가하고 있다. 그러나 2010년 9월 중일간 영토 분쟁이후 계속되는 중국의 에너지 “자원 무기화” 정책에 의해 가격의 변동과 함께 원료 수급문제가 매우 불안하기 때문에 관련 업계는 물론, 학계에도 관심이 집중됨에 따라 영구자석재료의 자기적 특성 향상 및 코스트 절감을 위한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

따라서 본 연구는 희토류원소 절감 및 자기적 특성 향상을 위한 기초연구로서, 본 연구팀에 의해 새롭게 설계 및 제작된 RSP 장치를 이용하여 Nd-Fe-B-X계 모합금 설계, 스트립 제조 및 HDDR처리, 미세조직 관찰 및 자기적 특성을 조사하였다.

Keywords: 나노컴포지트자석(nano-composite magnet), 희토류 영구자석(rare-earth permanent magnet), 급속응고(rapidly solidification), 합금 스트립(alloy strips), 미세편석(micro-segregation)

방전 플라즈마 소결로 제조된 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석의 미세구조가 자기적 특성에 미치는 영향

Effect of Microstructure on Magnetic Property in (Nd, Dy)-Fe-B Permanent Magnet Fabricated by Spark Plasma Sintering

김진우*, 송선용, 김영도
한양대학교 신소재공학과

1. 서론

본 연구에서는 고보자력 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석의 결정립 크기를 줄이기 위하여 방전 플라즈마 소결을 도입 하였으며 이에 따른 소결거동과 미세구조를 분석하고 자성특성을 측정하였다. 또한 제조된 소결체의 미세구조분석을 통하여 방전 플라즈마 소결이 자기적 성질에 미치는 영향에 대해서 고찰하였다.

2. 실험방법

평균입경이 약 5 μm 인 $\text{Nd}_{13}\text{Dy}_2\text{Fe}_{76.2}\text{TM}_{2.8}\text{B}_6$ (TM=Co,Cu,Al,Nb;at.%) 조성의 합금 분말을 이용하여, 약 120 MPa의 압력을 가하여 일축자장성형을 한 후, 승온 속도 10°C/min, 소결 온도 600°C에서 1시간 동안 가소결을 실시하고, 방전 플라즈마 소결장치를 사용하여 가소결체를 승온 속도 100°C/min, 소결 온도 750~1000°C, 유지 시간 15분, 소결 압력 30 MPa, 10^{-3} torr 이하의 진공 분위기에서 소결을 실시하였다. XRD, EDS 를 이용하여 상분석을 실시하였고, 미세조직 관찰을 위해 SEM을 이용하였다. TEM을 이용한 EDS 분석의 전처리를 위해 FIB 처리를 하였다. 또한 소결시편의 밀도 측정은 아르키메데스법을 이용하였고, 결정립 크기를 측정하기 위하여 시편을 연마한 후 단면을 관찰하여 이미지 분석을 실시하였다. 또한 상온에서의 소결체의 자성특성을 측정하기 위하여 B-H loop tracer를 이용하였다.

3. 실험결과

결정립 크기를 변화시키기 위하여 SPS 공정을 적용한 후 미세구조 변화에 따른 자성특성을 Table 1. 로 나타내었다. SPS 소결 후에는 잔류자속밀도는 0.6 T로 등온소결 시에 비해 약 50% 감소하였다.

sintering process	Hc (kOe)	Br (T)	(BH)max (MGoe)	ρ (g/cm ³)	Grain size (μm)
Isothermal sintering 1050oC/4h	16.77	1.19	35	7.46	7.3
SPS 1000oC/15m	7.1	0.6	11	7.65	5.9

Table 1. Summary of sintering conditions and their results.

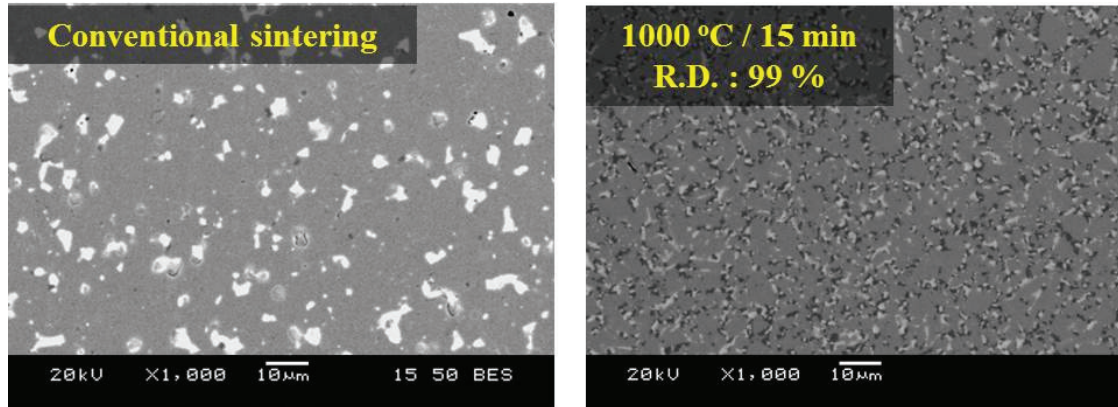


Fig. 1. SEM image of conventional sintering and sinter plus spark plasma sintering.

이러한 자기적 성능 감소의 원인을 고찰하기 위하여 SEM 을 통하여 미세구조를 분석한 결과, 일반적으로 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석에서 관찰되는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 와 Nd-rich 상이 아닌 새로운 상이 생성되었음을 확인 하였다. 이러한 상을 TEM 분석을 통하여 관찰하였으며 강자성상인 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상이 B-rich 상과 $\alpha\text{-Fe}$ 상으로 상분해가 일어났음을 확인하였다. 즉 이러한 새로운 상의 존재는 강자성상($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$)의 상분율을 저하시켜 자기적 성능이 감소된 것으로 판단하였다[1]. 또한 XRD 분석결과 배향성의 흐트러짐이 분석되었으며, 이는 자성특성 저하를 가져오게 된 것으로 판단된다[2].

미세구조의 변화 및 상변화를 통해 판단할 때, SPS 소결은 결정립 크기를 효과적으로 줄이는데 성공 하였으나 상변화 및 배향성의 흐트러짐으로 인하여 그 자기적 특성이 감소하는 것으로 판단된다. 추후, 배향성을 유지함과 동시에 열처리를 통한 상변화를 유도 하게된다면 SPS 공정을 통하여 결정립 감소에 따른 고보자력 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석의 제조가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

- 1) 미세한 결정립 크기를 갖는 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석의 제조를 위하여 SPS 소결을 도입한 결과 기존 소결공정 대비 20% 감소된 $5.9\mu\text{m}$ 의 결정립을 갖는 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석을 제조할 수 있었다.
- 2) SPS로 제조된 (Nd, Dy)-Fe-B 영구자석의 자기적 특성을 측정한 결과 7.1 kOe의 보자력을 나타내었으며 기존 소결공정에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 이는 SPS 소결 중 공정상의 특수성에 의한 상변화 및 배향성의 흐트러짐으로 인한 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

- [1] F.D. Saccone, and H. Sirkin: Phys. B. Cond. Mater **354** (2004) 209.
- [2] S.H. Kim, J. W. Kim, and Y. D. Kim: J.Kor. Powder Metall. Inst., **17** (2010) 154 (Korean).

Nd-Fe-B 이방성 본드자석의 이방화율 향상과 영구자석 DC모터에의 응용

김효준^{1*}, 김상면¹, 고창섭²

¹자화전자, ²충북대학교 전자정보대학 전기공학과

1. 서론

본 논문에서는 신 자성재료인 NdFeB 이방성 본드자석의 자기적 특성에 영향을 미치는 자성분말의 자기이방화 과정과 자화거동에 대한 실험적 연구결과를 도출하고 극이방 4극 NdFeB 본드자석을 최적화 설계하였다. 모터 응용단계에서는 영구자석의 이방화의 방향에 대해서 조사하였으며 모터 아마추어의 치폭과 슬롯의 간격을 최적화 하였다. 기존의 페라이트 모터와 동 특성을 갖는 Nd-Fe-B 이방성 본드자석 모터를 경량화 최적설계 제작하고 유한요소법(Finite Element Method)을 통한 해석적 비교와 실제 제작된 모터를 함께 비교하였다.

2. 실험방법

이방성 본드자석 제조에 사용한 자분은 일본 Aichi Steel사에서 d-HDDR 법에 의하여 양산하고있는 이방성 자성분말 MF14C를 이용하고 Fig. 1과 같이 이방화 특성을 조사하였다. 모터용의 영구자석은 자기특성이 Fig. 2과 같이 금형을 설계하여 $B_r=1.0(T)$, $iH_c=1.12(MA/m)$, $(BH)_{max}=169(kJ/m^3)$ 인 영구자석을 얻었다. 경량화를 대상으로한 4극 10 슬롯의 페라이트모터 제원은 표1에 나타났다. 이방성 본드자석 모터의 설계시 요소변수로는 Fig. 3에 나타난 치폭과 슬롯의 치수를 최적화 하였다.

Table1. Specification ferrite and proposed DC brush motor.

Section	Item	Ferrite motor	Unit
PM	Br(T)	0.44	T
	Outer diameter	38	mm
	Inner diameter	31	mm
	Axial length	36	mm
Armature	Outer diameter	30	mm
	Number of slots	10	mm
	Axial length	32	mm
	Number of winding	27	turn
Return yoke	Thickness	2	mm

3. 실험결과

Fig. 4는 제안하는 최적화된 모터로부터 발생되는 자속밀도분포를 타나낸 FEM 결과이다. 치폭과 슬롯의 최적화는 FEM을 통하여 최적화 되었으며 치폭이 2.3에서 2.8mm로 증가함에따라 토크상수도 증가하였고 슬롯 폭은 1.3mm에서 최대토크상수를 나타내었다(Fig. 5). Fig. 6에 현재 사용하고 있는 페라이트 전동기와 본 연구에서 경량화한 전동기를 입력전압 13 V에서 측정한 T-N-I 특성곡선이다.

4. 결론

Nd-Fe-B 이방성분말은 열간 성형과정에서 외부자계의 세기에 비례하여 이방화율이 향상되었으며 외부자장 2 MA/m 조건에서 $B_r = 1 \text{ T}$, $iH_c = 1.12 \text{ MA/m}$, $(BH)_{\max} = 169 \text{ kJ/m}^3$ 의 자기적 특성을 나타내었다. FEM 해석을 통하여 금형 내부의 분말의 이방화 방향을 예측할 수 있는 방법을 제안하였으며 분말의 이방화 방향을 고려하여 금형의 자기회로를 최적화하는 방법을 제안하였다. 전동기의 경량화 설계 단계에서 기존 페라이트 전동기와의 비교를 통한 문제점을 확인하였으며 이방성본드자석을 사용한 모터의 새로운 설계방법을 제안하였다. 제안하는 이방성 NdFeB 본드자석 모터설계를 통하여 종래의 페라이트 DC 모터는 약 30 % 경량화가 가능하였다.

5. 참고문헌

- [1] N. Hamada, H. Mitarai and Y. Honkura, *IEEE Trans. Magnetics*, vol. 39, no. 5, 2953 Sep. 2003.
- [2] J. D. Livingston, *Proc. 8th International Workshop on REPM*, OH, pp. 725, 1985.

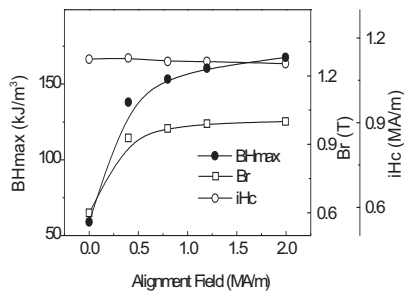


Fig. 1. Changes in magnetic properties

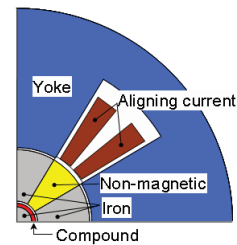


Fig. 2 Design of a powder compacting tool mold

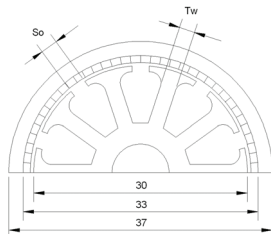


Fig. 3 Design of proposed motor



Fig. 4 FEM result of flux distribution

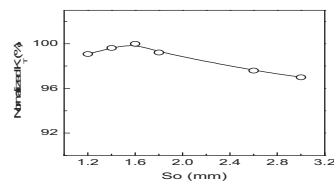
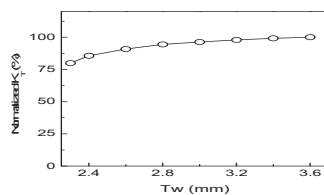


Fig. 5 Torque constants

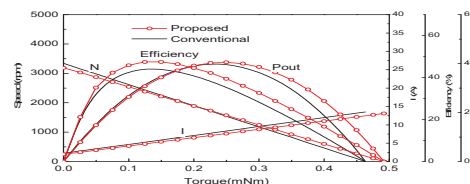


Fig. 6 T-N-I curve

* 본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Excellent Low Field Magnetoresistance Properties of Mn Ferrites

Hyo-Jin Kim* and Sang-Im Yoo[†]

Department of Materials Science and Engineering, Research Institute of Advanced Materials (RIAM),
Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

[†] Sang Im Yoo, e-mail : siyoo@snu.ac.kr

A significant enhancement of low-field magnetoresistance (LFMR) could be achieved from Mn ferrites polycrystalline samples prepared by standard solid state reaction process in argon atmosphere at temperature of 1150~1250°C for 4h. The effects of the annealing temperature on the microstructure, magnetic and magneto-transport properties of the Mn ferrites were carefully investigated. Field dependency of magnetization was measured with a SQUID (superconducting quantum interference device) magnetometer, and low field magnetoresistance (LFMR) was also measured with the SQUID magnetometer using an external current source and voltmeter. The X-ray diffraction analyses revealed that all Mn ferrites of the spinel structure were a pure phase without the second phase. High LFMR ratio over 2.9% at 300K in 0.5 kOe was achievable from Mn ferrites sample annealed at 1200°C. The relationship among the annealing temperature, microstructure, magnetic and magnetotransport properties will be presented for a discussion.

Olivine 구조의 Li 이온 양극물질의 중성자 회절 연구

권우준^{1*}, 김희승¹, 김민선¹, 김문환¹, 최정훈¹, 김성백², 김철성¹

¹국민대학교 물리학과, 서울시 성북구 정릉동 861-1, 136-702

²건양대학교, ACE 센터, 충남 320-711

1. 서론

리튬이차전지는 작동 전압 및 에너지 밀도가 높을 뿐 아니라 오래 사용할 수 있어 기기의 다양화와 복합화에 따른 복잡한 요구조건을 충족시킬 수 있는 우수한 특성을 지니고 있다. 이와 같은 리튬이차전지 기술의 지속적인 발전과 더불어 기술의 혁신을 위해서는 리튬이차전지 전반에 대한 근본적이고 체계적인 이해가 필수적이다[1,2]. 올리빈 구조의 리튬인산화물(LiMPO_4 , $M = \text{Fe, Co, Ni, Mn}$)은 Li ion battery의 양극활 물질로서, 친환경적이며 우수한 충방전 특성으로 각광받고 있다. 인가 자장에 따라 전기적인 분극이 변하는 자기전기효과(Magnetoelectric effect; ME effect)를 가지고 있어 활발한 연구가 진행되고 있다[3-5].

2. 실험방법

$\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 분말 시료를 직접합성법에 의하여 제조하였다. 출발시료로는 Li_2CO_3 , $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MnCO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 를 사용하였다. 정확한 당량비로 계산한 시료를 금속이온의 산화를 방지하기 위하여 Ar 가스 분위기에서 350°C 로 3 시간동안 하소(Calcination)를 하였다. 하소를 한 후 시료를 유압 압축기를 통하여 5000 N/cm^2 의 압력으로 압축하여 석영관에 넣고 10^{-8}Torr 의 진공으로 봉합한 후에 $2^\circ\text{C}/\text{분}$ 으로 700°C 까지 승온하여 10 시간동안 열처리 하여 시료의 단일상을 제조하는데 성공하였다. ICP발광분석실험(ICP-AES)을 하여 제조한 시료의 각 이온들의 당량비를 확인 한 후, 온도에 따른 시료의 결정구조를 확인하기 위하여 HRPD(High-Resolution Powder neutron Diffraction) 실험을 하였고, 뫼스바우어 스펙트럼은 Rh 금속에 확산시킨 실온상태의 50 mCi의 ^{57}Co 단일선원으로 측정하여 시료의 미시적인 상호작용에 대하여 연구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

HRPD(High-Resolution Powder neutron Diffraction) 실험을 하여 온도에 따른 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 결정구조를 Rietveld 정련법으로 분석하였으며, 분석결과 모든 온도에서 시료의 결정구조는 공간그룹이 $Pnma$ 인 orthorhombic 구조로 분석되었다. 온도가 감소함에 따라 시료의 격자상수들은 선형적으로 감소하였으며 Néel 온도($T_N = 45 \text{ K}$) 이하에서의 HRPD pattern들은 반강자성 스핀 배열로 인한 초격자선이 나타났고 Fig. 1에 나타내었다. 또한 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 unit cell은 각각 4 개의 LiO_6 , $\text{FeO}_6(\text{MnO}_6)$, PO_4 단위 구조로 분석되었다. 특히 $\text{Fe}^{2+}(\text{Mn}^{2+})$ 이온은 6 개의 O^{2-} 이온들과 비대칭적인 팔면체 구조로 분석되었고, 온도가 변화함에 따라 이온간 거리도 계속 변화하였다. $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 FeO_6 팔면체 구조에서 Fe^{2+} 이온의 초미세 상호작용을 확인하기 위하여 뫼스바우어 분광실험을 하였다. Néel 온도 이하에서 Fe 이온의 강한 결정장에 의한 전기 4중극자 상호작용과 자기 2중극자 상호작용이 동시에 존재하여 8 개의 흡수선이 나타나는 것을 확인하였다.

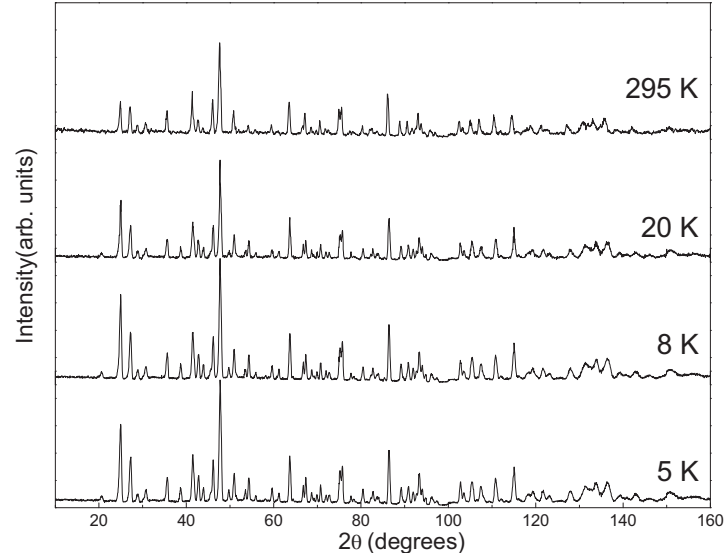


Fig. 1. HRPD patterns of $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ at various temperatures.

4. 참고문헌

- [1] A. K. Padhi, K. S. Nanjundaswamy, and J. B. Goodenough, *J. Electrochem. Soc.* **144**, 1188 (1997).
- [2] W. Tian, J. Li, J. W. Lynn, J. L. Zarestky and D. Vaknin, *Phys. Rev. B* **78**, 184429 (2008).
- [3] W. Kim, C. H. Rhee, H. J. Kim, S. J. Moon, and C. S. Kim, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 242505 (2010).
- [4] J. Li, V. O. Garlea, J. L. Zarestky and D. Vaknin, *Phys. Rev. B* **73**, 024410 (2006).
- [5] Bas B. Van Aken, J. P. Rivera, H. Schmid, and Fiebig, *Phys. Rev Lett.* **101**, 157202 (2008).

FeGa₂O₄ 박막의 자기적 특성연구

한승규^{1*}, 명보라¹, 김진모¹, 김삼진¹, 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

1. 서론

Spinel구조를 가지는 AB₂O₄물질은 자성반도체 물질로 저온 영역에서 다양한 자기적 특성이 발현되어 많은 연구가 되어지고 있다. 최근 이들 물질에서 spin-freezing, spin-glass, spin-disorderd등의frustration 현상이 관측되어 활발한 연구가 진행중이다.[1-3] 특히, FeGa₂O₄물질은 다결정에서 spin-glass현상이 보고되었다.[4] 본 연구에서는 FeGa₂O₄물질을 PLD를 이용하여 MgO(100) 박막에 증착하였고 결정학적 및 자기적 성질을 연구하였다.

2. 실험방법

FeGa₂O₄ 박막은 MgO(100) 기판에 증착되었으며, 레이저 광원은 KrF를 사용하는 pulse excimer laser ($\lambda = 248$ nm)를 사용하였다. Repetition frequency는 2 Hz이며 출력에너지는 20 mJ를 유지하였다. 이때 기판온도가 600 oC에서 수소분위기 1.0×10^{-5} torr를 유지하였다. 박막 시료의 결정성을 확인하기위해 CuK α 선을 사용하는 Bruker AXS 사의 D8 DISCOVER with GADDS model을 이용하여 X 선 회절 실험을 하였다. 증착된 박막시료의 두께를 측정하기 위하여 SEM을 이용하여 cross-section을 측정하였다. FeGa₂O₄ 박막시료의 온도 변화에 따른 거시적인 자화 특성을 확인하기 위해 SQUID(superconducting quantum interference device) magnetometer를 이용하여 외부자기장 400 Oe하에 먼방향에 따른 ZFC(Zero Field Cooled)와 FC(Field Cooled)를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

FeGa₂O₄ 박막은 XRD 분석을 통하여 single phase를 결정하였으며, 분석결과 공간그룹 $Fd3m$ 을 가지는 단일상의 스피넬 구조임을 확인하였고 격자상수는 각각 $a_0 = 8.34$ Å 로 결정하였다. 일반적인 FeGa₂O₄ 다결정의 격자상수는 $a_0 = 8.385$ Å 와 거의 유사함을 확인하였다. SQUID를 이용하여 400 Oe의 외부자기장 하에서 온도에 따른 거시적인 자성측정을 하였다. FeGa₂O₄ 다결정은 25 K에서 spin-glass현상이 발현되는 반면, FeGa₂O₄ 박막은 3.5 K, 8.2 K, 11 K, 25 K 부근에서 자기적인 변화가 관측되었다.

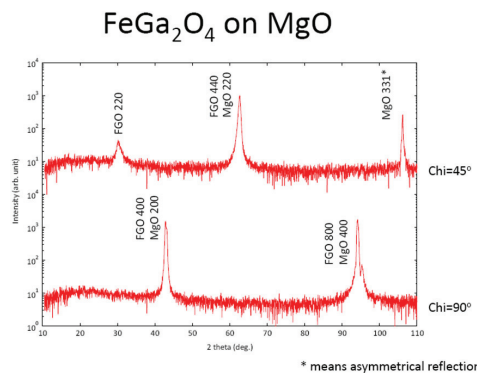


Fig 1. X-ray diffraction patterns of the FeGa₂O₄ thin film at room temperature.

4. 참고문헌

- [1] M. Hagiwara, N. Narita, and I. Yamada, *Phys. Rev. B*, **55** 5615-5618 (2005).
- [2] R. Fichtl, V. Tsurkan, P. Lunkenheimer, J. Hamberger, V. Fritsch, H.-A. Krug von Nidda, E.-W. Scheidt, and A. Loidl, *Phys. Rev. Lett.*, **94** 027601-1-4 (2005).
- [3] M. Mertinat, V. Tsurkan, D. Samusi, R. Tidecks, and F. Haider, *Phys. Rev. B*, **71** 100408-1-4 (2005).
- [4] B. R. Myoung, S. K. Han, S. J. Kim, and C. S. Kim, *IEEE Trans. Mag.* **48** 1567-1569 (2012).

Ba_{1-x}La_xTi_{1-y}Fe_yO₃의 Multiferroic 특성

김재영*, 권윤미, 이보화

한국외국어대학교 물리학과 경기도 용인시 449-791

1. 서론

ABO₃ 페로프스카이트 물질은 여러 응용분야에서 사용되는 흥미로운 물질 중 하나로 A, B 이온들의 valence에 따라 결정구조와 물리적 성질이 결정된다. 많은 A²⁺B⁴⁺O²⁻-type 페로프스카이트들은 cubic 또는 tetragonal 구조와 insulator 특성을 보인다. Ferroelectric 물질인 BaTiO₃(BTO)는 상온에서 tetragonal 구조이며 120 oC의 낮은 Curie 온도를 가진다 [1]. 반면에 A³⁺B³⁺O²⁻-type 페로프스카이트들은 orthorhombic 구조를 가지며 semiconductors 또는 magnetic 특성을 보인다. 대표적으로 LaFeO₃와 같은 물질은 상온에서 orthorhombic 구조를 가지며 740 K 이하의 영역에서 antiferromagnetic ordering을 가지고 있다 [2]. BTO에 La를 치환한 시료들에게서 dielectric 상수가 증가하고, 반면에 Fe를 치환한 시료들에서는 ferromagnetic ordering이 증가하는 것으로 알려졌다 [3,4]. 본 연구에서는 Ba²⁺ site에 La³⁺ ion을 Ti⁴⁺ site에 Fe³⁺ ion을 치환하여 다결정체를 합성하고 magnetic hysteresis 실험을 수행하고 강유전성 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

다결정체 Ba_{1-x}La_xTi_{1-y}Fe_yO₃(0≤x,y≤0.1; BLFTO)의 시료들을 고체 상태 반응법으로 제조하였다. 공기 중에서 각각 900, 1200°C에서 24시간씩 열처리 후 1350°C에서 소결하여 합성하였다. X-선 회절 측정(Rigaku, Mini Flex)을 통하여 시료들의 상을 확인하였고, vibrating sample magnetometer(Lake Shore, model 7404)를 이용하여 상온에서 자기이력곡선(M-H)을 측정하였다. 강유전성은 ferroelectric tester(RT66A, Radiant Technology)를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X-선 회절 측정 결과 tetragonal 구조를 가지는 BTO에 La³⁺ 치환한 Ba_{1-x}La_xTiO₃시료들은 tetragonal 구조를 보이며, Fe³⁺ 치환한 BaTi_{1-y}Fe_yO₃시료들은 tetragonal 구조와 hexagonal 구조를 보였다. 같은 양의 La³⁺와 Fe³⁺를 치환한 시료들은 cubic 구조를 보였다. La와 Fe를 치환한 시료 중 x=0.05, y=0.1인 시료는 tetragonal과 hexagonal 구조가 공존하였다.

상온에서 자기이력곡선 측정 결과, Fe³⁺ 치환한 시료(y=0.05)의 경우 Fig. 1(a)와 같이 magnetic hysteresis가 나타나며 Fe³⁺의 치환 양을 늘리면, Fig. 1(b)와 같이 magnetic hysteresis가 증가함을 알 수 있다. 이런 현상은 octahedral site에서 Fe³⁺가 high spin 상태로 존재하기 때문에 일어나는 결과로 설명할 수 있다[5]. Fig. 1의 c)는 La³⁺와 Fe³⁺를 치환한 시료 중 x=0.05, y=0.1인 시료의 측정 결과로 y=0.1 시료보다 saturation magnetization (Ms)가 줄어들었다. 이런 경향은 x=0.1, y=0.1 인 시료에서 더욱 두드러지게 나타나서 Fig. 1의 d)와 같이 magnetic hysteresis가 사라졌다.

Fig. 2는 강자성 특성을 나타내고 있는 x=0.05, y=0.1 인 시료에서 상온에서 측정한 강유전이력곡선으로 강유전성을 가지고 있음을 알 수 있다. 외부 전기장이 외부 자기장이 2000 V 이상일 때 leakage current가 증가하였다. 이러한 강자성특성을 가지고 있는 일부 시료들에서 강유전성이 남아 있음을 확인하였다. 이는 BLFTO의 multiferroic 가능성을 보여주는 결과이다.

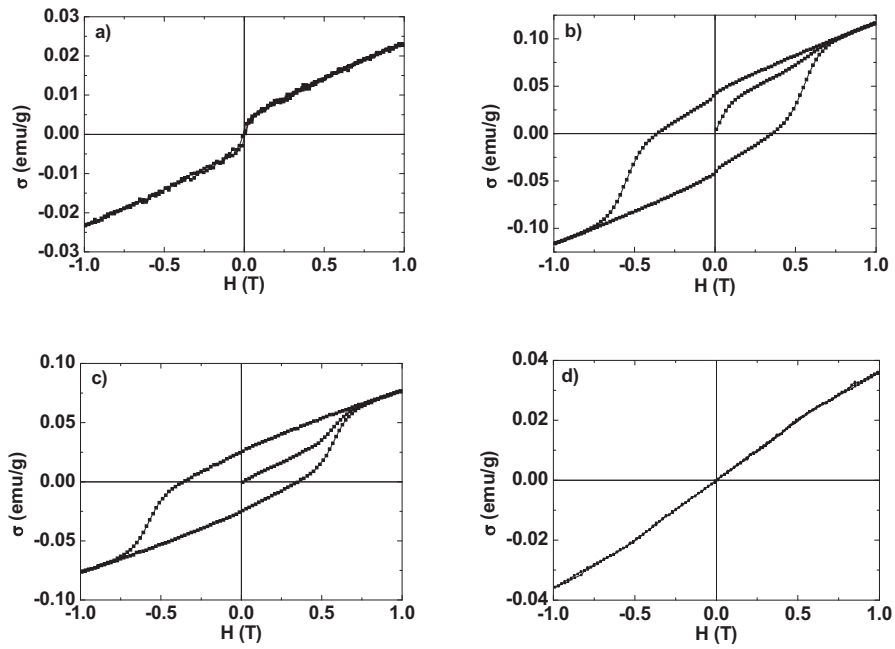


Fig. 1. Magnetic hysteresis (M-H) of a) $\text{BaTi}_{0.95}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_3$, b) $\text{BaTi}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$, c) $\text{Ba}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{Ti}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$, d) $\text{Ba}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ measured at room temperature.

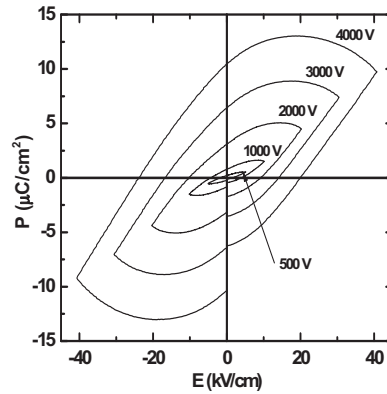


Fig. 2. Ferroelectric hysteresis loop (PE) of $\text{Ba}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{Ti}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$.

4. 참고문헌

- [1] W. J. Merz, Phys. Rev. **75**, 687 (1949).
- [2] B. Ita, P. Murugavel, V. Ponnambalan, and A. R. Raju, J. Chem. Sci. **115**, 519 (2003).
- [3] D. S. Jung, H. Y. Koo, H. C. Jang, and Y. C. Kang, Met. Mater. Int. **15**, 809 (2009).
- [4] F. Lin, D. Jiang, K. Ma, and W. Shi, J. Magn. Magn. Mater. **320**, 691 (2008).
- [5] Y. W. Song, Y. Ma, H. Xiong, Y. Q. Jia, M. L. Liu, and M. Z. Jin, Mater. Chem. Phys. **78**, 660 (2003).

$Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ 의 온도에 따른 자화율의 불가역성

권윤미*, 아구스티나, 김재영, 이보화
한국외국어대학교 물리학과 경기도 용인시 449-791

1. 서론

다강체 $RMnO_3$ 중에서 육방정계 $YMnO_3$ 화합물 박막에서 작은 domain-wall motion을 보이는 single polarization 현상으로 비휘발성 메모리 소자의 가능성을 보여주었다 [1]. 다강체 $YMnO_3$ ($T_N = 80$ K)의 magnetic ordering의 기원은 180° 에 가까운 Mn-O-Mn 각의 Mn 이온과 O 이온 사이의 간접적인 exchange interaction에서 비롯되고, 강유전성 ($T_c = 914$ K)은 net electric polarization을 만들어내는 Y 이온을 포함한 MnO_5 다면체에 의해서 나타난다 [2]. 그러나 강유전성과 결합된 자성은 아직 명확히 이해되고 있지 않다. 이 물질의 흥미로운 특징은 Mn^{3+} 와 Mn^{4+} 의 magnetic ordering을 얻기 위해 Y^{3+} 자리에 부분적으로 Sr^{2+} 을 치환함으로써 나타난다. Sr^{2+} 의 이온 크기가 Y^{3+} 의 이온 크기와 유사하므로, 치환 결과 시료의 큰 구조적인 변화는 일어나지 않는다. Hole 치환은 Mn^{3+} - Mn^{3+} antiferromagnetic superexchange interaction을 약화시키고 Mn^{3+} - Mn^{4+} ferromagnetic double exchange interaction을 발현하게 된다. 본 연구에서는 hole 치환된 $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ (YSMO)의 다결정체를 합성하고 ZFC와 FC 자화율 곡선들 사이의 불가역성(irreversibility)을 연구하였다.

2. 실험

다결정체 YSMO시료들을 고체상태 반응법으로 제조하였다. 공기 중에서 시료들을 1200°C 에서 하소한 뒤 pellet으로 제작하여 1350°C 에서 소결하였다. X-ray 회절 실험 수행 결과 시료들의 구조는 육방정계(hexagonal) 구조로 확인되었다. 온도에 따른 magnetization 측정은 외부자기장을 가하지 않고 시료의 온도를 저온으로 냉각시킨 후, 외부자기장을 가해준 상태에서 온도를 올려주면서 σ 값을 측정하는 zero-field-cooled (ZFC) 방법과 외부자기장을 가해준 상태에서 시료를 냉각한 후 온도를 올리면서 측정하는 field-cooled (FC) 방법으로 측정하였다.

3. 결과 및 토론

Fig. 1 (a)는 5 kOe의 외부자기장에서 $YMnO_3$ (YMO)의 온도의 따른 magnetization $\sigma(T)$ 을 나타낸 그림이다. 이전의 보고서들은 YMO의 magnetization 곡선에서 이상(anomaly)이 나타나지 않았지만[2], 최근 보고서에 언급된 결과와 같이 74 K 근방에서 일어난 이상(anomaly)이 ZFC, FC 곡선에서 분명하게 나타났다 [3]. 이상이 일어나는 부분을 제외한 나머지 온도 영역에서 σ_{ZFC} 와 σ_{FC} 는 서로 일치하였다. 이러한 현상은 spin fluctuation과 관련된 것으로 알려져 있다.

Fig. 1 (b)는 $Y_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$ (YSMO)의 magnetization $\sigma(T)$ 으로 50 K 근방에서 ZFC와 FC 곡선이 차이가 생기기 시작한다. 외부자기장 속에서 시료가 냉각되면서 외부자기장의 방향에 따라 magnetic domain이 생성되면서 ZFC와 FC의 자화율의 생기며, σ_{FC} 가 σ_{ZFC} 보다 큰 값을 가지게 된다. ZFC와 FC의 차이가 생기게 되는 불가역성 온도는 외부자기장이 커질수록 낮아졌다.

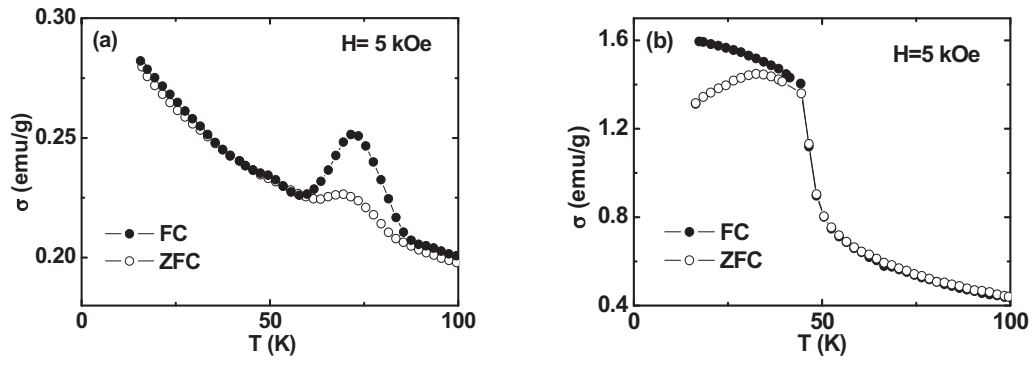


Fig. 1. Temperature dependence of ZFC and FC magnetizations (a) YMnO_3 and (b) $\text{Y}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$.

4. 참고문헌

- [1] L. W. Martin, Y. H. Chu, R. Ramesh, Materials Science and Engineering R **68**, 89 (2010).
- [2] Z. J. Huang, Y. Cao, Y. Y. Sun, Y. Y. Xue, and C. W. Chu, Phys. Rev. B **56**, 2623 (1997).
- [3] H. W. Zheng, Y. F. Liu, W. Y. Zhang, S. J. Liu, H. R. Zhang, and K. F. Wang, J. Appl. Phys. **107**, 053901 (2010).

핵자기공명 실험을 이용한 스피넬 산화물 CuCr_2O_4 의 자기적 특징 및 궤도정렬에 관한 연구

조은아*, 이순철

물리학과, 한국과학기술원

CuCr_2O_4 물질은 AB_2O_4 의 화학식을 가지는 스피넬 구조의 산화물로 A site에 Cu^{2+} 이온이 자리하고 있고, B site에 Cr^{3+} 이온이 자리하고 있다. 이 물질의 구조적 상전이가 일어나는 온도는 850K로 이 온도 이상에서는 정육면체 구조였다가 이 온도 이하에서는 직육면체 구조로 변한다. 이런 구조적 변화는 Jahn-Teller distortion과 관련이 있다. Jahn-Teller distortion은 궤도 자유도를 지니는 자성이온을 중심으로 그 주변의 산소가 만들어주는 구조(octahedral 또는 tetrahedral)가 더 낮은 에너지 상태로 가기 위해서 변형되는 것을 말한다. CuCr_2O_4 물질의 경우 산소를 제외한 두 가지 이온들은 3d 궤도에 짝을 이루지 못한 전자가 있는 자성이온들이다. Cr^{3+} 이온의 경우 궤도 자유도를 가지고 있지 않지만, Cu^{2+} 이온의 경우 3d 궤도에 9개의 전자가 있어서 궤도 자유도를 가지고 있고, 구조적 상전이가 일어나는 온도 이하에서 Cu^{2+} 이온 주변의 4개의 산소들로 구성된 tetrahedral 구조가 변형되어 물질의 전체적인 구조는 납작한 직육면체 형태로 변하게 된다[1,2]. 이러한 Jahn-Teller distortion 특징을 보이는 물질들에서 궤도정렬을 관찰하려는 실험들이 많이 행해지고 있다.

실험은 CuCr_2O_4 다결정 파우더시료를 이용하여 수행하였고 Cu^{2+} 이온 및 Cr^{3+} 이온의 NMR스펙트럼을 spin echo 방법을 이용하여 측정하였다. CuCr_2O_4 물질에 대한 핵자기공명실험을 찾아보았으나, Cu^{2+} 이온에 대한 핵자기공명실험은 아직 없어서 공명신호가 관측될만한 주파수 영역을 스캔하여 공명주파수가 얼마인지를 찾아보았다. 그림 1(a)를 보면 온도가 7K일 때 160MHz-175MHz 영역에서 공명신호가 관측되는 것을 알 수 있다. 온도가 증가 할수록 스펙트럼이 낮은 주파수 영역으로 이동하는 것을 볼 수 있는데 이는 마그네틱모멘트가 온도가 증가함에 따라 감소하기 때문이다. 온도에 따른 마그네틱모멘트의 변화를 그래프로 나타낸 것이 그림 1(b)이다. 공명주파수와 온도사이의 관계식으로 피팅하면(1(b)의 빨간선) spin wave dispersion 에서의 energy gap을 구할 수 있는데 Cu^{2+} 이온의 경우 약 5K정도의 spin gap을 가지는 것으로 나타났다.

Cr^{3+} 이온에 대한 핵자기공명실험은 1966년에 프랑스로 써진 논문이 있는데[3], 액체질소 온도에서 측정된 공명주파수에 관한 데이터는 있으나 액체헬륨온도까지 냉각시켜서 얻은 스펙트럼은 우리그룹에서 얻은 것이 처음이다. 과거 프랑스그룹에서 발표한 논문에 의하면 피팅을 통해 알아낸 0K에서 기대되는 Cr^{3+} 이온의 공명주파수는 63.2MHz이다. 이는 우리 실험결과와 거의 같다.(그림 2(b)) Cr이온의 경우 핵자기공명신호가 Cu이온

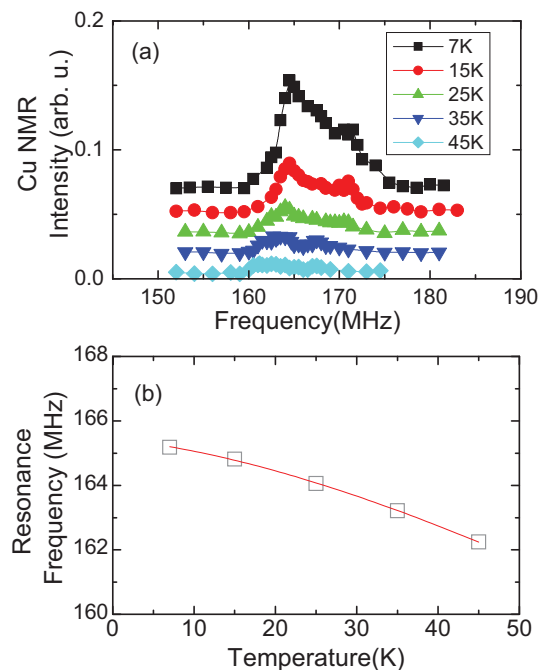


그림 1 (a) 온도를 변화시키면서 얻은 Cu^{2+} 이온의 NMR 스펙트럼 (b) Cu^{2+} 이온의 핵자기공명 주파수 vs. 온도

의 그것에 비해 열배정도는 커서 70K 정도의 높은 온도에서도 스펙트럼을 얻을 수 있었다. 온도를 증가시키면서 얻은 Cr이온의 스펙트럼을 피팅하여 얻은 spin gap은 약 40K 정도 이다. 각 이온의 NMR스펙트럼의 온도의 존성으로부터 얻은 spin gap을 비교해 보면 Cu이온의 그것이 더 작는데 spin gap은 anisotropy에 비례하므로 exchange energy는 서로 같다고 생각했을 때 Cu스핀의 anisotropy가 Cr이온의 anisotropy보다 더 작다고 생각할 수 있다.

파우더 시료에 강한 외부자기장을 걸었을 때, 시료를 구성하는 파우더 입자들의 c축은 자기장 방향에 대해 다양한 방향(스핀방향과 c축의 방향이 0도에서 360도사이의 다양한 각도를 이룸)을 가지게 되므로 스핀들이 외부자기장 방향으로 정렬되어 있는 상태에서 스핀방향과 c축의 방향은 다양한 방향이 된다. 그러면 핵자기공명스펙트럼의 선폭이 매우 넓어지게 된다. 궤도정렬이 일어날 것으로 예측되는 Cu^{2+} 이온과, 궤도정렬과는 무관할 것으로 알려져 있는 Cr^{3+} 이온의 핵자기공명스펙트럼을 비교해보면, 3T의 외부자기장하에서 얻은 Cu^{2+} 이온의 스펙트럼은 0T에서 얻은 것에 비해서 4배가량 넓어졌으나, 3T의 외부자기장하에서 얻은 Cr^{3+} 이온의 스펙트럼은 0T의 외부자기장하에서 얻은 스펙트럼에 비해 2배 정도밖에 넓어지지 않았다.(그림2) 보통 외부자기장하에서 얻은 NMR스펙트럼의 선폭이 넓어지는데 anisotropy가 일정부분 기여하는데 Cu^{2+} 이온의 spin gap이 Cr^{3+} 이온의 spin gap보다 작았던 것을 생각해 보면 매우 넓어진 선폭은 Cu^{2+} 이온의 궤도정렬 때문이라고 생각할 수 있다.

핵자기공명실험을 이용하여 CuCr_2O_4 물질의 궤도정렬상태에 관한 연구를 수행하였다. 공명주파수의 온도의 존성 실험결과 Cu^{2+} 이온의 spin gap이 Cr^{3+} 이온의 spin gap보다 열배정도 작는데 spin gap의 크기는 anisotropy에 비례하므로 Cu^{2+} 이온에서의 spin-orbit coupling이 Cr^{3+} 이온의 그것에 비해 작다는 것을 알 수 있다. 이는 CuCr_2O_4 물질의 Cu^{2+} 이온이 Jahn-Teller 이온으로 알려져 있는 것과 일치한다. 궤도정렬이 있는 Cu^{2+} 이온의 경우 외부자기장하에서 스펙트럼을 측정하였을 때 궤도정렬이 없는 이온의 스펙트럼에 비하여 선폭이 매우 넓은데 이는 NMR스펙트럼의 선폭에 궤도정렬효과가 큰 영향을 끼쳤기 때문이다.

참고문헌

- [1] E. Prince, Acta Cryst. 10, 554 (1957)
- [2] Brendan J. Kennedy, Qingdi Zhou, Journal of Solid State Chemistry 181, 2227 (2008)
- [3] Le Dang Khoi, C. R. Acad. Sc. Paris, t. 262 (13 juin 1966).

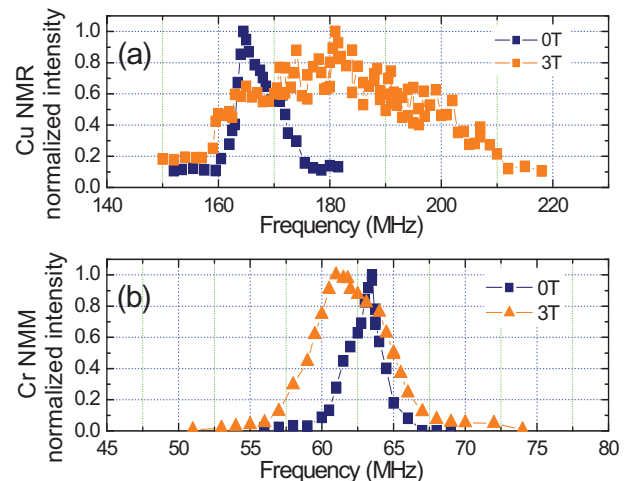


그림 2. 3T의 외부자기장에서 측정된 CuCr_2O_4 물질의 Cu^{2+} 이온(a)과 Cr^{3+} 이온(b)의 NMR 스펙트럼

$^{55}\text{Mn}^{2+}$ 와 $^{55}\text{Mn}^{3+}$ 핵자기공명으로 연구한 Mn_3O_4 의 자기이방성 상수와 교환상호작용 상수

김창수^{1*}, 심정현¹, 조은아¹, 이순철¹

¹한국과학기술원 물리학과

1. 서론

덩어리진 $\text{Mn}_3\text{O}_4[\text{Mn}^{2+}(\text{Mn}^{3+})_2\text{O}_4]$ 에서의 큰 자기이방성은 이미 오래전부터 많은 연구자들의 관심을 끌어왔다. Mn_3O_4 의 c-축은 자화곤란축이고, ab-평면은 자화용이평면인데, 30 테슬라의 큰 자기장에서도 ab-평면의 자화와 c-축 방향의 자화가 같아지지 않는다. 저온에서의 기저스핀상태는 삼각형 모양의 야펫-키텔 스핀 구조를 보이는데, Mn^{3+} - Mn^{3+} 교환상호작용과 Mn^{2+} - Mn^{3+} 교환상호작용이 모두 반강자성 상호작용이라 알려져 있다. K. Dwight는 Mn^{3+} 의 c-축에 큰 단축이방성이 있다고 가정하여 Mn_3O_4 의 거시적인 자기이방성을 설명하려했다. 이 외에도 Mn^{3+} , 혹은 Mn^{2+} 의 ab평면에 평면자기이방성이 있더라도 Mn_3O_4 의 큰 자기이방성을 설명할 수 있다.

2. 실험방법

핵자기공명(Nuclear Magnetic Resonance)은 자기장에 의하여 갈라진 에너지 상태에 분포하는 핵스핀들에, 갈라진 에너지에 알맞은 전자기파를 쏘아주어 핵스핀들의 분포도가 변화하는 것을 관찰하는 실험이다. 핵자기공명을 이용하면 다른 핵종을 가진 원자의 핵스핀들을 각각 관찰할 수 있을 뿐만 아니라, 같은 핵종을 가지더라도 다른 원자가 전자를 가진 원자의 핵스핀들을 따로 관찰할 수 있는 장점이 있다. 또한 개개의 자기모멘트와 자기장 사이의 각도를 측정할 수 있다. 우리는 이러한 핵자기공명을 이용하여 액체헬륨 분위기에서 7 T의 자기장을 Mn_3O_4 의 ab평면과 c-축으로 가하여 이 물질이 가지고 있는 큰 자기이방성이 어떤 종류의 자성이온으로부터 오는지, 또 어떤 타입의 자기이방성을 가지고 있는지를 연구하였다. 또한, 자기장을 ab-평면에서 c-축으로 돌렸을 때 얻은, Mn^{3+} 와 Mn^{2+} 모멘트가 자기장과 이루는 각도를 통하여, 각 이방성 상수와 교환상호작용을 구하려고 하였다.

3. 실험결과

ab-평면에 자기장을 가하였을 때에, Mn^{2+} 의 공명주파수는 475~495 MHz로서 영자기장일 때의 공명주파수 550~560 MHz로부터 75 MHz 정도 이동하였다. 그리고 ab-평면에서 c-축으로 자기장을 돌릴 때에 공명주파수는 점점 증가하여, 자기장이 c-축과 나란할 때, 515 ~ 540 MHz 영역에서 신호가 나왔다. 그리고 c-축에서 다시 ab-평면으로 자기장을 돌렸을 때, 다시 공명주파수가 줄어들다가 자기장이 ab-평면에 가하여졌을 때, 475~495 MHz 영역에서 다시 신호가 나왔다.

같은 방식으로 Mn^{3+} 의 공명주파수를 측정하였는데, Mn^{3+} 의 영자기장 신호는 248 ~ 267 MHz영역에서 관찰되었다. ab-평면에 자기장을 가하였을 때에, 295 ~ 302 MHz 영역에서 신호가 관찰되었고, 자기장을 c-축으로 돌릴수록 공명주파수가 줄어들다가 자기장이 c-축과 나란할 때의 공명주파수는 253 ~ 274 MHz 영역이었다. 이는 영자기장에서 관찰된 주파수와 비슷하다.

마찬가지로 다시 c-축에서 ab-평면으로 돌렸을 때, 공명주파수가 증가하다가 ab-평면에 자기장이 가하여졌을 때, 295 ~ 302 MHz 영역에서 신호가 나왔다.

4. 고찰

자기장을 가하였을 때의 스펙트럼을 영자기장 스펙트럼과 비교하여, 각 상황에서 자기장과 자기모멘트 사이의 각도를 계산하였다. 자기장을 ab 평면으로 가하였을 때, Mn^{2+} 모멘트는 자기장과 거의 평행하였고, Mn^{3+} 모멘트는 자기장과 120도의 각도를 이루었다. 이는 이 물질이 야펫-키텔 타입의 스핀구조를 가질 것이라는 기존의 보고와 일치한다. 자기장을 c -축으로 가하였을 때, Mn^{2+} 모멘트와 자기장 사이의 각도는 65도 정도이고, Mn^{3+} 모멘트와 자기장 사이의 각도는 87도였다. K. Dwight는 강한 단축 이방성 때문에, Mn^{3+} 모멘트들이 c -축 방향으로 서 있고, 자기장을 어떤 방향으로 가하더라도, Mn^{3+} 모멘트가 c -축과 이루는 각도가 많이 변하지 않을 것이라는 추측을 하였다. K. Dwight의 예상대로라면 c -축으로 자기장을 가하였을 때, Mn^{3+} 핵자기공명 신호는 영자기장 신호를 중심으로 각각 수십 MHz 정도 위, 아래로 떨어진 영역에서 핵자기공명 신호가 나와야 한다. 그러나 실험은 이와 대조적으로 영자기장 근처에서 신호가 관찰된다. 그리고 이 실험결과는 Mn_3O_4 가 강한 단축이방성 대신 Mn^{3+} 의 ab -평면에 평면이방성을 가지는 것을 의미한다. 그렇기 때문에 c -축으로 자기장을 가하더라도 Mn^{3+} 모멘트가 ab -평면에 있게 되는 것이다.

또한, 우리는 자기장을 ab -평면에서 c -축으로 돌렸을 때, 자기장과 Mn^{2+} 모멘트 사이의 각도들을 이용하여 Mn^{2+} 의 이방성 상수와 Mn^{2+} - Mn^{3+} 교환상호작용상수의 관계를 구하였다. 이 두 관계는 이방성 에너지, 전자지만 에너지, 교환상호작용 에너지로 이루어진 총 자기계의 토크의 평형으로부터 도출되었다. Mn^{2+} - Mn^{3+} 교환상호작용에 의하여 발생된 토크와 Mn^{2+} 의 단축이방성에 의하여 발생된 토크는 서로 반대방향으로 작용하는데, 이 두 토크들의 합과 전자지만효과에 의하여 발생된 토크가 균형을 이루어서 Mn^{2+} 의 각도가 결정된다. 그런데, 전자지만효과에 의하여 발생된 토크는 고정되어 있으므로, Mn^{2+} 의 단축이방성과 Mn^{2+} - Mn^{3+} 교환상호작용이 발생시키는 두 토크의 합이 같은 조건들에서는 Mn^{2+} 모멘트가 자기장과 이루는 각도가 모두 같아진다. 그렇기 때문에, Mn^{2+} 의 c -축 방향 단축이방성 상수가 증가할수록 Mn^{2+} - Mn^{3+} 교환상호작용 상수가 증가한다.

5. 결론

자기장을 ab -평면에 가하였을 때에, Mn^{2+} 모멘트는 자기장과 나란하고 Mn^{3+} 모멘트가 자기장과 120도의 각도를 이룬다, 이로부터, Mn_3O_4 가 이전의 예측처럼 야펫-키텔 타입의 스핀 구조를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, c -축으로 강한 자기장을 가하더라도 Mn^{3+} 의 평면이방성 때문에 Mn^{3+} 모멘트들이 모두 ab -평면상에 있고, Mn^{2+} 모멘트들은 Mn^{2+} - Mn^{3+} 교환상호작용 때문에 완전히 자기장에 나란해지지 않는 것으로 나타났다. 이로 인하여 총자화가 ab -평면에서만 포화되지 않는다. 이 때, Mn^{3+} 모멘트들을 ab -평면에 묶어두려고 하는 에너지를 자기장으로 환산하여 보면 적어도 25 테슬라일 것으로 계산되었다. 이에 대비하여, Mn^{2+} 의 이방성은 c -축 방향의 단축 타입을 가질 것으로 보이는데, Mn^{2+} 의 이방성 상수와 Mn^{2+} - Mn^{3+} 교환상호작용 상수의 관계를 구하여 제시하였다.

6. 참고문헌

- [1] K. Dwight, et, al. *Phy. Rev.* **119** 1470 (1960)
- [2] O. V. Nielsen *J. Phys., Paris* **32** suppl. 51-2 (1971)
- [3] O. V. Nielsen and L. W. Roeland, *J. Phys. C: Solid State Phys.* **9**, 1307 (1976)
- [4] T. Suzuki, et, al., *Phy. Rev. B* **77**, 220402 (2008)

Electron-Spin-Resonance study of Ball Milled $\text{BaTi}_{0.98}\text{Mn}_{0.02}\text{O}_3$ Nanocrystalline

P. Zhang*, T. L. Phan, Y. D. Zhang, D. Nanto, and S. C. Yu[†]

BK21 Physics Program and Department of Physics, Chungbuk National University, South Korea

[†] Corresponding author: scyu@cbnu.ac.kr

Due to its large band gap (around 3.2 eV), Barium titanate (BaTiO_3) was considered as not only an important ferroelectric and piezoelectric material, but also a good candidate for dilute magnetic semiconductors (DMS). Nakayama and Katayama Yoshida in 2001 theoretically predicted that ferromagnetic properties can be obtained by doping some TM ions such as Cr, Mn, and Fe in BaTiO_3 . Recently, Ferromagnetic properties in BaTiO_3 based materials have been reported by many research groups, leading to a bright prospect of application in spintronics devices in the future. However, the origin of ferromagnetic property is still controversial. It has been found that various energetically metastable defects strongly influence the charge carrier density, and the oxygen vacancies were also supposed to play a crucial role in ferromagnetism in DMS.

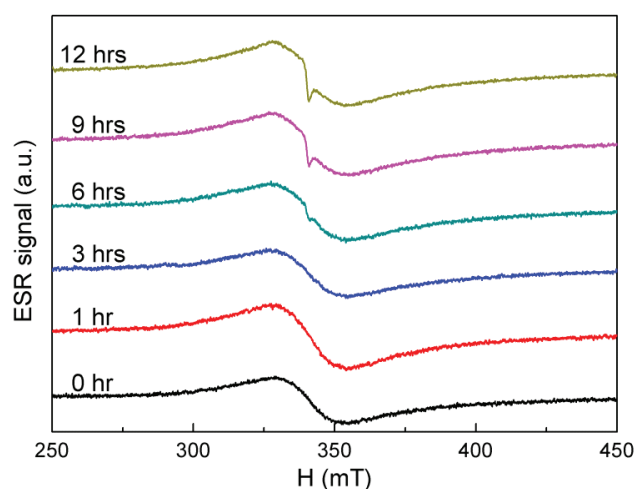


Fig. 1: Room-temperature ESR spectra of $\text{BaTi}_{0.98}\text{Mn}_{0.02}\text{O}_3$ with different milling times.

To discover the intrinsic ferromagnetic origin in BaTiO_3 system, electron-spin-resonance (ESR) study of ball milled BaTiO_3 with 2 at.% Mn doping polycrystalline ceramics was performed in this work. Samples were prepared from conventional solid reaction method with a sintering temperature of 1000 °C, then put into mechanical ball milling for various milling time of 1 hr, 3 hrs, 6 hrs, 9 hrs, and 12 hrs, respectively. The ESR measurement were carried out at 9.45 GHz (X-band) using a JEOL-TE300 ESR spectrometer. The Room-temperature ESR spectra were shown in Fig. 1. It is clear to see the two types of signal in the spectra, one is the broad linewidth signal which originate from the Mn ions incorporated into the Ti site of the BaTiO_3 host lattice, and they are considered as paramagnetic centers. The other one is the sharp peak located around 340 mT which was believed to be from the oxygen vacancy defects generated during the milling.

Development of Spontaneous Polarization of Epitaxial Iron-Excess Gallium Ferrite Thin Films

S. H. Oh^{1*}, R. H. Shin^{1,2}, J. H. Lee^{1,2}, W. Jo^{1†}, C. Lefevre³,
F. Roulland³, A. Thomasson³, C. Meny³, and N. Viart³

¹Department of Physics, Ewha Womans University, Seoul, Korea

²CNRS-EWHA International Research Center, Ewha Womans University, Seoul, Korea

³Institute of Physics and Chemistry of Materials of Strasbourg, UMR 7504 University of Strasbourg-CNRS, Strasbourg, 67043, France

[†] wmjo@ewha.ac.kr

1. Abstract

Iron-excess gallium ferrite, $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$ (GFO), is known to have room-temperature ferromagnetic phases and potentially exhibit ferroelectricity as well [1]. But, leaky polarization-electric field (PE) hysteresis curves of the GFO thin film are hurdle to prove its spontaneous polarization, in other words, ferroelectricity. One of the reasons that the GFO films have leaky PE hysteresis loop is carrier hopping between Fe^{2+} and Fe^{3+} sites due to oxygen deficiency. We focus on reducing conducting current by substituting divalent cations at Fe^{2+} sites. GFO thin films were grown epitaxially along *b*-axis normal to $\text{SrRuO}_3/\text{SrTiO}_3$ (111) substrates by pulsed laser deposition. Current density of the ion-substituted GFO thin films was reduced by 10^3 or more. Ferroelectric properties of the ion-substituted GFO thin films were measured using macroscopic and microscopic schemes. In particular, local ferroelectric properties of the GFO thin films were exhibited and their remnant polarization and piezoelectric d_{33} coefficient were obtained.

2. Experiment

GFO thin films were deposited on $\text{SrRuO}_3/\text{SrTiO}_3$ (111) substrate by pulsed laser deposition at 750°C using a KrF excimer laser ($\lambda=248$ nm) with a 5 Hz repetition rate and a fluence of 3 J/cm^2 . By controlling concentration of the substituted ions, change of conducting current density was examined using a HP4145B semiconductor parameter analyzer. In addition, surface and ferroelectric properties of the GFO thin films were measured using scanning probe microscopy and piezoresponse force microscopy which is useful to obtain local polarization-electric field hysteresis curves.

3. Result and discussion

Preferential *b*-axis oriented growth of the ion-substituted GFO thin films was investigated by x-ray diffraction patterns. We measured I-V characteristics of the ion-substituted GFO thin film, which show a drastic decrease. Furthermore, we measured the temperature dependence of the I-V curves over a range of temperature from 300K to 400K. I-V curves were fitted on Schottky thermionic emission or Poole Frankel thermionic emission models. PE curves of the lowest conducting current GFO thin films were measured by microscopic and macroscopic schemes. Local PE curves using piezoresponce force microscopy (PFM) tool showed the potential ferroelectricity reversal of the ion-substituted GFO thin films by controlling conducting current.

4. Conclusion

The epitaxial GFO thin films were deposited with different concentration of the substituted ions. structure and electrical characteristics showed a clue of ferroelectric properties at room temperature.

5. Reference

- [1] M. Trassin, N. Viart, G. Versini, S. Barre, G. Pourroy, J. Lee, W. Jo, K. Dumesnil, C. Dufour and S. Robert, J. Mater. Chem, 19, 8876-8880 (2009)

선택산화 된 Fe-Al 분말코어의 자기특성

Magnetic Properties of Selective Oxidation Fe-Al Powder Core

신승찬*, 장평우

청주대 이공대학 물리학과

1. 서론

연자성 재료는 외부자장의 방향전환에 따라 자화반전이 쉽게 일어나는 보자력이 낮은 자성재료를 말한다. 현재 연자성 재료인 철에 알루미늄(Al), 실리콘(Si) 등을 첨가한 철계합금분말코어는 전기, 전자 및 자성소자의 재료로 널리 사용되어진다. 본 연구에서는 이러한 철계합금분말 중 Fe-Al 분말을 이용하여 Al를 선택적으로 산화시킴으로서 고품위 절연층을 형성시켜 기존의 Fe-Al 분말코어의 품질을 극대화하기 위함이다.

2. 실험방법

아토마이징 방법으로 제조된 입자의 크기가 106 μm 이하인 Fe-Al 분말을 수소와 수증기 혼합기체 분위기에서 열처리하여 알루미늄만 선택산화를 시켰다. 열처리 된 분말을 고체윤활제를 첨가하여 압력식 프레스로 1206 MPa의 압력으로 냉간 성형하여, 외경 12.7mm, 내경 7.6 mm, 높이 3.7 mm의 트로이드형 코어를 제작하였다. 압축성형 후, 800 $^{\circ}\text{C}$ 의 고순도 질소 분위기에서 분말코어를 열처리 하였다. 그리고 분말코어를 호마이카로 코팅하여 훼손의 위험성을 최소로 한 후 특성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구를 진행하기 전에 Fe-Al 박막을 이용하여, 선택산화 연구를 진행한 결과 선택산화가 됨을 확인하였다. 그림 1은 선택산화 열처리 전후의 Fe-Al분말의 함량별 표면 형상을 나타낸 사진이다. 그림 1(a), (b), (c)는 열처리 하지 않은 Fe-Al 분말의 주사현미경사진이며, 그림 1(d), (e), (f)는 이슬점이 -17 $^{\circ}\text{C}$ 인 수소-수증기 혼합기체를 이용하여 200분간 열처리한 주사현미경사진이다. 보이는 바와 같이 선택산화 열처리 후, 분말 표면에 산화물로 추정되는 것을 확인할 수 있다.

그림 2는 Fe-Al 분말에 고체절연체의 유무에 따른 선택산화(A코어, B코어)와 수소열처리(C코어, D코어)를 한 분말코어의 투자율로서 각각 50, 54, 50, 79이다.

그림 3은 0.1T의 조건으로 50 kHz의 주파수에서 코어손실을 측정한 것으로 각각 1554, 5694, 1071, 1373 mW/cc이다. 측정한 결과 이는 본 연구진이 예상과는 반대로 선택산화 한 A, B코어보다 수소에서 열처리한 C, D코어의 손실이 작다. 이는 선택산화 되기 전 수소-수증기 혼합기체로 인하여 낮은 온도에서 Al_2O_3 가 생성되기 전 Fe_3O_4 가 먼저 생성되어 코어손실이 커진 것으로 보여 진다.

이에 따라 Fe-Al 분말의 선택산화에 대한 연구를 여러 조건의 분말코어로 제작하여 연구를 진행 해볼 필요성이 있다.

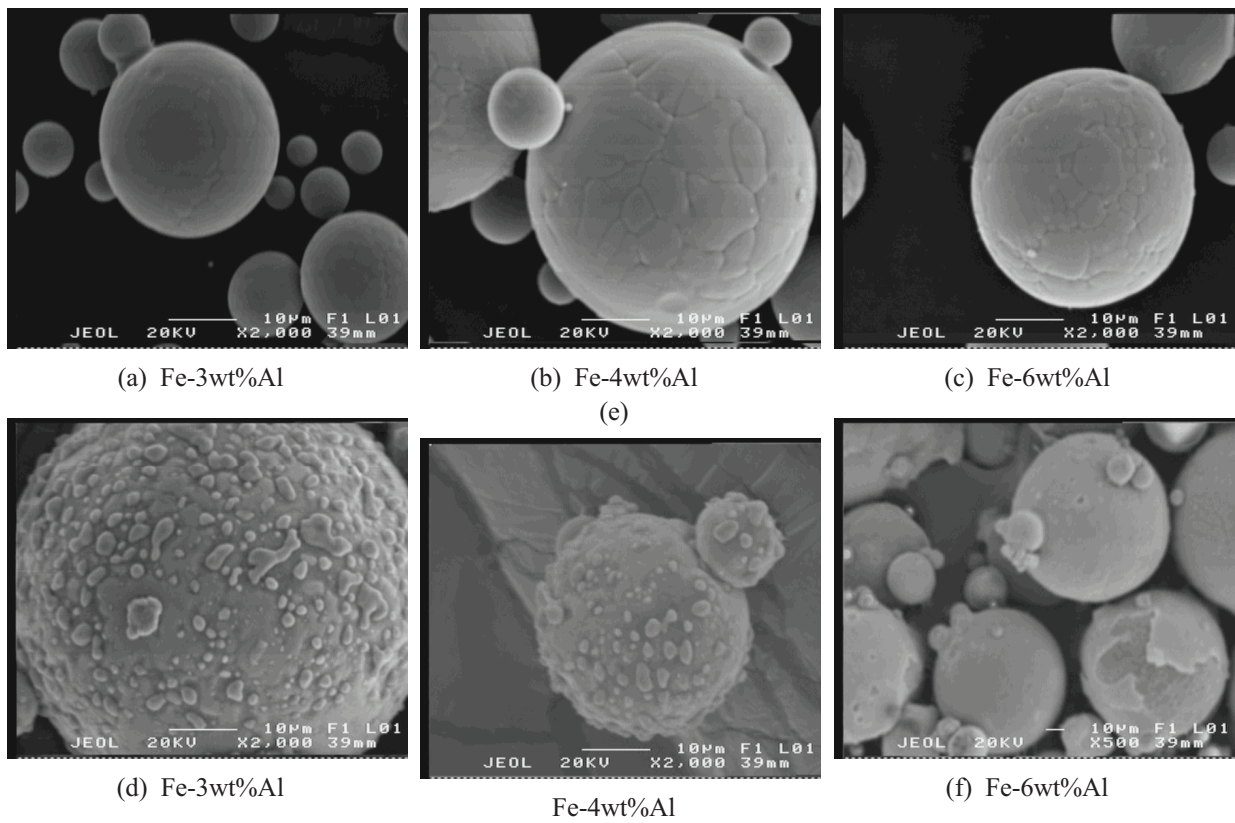


Figure 1. Image of the SEM powder of Fe-Al before and after the Selective Oxidation

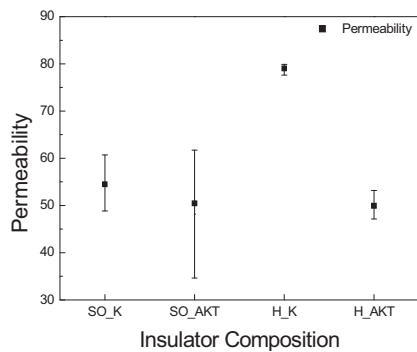


Figure 2. Permeability of the core Fe-Al powder

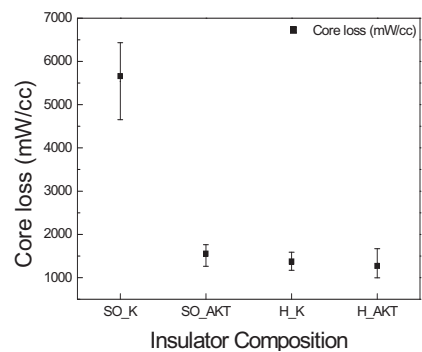


Figure 3. The core loss of Fe-Al powder cores

4. 참고문헌

- [1] Richard E. Grace and Alan U. Seybolt, J. Electrochemical Society, 105(10), 582, 1958

고주파수 소자용 $\text{Ba}_2\text{Co}_{1.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ 의 자기적 특성 연구

조광래*, 이찬혁, 윤성욱, 강주홍, 고태준, 김철성

국민대학교 물리학과, 서울 136-702

1. 서론

최근, 무선 기기의 발달로 사용 주파수 대역이 점차 높아지고 있으며, RF 소자의 소형화를 위하여 투자율과 유전율을 동시에 가진 소재에 대하여 연구가 진행 중이다. 대표적인 소재인 입방정 페라이트의 경우 수백 MHz 대역에서 우수한 특성을 보이나, 공명 주파수가 GHz 보다 낮으므로 사용할 수 없다. 육방정 페라이트의 경우, 상대적으로 자기이방성에 의한 높은 공명 주파수를 가지고 있으므로 GHz 대역에서 사용이 가능[1,2]하다. Co 기반의 Y-type Barium ferrite는 높은 자기이방성으로 사용 영역이 넓으나, 투자율이 상대적으로 낮은 단점이 있다. 이에 따라서 Zn를 Co 위치에 1/5 치환하여 Co로 인한 높은 자기이방성을 크게 감소시키지 않고 GHz 대역에서 투자율을 증가시켜 RF 소자로써의 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

습식분쇄를 통한 직접 합성법을 통하여 Y-type 육방정 페라이트인 $\text{Ba}_2\text{Co}_{1.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ 시료를 합성하였다. 출발물질로는 BaCO_3 , Co_3O_4 , ZnO , Fe_2O_3 를 사용하였으며, ball mill을 통하여 증류수와 혼합 후 24 시간 동안 분쇄하였다. 1000 °C에서 하소한 뒤, PVA를 1 wt% 혼합하여 toroids 형태로 압축 성형한 후에 1050~1200 °C의 다양한 온도에서 소결하였다. 제조 조건에 따른 자기적 특성의 변화를 입도 분석기, x-선 회절(XRD), 전자현미경(SEM), 진동자화율 측정기(VSM), 그리고 회로망 분석기(network analyzer)를 통하여 단계별로 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

분쇄 시간에 따라 입도는 선형적으로 감소하였으며, 24 시간 동안 분쇄하여 약 0.63 μm 의 평균 입도를 나타내었다. XRD 결과, 하소 과정에서 Spinel상과 M, Y-type 상이 혼재되어 생성 후 소결 과정에서 Y-type 상이 단계별로 형성되는 것을 확인하였으며, R3m의 공간군을 갖는 hexagonal 구조로 확인되었다. 소결 온도가 증가할수록 포화 자화 값과 투자율은 증가하였으며, 보자력은 감소하였다. 이는 소결 온도에 따라서 입자의 크기가 커지고, 자벽 이동에 방해가 되는 내부의 기공이 감소하는 것에 따른 것이라 판단된다. 이는 수축률과 밀도의 변화로 확인할 수 있다. Zn 치환에 따라 투자율이 증가하여 1 GHz에서 모두 2.5 이상의 투자율을 보였으나, 소결 온도가 올라감에 따라 손실 ($\tan \delta$)도 증가하였다. GHz 대역에서 투자율과 유전율을 동시에 가지고 있으며, 수 GHz 이상의 높은 공명 주파수가 측정됨으로써 GHz 대역 RF device로써 응용 가능성을 확인하였다.

4. 참고 문헌

- [1] Y. Bai, J. Zhou, Z. Gui, Z. Yue, and L. Li, J. Magn. Magn. Mater. 264, 44 (2003).
- [2] J. Lee, Y. -K. Hong, S. Bae, J. Jali, G. S. Abo, J. Park, W. -M. Seong, S. -H. Park, and W. -K. Ahn, J. Appl. Phys. 109, 07E530 (2011).

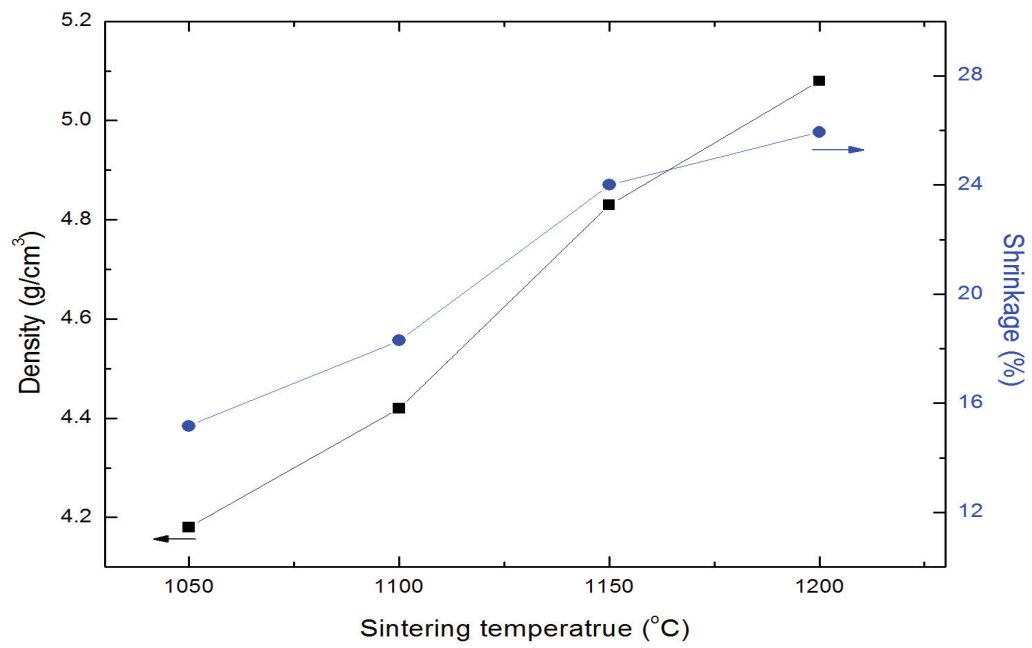


Figure 1. Density and shrinkage as a function of sintering temperatures for $\text{Ba}_2\text{Co}_{1.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ toroidal samples.

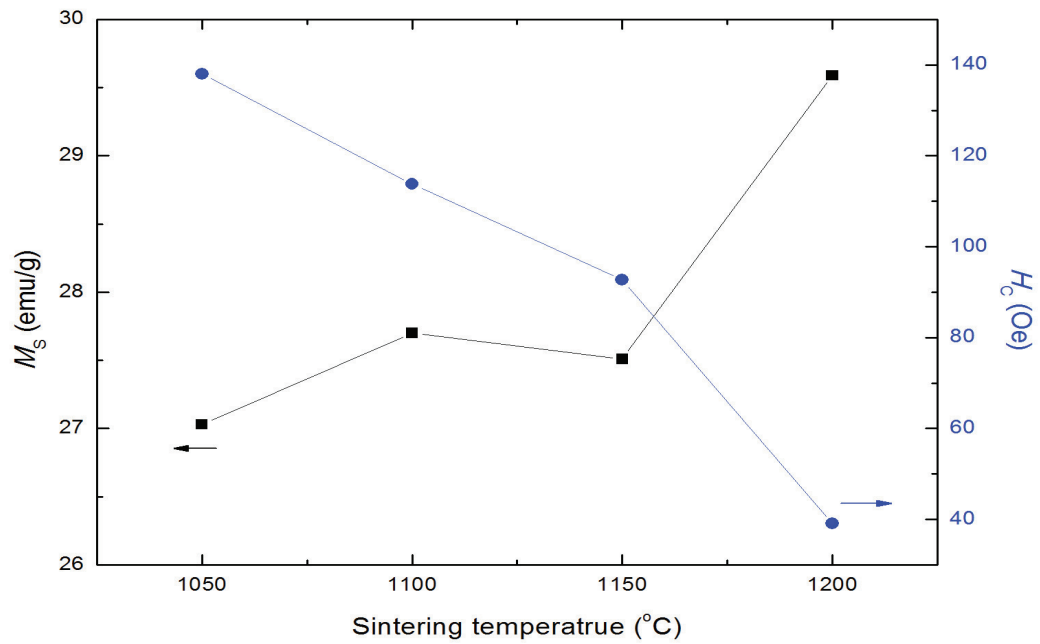


Figure 2. Saturation magnetization and coercivity at room temperature as a function of sintering temperatures for $\text{Ba}_2\text{Co}_{1.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ toroidal samples.

Zn가 치환된 $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ 의 자기적 특성 연구

임정태*, 원미희, 이용혜, 현성욱, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

최근 Y-type hexa ferrite는 GHz 대역의 고주파소자용 ferrite 소재와 Magnetoelectric effect(ME effect)에 의한 multiferroic 물질로 활발히 연구되고 있다. Y-type hexa ferrite의 기본 구조는 S block과 T block의 층으로 구성되어 있으며, 이 block들은 6개의 부격자 (3bVI, 6cVI, 18hVI, 3aVI, 6cIV*, 6cIV)로 구성되어 있고, 전이금속과 Fe 이온의 부격자 점유도가 스핀 구조 및 자기적 특성에 직접적으로 관련되어 있다. 따라서, 뫼스바우어 분광법을 통한 각 부격자의 점유도와 Fe 이온의 초미세 자기장과 같은 미시적인 자기적 특성의 이해가 중요하다. 본 연구에서는 $\text{Ba}_2\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0, 0.5$) 물질의 Co자리에 미량의 Zn를 치환하여 결정구조 및 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

Y-type 육방정 페라이트인 $\text{Ba}_2\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0, 0.5$) 조성의 다결정 분말 시료는 직접합성법(solild-state reaction method)으로 제조하였다. 출발물질로는 순도가 99.99 % 이상의 BaCO_3 , Fe_2O_3 , CoO , ZnO 를 사용 하였고, 마노를 이용하여 혼합, 분쇄하였다. 혼합물을 1000 oC에서 10시간 동안 하소하였고, 하소 한 시료를 1050 °C에서 1차 소결을 하였다. 2 °C/분으로 1100 °C까지 승온하여 2차 소결 후 단일상의 $\text{Ba}_2\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0, 0.5$)를 합성하였다. 단일상의 $\text{Ba}_2\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0, 0.5$)의 결정학적 특성을 확인하기 위하여 Cu-K α 선에 의한 X-선 회절 실험(XRD)을 하여, Rietveld 방법으로 분석하였다. 거시적인 자성특성을 측정하기 위해서 진동 시료 자화율 측정 장치(VSM)를 이용하여 295 K에서 자장에 따른 자화율 변화를 측정하였고, 100 Oe 외부 자기장을 인가하여 4.2 K부터 740 K까지 온도에 따른 자화율 변화를 측정하였다. 또한, 뫼스바우어 분광기를 통해 4.2 K부터 750 K까지 다양한 온도 구간에서 미시적인 자기적 특성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

직접합성법으로 제조된 단일상의 $\text{Ba}_2\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0, 0.5$) 시료는 Fullprof 컴퓨터 분석프로그램을 이용하여 Rietveld 정련법으로 분석되었으며, 분석 결과 공간군이 $R3m$ 인 rhombohedral 구조로 확인되었다. 분석구조 인자(RB)와 Bragg 인자(R_F)은 5 % 미만으로 단일상임을 확인하였다. 격자상수는 각각 $x = 0$ 일 때 $a_0 = 5.86 \text{ \AA}$, $c_0 = 43.54 \text{ \AA}$ 이고, $x = 0.5$ 일 때 $a_0 = 5.87 \text{ \AA}$, $c_0 = 43.56 \text{ \AA}$ 이었다. 295 K에서 10 kOe까지의 initial 곡선과 자기이력곡선을 측정한 결과, 준강자성 거동을 나타내었다. $\text{Ba}_2\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0, 0.5$)의 포화 자화(M_s) 값은 각각 $M_s = 29.1, 38.1 \text{ emu/g}$ 로 측정되었다. Zn가 치환 될수록 M_s 의 증가는 Zn가 down spin-site에 치환 된 것으로 예상된다. 또한, 100 Oe 외부 자기장을 인가하여 측정된 온도에 따른 자화 곡선에서는 200 K 부근에서 나선형 스핀구조에서 준강자성으로 스핀 전이와, 600 K 부근에서 준강자성에서 상자성으로 스핀 전이가 나타났다. 4.2 K부터 750 K까지 뫼스바우어 분광 실험 결과, 퀴리온도 이하에서 3bVI, 6cIV*, 6cVI, 18hVI, 6cIV, 3aVI 부격자는 6-Sextet 의 스펙트럼으로 측정 되었으며, 분석된 이성질체 이동치를 통하여 모든 부격자에서 Fe^{3+} 상태로 존재함을 확인하였다.

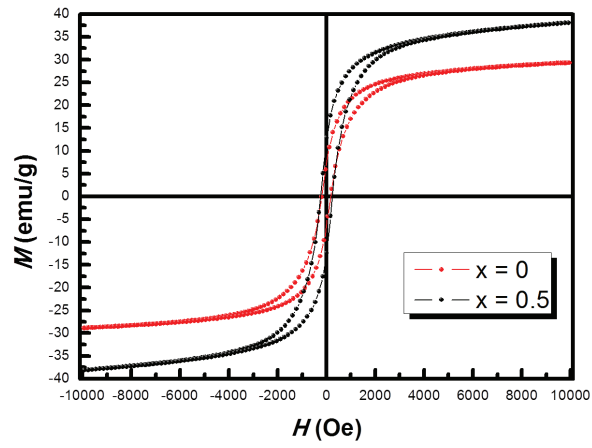


Fig. 1. Magnetization curve of the $\text{Ba}_2\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0, 0.5$) at 295 K

참고문헌

- [1] S. Ishiwata, Y. Taguchi, H. Murakawa, Y. Onose, and Y. Tokura, Science 319, 1643 (2008).
- [2] H. B. Lee, Y. S. Song, J. H. Chung, S. H. Chun, Y. S. Chai, K. H. Kim, M. Reehuis, K. Prokes, and S. Matas, Phys. Rev. B 83, 144425 (2011).

자기소용돌이 회전 운동 시 쌍극자-결합된 원판형 자성 박막간 에너지 전달 속도 및 에너지 감쇠

김지혜^{1*}, 이기석^{1a)}, 정현성¹, 한동수¹, 김상국¹

¹서울대학교 재료공학부 스핀과 동역학 소자 연구단, 서울특별시 관악구 관악로 1, 151-744

^{a)}현 주소: 울산과학기술대학교 기계신소재공학부, 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 689-798

1. 서론

최근 자기소용돌이 핵의 회전운동을 이용한 새로운 정보신호전달 방법이 연구되고 있다[1-3]. 이 방법은 신호 전달 시 에너지 손실이 적어 고효율의 정보신호전달을 가능케 할 것으로 기대된다 [2,4]. 본 연구에서는 정보처리소자의 중요한 기술적 요인인 에너지 전달 속도, 에너지 손실과 물질 상수 및 박막의 구조인자 간의 상관관계를 수식적으로 도출하고, 이를 미소 자기 전산모사(micromagnetic simulation)를 통해 확인하여 최적화된 모델을 제공하고자 한다.

2. 실험 및 계산방법

본 연구를 위하여 Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG)의 방정식을 기반으로 한 OOMMF 코드를 사용하여 미소자기 전산모사를 수행하였다[5]. 물리적으로 떨어진 두 원판형 자성박막의 구조인자 및 물질상수와 에너지 전달 속도, 에너지 손실과의 상관관계를 확인하기 위해 다음과 같은 구조인자를 주어진 범위 안에서 변화를 주었다. (반지름: 61.5~243 nm, 두께: 7.5~40 nm, 고유 감쇠 상수(α) 0.005~0.05, 포화 자화값(M_s):퍼말로이($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$)포화 자화값 대비 0.6~1.4). 또한 위와 같은 구조에서, 자기소용돌이 핵의 동적 거동 유발을 위해 자기장을 한쪽 원판에만 국부적으로 인가하여 자기소용돌이 핵을 원판 중심으로부터 벗어나게 한 후 자기장을 제거하였다.

3. 결과 및 논의

본 연구에서는 에너지 전달 속도 및 에너지 감쇠 상수를 수식으로 도출하였다. 그 결과, 에너지 전달 속도가 두 개의 원판형 박막 간 상대적 핵의 수직 자화 성분과 포화 자화량, 박막의 반지름-두께 비율, 박막 간 거리에 의해 결정되며 에너지 손실이 반지름, 두께, 고유 감쇠 상수와 포화 자화량에 의해 결정됨을 확인하였다. 이는 미소자기 전산모사 결과와 전반적으로 일치한다는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구를 통해 쌍극자-결합된 두 자기소용돌이에서의 에너지 전달 속도, 에너지 손실과 자성박막의 구조인자 및 물질상수와 관계를 밝혀냈다. 본 결과에 따르면 에너지 전달 속도는 핵의 반 평행한(antiparallel) 수직 자화 배열을 가지며, 박막의 반지름-두께 비율이 작고, 포화 자화량이 클수록 증가하며 에너지 손실은 박막의 두께, 고유 감쇠상수 및 포화 자화값이 작을수록 감소한다. 이러한 연구 결과는 자기소용돌이 핵의 회전운동을 이용한 정보처리소자 개발 시 신호 전달속도 및 에너지 손실에 대한 최적화된 모델을 제공한다는 측면에서 의의가 있다.

5. 참고문헌

- [1] H. Jung, Y.-S. Yu, K.-S. Lee, M.-Y. Im, P. Fischer, L. Bocklage, A. Vogel, M. Bolte, G. Meier, and S.-K. Kim, Appl. Phys. Lett. 97, 222502 (2010).
- [2] H. Jung, K.-S. Lee, D.-E. Jeong, Y.-S. Choi, Y.-S. Yu, D.-S. Han, A. Vogel, L. Bocklage, G. Meier, M.-Y. Im, P. Fischer, and S.-K. Kim, Sci. Rep. 1, 59; DOI:10.1038/srep00059 (2011).
- [3] S. Barman, A. Barman, and Y. Otani, IEEE Trans. Magn. 46, 1342 (2010).
- [4] A. Vogel, T. Kamionka, M. Martens, A. Drews, K. W. Chou, T. Tyliczszak, H. Stoll, B. Van Waeyenberge, and G. Meier, Phys. Rev. Lett. 106, 137201 (2011).
- [5] We used the OOMMF code. See <http://math.nist.gov/oommf>.

본 연구는 2012년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 창의적 연구 진흥 사업 지원을 받아 수행된 것임. (No. 20120000236)

자기소용돌이 배열을 이용한 XOR 논리연산의 실험적 구현

정현성^{1*}, 최윤석¹, 한동수¹, 유영상¹, 이기석¹, 임미영², Peter Fischer², 김상국¹

¹서울대학교 재료공학부 스핀과 동역학 소자 연구단, 서울특별시 관악구 관악로 1, 151-744

²로렌스 버클리 국립 연구소 X-선 광학 센터, 버클리 94720, 미국

1. 서론

최근 자기소용돌이 형상을 갖는 패터닝 된 자성체 사이에 자기소용돌이 핵의 회전 운동을 이용한 정보전달 방법이 실험적으로 관찰되었다[1-3]. 본 연구에서는 자기소용돌이의 움직임에 의한 표유자계(stray field)를 제어함으로써 전산 모사를 통해 OR 및 XOR 논리연산을 설계하고 XOR 연산 작동을 자기 X-선 투과현미경(magnetic transmission soft x-ray microscopy)을 이용해 관찰하였다.

2. 연구 방법

OOMMF 코드[4]를 이용한 미소자기동역학 전산모사와 초미세 시공간분해능(25 nm 공간분해능, 70 ps 시간분해능)을 갖는 자기 X-선 투과현미경을 이용한 시각화 방법[5]이 사용되었다. 논리연산의 구현을 위해 세 개의 자기소용돌이 형상의 퍼멀로이($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$)원판을 일렬로 배열하였다. 연산 단위는 논리신호 입력 역할을 하는 양 단의 원판(원판 1, 3)과 출력의 역할을 하는 중앙의 원판(원판 2)으로 구성되며 자기소용돌이의 회전운동의 유/무로 신호의 켜짐('1')/꺼짐('0')을 판단한다. 자기소용돌이 회전운동의 입력을 위해 원판 1 혹은 3에 공명 진동수를 갖는 교류 자기장을 인가하여 저전력으로 신호를 발생시켰다. 실험에서는 양 단의 원판 위에 원판 지름보다 좁은 너비를 갖는 도선을 구성함으로써 국부적인 자기장 발생을 가능케 하였다. 충분한 시간 분해능을 얻기 위해 펄스-프로브 법을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

두 입력 원판의 핵의 수직자화 방향이 동일할 때, 두 원판에 동시에 신호를 인가할 경우 ('11') 입력 원판 1과 3에서 자기소용돌이 핵의 운동이 크게 관찰 되는 반면 원판 2에서는 자기소용돌이 핵의 운동이 관찰되지 않는다(출력 '0'). 반면 원판 1이나 3 중 어느 하나에만 신호를 인가한 경우 ('10' 혹은 '01') 원판 2에도 자기소용돌이 핵의 운동이 관찰된다(출력 '1'). 이 때의 핵의 운동은 인접한 원판과의 상호 작용에 의해 발생한 것이다. 이러한 입출력 관계는 XOR 논리함수로 표현된다. 반면 두 입력 원판의 핵의 수직자화 방향이 상이할 때는 입력 신호가 하나 이상 존재하는 경우 출력 원판 2에 핵의 운동이 발생하고 이는 OR 논리함수로 표현된다. 두 경우의 차이를 분석하기 위해 입력 원판의 자기소용돌이 핵의 움직임에 의해 발생하는 표유자계의 벡터 합을 고려하였다. 원판 2의 핵의 운동이 일어나지 않는 경우 유효 표유자계의 크기는 거의 0 이며 방향 또한 정확히 대칭을 이룬다. 반면 대칭성이 깨지는 경우 유효 표유자계의 크기는 0이 아니며 시간에 따라 방향이 특정 진동수를 가지고 변화하는 형태로 나타나게 되어 원판 2에서 자기소용돌이 핵의 운동이 발생하게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 자기소용돌이 핵 회전운동의 공명 현상과 자기소용돌이 형상을 지닌 디스크 간의 상호작용을 이용하여 프로그램이 가능한 OR/XOR 논리연산을 설계하였으며 전산모사 및 실험을 통해 관찰하였다. 본 연구 결과는 자기소용돌이 배열을 이용한 신개념 논리소자 개발의 토대를 제공한다.

5. 참고문헌

- [1] H. Jung et al., Appl. Phys. Lett. 97, 222502 (2010); H. Jung et al., Sci. Rep. 1, 59; DOI:10.1038/srep00059 (2011).
- [2] S. Barman et al., IEEE Trans. Magn. 46, 1342 (2010); A. Voget et al., Appl. Phys. Lett. 99, 042506 (2011).
- [3] A. Vogel et al., Phys. Rev. Lett. 106, 137201 (2011); S. Sugimoto et al., Phys. Rev. Lett. 106, 197203 (2011).
- [4] M. Donahue and D. Porter, OOMMF User's Guide, Version 1.0., Interagency Report NISTIR 6376, National Institute of Standards and Technology (1999).
- [5] P. Fischer, AAPPS bulletin, 18(6), 12 (2008).

이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20120000236). X-선 현미경의 운영은 the Director, Office of Science, Office of Basic Energy Sciences, Materials Sciences and Engineering Division, U.S. Department of Energy, (contract no. DE-AC02-05-CH11231)에 의해 지원되었음.

Induction Coupling을 이용한 근거리 비접촉 전력전송기기의 개발

김진성^{1*}, 박관수¹

¹부산대학교

1. 서론

전력기기 사용 증가로 기존 전력공급 방식인 전선을 대체 할 수 있는 무선전력전송이 대두 되고 있다. 하나의 기기에 하나의 전선을 사용하여 전력을 공급던 기존 방식은 많은 수의 전력기기를 사용할 경우 그와 비례한 전선사용 증가로 공간이 협소하거나 전원 콘센트가 부족한 경우 불편함이 따른다. 무선전력전송은 공간적 제약을 대체하여 사용 할 수 있다.

무선전력전송 방식은 전자파방식, 자기공명방식, 전자기유도방식으로 나눌 수 있다. 전자파 방식은 수km 거리 까지 전력전송이 가능하나 효율이 제일 떨어진다. 자기공명방식은 수m 거리까지 전력전송이 가능하나 정확한 공명주파수에 맞춰 전력을 전송해야 하기 때문에 응용에 여러 가지 제약이 따른다. 전자기유도방식은 수mm 근거리 사용에 적합하고 대용량의 전력을 전송 할 수 있기 때문에 대형기기에 적합한 방식이다.

본 연구에서는 산업용기기의 구동에 필요한 전력 공급 배터리를 충전하기 위한 기기를 개발하였다. 열악한 구동환경으로 인하여 기존 전력전송방식을 사용할 수 없는 경우를 대체하기 위해 수mm 거리를 가지는 자기유도방식 비접촉전력전송기기를 개발하였다. 기기의 설계는 장하분배법을 이용하였으며 설계된 기기를 2차원, 3차원 유한요소법으로 해석하여 그 적합성을 판단하고 설계치를 보정하였다.

2. 실험방법

용량에 비례한 전기장하로 코일의 권선 수 및 굵기를 설계하고 자기장하를 이용하여 코어의 크기 및 재질을 설계하였다. 기기의 크기는 제한된 공간 안에 장착되기 때문에 전체 크기를 제한 조건으로 설정하여 설계를 진행하였다. 설계된 기기의 2차 측에 발생하는 유기전력을 계산하기 위해 2차원 및 3차원 유한요소 해석 프로그램 사용하여 계산하였다. 해석 프로그램을 통해 2차측에 전달되는 자속의 크기를 계산하고 자속의 크기를 통해 권선수와 주파수 비례식을 사용하여 2차 코어에 유기되는 전압을 계산하였다.

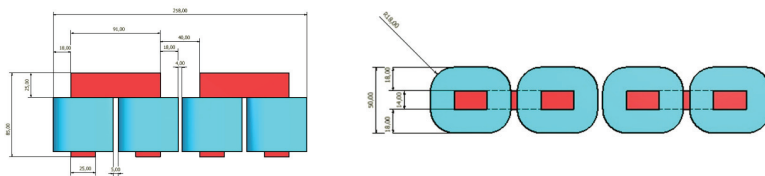


Fig 1. Schematic of non-contact power transfer machine

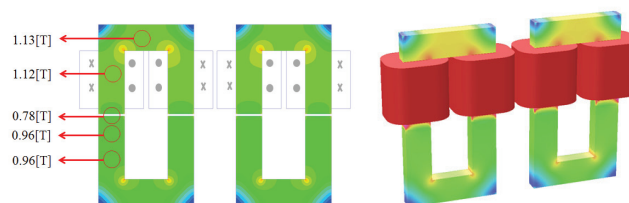


Fig 2. Magnetic flux density using the FEM 2D, 3D analysis

유한요소해석을 통해 설계된 기기의 시제품은 220V 60Hz 전원에 연결하여 출력 전압과 전류 그리고 등가 회로 작성을 위한 저항, 인덕턴스를 측정하고 계산하였다.

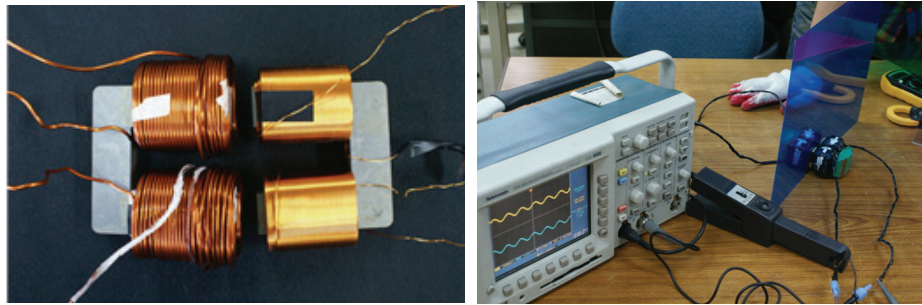


Fig 3. Measurement system of non-contact electric power transfer machine.

3. 실험결과

유한요소 해석으로 설계시 고려했던 코일의 권선 수를 증대 시켜야 한다는 결과를 얻었으며 시제품 실험과 거의 유사하게 2차측에 유기전압이 발생됨을 확인하였다.

Table 1. Comparison of the design variable.

	N_1 (turns)	N_2 (turns)	Φ_2 ($\times 10^{-4} \text{Wb/m}^2$)	E_2 (Vrms)	Core cross-sectional area (mm^2)
gap flux	692	88	12.02	28.18	38 \times 22
1.1 T	2484	350	3.354	28.71	25 \times 14

4. 고찰

자기누설 등 손실에 의한 추가 코일 권선 수를 유한요소해석을 통해 알 수 있었다. 시제품 부하시험 시 발생하는 전압변동률의 원인의 분석과 보정 방법을 연구할 필요성이 있다. 공극에 길이에 따라 2차 코어에 발생하는 전압이 달라지기 때문에 일정공극을 유지시키는 기계적 요소도 중요하다.

5. 결론

본 논문을 통해 근거리에 사용되는 비접촉 전력전송기기를 개발하였다. 기존 전선으로 공급하는 방식이 적합하지 않은 환경에 사용될 수 있도록 개발하였다. 장하분배법으로 설계를 하고 유한요소해석과 시제품 실험을 통해 적합성을 보였다.

6. 참고문헌

- [1] William C. Brown, IEEE Trnas. Micro. 30, 1230 (1984).
- [2] Gyu-Tak Kim, Gyu-Hong Kang, Tae-Hee Choi, Trans. Kiee. , 42, 1 (1993)
- [3] Charles I. Hubert, Electric Machines, Prentice Hall, , (2003), 46-48.
- [4] P.Morin, R.H.Nochetto, K.G.Siebert, SIAM, 44 631~658, (2002).
- [5] Kausumi Yamazaki, IEEE Trans. Energy Conversion, 14, 698-703 (1999)
- [6] Grigore Alexandru Cividijian, IEEE Trans. Magn, 45, 694-700 (2009)
- [7] Massimo Barcaro, Nicola Bianchi, IEEE Trans. Magn, 46, 121-126 (2010)

PFC프로세스 의한 Fe기 비정질 합금 스트립 제조 시 비정질 형성능과 표면조도에 미치는 영향

최영진^{1*}, 장세종¹, 김상욱¹, 전병서¹, 전현준², 김용찬², 남궁 정², 송창빈¹

¹공주대학교

²포항산업과학연구원 비정질 연구단(RIST)

최근 전기에너지 소비의 주체가 되고 있는 각종 IT제품 및 전기자동차(EV)에 대한 수요가 증가함과 동시에 고효율 전기에너지 절약형 소재개발의 중요성이 더욱 증대됨에 따라 “비정질 합금스트립 소재”가 주목되고 있다.

한편 이러한 비정질 합금스트립 소재의 최적의 제조법으로 알려진 PFC프로세스(Planar flow casting process)는 1980년 Narasimhan, M.C 등에 의해 최초로 개발된 이후, 현재 선진 몇 개국에서만 두께 30 μ m 정도의 200mm이상 광폭의 고품질 비정질 합금리본을 제조할 수 있는 기술 및 노하우를 보유하고 있는 상황이며, 비정질 합금스트립의 연자기적 특성은 합금스트립의 두께, 균질성 및 표면특성 등에 의존하므로, 그에 따른 제 공정기술에 관한 국내의 기술개발이 시급한 실정이다.

따라서 본 연구는 고품위 Fe기 비정질 합금스트립의 제조에 필요한 제공정 기술을 확보하기 위한 일환으로, 특히 PFC프로세스의 비정질 합금리본의 비정질 형성능과 표면제어에 미치는 영향 등을 주로 조사하였다.

Keywords : 비정질 합금(amorphous alloy), 급속응고(rapidly solidification), 단롤법(single roller process), PFC 프로세스(Pannar flow casting process), 합금리본(alloy ribbon)

스마트 그리드 디지털 전력량계용 갭 코어 제조

전병서^{1*}, 최영진¹, 최종식², 황영일², 송창빈[†]

¹공주대학교

²비전테크놀로지

“지능형 전력망” 스마트 그리드(Smart Grid)는, 현재 “발전-송전-배전-소비자”의 단계로 이루어지던 기존의 단방향 전력망 시스템과는 달리 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화할 수 있음은 물론, 풍량과 일조량 등에 따라 전력생산이 불규칙한 풍력발전이나, 태양광 발전 등과 같은 신재생에너지의 활용도를 높여 화력발전을 줄임으로써 이산화탄소 배출량을 줄여 환경문제 해소에도 일조할 수 있다.

한편 이러한 스마트 그리드 구축을 위해서는 다양한 전자기적 부품이 필요하며, 그들 부품 중에서도 전력량 계측용 변류기(Current Transformer, 이하 CT로 약한다.)는 핵심적인 전자부품으로서, 현재 국내·외에서 다양한 제품들이 개발되어 사용되고 있지만, 향후 스마트 그리드에 적용하기 위해서는 기존 제품의 특성 향상을 위한 기술개발은 물론, 특히 폭발적 수요 증가에 따른 제품의 원가절감을 위한 기술개발이 더욱 중요한 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구는 비교적 가격적으로 저렴한 방향성 규소강판을 이용하여 20(OD)*15(ID)*10(H) 토로이달 코어 제조, 열처리 및 갭 가공 등에 따른 물리적/전자기적특성 조사하였다.

Keywords: 스마트 그리드(smart gride), 변류기(Current transformer), 투자율(permeability), 포화자속밀도(saturation flux density), 자성 코어(magnetic core)

함정의 기동 각도별 소자 성능 예측

최낙선^{1*}, 정기우¹, 양창섭², 정현주², 김동훈¹

¹경북대학교

²국방과학연구소

1. 서론

함정에서 발생하는 함정 유도자기장은 영구자기장과 달리 함정이 경험하는 지자계의 크기 및 입사 방향에 따라서 영향을 받는다. 탈자 이 후, 잔류 영구자기장의 경우 고정으로 전류를 흘려 소자를 수행하면 되지만, 유도자기장 성분은 함정의 침로각에 따라 변하기 때문에 소자 코일에 흐르는 전류도 이에 대응하여 인가해야 최적의 소자가 이루어 질 수 있다.

선행 연구를 통해서 함정의 유도자기장 성분을 수직 성분(IVM), 횡축 성분(IAM), 종축 성분(ILM)으로 분리하여 분리된 신호로부터 기준이 되는 교정인자를 산출하는 알고리즘을 기 구축하였다. 본 논문에서는 이를 바탕으로 함정의 침로각에 따른 교정인자를 재산출하는 과정에 대해 논의한다. 함정 침로각 변화에 따른 교정인자의 재산출을 통해 항해정밀교정에 따른 소자 성능 예측이 가능하다. 3차원 정자기장 수치해석 기법을 이용하여 제안된 항해정밀교정 성능 예측 기법에 대한 검증을 수행하였다.

2. 실험방법

함정의 침로각에 따라 함정의 유도 자기장이 변하듯이 교정인자도 침로각의 변화를 반영하여야 한다. 함정 유도자기장의 선형성에 의해 IVM, IAM, ILM 신호로부터 함정의 침로각에 따른 함정 유도자기장을 해석적으로 예측하여 침로각에 따라 계산된 예측 자기장을 목표 신호로 정밀 교정인자 산출 알고리즘을 적용하면 이에 상응하는 교정인자를 구할 수 있다. 그러나 이는 매우 비효율적인 방법일 뿐만 아니라 실시간으로 변화하는 함정에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 함정 유도자기장의 선형성을 통한 유도자기장 예측과 같이 단순한 수학적 방식을 통해 교정인자를 재산출하는 기법이 필요하다.

교정인자는 특성상 함정 유도자기장의 변화에 대응하기 때문에 함정 유도자기장의 선형적인 변화를 활용하여 비교적 간단하게 교정인자를 계산할 수가 있다. 침로각에 따른 교정인자를 예측하기 위해서는 우선, 기준 성분인 IVM, IAM, ILM을 통해 기준 교정인자를 산출하고 이를 토대로 함정 유도자기장의 선형성과 동일한 방식으로 A 코일 교정인자, L 코일 교정인자에 침로각에 따른 \sin , \cos 형태의 보상인자를 곱해줌으로써 교정인자 재산출을 수행하게 된다. 표 2.1에 이와 관련된 자세한 수식을 제시하였다.

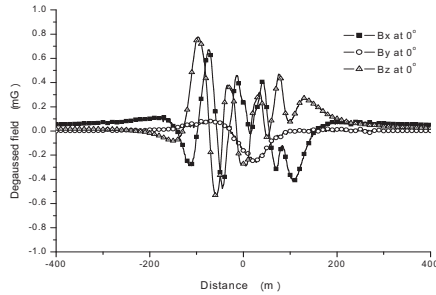
표 2.1 침로각에 따른 교정인자 계산

성분(침로각)	계산 수식
V 코일	기준 교정인자
A 코일	기준 교정인자 $\times \sin(\text{침로각})$
L 코일	기준 교정인자 $\times \cos(\text{침로각})$

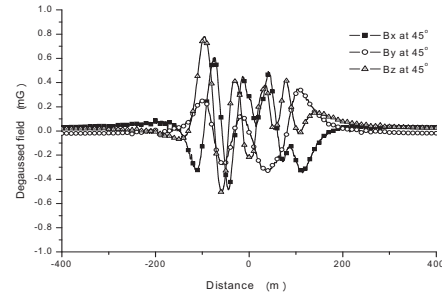
3. 실험결과

침로각에 따른 교정인자를 계산한 후 이에 일대일 대응하는 각각의 3차원 유한요소 해석 모델을 구축하였다. 구축된 유한요소 함정 모델은 데이터 취득을 용이하게 하고자 함정의 침로각에 따라 외부 자기장을 생성하는 코일에 편각과 복각을 할당하여 침로각에 따른 영향을 반영하였다. 함정의 침로각을 0도에서 90도까지 15

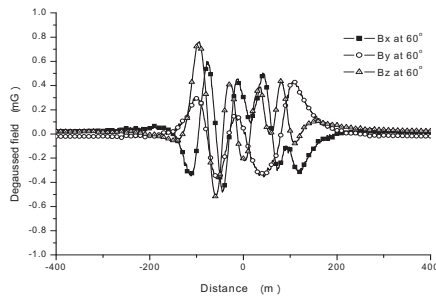
도씩 변화시키면서 표 2.1에 주어진 수식에 따라 침로각에 따른 교정인자를 V, A, L 코일 별로 계산하여 유한 요소 해석 모델에 적용하였다. 이 모델의 수치해석 결과로부터 항해정밀교정에 따른 소자 성능을 예측하였다. 아래 그림은 각각 0도, 45도, 60도, 90도의 소자 성능을 예측한 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 모든 침로각에서 1 mG 이하의 크기로 소자 성능이 우수하다.



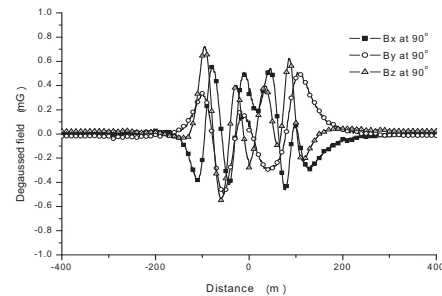
(a) 침로각 0°



(b) 침로각 45°



(c) 침로각 60°



(d) 침로각 90°

그림 3.1 침로각별 소자 성능

4. 결론

본 논문에서는 함정의 침로각에 따른 교정인자 재산출과 산출된 교정인자를 3차원 정자기장 수치해석에 적용하여 항해정밀교정의 성능을 검증하였다.

5. 참고문헌

- [1] 양창섭, “함정에서 발생하는 수중 전자기장 신호 특성 예측 기법”. 경북대학교 대학원, 2008.
- [2] John J. Holmes “Reduction of a Ship’s Magnetic Field Signatures (1st Edition)”, Morgan & Claypool., 2008.
- [3] H. Liu and Z. Ma, “Optimization of vessel degaussing system based on poly-population particle swarm algorithm,” Proc .Int. Conf. Mechatronics and Automation, pp. 3133-3136, 2007.
- [4] O. Chadebec, J. Coulomb, J. Bongiraud, G. Cauffet and P. Thiec, “Recent improvements for solving inverse magnetic problem applied to thin shells,” IEEE Trans. Magn., vol. 38, no. 2, pp. 1005-1008, 2002.
- [5] O. Chadebec, J. Coulomb, G. Cauffet and J. Bongiraud, “How to well pose a magnetization identification problem,” IEEE Trans. Magn., vol. 39, no. 3, pp. 1634-11637, 2003.
- [6] D. H. Kim, et al., “A novel scheme for material updating in source distribution optimization of magnetic devices using sensitivity analysis,” IEEE Trans. Magn., vol. 41, no. 5, pp. 1752–1755, 2005.

MR유체를 이용한 가변인덕터 설계

김동욱*, 정상식, 김동훈

경북대학교

1. 서론

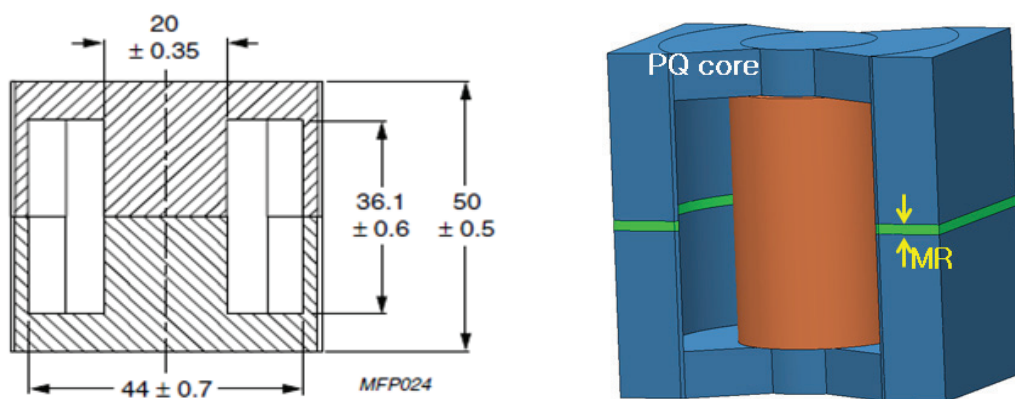
MR(magnetorheological)유체는 마이크로 단위의 자성입자가 실리콘 오일과 같은 분산액에 고르게 분산되어 있는 형태로서 외부 자기장의 세기에 따라 항복응력의 정도가 가변되는 성질을 지닌 유체이다[1]. MR유체는 외부 자기장에 의해 기계적인 특성 제어가 매우 용이할 뿐만 아니라 높은 항복응력, 강도와 속응성이 높아 응용분야가 차츰 넓어지고 있다. MR유체 응용은 대부분이 기계역학 및 공정, 제조에 관심을 두고 진행되어 왔고, 현재까지 국내외에서 MR 유체를 자성재료적 특성을 활용한 측면에서 응용분야는 거의 없다. 따라서 본 논문에서는 MR유체의 자기포화 특성을 이용하여 효율적인 가변인덕터 설계를 제안하였다.

2. MR유체를 이용한 전력변환용 가변인덕터

기존의 전력변환용 가변인덕터는 크기와 구조의 복잡성으로 인해 시스템의 효율을 증가시키는데 한계가 있고, 신뢰성 보장이 어렵다. 그리고 DC 바이어스 전류에 따른 인덕턴스 변화율이 큰 파우더 코어의 경우 코어 자체의 코어손실이 일반 페라이트 코어보다 크기 때문에 고효율의 인덕터를 제작이 힘들다. MR유체를 이용한 인덕터의 경우 기존의 인덕터보다 단순한 구조를 갖고, 페라이트 코어와 같은 낮은 손실을 가지는 자성체 코어 사용이 가능하여 코어 손실을 줄일 수 있다. 따라서 MR유체를 이용한 가변인덕터의 경우 고효율 전력 변환기 개발 분야의 활용도가 높을 것으로 판단된다.

3. 실험 방법

인덕터는 상용 페라이트 코어를 사용하였으며 공극의 길이는 3 mm 그리고 코일 턴 수는 25 턴으로 구성하였고, 그림 1에 코어 단면 제원과 3차원 유한요소 모델을 나타내었다. MR유체는 MG140CG 유체의 재질특성을 활용하였다[2].



(a) PQ 코어 규격 (b) 인덕터 유한요소 모델

그림 1. PQ코어 규격 및 인덕터 유한요소 모델

먼저 공극이 공기일 경우 인덕터 전류변화에 따른 인덕턴스를 측정하였고, 또한 동일한 조건에서 공극이

MR로 채워져 있을 경우 인덕턴스 변화를 측정하였다. 공극이 공기일 경우 코어 자속밀도가 0.1 T일 때 인덕터 평균전류는 5.5 A이고 인덕턴스는 146.8 uH 이고, MR유체일 경우 187.2 uH로 계산 되었다. 두 가지 모의시험의 인덕턴스 크기를 비교하여 공극이 MR유체인 모델의 인덕턴스 값이 공극이 공기일 경우와 같아지도록 MR 유체 가변인덕터의 크기를 공극이 공기인 경우의 모델 크기에 비해 21% 축소하였다. 축소된 MR 인덕터 모델의 인덕턴스는 146.4 uH로 공극이 공기인 모델의 값과 동일한 값이 계산되는 것을 확인하였다. MR유체를 적용한 축소 인덕터 모델을 이용하여 인덕터 전류변화에 따른 인덕턴스를 측정하였고, 공극이 공기일 경우와 인덕턴스 변화를 비교하였다.

4. 실험 결과

공극이 공기일 경우 그림 1(a)과 동일한 크기의 인덕터이고, 인덕터 전류 변화에 따른 인덕턴스 변화량은 16.55 % 이다. 공극이 MR일 경우, 크기가 21% 축소 인덕터 모델을 사용하였고, 인덕터 전류변화에 따른 인덕턴스 변화량은 36.02%로 인덕턴스 변화가 2배 크게 변하는 것을 확인하였다. 그림 2에 두 가지 인덕터의 인덕터 전류변화에 따른 인덕턴스 변화량을 나타내었다. 여기서 자속밀도 변화는 공극이 공기일 경우 인덕터 전류 변화에 따른 코어 자속밀도를 나타내는 것이고 페라이트 코어의 포화자속 0.4 T 까지 변화량을 측정하였다.

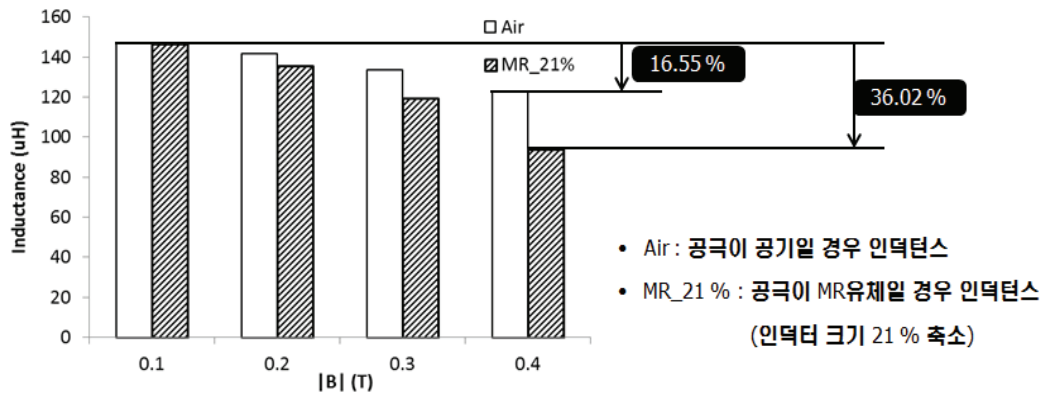


그림 2 인덕턴스 변화 비교

5. 결론

제안된 MR유체를 이용한 가변인덕터의 경우 동일한 조건에서 공극이 공기일 경우 보다 인덕터의 크기는 21% 줄어들었고, 인덕턴스의 변화율은 2배 증가하는 것을 확인하였다. 향후 연구 결과를 토대로 제안된 MR유체를 이용한 가변인덕터를 전력변환회로에 적용한다면 전력변환회로의 고효율화 및 고밀도화를 가져올 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- [1] H. Chiriac and G. Stoian, "Influence of the particle size and size distribution on the magnetorheological fluids properties," IEEE Trans. Magn., vol. 45, no. 10, pp. 4049-4051, Oct. 2009.
- [2] M. Benetti, E. Dragoni, "Nonlinear Magnetic Analysis of Multi-plate Magnetorheological Brakes and Clutches," COMSOL Users Conference 2006 Milano.

Si기판 위에 증착 된 Co 박막 계면의 자기적 특성 연구

조창우^{1*}, 박수환¹, 배종성², 박성균¹

¹부산대학교 물리학과, 부산 609-735

²한국기초과학지원연구원 부산센터, 부산 618-230

Co 박막의 자기적 특성에 관한 다양한 연구결과 중에 Co와 Si 화합물인 CoSi는 Co 박막의 자기적 특성을 약화시킨다고 알려져 있다 [1]. 이 문제를 해결하기 위한 여러 가지 노력 중 hydrogen termination 방법 역시 CoSi 생성을 완벽히 억제하지 못한다고 알려져 있다 [2]. 또한 Al-buffer층을 이용한 연구도 진행되었지만 이 역시도 큰 성과를 이루지 못하였다 [3].

본 연구는 Si과 Co 사이의 CoSi 생성을 억제하고 계면에서 disorder도 최소화 시킬 수 있는 Cu-buffer층을 이용하여 Cu 층의 두께 변화에 따른 Co 박막의 자기적 특성 및 계면의 상태를 조사하였다. 실험에 사용한 시편은 Si/Cu(x nm)/Co(8, 60 nm)/Cu(3, 6 nm) (x = 0, 18, 36, 72, 108, 180) 구조의 다층박막이고, DC 마그네토론 스퍼터링을 이용하여 증착 하였다. 자기광학 Kerr 효과(Magneto-Optical Kerr Effect, MOKE)를 이용하여 다층 박막의 자기적 특성을 조사하였고 X-선 광전자 분광법(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)을 이용하여 계면 사이의 화학적 상태를 분석하였다. Longitudinal MOKE를 이용한 Co 박막의 자기적 특성 조사 결과 Co 박막 두께가 8, 60 nm인 두 경우 모두 Cu buffer층 두께가 증가할수록 보자력이 증가함을 확인할 수 있었다. Si/Cu, Cu/Co 사이 계면의 XPS 분석결과 Cu-buffer층이 없는 경우는 Co 두께가 8, 60 nm인 두 경우 모두 Co와 Si의 interdiffusion 효과에 의해서 CoSi가 생성되었지만 Cu-buffer층이 있는 경우에는 buffer층의 두께와 상관없이 CoSi가 생성되지 않았고 이를 통해 Co와 Si의 결합을 효과적으로 억제하였음을 확인하였다.

본 연구는 한국연구재단의 지원을(2011-0002273, 2011-0031933) 받아서 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] J. S. Tsay, T. Y. Fu, M. H. Lin, C. S. Yang, and Y. D. Yao, Appl. Phys. Lett. 88, 102506 (2006)
- [2] J. S. Pan, E. S. Toka, C. H. A. Huana, R. S. Liub, J. W. Chaia, W. J. Onga, and K. C. Toha, Surf. Sci. 532-535, 639 (2003)
- [3] A. L. Chin, F. K. Men, and F. Liu, Phys. Rev. B 82, 201406 (2010)

펄스 자기장의 자극에 노출된 손에서 적혈구의 형태학적인 변화

김우리^{1*}, 이진용², 김성현¹, 김영진¹, 김재현¹, 이현숙¹, 유준상³, 황도근¹

¹상지대학교 한방의료공학과

²상지대학교 대학원 동서의료공학과

³상지대학교 한방병원

1. 서론

펄스 자기장 자극 치료법 및 치료 장비에 대한 연구는 오래전부터 국내외 적으로 활발히 진행되고 있다. 일부 연구에서 전자기 펄드 자극에 의해 혈관 혈액 흐름량이 증가하는 효과를 관찰하였다[1-3].

본 연구에서 우리는 손에 강한 펄스 자기장을 자극하여 생혈액 분석 (Live Blood Analysis :LBA)을 통해 자기장 자극 전후의 적혈구의 형태학의 변화를 관찰하였다.

LBA는 질병의 위험 요인에 접근하기 위한 테스트 방법론이며, 면역상태, 세포의 영양상태, 숨겨진 조직손상의 정도, 또는 시간에 따른 치료의 영양 상태에 명시되어 있다. 손가락 끝에서 혈액을 채취하여 특수현미경으로 살아있는 세포의 형태 및 움직임 등을 살펴, 기질적인 질환이 발병되기 전 기능저하만 있을 때 몸의 상태와 위험요소 등을 미리 알아볼 수 있으며, 병이 진행 중일 때에는 병의 경중도, 급 만성 정도, 치료에의 반응 정도를 알 수 있는 검사방법이다.

2. 실험방법

펄스자기장 자극에 따른 적혈구 변화를 조사하기 위한 펄스 자기장자극기에 사용한 코일은 10 turn, 12*4.5Cm 타원형이고 자기장 세기는 0.48 T, Transition time은 0.102 ms 이다. 손에 자극 전후의 혈액을 수집하여 LBA로 분석했다. 주2~3회에 걸쳐 비슷한 시간 내 같은 공간에서 총 20번 실험하였다. 왼쪽 중지 끝부분에서 혈액을 채취하여 2분 이내에 현미경으로 관찰하였다. 자기장 자극 10분 후 같은 부위에 같은 방법으로 관찰하여 자극 전후의 적혈구 상태를 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

자극 전에는 적혈구의 연전현상이 관찰되었고 자극 후 정상적인 혈액분포로 개선되는 것을 보였다. 적혈구 연전현상은 그림1(a)와 같이 적혈구가 여러 개로 뭉쳐져 있는 현상으로 스트레스, 피로감, 흡연, 음주 등으로 인해 생긴다. 자극 후에는 그림 1(b)와 같이 적혈구가 각각 분리 되어 연전현상이 개선된 것을 볼 수 있다. 연전현상의 개선은 산소포화도가 높아져 심장에서부터 말초혈관까지 혈액이 잘 흘러 들어가므로 혈액순환이 잘되는 것을 말한다. 여러 번 실험하면 실험할수록 적혈구 흡착현상이 감소하였고, 피실험자의 상태에 따라 스트레스를 받는 경우도 있었으나 대체적으로 좋아졌고, 실험을 거듭할수록 개선효과를 보인다.

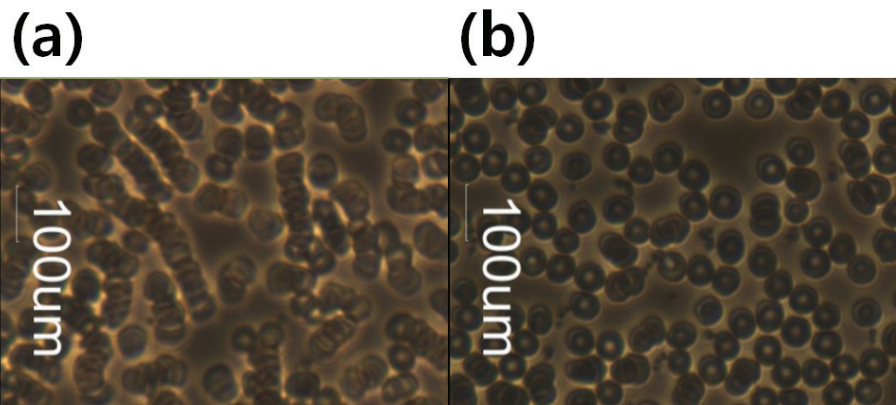


그림1. (a) 펄스자기장 자극 전 (b) 펄스자기장 자극 후 적혈구의 형태

4. 결론

본 연구는 30대 중반 남성을 대상으로 하여 펄스 자기장 자극이 적혈구에 미치는 영향을 관찰하기 위한 것이다. 실험 결과에 따르면 자기장 전후의 적혈구상태의 변화가 대체적으로 개선되는 것을 볼 수 있었다. 이 연구를 바탕으로 보다 많은 대상을 실험하여 비교한다면 펄스 자기장이 혈액 미치는 영향을 파악 할 수 있고, 각종 말초혈관 질환들의 개선 효과를 기대할 수 있는 치료 기술로 사용 할 수 있을 것으로 예상된다.

5. 참고문헌

- [1] D. Roland, M. Ferder, R. Kothura, T. Faierman, and B. Strauch, *Plast. Reconstr. Surg.* 105, 1371 (2000).
- [2] H. N. Mayrovitz and P. B. Larsen, *Wounds* 4, 197 (1992).
- [3] H. N. Mayrovitz and P. B. Larsen, *Wounds* 7, 90 (1995).

바닥 상태 염화철(III)의 스핀의 특성에 대한 연구

강병기^{1*}, 김창수¹, 조은아¹, 권상일¹, 이순철¹

¹카이스트

1. 서론

최근 연구되는 자성 물질들은 다강체(multiferroics)나, 스핀 유리(spin glass), 찢찢맴(frustration) 구조 등 복잡한 스핀구조를 지나고 있어 스핀의 상태를 파악하는 것이 쉽지 않다. 그 때문에 그 이면에 있는 물리현상 역시 단순한 스핀구조의 물질에 비해 지난한 구석이 있다.

본 발표의 연구 대상인 염화철(III)의 경우 상온에서는 상자성을 띄는 단순한 특성을 보이지만 바닥상태에 이르면 나선형의 복잡한 스핀 구조를 나타낸다고 알려져 있다. 여기에 자기장을 인가할 경우 약 1.5 T와 4 T에서 자기 양자 상전이가 일어나 그 구조가 바뀐다고 한다. 1.5 T 상전이의 경우 인가한 자기장에 따라 스핀이 두 가지 각을 갖게 되는데, 이에 따라 꼭지점이 맞닿은 두 개의 나선-원추형 스핀구조를 지니게 되고, 4 T 상전이를 통해 스핀 플롭이 일어난다고 알려져 있다. 그런데 여기에서 1.5 T의 상전이 경우 서로 다른 실험에서 다르게 주장하고 있다. 한 뢰스바우어 실험에서 이를 주장한데 반해 한 자화율 실험에서는 그와는 일치하지 않는 결과를 얻었다고 보고하고 있다.

따라서 본 발표에서는 염화철(III) 바닥상태에서 스핀 모멘트가 어떤 특성을 취하고 있는지 핵자기공명을 통하여 살펴보고자 한다. 핵자기공명은 자성체의 미시적 자기 모멘트를 측정할 수 있는 좋은 도구이다. 따라서 이 실험의 결과를 통해 스핀 모멘트의 크기나 방향 등을 추정할 수 있다. 우리는 이와 같은 결과들을 토대로 그 이면에 있는 물리를 함께 밝히고자 한다.

2. 실험방법

주된 실험은 펄스 방식의 핵자기공명을 이용하였다. 자성체 안의 자성이온의 핵스핀에 대한 핵자기공명은 공명 주파수로부터 그 핵스핀이 놓인 곳의 국소자기장의 정보를 얻을 수 있다. 이 국소 자기장은 외부의 자기장과 자성이온의 스핀 모멘트에 의한 초미세자기장의 합으로 이루어진다. 따라서 우리는 주파수의 변화를 통해 자성이온의 스핀 크기와 외부자기장과의 관계에 대해 파악할 수 있게 된다. 또한 신호 간격으로부터 스핀과 외부자기장 사이의 각의 분포에 대해서도 알 수 있다.

3. 실험결과

우선 영 자기장에서의 핵자기공명 신호로부터 우리는 철 이온의 초미세자기장의 크기와 그 상호작용 상수를 구할 수 있었다. 또한 바닥상태에서부터 온도가 올라감에 따라 거시적으로 측정할 수 없는 자기모멘트의 크기를 측정하였고, 이 크기가 온도에 따라 작아지는 경향성을 기존의 스핀 파동 들뜸 이론에 맞추어본 결과 단순한 반강자성체의 자기이방성이 없는 상태의 식에 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 초전도양자간섭계를 이용하여 거시적인 자화곡선을 측정하였는데, 중성자회절 실험결과 4.3μB라는 비교적 큰 값인데 비해 여기서 얻은 값은 7 T에서 0.1 ~ 0.2μB 정도의 아주 작은 양이다. 여기에서는 1.5 T에서는 기울기의 변화를 보았고, 4 T에서는 아무런 변화를 볼 수 없었다.

철 핵자기공명의 자기장 의존성을 측정하였다. 이 자기장의존성은 초미세자기장과 외부자기장 사이의 각을 알려준다. 우리의 실험결과는 낮은 온도에서 신호의 간격이 점점 넓어지다가 약 3 T 이상에서 줄어들며 이것으로 자기장 4 T를 지나쳐도 별다른 주파수의 변화를 볼 수 없었다. 그러나 더 자기장을 키울 때 소규모로 주파수가 작아지는 것을 관찰할 수 있었다.

4. 고찰

온도의존성 실험에서 스핀 파동인 마그논에 맞추어 보는 것은 Bloch T2법칙을 통해 이 물질이 반강자성의 성질을 지녔다는 것을 다시 한번 확인하여주었고, 자기 이방성을 구체적으로 구할 수는 없지만 작을 것이라는 추측할 수 있었다. 한편 자기장 의존성에 대한 실험에서는 급격한 1.5 T, 4 T 자기적 양자 상전이는 관찰 할 수 없었다. 반면 5 T 이상의 고 자기장에서 스핀들이 외부 자기장에 대해 직각에 가깝도록 질서를 이루고 있으며 자기장이 커짐에 따라 약간 자기장 쪽으로 따라오는 관계를 하고 있음을 알 수 있었다. 우리는 이와 같은 사실을 토대로 교환상호작용의 크기와 자기이방성을 가늠하여보았다.

5. 결론

우리의 염화철(III)의 바닥상태에 대한 스핀 상태 실험은 기존의 보고와는 사뭇 다른 결과를 가져왔는데, 급격한 상전이들은 보이지 않고 오히려 높은 자기장에서 스핀들이 자기장에 대해 직각으로 정렬하는 것을 알 수 있다.

6. 참고문헌

- [1] N. Wooster, Z. Kristallogr. 83 85 (1932)
- [2] S. Blairs, et al., J. Inorg. Nucl. Chem, 28 1855 (1966)
- [3] J. W. Cable et al., Phy. Rev. 127 714 (1962)
- [4] Y. Enodoh, et al., A.I.P. Conf. Proc. 10 98 (1973)
- [5] J. P. Stempfel, et al., Phys. Rev. B 8 4371 (1973)
- [6] F. V. Bragin et al., Sov. Phys. JETP 43 803 (1976)
- [7] E. R. Jones et al., J. Chem. Phys. 50 4755 (1969)
- [8] P. B. Johnson et al., J. Appl. Phys. 52 1932 (1981)
- [9] H. Bizette et al., C. R. Acad. Sc. Paris 271 B-609 (1970)

Magnetotransport Properties of CrAs Thin Films on Si(111) Substrate

Yooleemi Shin*, Duong Anh Tuan and Sunglae Cho[†]

Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

[†] e-mail: slcho@ulsan.ac.kr

Epitaxial magnetic films on semiconductor substrates such as Si and GaAs have attracted a great deal of attention due to applications to new magnetic/semiconductor and spintronic devices [1-3]. The CrAs compound presents the orthorhombic MnP-type structure and a first-order helimagnetic-paramagnetic transition accompanied by discontinuous changes in the crystallographic parameters at 265 K [4]. On the other hand, epitaxial growth of magnetic films on a semiconductor substrates allow the synthesis of specific crystallographic structures and/or properties that are absent in their bulk, and often the magnetic properties of the thin films dramatically depend on the growth conditions and structures of the substrates. Interestingly, Akinaga et al. grew the zinc-blende CrAs thin films on GaAs(100) substrates by molecular beam epitaxy (MBE), which exhibited ferromagnetic ordering at 300 K [5].

In this work, we have investigated the structure and magnetotransport properties of CrAs thin films grown on Si(111) substrates using MBE. The structure of CrAs films were determined by x-ray diffraction (XRD). In order to investigate the correlation between magnetization and charge carrier transport, we performed magnetoresistance (MR) and Hall resistance measurements by using a physical property measurement system. The transport and magnetic behaviors of our epitaxial CrAs films on Si substrates were significantly different than that of the bulk CrAs and thin film CrAs on GaAs substrate.

참고문헌

- [1] G. A. Prinz, Science 282, 1660 (1998).
- [2] J. Stephens, J. Berezovsky, J. P. McGuire, L. J. Sham, A. C. Gossard, and D. D. Awschalom, Phys. Rev. Lett. 93, 097602 (2004).
- [3] M. Solzi, C. Pernechele, M. Ghidini, M. Natali, and M. Bolzan, J. Magn. Magn. Mater. 316 221 (2007).
- [4] N. Kazama and H. Watanabe, J. Phys. Soc. Jpn. 30, 1319 (1971)
- [5] H. Akinaga, T. Manago, and M. Shirai, Jpn. J. Appl. Phys. 39, L1118 (2000).

합곡 경혈점에서 저출력 레이저와 펄스자기장 자극의 영향에 대한 PPG 분석

김영진^{1*}, 김재현¹, 서주연¹, 김성현¹, 이진용¹, 황도근¹, 이현숙¹

¹상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과

I. 서론

강한 펄스자기장 자극은 비침습적이며 와전류를 발생하여 신경개선 치료뿐만 아니라 심부 깊숙이 신경조직 및 근육을 자극할 수 있어 말초신경 자극이 가능하여 근육질환 등의 치료에 이용되고 있음을 보여주는 연구가 많이 발표되고 있고 있으며, 침습적인 침에 대해 거부감이 있는 사람에게 치료효과를 높일 수 있다고 보고되고 있다[1,2]. 한편으로 저출력 레이저는 열을 발생하지 않고 어떠한 다른 손상도 없이 피부의 표면을 투과하는 광에너지만을 신체 세포내에 전달하므로써 세포의 손상 및 혈관 확장, 혈행촉진을 치유할 수 있어 생체 촉진 효과를 만든다고 알려져 있다[3]. 본 연구에서는 저출력 레이저와 펄스자기장 자극을 혈액순환과 관련 있는 경혈점인 합곡에 자극한 후 피실험자의 광용적맥파(Photoplethysmography:PPG)를 측정하여 자극 전후 손끝 미세순환계의 맥동성 혈액용적 변화를 비교하고자 한다.

II. 실험방법

펄스 자기장 및 저출력 레이저 자극에 따른 모세혈관의 수축 및 팽창 정도와 혈류파형을 조사하기 위하여 양손의 높이를 같게 한 후 각각 PPG센서를 장착하여 피실험자를 30분간 안정을 취한 후 자극 전, 3분, 펄스 자기장/저출력 레이저 자극 10분, 자극 후 5분을 측정하여 시간에 따른 혈액용적 변화를 관찰하였다. 펄스 자기장/저출력 레이저 자극은 합곡혈(LI4)에 하였으며, 이 경혈점은 수양명대장경에 속하며 전신의 기혈순환 및 혈액순환에 효과가 있다고 알려져 있다. PPG 측정 시 사용한 장비는 Biopac사의 MP35이며 Acknowledge를 이용하여 분석하였다. 샘플링 주파수는 200Hz로 설정하였다. 저출력 레이저의 출력은 5mW, 파장은 600nm (반도체 레이저: Indium, gallium-aluminum-phosphide)이고, 자기장 자극기의 세기는 0.2T, 주기는 1 Hz이다. 자극 시간에 따른 혈액용적 변화를 분석하기 위하여 측정한 PPG 신호의 혈류파형의 적분을 구하였다.

III. 실험결과

그림 1은 펄스 자기장 자극을 가한 후 얻은 양 손의 PPG 신호로부터 구한 혈액용적 변화로 자극 8분 까지 혈류량의 증가를 보이다가 8분 이상의 자극 시 혈류량의 감소를 보인다.

그림 2는 저출력 레이저 자극을 가한 후 얻은 양 손의 PPG 신호로부터 구한 혈액용적 변화로 자극 8분 까지 혈류량의 증가를 보이다가 8분 이상 자극 시 일시적인 혈류량의 감소를 보인다. 이 결과로 보아 8분 이상 자극 시 보이는 혈류량의 감소는 자극시간 또한 교감신경을 억제하고 부교감 신경을 활성화하는 요인이라고 생각해 볼 수 있다. 즉, 8분 이상의 자극은 자율신경계의 순응반응에 대한 결과라고 해석 할 수 있다.

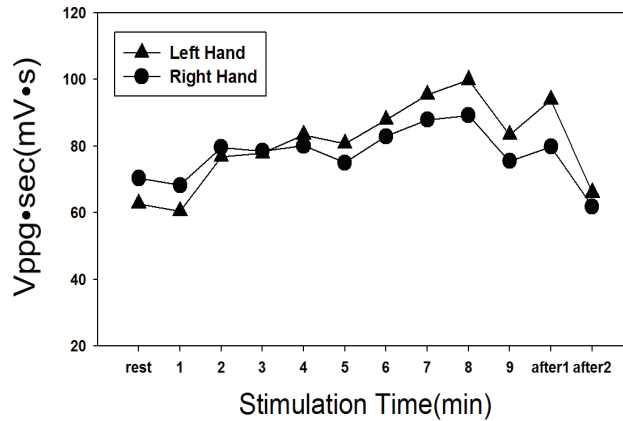


그림 1. 펄스 자기장 자극을 가한 후 얻은 양 손의 PPG 신호로부터 구한 자극 시간에 따른 혈액용적 변화

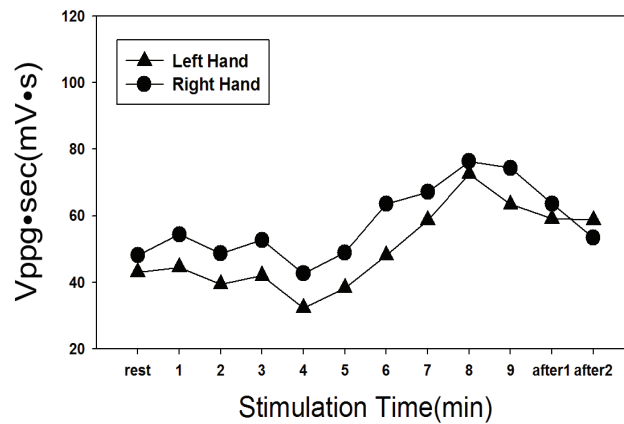


그림 2. 저출력 레이저 자극을 가한 후 얻은 양 손의 PPG 신호로부터 구한 자극 시간에 따른 혈액용적 변화

III. 고찰 및 결론

본 연구는 경혈점 LI4에 침습적인 저출력 레이저와 펄스자기장 자극을 가한 후 말초혈관 순환이 활발해졌음을 PPG 신호의 혈액용적 변화를 통하여 알 수 있었다. 두 자극 모두에서 7-8분 정도의 자극 후 혈류량이 증가함을 볼 수 있는데, 생체 내에서 펄스교류 자기장은 혈관에 직접적인 영향을 주어 혈관내의 여러 이온들이 혈관벽을 자극하여 혈관확장으로 혈액량이 증가시키고, 저출력 레이저는 생체내세포들이 흡수한 광에너지를 세포 손상을 치유할 수 있는 화학적 에너지로 전환시켜 생체촉진효과를 일으키는 것으로 해석할 수 있다. 이 연구를 통해 경혈점에 펄스 자기장/저출력 레이저 자극을 가하는 것은 침습적이고 환자를 긴장시키는 침요법을 대체할 수 있다.

V. 참고문헌

- [1] M. Kanje, A. Rusovan, B. Sisken, and G. Lundborg, Bioelectromag. 14, 353 (1993).
- [2] E. Haker et al. J. Auton. Nerv. Syst. 79, 52-59(2000).
- [3] Babapour R, Glassberg E, Lask GP. Low-energy laser systems. Clin Dermatol 1995; 13:87-90.

NMR study on $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{Zn}_2(\text{Fe}_{0.92}\text{Al}_{0.08})_{12}\text{O}_{22}$

권상일^{1*}, 이순철¹, 천세환², Chai Yi Sheng², 김기훈²

¹대한민국 대전광역시 KAIST 물리학과

²대한민국 서울특별시 서울대학교 물리천문학과

We did zero-field NMR study on the annealed single crystal of multiferroic helimagnets $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{1.5}\text{Zn}_2(\text{Fe}_{0.92}\text{Al}_{0.08})_{12}\text{O}_{22}$ (Al-BSZFO). This material shows extremely high magnetoelectric susceptibility so that the critical field for switching electric polarization is less than 1 mT below 90 K [1]. NMR frequency change by the temperature follows Bloch's $T^{3/2}$ law which presents the low temperature excitation is ferromagnetic spin wave. The nuclear spin-lattice relaxation rate and the nuclear spin-spin relaxation rate were also measured. Both increased rapidly as the temperature increases above 60 K at which the spin structure changes from normal longitudinal cones (NLCs) to alternating longitudinal cones (ALCs) for the case of as-grown (not annealed) sample [2]. Due to rapid shortening of spin-spin relaxation time, the NMR signal intensity abruptly reduced above 60 K. We also studied rf pulse width and power dependence.

참고문헌

- [1] S. H. Chun et al., Phys. Rev. Lett. 104, 037204 (2010).
- [2] H. B. Lee et al., Phys. Rev. B 83, 144425 (2011).

산소결핍을 포함하는 SrTiO_3 박막의 전기적특성

신현섭*, 송종현
충남대학교 물리학과

SrTiO_3 는 실온에서 페로브스카이트 구조를 가지는 강유전체에 해당한다. 산화물에서 산소결핍은 물질에 장점을 또는 단점을 제공할 수 있다. 페로브스카이트 구조의 물질은 ABO_3 의 화학식을 가진다. B사이트에 전이금속을 가지고 있는 전이금속 산화물에서 산소결핍은 일반적으로 전자를 제공하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. SrTiO_3 박막은 RHEED가 장착되어 있는 PLD장비를 이용하여 LaAlO_3 기판에 증착되었다. 산소가 충분한 분위기에서 SrTiO_3 를 증착시켜 두께를 조절하고 10^{-8}torr 의 압력과 950°C 의 온도에서 열처리를 통해서 산소결핍을 발생시켰다. 그 후 온도 대 비저항, 홀측정을 통해 전자이동도를 측정하여 두께에 따른 전기적 특성을 조사 하였다.

Lanthanum and Calcium Deficiency of $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Mn}_{0.975}\text{O}_{3.05}$ on Magnetocaloric Effect

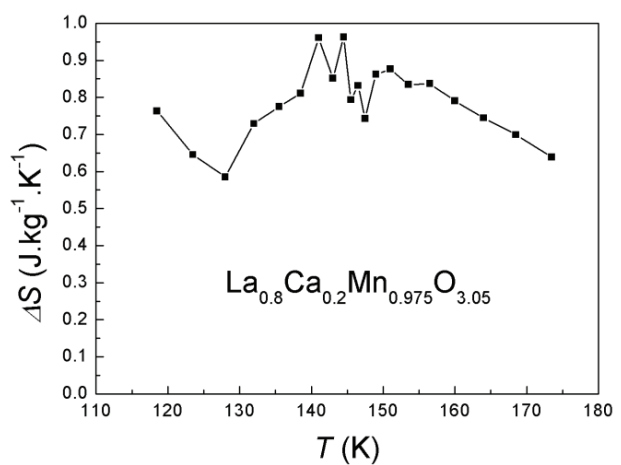
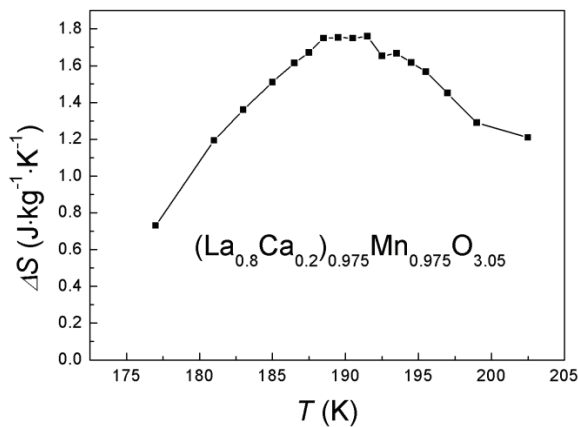
Dwi Nanto^{1*}, Seong-Cho Yu¹, Andrey Telegin²

¹BK 21 Physics Program and Dept. of Physics, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, South Korea

²Institute of Metal Physics, UB of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, 620990, Russian Federation

Tel. 82-43-261-2265, Fax. 82-43-274-7811, e-mail: scyu@chungbuk.ac.kr

Perovskite manganite has attracted to explore on magnetocaloric effect due to manganites are relatively easy to synthesize, are tunable by adjustment of the doping concentration, and are considered promising candidates for magnetic refrigeration at various temperatures. Rare-earth doped manganite in general formula of $\text{R}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ ($R = \text{La, Pr, Nd, etc.}$, and $M = \text{Ca, Sr, Ba, etc.}$) exhibit a rich variety of magnetic phenomena especially magnetocaloric effect. Recently, deficiency of manganite has reported influence the magnetocaloric effect. In this work we purpose another series of deficiency of perovskite manganite and investigate their magnetic behavior using vibrating sampel magnetometer (VSM). $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Mn}_{0.975}\text{O}_{3.05}$ and $(\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2})_{0.975}\text{Mn}_{0.975}\text{O}_{3.05}$ polycrystal was made using conventional solid state reaction and were investigated of their magnetocaloric effect (MCE). Curie temperature of $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Mn}_{0.975}\text{O}_{3.05}$ was 191 oK with entropy change $\Delta S_{\max} = 1.76 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ which behave first order transition. On the other hand Curie temperature of $(\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2})_{0.975}\text{Mn}_{0.975}\text{O}_{3.05}$ was 146 °K with entropy change $\Delta S_{\max} = 0.96 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ which behave second order transition. Deficiency of both lanthanum and calcium play role in curie temperature and phase transition thus will influence their maganetocaloric effect. Different phase transition due to the deficiency both lanthanum and calcium presumably come from lattice parameter and some local defect in polycrystals specimen.



Author Index

Name	Abstract ID	Page
Ahn C.	ST03	74
Arqum Hashmi	MT02	33
Baryshev Alexander V.	O-2	26
Bialek Beata	MT03	34
Chai Yi Sheng	O-3	28
Chai Yi Sheng	OT08	149
Cho Jaehun	ST01	70
Cho Sunglae	OT06	146
Cho Sunglae	ST09	82
Choi Youn-Seok	강습회 T-2	8
Chun Sae Hwan	O-3	28
Chung Jae-Ho	O-3	28
Fischer Peter	NM02	50
Fischer Peter	SM05	131
H. W. Kwon	HM02	101
HaamSo Young	O-3	28
Hong Jisang	MT01	32
Hong Jisang	MT02	33
Hong S. C.	ST08	81
Hong Soon Cheol	MT06	40
Inoue Mitsuteru	O-2	26
J. H. Yu	HM02	101
Jeon Byeong Jo	O-3	28
Jeon Byung-Gu	O-3	28
Jeon Gi-Wan	ST07	80
Jo W.	MO09	121
Jung Jinyong	ST01	70
Jung K.Y.	ST03	74
Jung Sharon JY	O-1	23
Kim Bog G.	강습회 T-6	15
Kim Dongyoo	MT01	32
Kim Dongyoo	MT02	33
Kim Hanbit	O-3	28
Kim Hyo-Jin	MO01	107
Kim Hyung Joon	O-3	28
Kim In Gee	MT04	36
Kim In Gee	MT05	38
Kim Ingyu	O-3	28
Kim KA-EON	ST01	70
Kim Kee Hoon	O-3	28
Kim Miyoung	강습회 T-5	14
Kwon O. R.	ST08	81
Landge Kalpana K.	MT03	34
Lee Cheol Eui	초청강연 I-3	87
Lee Cheol Eui	ST06	79
Lee Cheol Eui	ST07	80

Name	Abstract ID	Page
Lee J. H.	MO09	121
Lee Jae Il	MT03	34
Lee Jee Yong	MT04	36
Lee Jee Yong	MT05	38
Lee Jehyun	강습회 T-1	7
Lee K.-J.	MT07	41
Lee Kyu Won	초청강연 I-3	87
Lee Kyu Won	ST07	80
Lee Sang-Suk	O-1	23
Lee Suk Ho	O-3	28
Lee Sukmock	ST01	70
Lefevre C.	MO09	121
Lim Pang Boey	O-2	26
Manshon A.	MT07	41
Meier Guido	NM02	50
Michel Anny	MR01	31
Min B.C.	ST03	74
Moon J.-H.	MT07	41
Na Sung-Ho	MT08	43
Nanto D.	MO08	120
Nanto Dwi	OT10	151
Noh Young-Il	O-1	23
Odkhuu D.	ST08	81
Odkhuu Dorj	MT06	40
Oh S. H.	MO09	121
Oh Yoon Seok	O-3	28
Park Byong-Guk	초청강연 I-4	88
Park C. H.	MT08	43
Park Jae-Hoon	O-3	28
Park Jun Kue	ST06	79
Park Ju-Young	O-3	28
Park S.Y.	ST03	74
Phan T. L.	MO08	120
Rhie K.	ST03	74
Rho Minsuk	O-1	23
Roulland F.	MO09	121
Schutz Gisela	NM02	50
Shin K.	ST03	74
Shin R. H.	MO09	121
Shin Yooleemi	OT06	146
Shin Yooleemi	ST09	82
Stoll Hermann	NM02	50
Taivansaikhon P.	ST08	81
Taivansaikhon Purev	MT06	40
Telegin Andrey	OT10	151
Thomasson A.	MO09	121

Name	Abstract ID	Page
Meny C.	MO09	121
Tsevelmaa T.	ST08	81
Tuan Duong Anh	OT06	146
Tuan Duong Anh	ST09	82
Viart N.	MO09	121
VogelAndreas	NM02	50
Weigand Markus	NM02	50
Yang Chan-Ho	초청강연 I-1	19
Yoo Myoung-Woo	강습회 T-3	9
Yoo Sang-Im	MO01	107
Yoo Yeong-Min	O-1	23
You Chun-yeol	ST01	70
Yu S. C.	MO08	120
Yu Seong-Cho	OT10	151
Yu Unjong	강습회 T-4	13
Yun W. S.	ST08	81
Yun Won Seok	MT04	36
Yun Won Seok	MT05	38
Zhang P.	MO08	120
Zhang Y. D.	MO08	120
강병기	OT05	144
강주홍	SM02	125
고창섭	HM05	105
고태준	SM02	125
구양모	O-4	91
권상일	OT05	144
권상일	OT08	149
권우준	MO02	108
권윤미	MO04	112
권윤미	MO05	114
김근호	BM01	97
김기훈	OT08	149
김담비	BM01	97
김동영	NM03	52
김동영	NM04	54
김동욱	OT02	139
김동호	총회초청	3
김동훈	OT01	137
김동훈	OT02	139
김문환	MO02	108
김민선	MO02	108
김삼진	MO03	110
김상국	NM02	50
김상국	SM04	129
김상국	SM05	131
김상면	HM05	105
김상욱	SM07	135
김성백	MO02	108
김성현	OT04	142
김성현	OT07	147
김시동	SA01	58
김시동	SA06	68

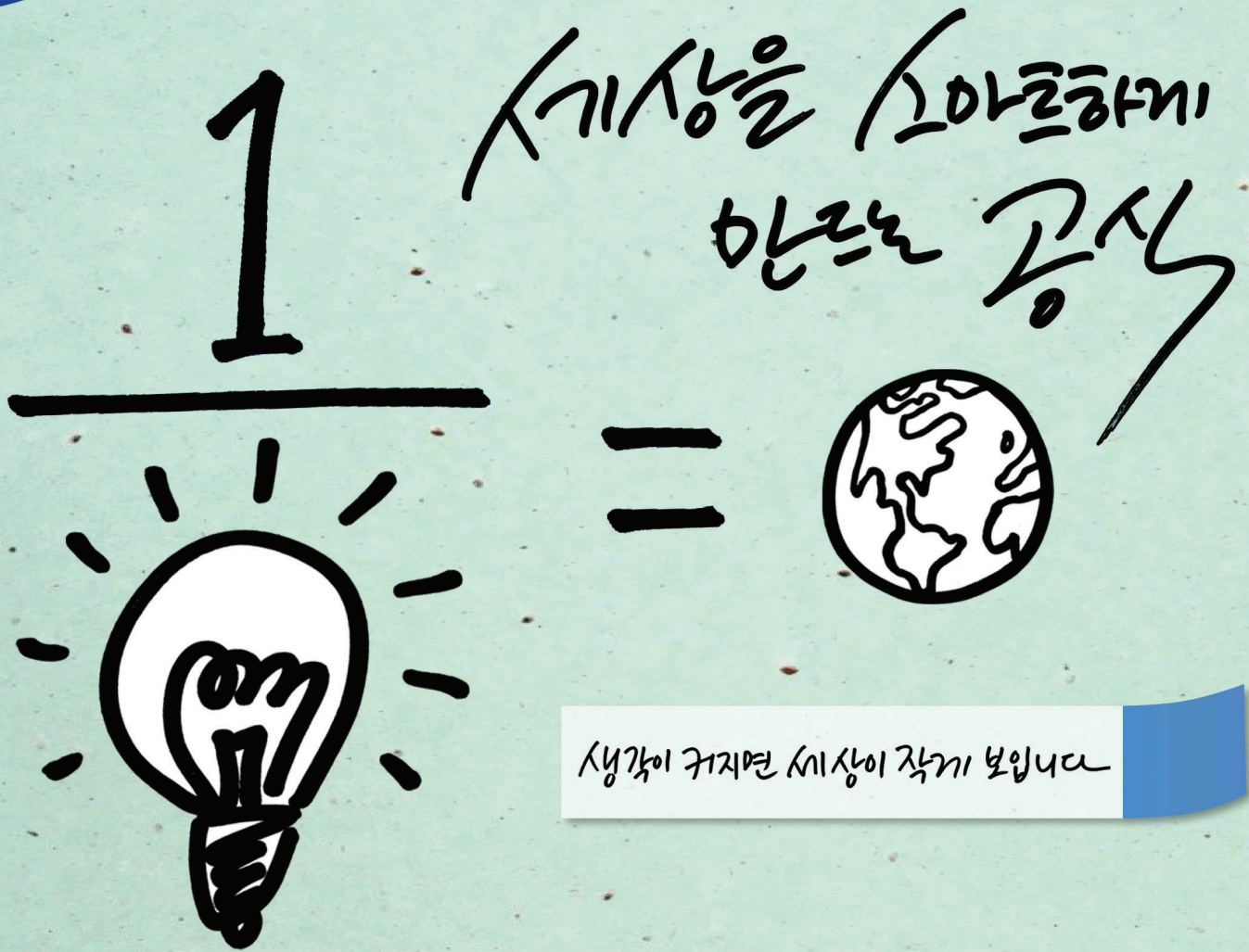
Name	Abstract ID	Page
김영도	HM04	103
김영진	OT04	142
김영진	OT07	147
김용민	SA02	61
김용찬	SM07	135
김우리	OT04	142
김재영	MO05	114
김재영	MO04	112
김재현	OT04	142
김재현	OT07	147
김정윤	SA04	65
김정윤	SA05	66
김지혜	SM04	129
김진모	MO03	110
김진성	SM06	133
김진영	SA02	61
김진우	HM04	103
김창수	OT05	144
김창수	MO07	118
김철성	MO02	108
김철성	MO03	110
김철성	NM01	49
김철성	SM02	125
김철성	SM03	127
김태훈	HM01	99
김태희	MR01	31
김형관	SA02	61
김효준	HM05	105
김희민	MT09	45
김희승	MO02	108
김희중	S-1	93
남궁석	HM01	99
남궁정	SM07	135
명보라	MO03	110
문준	ST04	76
박관수	MT09	45
박관수	SM06	133
박광준	SA03	63
박성균	OT03	141
박소라	ST05	77
박수환	OT03	141
배유정	MR01	31
배종성	OT03	141
백승민	O-2	26
백승민	SA02	61
서주연	OT07	147
석재권	NM01	49
석재권	ST05	77
성길동	NM05	56
성진경	O-4	91
손대락	SA04	65
손대락	SA05	66

Name	Abstract ID	Page
손대락	SA06	68
손일호	BM01	97
송선용	HM04	103
송종한	NM01	49
송종현	OT09	150
송창빈	HM03	102
송창빈	SM07	135
송창빈	SM08	136
신광호	O-2	26
신광호	SA02	61
신승찬	SM01	123
신준규	SA04	65
신현섭	OT09	150
심정현	MO07	118
아구스티나	MO05	114
안성용	초청강연 I-2	20
안재영	MR01	31
양창섭	OT01	137
연교흠	SA01	58
연교흠	SA06	68
원미희	SM03	127
유권상	SA04	65
유영상	SM05	131
유일선	SA04	65
유재영	BM01	97
유준상	OT04	142
유천열	MT10	47
유천열	ST02	72
유천열	ST10	83
윤상준	ST04	76
윤석수	NM03	52
윤석수	NM04	54
윤성욱	SM02	125
윤정범	MT10	47
윤정범	ST10	83
이기석	SM04	129
이기석	SM05	131
이기석	NM02	50
이남규	BM01	97
이년중	MR01	31
이민우	HM01	99
이보화	MO04	112
이보화	MO05	114
이상석	BM01	97
이상석	SA03	63
이성래	HM01	99
이성민	SA04	65
이순칠	OT08	149
이순칠	MO06	116
이순칠	MO07	118
이순칠	OT05	144
이용혜	SM03	127

Name	Abstract ID	Page
이우재	SA01	58
이장로	SA03	63
이재용	NM01	49
이재용	ST05	77
이진용	OT04	142
이진용	OT07	147
이찬혁	SM02	125
이현숙	OT04	142
이현숙	OT07	147
임미영	SM05	131
임상호	O-2	26
임성일	ST05	77
임정태	SM03	127
장덕형	BM01	97
장세종	SM07	135
장태석	HM01	99
장평우	SM01	123
전병서	SM07	135
전병서	SM08	136
전병서	HM03	102
전성재	NM03	52
전성재	NM04	54
전일근	NM01	49
전일근	ST05	77
전현준	SM07	135
정규체	SA04	65
정기우	OT01	137
정명화	MT10	47
정상식	OT02	139
정종훈	NM05	56
정진용	ST02	72
정현성	SM04	129
정현성	NM02	50
정현성	SM05	131
정현주	OT01	137
조광래	SM02	125
조신용	ST02	72
조영훈	NM05	56
조은아	MO07	118
조은아	OT05	144
조은아	MO06	116
조재훈	ST02	72
조정구	ST04	76
조창우	OT03	141
조현성	BM01	97
채근화	NM01	49
천세환	OT08	149
최강룡	초청강연 I-2	20
최낙선	OT01	137
최동혁	초청강연 I-2	20
최석봉	ST04	76
최슬기	BM01	97

Name	Abstract ID	Page
최영진	HM03	102
최영진	SM07	135
최영진	SM08	136
최윤석	SM05	131
최정훈	MO02	108
최종구	BM01	97
최종구	SA03	63
최종식	SM08	136
최혁철	ST10	83
한동수	SM04	129

Name	Abstract ID	Page
한동수	SM05	131
한동수	NM02	50
한승규	MO03	110
현성욱	SM03	127
홍종일	ST05	77
황도근	OT07	147
황도근	SA03	63
황도근	OT04	142
황영일	SM08	136



생각이 커지면 세상이 작게 보입니다

제8회 삼성전기 1Inside Edge 논문대상 공모

역량있는 인재들의 연구활동을 후원하고 우수인력 발굴과 산학협동의 토대를 구축하여 이공계 대학생, 대학원생의 꿈과 희망을 펼칠 수 있는 '1Inside Edge 논문대상'에 많은 관심과 참여 바랍니다.

응모분야 및 주제

소재기술분야	고분자, 세라믹, 복합재료, LTCC, 나노, MEMS, 박막공정, 수동부품(LRC)소재, 인쇄회로 기판공정 (도금, 회로, 가공, bumping 등), 방열기판소재, 차세대기판, Sensor, 자성재료
무선분야	Analog & Digital IC Design, Wireless Communication Systems, MAC Design and analysis, Network Design and analysis, SoC for wireless application, Communication Software
전력전자분야	Display Power용 전력전자기술, 대용량/고밀도 SMPS용 전력전자기술, 신재생 에너지용 전력 전자기술, 열/EMI/EMC 설계기술, SMPS 고효율 Topology 및 제어기술, SMPS Simulation Technology, 고밀도 트랜스 설계기술, Slim 및 고밀도 Power기술, Digital Power기술, Power ASIC Circuit Design기술, 전력반도체 설계 및 응용기술, Battery Management기술, Motor 제어기술, PWM 알고리즘, 인터버 설계 및 응용기술, 역률보정 회로 및 제어기술, DSP/MCU 응용기술
기반기술분야	열/유체 해석, 구조/진동해석, 전자장/RF/회로/EMI 해석, 광학/광소자 해석, 재료해석, 분자 모델링, 분자동력학해석, Multi-Physic해석, Multi-scale 해석, 나노 구조 분석, 표면 분석, 유기/무기물 화학분석, 다성분 혼합물의 deformation, 전기(electro-mechanics) 부품의 reverse engineering, 고분자 특성분석, 결정 구조 분석, 재료 물성분석, 레이저 분광/계측/가공, 마이크로 소자 고장분석 및 신뢰성 향상기술
생산기술분야	전자 패키징 및 시험, 도금, MCC (Micro Contamination Control), 지능 제어 및 정밀 자동화, 광학 시스템 설계 및 화상 검사, 초정밀 가공 (소형 렌즈 급형 및 미세 성형), 인쇄전자 및 Roll to Roll (인쇄, 코팅 및 원단 handling), 생산시스템 (생산 scheduling, 수율분석, 생산simulation, MES)

시상내역 및 특권

대상1편	상패 및 상금 1,000만원	• 박사 : 입사를 원하는 경우 입사 후 해외 Post-Doc 1년 지원 • 학/석/박사 : 입사 지원시 가점부여
금상1편	상패 및 상금 500만원	
은상2편	상패 및 상금 300만원	• 학/석/박사 : 입사 지원시 가점부여
동상6편	상패 및 상금 100만원	
특별상	상금 300만원	• 최다 논문 제출 Lab

일정

논문 초록 접수	'12.5.14 (월) ~ '12.6.29 (금)
초록 심사 결과발표	'12.7.13 (금)
논문 본문 접수	'12.7.16 (월) ~ '12.9.21 (금)
본문 심사 결과발표	'12.10.12 (금)
발표 심사	'12.10.29 (월)
발표 심사 결과발표	'12.10.30 (화)
시상식	'12.10.31 (수)

