

2012년도 한국자기학회 자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012

논문개요집



일시 2012. 11. 29(목) ~ 12. 1(토)

장소 휘닉스파크

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

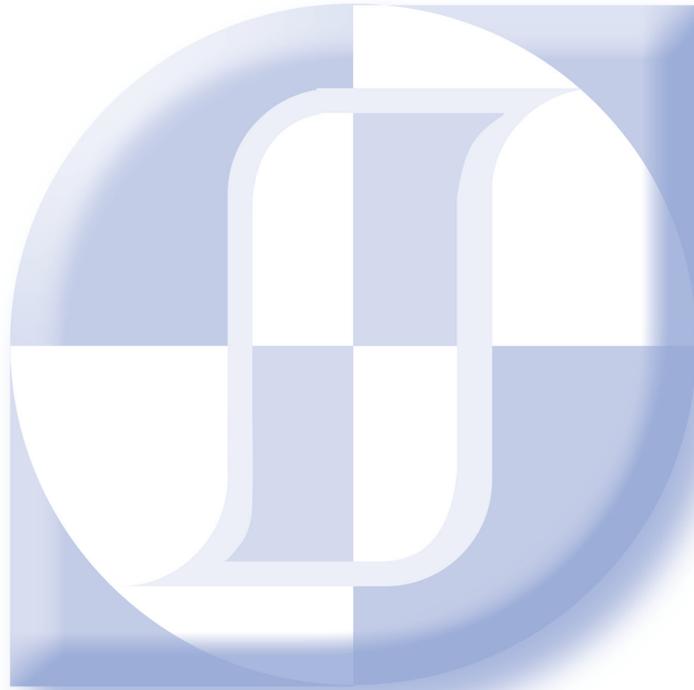
사단법인 한국자기학회

2012년도 한국자기학회

자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012

논문개요집



일시 2012. 11. 29(목) ~ 12. 1(토)

장소 휘닉스파크

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 140cm X 세로 80cm 사용할 수 있습니다.
 - 포스터 발표자는 발표시간 10분 전에 붙여주시기 바랍니다.

2. 일정

11월 29일(목)

12:00~	참가자 등록	
12:30~13:10		
13:10~14:50	강습회 프로그램 (다이아몬드)	
14:50~15:00	Coffee Break	
15:00~16:00	강습회 프로그램 (다이아몬드)	
16:00~16:40		
		12:30~16:40 포스터발표 I (볼룸)

11월 30일(금)

08:30~	참가자 등록
09:30~11:00	Special Symposium (다이아몬드)
11:00~11:10	Coffee Break
11:10~12:10	Special Symposium (다이아몬드)
12:10~14:00	Lunch
14:00~15:30	Symposium on 'Green Magnetism VI' (다이아몬드)
15:30~15:40	Coffee Break
15:40~16:40	Symposium on 'Green Magnetism VI' (다이아몬드)
16:40~17:00	Coffee Break
17:00~17:30	한국자기학회 정기총회 (볼룸)
17:30~18:00	총회 특별초청강연 (볼룸)
18:00~20:00	Gala Dinner (볼룸)

12월 1일(토)

08:30~	참가자 등록	
08:30~09:00		
09:00~10:30	초청강연 (다이아몬드)	
10:30~10:40	Coffee Break	
10:40~11:40	초청강연 (다이아몬드)	
11:40~11:50	Coffee Break	
11:50~12:20	구두발표 (다이아몬드)	
12:20~12:40		
12:40~13:00	Best Poster 시상식 및 폐회 (볼룸)	
		08:30~12:40 포스터발표 II (볼룸)

- 『Best Poster 시상』이 12월 1일(토) 12시 40분에 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여바랍니다.
(단, 수상자(발표자)가 불참시에는 수상이 취소됩니다.)

11월 29일(목)

시 간	프로그램	
12:00 ~	참가자 등록	
	강습회 프로그램(다이아몬드) 좌장: 김기연(한국원자력연구원)	포스터발표 I(볼륨) 12:30 ~ 16:40 좌장: 윤석수(안동대) / 김삼진(국민대)
12:30 ~ 13:10		Session BM [Biomedical materials] Session HM [Hard magnetic] Session MO [Magnetic oxides and multiferroics] Session SM [Soft magnetic] Session ST [Spintronics]
13:10 ~ 13:50	T-1 Neutron Scattering at HANARO 박승일(한국원자력연구원)	
13:50 ~ 14:50	T-2 중성자 반사율을 이용한 자기 박막 연구 박성균(부산대)	
14:50 ~ 15:00	Coffee Break	
15:00 ~ 16:00	T-3 Magnetic & Crystal Structure Studies with Neutron Diffraction 이성수(한국원자력연구원)	
16:00 ~ 16:40		



11월 30일(금)

시 간	프로그램
08:30 ~	참가자 등록
	Special Symposium ' Novel magnetic materials and Biomagnetics' (다이아몬드) (충남대 nBEST 후원) 좌장: 김철기(충남대)
09:30 ~ 10:00	S-1. Probe of the Spin-Switching in Spin-Crossover Materials: A Micro-Magnetometer Ferial Terki(Laboratoire Charles Coulomb UMR 5221 CNRS-UniversitéMontpellier 2)
10:00 ~ 10:30	S-2. Synthesis and magnetic characterization of α^{\prime} -Fe ₁₆ N ₂ Interstitial Compound New Candidate for Permanent Magnetic Material with Rare Earth Element Free Migaku Takahashi(Tohoku University)
10:30 ~ 11:00	S-3. Magnetic Micro-transporters: Applications in Bioengineering R. Sooryakumar(The Ohio State University)
11:00 ~ 11:10	Coffee Break
11:10 ~ 11:40	S-4. Biomedical applications of sensitive magnetic measurements based on SQUIDs: brain research and cardiac diagnosis 이용호(한국표준과학연구원)
11:40 ~ 12:10	S-5. Magnetophoretic circuitry elements for digital control of biomolecules 김철기(충남대)
12:10 ~ 14:00	Lunch
	Symposium on 'Green Magnetics VI' - IT 전자기기용 자성재료 (다이아몬드) 좌장: 이정구(재료연구소)
14:00 ~ 14:30	VI-1. NdFeB 희토류 소결자석과 RE-free 영구자석의 개발 현황 장태석(선문대)
14:30 ~ 15:00	VI-2. Magnetic properties of hddr-treated Nd-Fe-B-type materials 권해웅(부경대)
15:00 ~ 15:30	VI-3. Nd-Fe-B 이방성 압축성형 본드자석과 이를 적용한 모터의 경량화 설계 사례 김효준(자화전자(주))
15:30 ~ 15:40	Coffee Break
15:40 ~ 16:10	VI-4. Trend in Research and Development Related to Permanent Magnets for Solving Rare-earth Resources Problem 이정구(재료연구소)
16:10 ~ 16:40	VI-5. Critical issues for high performance hexaferrite permanent magnets 유상임(서울대)
16:40 ~ 17:00	Coffee Break
17:00 ~ 17:30	한국자기학회 정기총회(볼룸) 총회 특별초청강연(볼룸) 좌장: 조성래(울산대)
17:30 ~ 18:00	SPIN CROSSOVER MOLECULAR MATERIALS Spatio-Temporal Spin propagation-Thin films-Nanostructuration and Devices Azzedine Bousseksou(LCC/CNRS)
18:00 ~ 20:00	Gala Dinner(볼룸)

12월 1일(토)

시 간	프로그램	
08:30 ~	참가자 등록	
	초청강연(다이아몬드) 좌장: 임상호(고려대)	포스터발표 II (볼륨) 08:30 ~ 12:40 좌장: 김인기(포항공대) / 조성래(울산대)
08:30 ~ 09:00		Session MT [Magnetic theory and calculations] Session NM [Nanostructured materials] Session SA [Sensors and applications] Session OT [Others]
09:00 ~ 09:30	I-1. 양성자 조사에 의한 복잡한 자성 나노 구조물의 비파괴적 나노 패터닝 홍종일(연세대)	
09:30 ~ 10:00	I-2. 자기장의 생체반응연구 황도근(상지대)	
10:00 ~ 10:30	I-3. Ni nanotube array의 강자성 공명 특성 및 IT응용 김동영(안동대)	
10:30 ~ 10:40	Coffe Break	
10:40 ~ 11:10	I-4. Nuclear Magnetic Resonance in ferromagnetic materials: Correlating the structure and morphology of thin films, multilayers and nanocomposites to their physical properties Christian Meny(Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg)	
11:10 ~ 11:40	I-5. Neutron diffraction study of the $GaxFe_{2-x}O_3$ compounds Christophe Lefevre(Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg)	
11:40 ~ 11:50	Coffe Break	
	구두발표 (다이아몬드) 좌장: 정창욱(한국외대)	
11:50 ~ 12:05	O-1. Doped graphene induced magnetization reversal and spintronics of Ni/Graphene/Co 홍지상(부경대)	
12:05 ~ 12:20	O-2. Size distribution and temperature dependence of magnetic anisotropy constant in ferrite nanoparticles 윤성현(군산대)	
12:20 ~ 12:40		
12:40 ~ 13:00	Best Poster 시상식 및 폐회(볼륨)	

CONTENTS

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012

11월 30일(금) 17:30~18:00
Session : 총회 특별초청강연

볼룸

* 좌 장 : 조성래(울산대)

총회초청 17:30 SPIN CROSSOVER MOLECULAR MATERIALS

Spatio Temporal Spin propagation Thin films Nanostructuration and Devices 3
Azzedine Bousseksou*, Gabor Molnar, Lionel Salmon, Saioa Cobo, Josè-Antonio Real,
Christophe Vieu, and Koichiro Tanaka

11월 29일(목) 13:10~16:00
Session : 강습회 프로그램

다이아몬드

* 좌 장 : 김기연(한국원자력연구원)

- T-1 13:10 Neutron Scattering at HANARO 7
J. M. Sungil Park*
- T-2 13:50 중성자 반사율을 이용한 자기 박막 연구 8
조창우, 황선민, 이승환, 김기연, 이정수, 박성균*
- T-3 15:00 Magnetic & Crystal Structure Studies with Neutron Diffraction 9
Seongsu Lee*

11월 29일(목) 12:30~16:40
Session : 포스터발표 I

볼룸

* 좌 장 : 윤석수(안동대) / 김삼진(국민대)

○ Session BM [Biomedical materials]

- BM01 Poster 나노유체를 활용한 단일 자성나노입자의 자기특성 판별 13
이은주, 황리라, 권윤미, 이보화, 박유근, 박상윤*

○ Session HM [Hard magnetic]

- HM01 Poster Dy-X (X=F, H, O) 화합물 분말 첨가에 따른 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성
의 변화 14
김태훈*, 이성래, 이민우, 장태석

HM02 Poster DyF₃-표면코팅 된 Nd-Fe-B 소결자석에서 소결 후 열처리 조건이 미세구조와 자기적 특성에 미치는 영향 16
배경훈*, 김태훈, 이성래, 이민우, 장태석

HM03 Poster Dy 화합물 표면 코팅 및 확산에 따른 (Nd, Dy)-Fe-B 소결자석의 자기특성변화 18
이민우*, D.R. Dhakal, 임태환, 장태석

○ Session MO [Magnetic oxides and multiferroics]

MO01 Poster Deterministic Control of Morphotropic Phase Boundary using Electric Field 20
Kwang-Eun Kim*, Byung-KweonJang, JinHongLee, Chan-HoYang

MO02 Poster 이차전지 양극물질 Li_x(Fe_{0.5}Mn_{0.5})PO₄의 자기적 특성 연구 22
권우준*, 김두환, 서휘, 이재승, 차재훈, 허민재, 김철성

MO03 Poster Antiferromagnetic Ordering in Li₂MnO₃ Single Crystal with two Dimensional Honeycomb Lattice 24
Sanghyun Lee*, Seongil Choi, Jiyeon Kim, Hasung Shim, Choongjae Won, Seongsu Lee, Shin Ae Kim, Namjung Hur, and Je-Geun Park

MO04 Poster Ar Flow Rate에 따른 산화철 나노입자의 크기 분석 26
김동영*, 윤석수

MO05 Poster γ-Fe₂O₃/BiFeO₃ 에서의 교환바이어스 연구 28
성길동*, 박영안, 허남정, 정종훈

MO06 Poster The Effect of Plasma Treatment on the Transport Properties of Magnetic SrRuO₃ Thin Films 29
F. Kurnia*, Khairurrijal*, O. Tambunan, B. W. Lee, J. Choi, J. Cho, B. H. Park, S. -B. Shim, J. Kim, C. U. Jung

MO07 Poster Photon Polarization Dependence of Photocurrent in Multiferroic BiFeO₃ Thin Films 31
Seung Jin Kim*, Jin Hong Lee, Ji Soo Lim, Kang Hyun Chu, Chan-Ho Yong

MO08 Poster 핵자기공명 실험을 이용한 스피넬 산화물 MnV₂O₄의 궤도상태 및 자기변형에 관한 연구 33
조은아*, 심정현, 김창수, 강병기, 권상일, 이순철, T. Katsufuji

○ Session SM [Soft magnetic]

SM01 Poster CoFe/Au 바코드 나노선 합성 및 나노선 직경과 자성층 두께에 따른 자기이방성 변화 · 34
김봉건*, 박범철, 서효원, 김기하, 김영근

SM02 Poster UHF 응용을 위한 Y-type 페라이트의 투자손실 특성 연구 36
이찬혁*, 김진모, 임정태, 고태준, 김삼진, 김철성

SM03 Poster Co₂Z Ba-ferrite의 결정학적 특성과 자기적 특성연구 38
임정태*, 김진모, 이찬혁, 김철성

SM04 Poster 고주파수 소자용 Ba₂Ni_{2-2x}Co_xMn_xFe₁₂O₂₂의 자기적 특성 연구 40
조광래*, 원미희, 강주홍, 심인보, 김철성

SM05	Poster	$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ 의 자기적 특성 42 권윤미*, 유춘리, 이보화	42
SM06	Poster	Effect of Preparation Conditions on the Structural and Magnetic Properties of NiZn Ferrite Nanoparticles 44 유춘리*, 유필선, 채윤기, 권윤미, 이보화	44
SM07	Poster	바이어스 전류가 기본파 구동 플렉스 게이트 센서의 감도와 측정 범위에 미치는 영향 .. 46 김용민*, 김영학, 임상호, 양창섭, 신광호	46
○ Session ST [Spintronics]			
ST01	Poster	비정질 FeNiSiB 층을 자유층에 삽입한 이중 자기터널접합의 전압의존성 특성 48 김도균*, 조지웅, 전병선, 신경호, Shinji Isogami, Masakiyo Tsunoda, Migaku Takahashi, 김영근	48
ST02	Poster	전류 인가 자구벽 이동의 줄 효과 보정 50 김덕호*, 문경웅, 유상철, 민병철, 신경호, 최석봉	50
ST03	Poster	Transition of Magnetic Properties with Various Annealing Temperature in CoFeB Films 52 Cheong-Gu Cho*, Sang-Jun Yun, Joon Moon, Cheol-Hyun Moon, Hyo-Jin Kim, Sang-Im Yoo, and Sug-Bong Choe	52
ST04	Poster	Pt/Co/Pt 시스템에서의 스핀토크 자구벽 운동 영역의 확장 54 제승근*, 유상철, 민병철, 신경호, 최석봉	54
ST05	Poster	교환바이어스 된 NiFe/FeMn 구조의 방위각에 따른 자화 역전과 rotatable anisotropy 55 최혁철*, 유천열, 김기연	55
ST06	Poster	브릴루앙 광산란을 이용한 열처리에 따른 CoFeB 박막의 Exchange Stiffness Constant 특성 57 정진용*, 김가연, 조재훈, 유천열	57
ST07	Poster	Thermal Activation of Reversal Process in Amorphous CoSiB/Pd Multilayers with Perpendicular Magnetic Anisotropy 59 Jungbum Yoon*, Sol Jung, Youngha Choi, Jaehun Cho, Chun-Yeol You, Myung-Hwa Jung, and H. I. Yim	59
ST08	Poster	인산염 코팅된 Fe-Al 분말 코어의 자기적 특성 61 최재정*, 장평우	61
ST09	Poster	Magnetic Couplings in MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO and CoPt/Co/Ta/CoFeB/MgO Structures 63 Chul-Hyun Moon*, Byoung-Chul Min, Kyung-Jin Lee, and Kyung-Ho Shin	63
ST10	Poster	Switching Phase Diagram and Spin-torque Diode Spectra of MgO Magnetic Tunnel Junctions 65 K. Y. Jung*, B. C. Min, S. Y. Park, K. Rhie, and K. H. Shin	65
ST11	Poster	Anomalous ISHE in Pt/Py System Due to Surface Oxidation on Py Layer 67 Sang-Il Kim*, Jeong-Min Han, Ki-Seung Lee, Byoung-Chul Min, Kyung-Jin Lee, Kyung-Ho Shin, and Seung-Young Park	67

ST12	Poster	Structural and Magnetic Properties of Epitaxial Co ₂ FeAl Films Grown on MgO Substrates for Different Growth Temperatures	69
		전병선*, 황찬용, 김영근	
ST13	Poster	Deposition Sequence and Exchange Bias Field in FeMn/NiFe Bilayers with Ta/Cu Underlayer	71
		Ki-Yeon Kim*, Hyeok-Cheol Choi, Sin-Yong Jo, Chun-Yeol You	

11월 30일(금) 09:30~12:10 Session : Special Symposium ' Novel magnetic materials and Biomagnetics '	다이아몬드
---	-------

* 좌 장 : 김철기(충남대)

S-1	09:30	Probe of the Spin-Switching in Spin-Crossover Materials: A Micro-Magnetometer ·	75
		Ferial Terki*, Tran Quang-Hung, Mourad Dehbaoui, Souleymane Kamara, Richard Dumas, Salam Charar, Azzedine Bousseksou and CheolGi Kim	
S-2	10:00	Synthesis and Magnetic Characterization of “α”-Fe ₁₆ N ₂ Interstitial Compound - New Candidate for Permanent Magnetic Material with Rare Earth Element Free -	76
		Migaku Takahashi* and Tomoyuki Ogawa	
S-3	10:30	Magnetic Micro-transporters: Applications in Bioengineering	78
		R. Sooryakumar*	
S-4	11:10	Biomedical Applications of Sensitive Magnetic Measurements Based on SQUIDs: Brain Research and Cardiac Diagnosis	79
		Yong-Ho Lee*, Kiwoong Kim, Hyukchan Kwon, Jin-Mok Kim, Kwon-Kyu Yu	
S-5	11:40	Magnetophoretic Circuitry Elements for Digital Control of Biomolecules	80
		Byunghwa Lim, Xinghao Hu, Venu Reddy, Ilgyo Jeong, Young-Jae Eu, CheolGi Kim*	

11월 30일(금) 14:00~16:40 Session : Symposium on 'Green Magnetics VI' – IT 전자기기용 자성재료	다이아몬드
---	-------

* 좌 장 : 이정구(재료연구소)

VI-1	14:00	NdFeB 희토류 소결자석과 RE-free 영구자석의 개발 현황	85
		장태석*	
VI-2	14:30	Magnetic Properties of Hddr-treated Nd-Fe-B-Type Materials	86
		M. A. Matin*, H. W. Kwon, J. G. Lee, J. H. Yu, T. H. Kim and C. W. Yang	
VI-3	15:00	Nd-Fe-B 이방성 압축성형 본드자석과 이를 적용한 모터의 경량화 설계 사례	88
		김효준*, 김상면	
VI-4	15:40	Trend in Research and Development Related to Permanent Magnets for Solving Rare-earth Resources Problem	89
		이정구*, 유지훈	

VI-5	16:10	Critical Issues for High Performance Hexaferrite Permanent Magnets	90
		Sang-Im Yoo*	

12월 1일(토) 09:00~11:40 Session : 초청강연	다이아몬드
---	-------

* 좌 장 : 임상호(고려대)

I-1	09:00	양성자 조사에 의한 복잡한 자성 나노 구조물의 비파괴적 나노 패터닝	93
		홍종일*, 김상훈, 이수길, 고정호, 손장엽, 김민석	
I-2	09:30	자기장의 생체반응연구	95
		황도근*, 이진용, 이현숙	
I-3	10:00	Ni Nanotube Array의 강자성 공명 특성 및 IT응용	96
		김동영*, 전성재, 윤석수	
I-4	10:40	Nuclear Magnetic Resonance in Ferromagnetic Materials: Correlating the Structure and Morphology of Thin Films, Multilayers and Nanocomposites to their Physical Properties	98
		Christian Meny*	
I-5	11:10	Neutron Diffraction Study of the $Ga_xFe_{2-x}O_3$ Compounds	100
		Christophe Lefevre*, Francois Roulland, Alexandre Thomasson, Christian Meny, Florence Porcher, Gilles André and Nathalie Viart	

12월 1일(토) 11:50~12:20 Session : 구두발표	다이아몬드
---	-------

* 좌 장 : 정창욱(한국외대)

O-1	11:50	Doped Graphene Induced Magnetization Reversal and Spintronics of Ni/Graphene/Co	103
		Jisang Hong*, Dongyoo Kim, and Hashmi Arqum	
O-2	12:05	Size Distribution and Temperature Dependence of Magnetic Anisotropy Constant in Ferrite Nanoparticles	104
		Sunghyun Yoon*	

* 좌 장 : 김인기(포항공대) / 조성래(울산대)

○ Session MT [Magnetic theory and calculations]

MT01	Poster	Spin Orbit Coupling and Correlation Effect on the Structural Optimization of Telluride Alloys ; First-principles Approach	109
		Tran Van Quang* and Miyoung Kim	
MT02	Poster	(111) 방향으로 성장한 강자성체 박막의 자화거동 계산	110
		강희경*, 남윤재, 임상호	
MT03	Poster	Thickness Dependent Energy Product and Coercivity Field of Exchange Spring Magnet FeCo/FePt Multilayers	112
		Dongyoo Kim*, Hashmi Arqum, Jisang Hong	
MT04	Poster	X선 마이크로포커스 음극 집속관 설계제작을 위한 전자빔 궤적계산 연구	113
		박태영*, 정훈모, 이근학, 장창실, 박래준, 이상석	
MT05	Poster	Pt ₃ M (M=Co, Fe) 합금의 O ₂ 분해 촉매성과 자성에 대한 제일원리계산	116
		권오룡*, 홍순철	
MT06	Poster	First-principles Investigation on Fundamental Magnetism and Electronic Structures of α-Mn	117
		Won Seok Yun*, Jee Yong Lee, and In Gee Kim	
MT07	Poster	Analytic Solutions of Quadratic Lattice Bethe Model of Binary Alloys	119
		Jee Yong Lee*, Won Seok Yun, and In Gee Kim	
MT08	Poster	암염구조를 가지는 반쪽금속 CaN 과 NaN이 (001)계면을 형성할 때의 전자구조	122
		김동철*, Beata Bialek, 이재일	
MT09	Poster	20kHz 자기장 노출에 의한 3차원 고해상도 인체모델의 유도전류 해석	124
		송혜진*, 신한수, 변진규	
MT10	Poster	전자장 흡수용 자성시트의 와전류손실 시뮬레이션	127
		문수진*, 장평우	
MT11	Poster	Current-induced Domain-wall tilting in Ferromagnetic Nanowires with Perpendicular Magnetic Anisotropy	129
		Sang-Cheol Yoo*, Kyoung-Woong Moon, Kyung-Ho Shin, Byoung-Chul Min and Sug-Bong Choe	
MT12	Poster	Electronic Structure and Magnetism of Alloying Elements Substituted B ₂ FeAl Intermetallic Compounds: A Density Functional Study	130
		Won Seok Yun*, Jee Yong Lee, and In Gee Kim	

○ Session NM [Nanostructured materials]

NM01	Poster	Epitaxial Growth and Magnetic Properties of Fe/MgO/InAs(001) Heterostructures	132
		Jeong Hong Jo*, Yoon Jae Nam, Kyung Ho Kim, Hyung Jun Kim, Joon Yeon Chang, Jin Pyo Hong, and Sang Ho Lim	

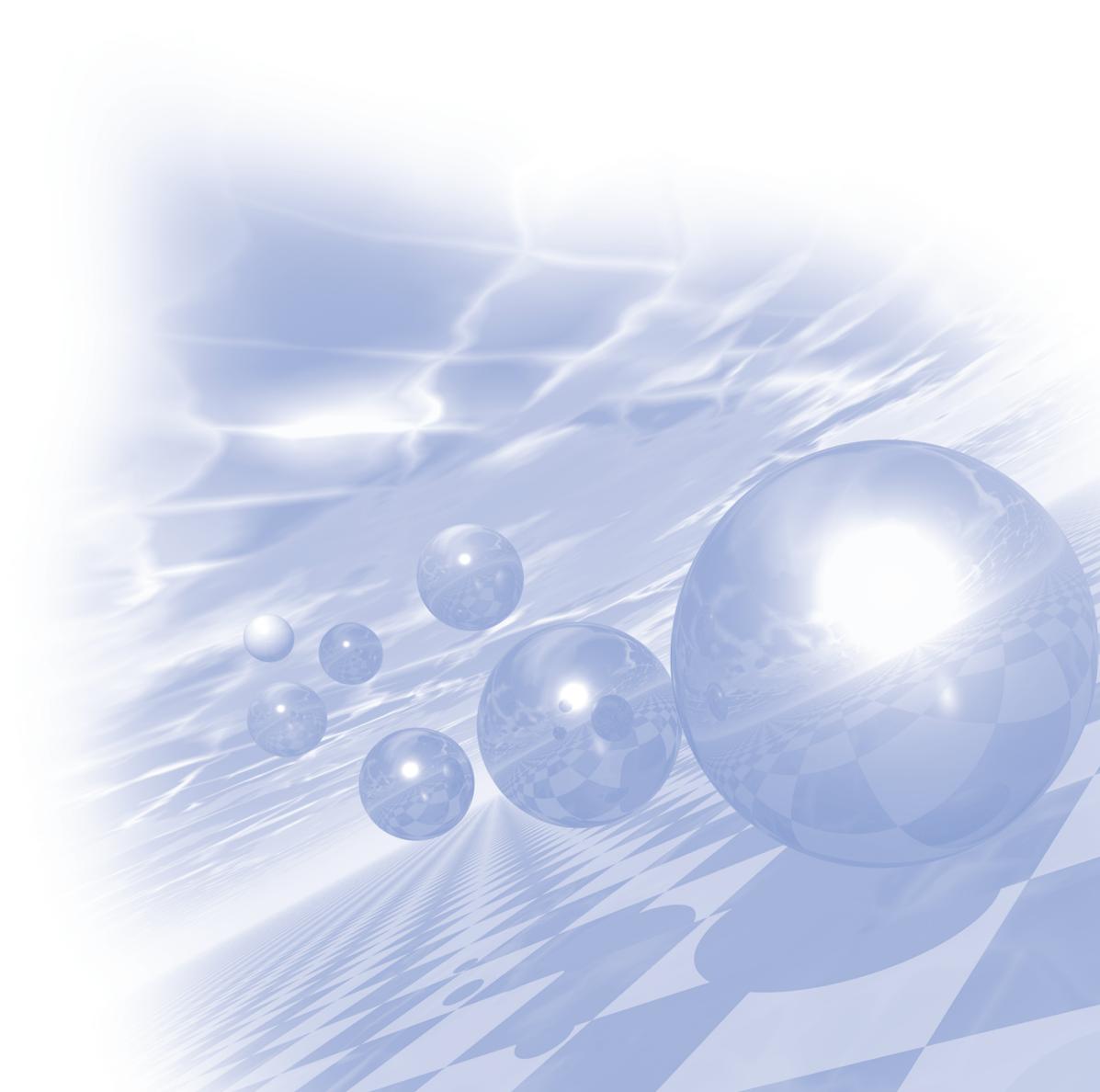
NM02	Poster	NiFe 박막의 두께에 따른 강자성공명 특성 분석	133
		김동영*, 윤석수	
NM03	Poster	Growth Temperature Dependent Magnetic Properties in Epitaxial Co Thin Films ..	135
		Seungmok Jeon*, Duong Anh Tuan, Yooleemi Shin, and Sunglae Cho	
○ Session SA [Sensors and applications]			
SA01	Poster	홀소자 집게형 맥진기로 획득한 허맥과 실맥의 파형 분석	137
		이남규*, 허준이, 김근호, 손일호, 최종구, 이상석	
SA02	Poster	Blood Velocity and Pusle Wave Velocity by using ECG-PPG-Radial Artery Pulse Wave Equipped with Magnetic Hall Device	140
		Joo-Hyung Lee*, Jae-Yeon Lee, Jun-Yi Hur, Nam-Kyu Lee, Keun-Ho Kim, Jong-Gu Choi, and Sang-Suk Lee	
SA03	Poster	홀센서 집게형 맥진기 요골동맥파에 FFT를 적용한 호흡수 추출	143
		조현성*, 장명복, 이남규, 김근호, 최종구, 이상석	
SA04	Poster	미크론 자성비드 검출용 바이오센서에 대한 고감도 GMR-SV 소자의 제작과 특성 연구	146
		최종구*, 박광준, 이주형, 이상석, 이장로	
SA05	Poster	자기소거 및 자기장분포 측정 장치 제작	149
		김정윤*, 유일선, 이성민, 손대락	
SA06	Poster	Flux-gate Magnetometer의 Perming 효과 측정	151
		장세종, 김은애, 이승주, 손대락*	
SA07	Poster	교류 자기장센서 시험장치 제작	153
		이승주, 양창섭, 정현주, 손대락*	
SA08	Poster	와전류 탐촉자를 활용한 비접촉 탄속측정 장치제작	155
		이성민*, 유일선, 김정윤, 신준규, 정규체, 유권상, 손대락	
○ Session OT [Others]			
OT01	Poster	Perpendicular Magnetic Anisotropy Properties of [Co ₆₀ Cu ₄₀ /Pt] ₆ Multilayers	157
		Dong Su Son*, Sang Ho Lim, and Seong-Rae Lee	
OT02	Poster	펄스자기장 치료기 코일프로브 개발	159
		김성현*, 석효준, 이종력, 이진용, 이현숙, 황도근	
OT03	Poster	비정질 강자성체 CoSiB/Pd 다층박막의 수직자기이방성 연구	161
		정 솔*, 임혜인, 윤정범, 유천열	
OT04	Poster	Structure and Magnetic Properties of FeGa Thin Film on GaSb (100)	163
		Anh Tuan Duong, Yooleemi Shin, Tran Viet Cuong*, and Sunglae Cho	
OT05	Poster	Structural and Magnetic Properties of FeSi Films Grown on Si(001)	165
		Yooleemi Shin*, Duong Anh Tuan, and Sunglae Cho	
OT06	Poster	The Magnetic Entropy Change on La _{0.7} Ba _{0.3} Mn _{1-x} Fe _x O ₃ Compound	166
		J. S. Hwang, D. M. Jang, K. S. Kim and S. C. Yu*	

OT07	Poster	La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃의 자기열량효과 168 장동민, 황종순, 김경섭, 유성초*
OT08	Poster	Effects on Magnetic and Electric Properties by Cation Substitution (Mg, Co) in Multiferroic Ga_{0.6}Fe_{1.4}O₃ thin films 170 R. H. Shin*, S. H. Oh, W. Jo, C. Lefevre, F. Roulland, A. Thomasson, C. Meny, and N. Viart
OT09	Poster	Electronic structure and magnetism of catalytic material Pt₃Ni surfaces: Density-functional study 172 Bharat Kumar Sharma*, Oryong Kwon, Dorj Odkhuu, Soon Cheol Hong
OT10	Poster	A study on Spontaneous Hall effect in Amorphous CoSiB/Pt/CoSiB sandwich structure 173 Y.K. Kim*, S.Y. Kim, I.S. Park, H.N. Lee, H.J. Kim, T.W. Kim
OT11	Poster	Anisotropy Magnetoresistance(AMR) Effect in the Co-TbN two-phase system 174 S.Y. Kim*, H.N. Lee, Y.K. Kim, H.J. Kim, I.S. Park, T.W. Kim



International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012

총회 특별초청강연



SPIN CROSSOVER MOLECULAR MATERIALS

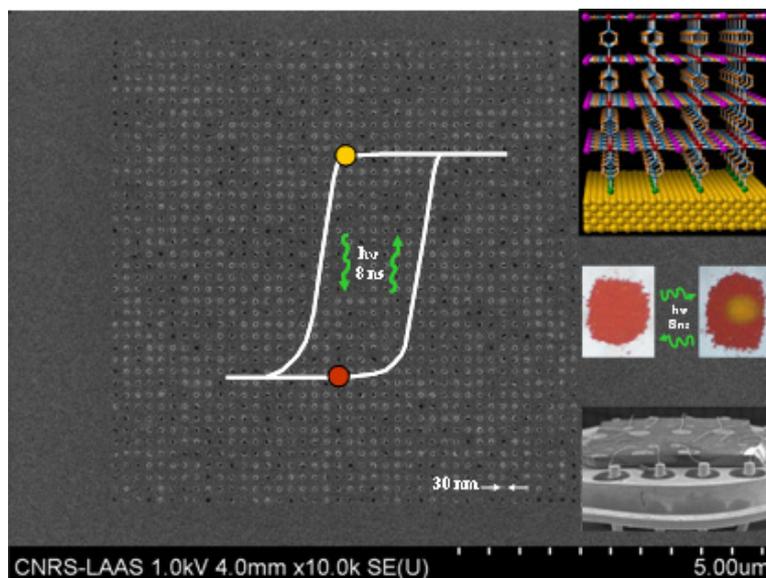
Spatio Temporal Spin propagation Thin films Nanostructuration and Devices

Azzedine Bousseksou,^{1*} Gabor Molnar,¹ Lionel Salmon,¹ Saioa Cobo,¹ José Antonio Real,² Christophe Vieu,³ and Koichiro Tanaka⁴

¹LCC/CNRS, Toulouse, France, boussek@lcc.toulouse.fr, ²Universidad de Valencia, Spain,

³LAAS/CNRS, Toulouse, France., ⁴Kyoto University, Japan.

The spin crossover phenomenon in inorganic materials is one of the most spectacular examples of molecular bistability, which means that these molecules may exist in two different electronic states within a certain range of external perturbations. Most notably, the existence of a thermal hysteresis in certain complexes (in the solid state) confers a memory effect on these systems.¹⁻³ In our group we are particularly interested in the synthetic elaboration of nanometric thin films⁴ and nano-sized patterns⁵ that we obtain by electron beam lithography and in the application of an external perturbation in the hysteresis loop of spin crossover materials leading to an irreversible switching of their physical properties.² **recent hot results concerning the spatio-temporal spin propagation and visualisation of nucleation and growth of spin domains in spin crossover single crystals will be presented.** Experiments under different pulsed external stimuli such as intense magnetic field and light irradiation, dielectric properties leading to molecular memories after elaboration of bistable thin films and their nanostructuration will be also presented and discussed.¹⁻⁸



Combined Top - Down and Bottom -Up Approach for the nanoscale patterning of $\{\text{Fe}(\text{Pyrazine})[\text{Pt}(\text{CN})_4]\}$.
Inserts: Schematic structure on Gold surface of $\{\text{Fe}(\text{Pyrazine})[\text{Pt}(\text{CN})_4]\}$; reversible nanosecond photo switching in the hysteresis loop at room temperature and memory device prototype using the dielectric properties of spin crossover compounds.

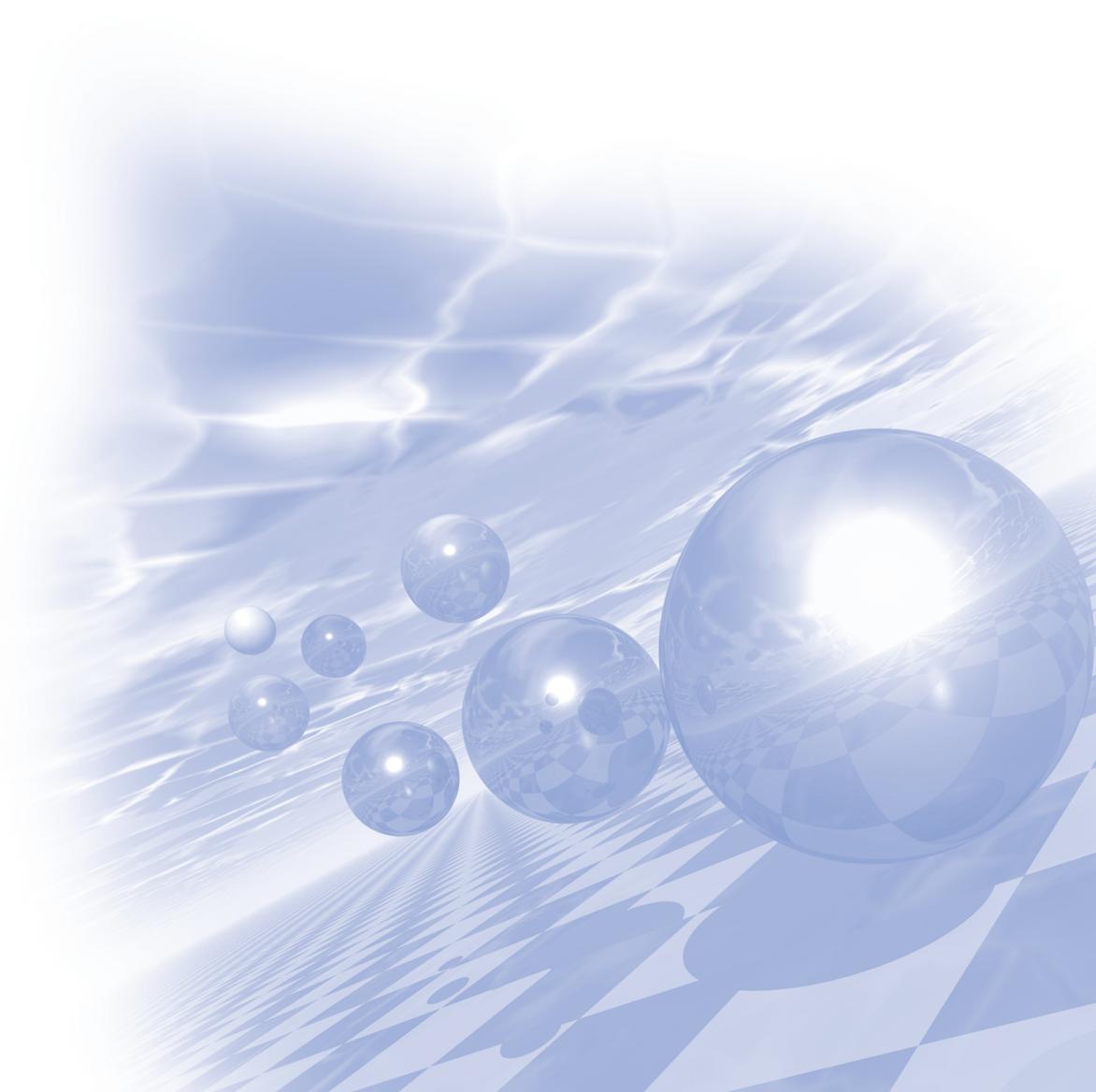
참고문헌

- [1] A. Bousseksou, et al Chem. Soc. Rev. 2011 (Critical Review)
- [2] N. Ould Moussa et al, Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 107205.
- [3] S. Bonhommeau et al, Angew. Chem. Int. Ed. 44 (2005) 4069-4073.
- [4] S. Cobo et al, Angew. Chem. Int. Ed. 45 (2006) 5786-5789.
- [5] G. Molnár et al, Adv. Mater. 19 (2007) 2163-2167.
- [6] S. Cobo, J. Am. Chem. Soc. 130 (2008) 9019-9024.
- [7] T. Mahfoud et al, J. Am. Chem. Soc. 131 (2009) 15049-15054.
- [8] S. Cobo, J. NanoSci. Nanotech. J. Nanosci. Nanotech. 10 (2010) 5042-5050.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012**

강습회 프로그램



Neutron Scattering at HANARO

J. M. Sungil Park^{1*}

¹Korea Atomic Energy Research Institute

Thanks to their magnetic moment, neutrons have been instrumental in studying magnetic materials, from the spin structures of simple antiferromagnets to the spin fluctuations in high-temperature superconductors. Since neutron scattering requires powerful research reactors or spallation neutron sources, the method has been available only in select countries. HANARO, Korea's large-scale research reactor with a neutron flux comparable to those of the most powerful research reactors around the world, is one of those places where serious neutron scattering research of magnetic materials can be performed. In this tutorial, we discuss the very basics of neutron scattering and introduce the suite of instruments available or being built at HANARO. Access to the facility will also be discussed.

중성자 반사율을 이용한 자기 박막 연구

조창우¹, 황선민¹, 이승환¹, 김기연², 이정수², 박성균*

¹부산대학교 물리학과, 부산 609-735

²한국원자력연구원 중성자연구부, 대전 305-353

중성자를 이용한 반사율 측정은 기존의 알려진 광자를 이용한 반사율 측정법과 유사한 방법으로 물질의 밀도(핵밀도) 차이에 의해서 발생하는 반사된 중성자의 세기를 반사각도에 따라 측정함으로써 박막 시편의 밀도, 두께, 거칠기 등을 측정할 수 있다. 중성자와 핵자 사이의 상호작용 정도를 나타내는 nuclear scattering length density 값들은 주기율표의 전자 수 증가와 무관하기 때문에 기존의 X선 반사율에서 측정이 어려운 가벼운 원소 등으로 이루어진 물질 등의 연구에 아주 적합하다. 또한 중성자가 가지고 있는 스핀 특성을 이용하여 자성체 박막의 깊이에 따른 자기 분포(중성자의 스핀상태에 따른 반사율측정을 통해)를 측정할 수 있다. 이 측정법은 기존의 자성 측정법에서는 어려운 깊이에 따른 불규칙한 자기 분포 박막의 자기 상태를 연구하는데 유용하게 사용된다. 본 발표에서는 입사 중성자의 스핀 상태를 이용한 자성체 박막의 반사율 측정에 관한 기초 이론과 실제적으로 적용된 사례에 관해서 간단히 기술하고자 한다. 또한 국내에서 유일하게 운영 중인 하나로 냉중성자원을 이용한 반사율 장치에 관해서도 소개하고자 한다.

본 연구는 한국연구재단의 지원을(2012-005940, 2011-0031933) 받아서 이루어졌습니다.

*psk@pusan.ac.kr

Magnetic & Crystal Structure Studies with Neutron Diffraction

Seongsu Lee^{1*}

¹Korea Atomic Energy Research Institute

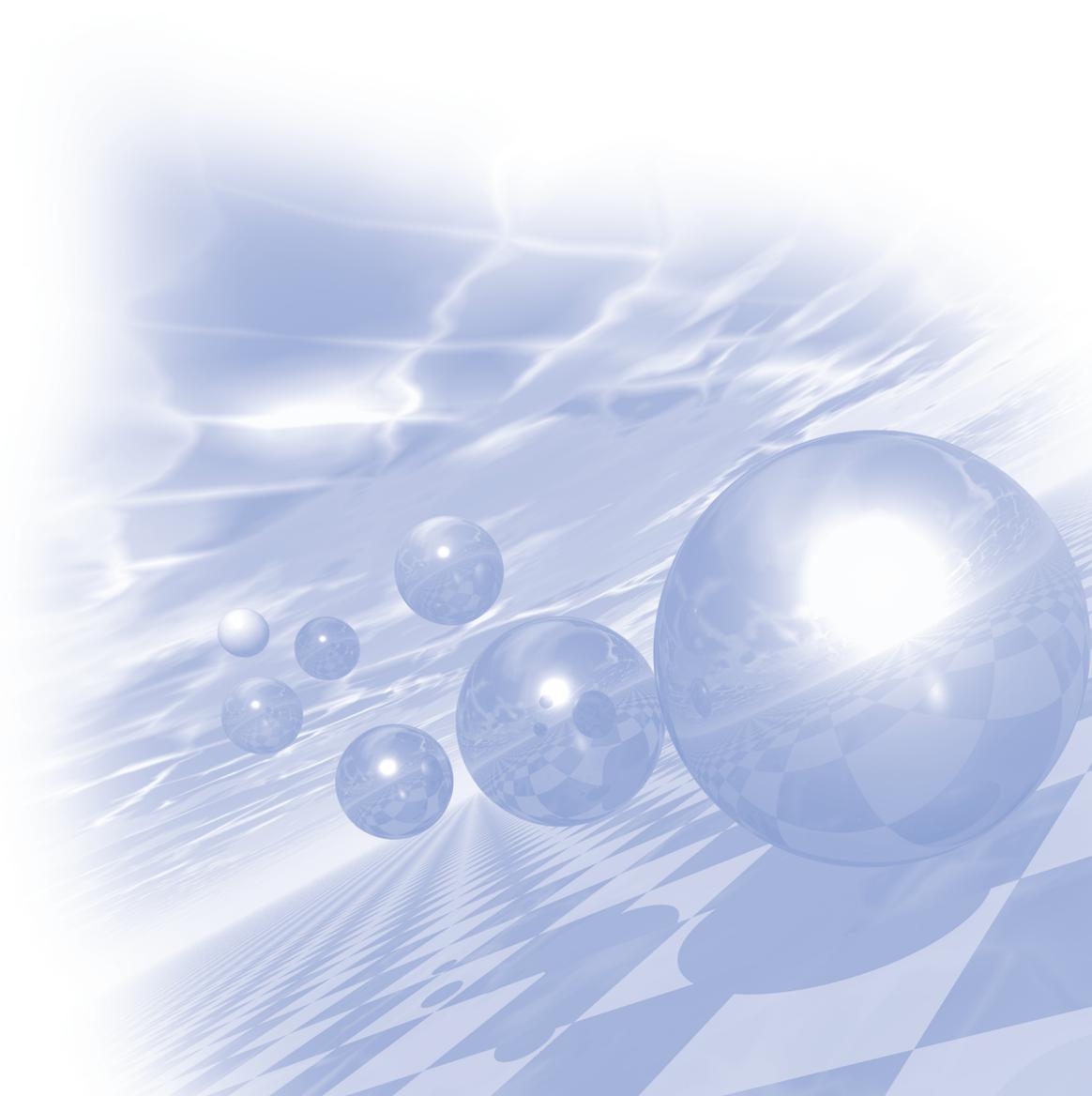
Neutron diffraction is a very powerful experimental tool for studying magnetic and crystal structure in macroscopic point view. After refining the neutron diffraction diagrams, we can get the impotent structural information such as atomic position, lattice parameter, thermal motion, magnitude of spin, spin configuration etc. Especially, multiferroics system which is coexisted two order parameters as well as ferroelectricity and magnetism in one material is strong candidate for requiring the neutron diffraction studies. Neutron diffraction can be investigated the origin of multiferroric phenomena such as coupling mechanism between the ferroelectric and magnetism.

In this talk, I will present how we can refine the magnetic and crystal structure using neutron powder diffraction. This talk will be introduced the analyzing method to refine a neutron diffraction data with Fullprof program. For example, I will explain detail crystal and magnetic structure of multiferroric hexagonal manganite with neutron diffraction. According previous our neutron diffraction studies, the hexagonal manganites RMnO₃ undergo an iso-structural transition at magnetic transition temperature with unusually large atomic displacements: two orders of magnitude larger than those seen in any other ordinary materials, resulting in a uniquely strong magneto-elastic coupling.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012**

포스터발표 (I)



나노유체를 활용한 단일 자성나노입자의 자기특성 판별

이은주¹, 황리라^{1,2}, 권윤미³, 이보화³, 박유근¹, 박상윤^{1*}

¹차세대융합기술연구원, 서울대학교

²Department of Chemistry, Stony Brook University, Stony Brook, NY

³전자물리학과, 한국외국어대학교

1. 서론

자성나노입자는 양자점나노입자, 형광나노입자등의 기타 나노입자들에 비해 제조의 용이성, 형질 변형의 다양성, 가격경쟁력, 친환경적 특성이 우수하므로 다양한 분야(에너지, 환경, 조기질병진단 및 치료 등)에 응용 가치가 매우 높다. 자성나노입자는 응용목적에 따라 크기, 자화특성의 정밀한 평가를 통한 특성의 제어가 필요하다. 기존의 SQUID와 VSM으로 나노입자의 평균자화값을 측정하였으나 단일 나노입자의 자화값을 평가할 수 없으므로, 정확한 평가가 어렵다. 이에 본 연구에서는 MEMS기술로 제작된 나노유체제어기술을 활용하여 단일 나노입자의 자화값을 평가할 수 있는지 여부를 알고자 한다.

2. 실험방법

양면 연마된 Si(100)wafer에 50nm의 SiO₂와 30nm의 Si₃N₄를 각각 PE-CVD와 LP-CVD를 이용하여 제작한 박막에 KOH용액을 사용하여 뒷면식각을 하여 membrane을 그림과 같이 제작하였다. 제작된 membrane에 FIB를 사용하여 80nm의 직경을 가진 nanopore를 만들어 완성하였다.

제작된 나노포어소자는 헬름홀츠코일 중앙에 위치하고 그 위에 자성나노입자가 들어있는 0.1M의 KCl용액이 담긴 마이크로 챔버를 sealing하고, AgCl음극과 Ag/Ni/AgCl 양극사이에 전압을 인가하고 헬름홀츠코일로부터 자기장을 전기장의 방향과 평행하게 인가하면서 이온전류를 측정한다.

3. 실험결과

5분동안 이온전류의 변화를 측정하였다. 약 8nA의 이온전류가 나노포어를 통해 흐르는 동안 pulse형태의 전류강하가 다량발생한다. 이는 자성나노입자가 나노포어를 통과시 흐르는 전해질의 이온전류를 순간적으로 방해하는 것으로, 전류강하의 크기로부터 나노포어를 통과하는 단일 자성나노입자의 크기를 판별하였다. 나노유체내에서 전기장과 자기장하의 전하를 가진 자성나노입자의 속도는 Navier-stokes방정식, Poisson-Nerst-Plank 방정식, magnetic dipolar force를 통해 이론값을 계산하고 전류강하의 dwell time을 측정하여 속도의 실험값을 얻었다. 이로부터 단일 자성나노입자의 자화값을 판별하여 그 분포도를 외부자기장의 세기에 따라 확인하였다.

4. 결론

본 연구를 통해 자성나노입자의 크기를 정밀하게 측정할 수 있는 기술을 확보하여 기존의 기술에 비해 향상된 해상도를 가짐을 확인하였고, 기존의 측정기술로 알 수 없었던 단일 자성나노입자의 자화값을 나노유체 기술을 활용하여 판별할 수 있음을 확인하였다.

Dy-X (X=F, H, O) 화합물 분말 첨가에 따른 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성의 변화

김태훈^{1*}, 이성래¹, 이민우², 장태석²

¹고려대학교 신소재공학과, 서울특별시 성북구 안암동 고려대학교, 136-713

²선문대학교 하이브리드공학부, 충남 아산시 당정면 선문대학교, 336-708

1. 서론

Dy-저감형 고틱성 Nd-Fe-B 소결자석을 제조하기 위해서는, 보자력 향상에 기여하지 못하고 소모되는 Dy의 분율을 최소화 하면서 주상에 Dy를 효율적으로 분포 시켜야 한다 [1, 2]. DyH_x 분말을 첨가한 소결자석의 경우, Dy₂O₃ 분말을 첨가한 경우와 마찬가지로 core-shell 형태의 Dy 분포를 보인다 [1]. 하지만, DyH_x 분말을 첨가하면 shell 부분에서의 Dy 함량이 증가하면서 보자력이 더욱 향상된다[1]. 반면, DyF₃분말을 첨가한 경우에는, Dy 원자의 확산도가 향상되어 비교적 균질한 Dy 분포를 보인다 [2]. 또한, DyF₃분말을 첨가 할 경우, Dy가 불필요하게 응집되어 있는 RE-rich (Rare-earth rich, Nd-Dy-O)상의 형성이 억제된다 [2]. 따라서, Dy 함량을 저감하면서 소결자석의 보자력을 향상시키기 위해서는 DyF₃ 분말을 첨가하는 것이 가장 효율적이다. 이와 같이, 소결자석에 첨가하는 Dy-X (X=F, H, O) 화합물 분말 종류에 따라 소결자석의 미세구조와 자기적 특성의 변화 양상은 매우 다르지만, 이에 대한 명확한 기구는 아직 규명되지 않았다. 본 연구에서는 Dy-X (X=F, H, O) 화합물 분말을 첨가한 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조를 관찰하고, 미세구조 변화의 기구를 규명 하였다.

2. 실험방법

조성이 27.7Nd-4.9Dy-bal.Fe-1.0B-2.40M (wt.%, M=Cu, Al, Co, Nb)인 Nd-Fe-B 분말과 Dy-X (X=F, H, O) 분말을 혼합하여 26.1Nd-4.9Dy-bal.Fe-1.0B-2.40M 조성의 분말을 준비한 후, 자장성형 및 소결을 진행하였다. 소결은 1070 °C에서 4시간동안 진행 하였고, 이상적인 조건에서 소결 후 열처리를 진행 하였다. 비교분석을 위해, Dy 함량이 같은 일반소결자석 (un-doped)도 준비 하였다. 각 시편의 미세구조 변화는 주사전자현미경 (JXA-8500F)과 투과전자현미경 (FEI TecnaiF20)을 이용하여 관찰 하였으며, EPMA (JXA-8500F Electron Probe Micro Analyzer), SADP (FEITecnaiF20)를 이용 하여 상변화 및 상분포를 관찰 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 Dy-X 화합물 첨가에 따른 소결자석의 보자력 증가 양상을 나타낸다. DyF₃ 분말을 첨가한 소결자석의 보자력이 가장 효율적으로 향상되었다. DyF₃ 분말을 첨가 하면, Dy 함량이 1 wt.% 증가함에 따라서 보자력이 3.1 kOe 증가 하였다. DyH_x 분말첨가의 경우에는 3.0 kOe/wt.%Dy, Dy₂O₃ 분말첨가의 경우에는 2.4 kOe/wt.%Dy로 un-doped 자석의 경우와 비슷한 수치를 나타냈다 (un-doped : 2.3 kOe/wt.%Dy). 앞서 언급했듯이, DyF₃분말을 첨가한 소결자석의 경우, 다음과 같은 중요한 미세구조변화가 나타난다 [2]. 1) Dy원자의 확산도 증가. 2) Dy가 불필요하게 응집되어있는 RE-rich 상 형성의 억제. 이와 같은 Dy 분포의 변화기구는 다음과 같이 설명 될 수 있다. DyF₃분말은 비교적 낮은 온도인 617°C에서 분해가 되기 때문에 [2], 분해된 F⁻ion이 Nd₂Fe₁₄B격자의 특정 침입형 자리에 들어갈 수 있다 [3]. 그러면, 국부적인 charge neutrality를 유지하기 위해서 양전하를 띠는 anion vacancy가 형성 되고, 새롭게 형성된 anion vacancy로 인해서 F⁻ion의 확산도가 향상된다 [4]. 이 결과, F⁻ion은 주상 전체 영역에 영향을 미치게 된다. 따라서, F⁻ion기화된 이후에 trap되는 자유전자에 의해서, 주상 전체 영역에 대한 Dy³⁺cation의 확산도가 향상된다. 또한, 소결공정중에 다음과 같은 화학반응이

일어난다. $\text{Nd}_2\text{O}_3 + 2\text{DyF}_3 \rightarrow \text{Nd}_2\text{O}_3\text{F}_6$ [5]. Dy^{3+} cation의 향상된 확산도에 의해서, 소결중에 형성된 $(\text{Nd}, \text{Dy})_2\text{O}_3\text{F}_6$ 상의 Dy ion들이 모두 주상으로 확산되기 때문에, RE-rich (Nd-Dy-O) 상이 형성이 억제되고 Nd-O-F 상이 형성된다. 결과적으로, 불필요하게 소모되는 Dy (RE-rich 상)이 줄고, 대신 주상으로 Dy이 확산되어 효율적으로 Dy이 사용된다. 반면, DyH_x 분말 첨가의 경우, DyH_x 분말에서 분해되어 나오는 H^+ ion은 F^- ion과 반대로 cation 이다. 이 경우, H^+ ion이 주상의 특정 침입형 자리에 들어가면, 음전하를 띠는 cation vacancy가 형성된다 [4]. 이 결과, Dy^{3+} cation이 바로 유입 될 수 있다. 따라서, H^+ ion은 F^- ion과 달리 주상 전체 영역에 영향을 미치지 못하고, 결정립계 부근의 주상 영역에만 영향을 미치게 되기 때문에, Dy 원자의 주상 전체에 대한 확산도는 향상 되지 않고 shell 부분으로의 확산도가 향상 되어 보자력이 효율적으로 증가한다.

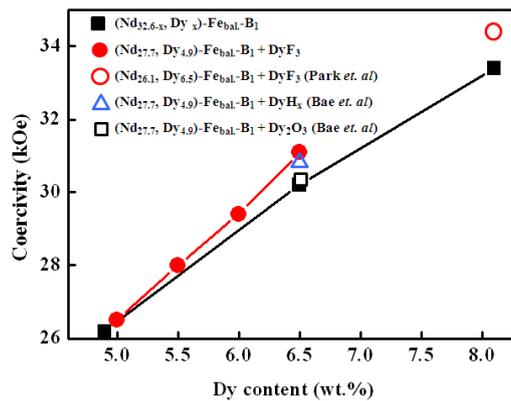


Fig. 1. Dy-X (X=F, H, O) 화합물 분말 첨가에 따른 Nd-Fe-B 소결자석의 자기적 특성 변화

5. 결론

Dy-X (X=F, H, O) 화합물 분말 첨가에 따른 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성 변화를 관찰하였다. DyF_3 분말을 첨가하면, F^- ion의 영향으로 주상 전체에 대한 Dy 원자의 확산도가 향상되고, 소결공정중의 화학반응에 의해서 RE-rich 상 형성이 억제된다. DyH_x 분말을 첨가할 경우, H^+ ion의 영향으로 shell 부분으로의 Dy 확산이 용이해지고, 보자력이 효율적으로 향상 된다. DyF_3 분말을 첨가 하면, Dy 함량이 1 wt.% 증가함에 따라서 보자력이 3.1 kOe 증가 하였고, DyH_x 분말첨가의 경우에는 3.0 kOe 증가 하였다. Un-doped 자석과 비교하였을 때, DyF_3 분말을 첨가하게 되면 약 1.35 wt.%, DyH_x 분말을 첨가하면 약 1.3 wt.%의 Dy을 저감할 수 있다.

6. 참고문헌

- [1] Kyoung-Hoon Bae, Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Seok Namkung, and Tae-Suk Jang, J. Appl. Phys. in press (2012).
- [2] Song-E Park, Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Seok Namkung, and Tae-Suk Jang. J. Appl. Phys.111, 07A707 (2012).
- [3] A. I. C. Persiano. Hyperfine Interactions. 122, 71 (1999).
- [4] Digby D. Macdonald. J. Electrochem. Soc. 139, 3435 (1992).
- [5] Masayuki Takashima and Gentaro Kano. Solid State Ionics. 23, 99 (1987).

Acknowledgement

본 연구는 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단 및 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행된 연구임

DyF₃-표면코팅 된 Nd-Fe-B 소결자석에서 소결 후 열처리 조건이 미세구조와 자기적 특성에 미치는 영향

배경훈^{1*}, 김태훈¹, 이성래¹, 이민우², 장태석²

¹고려대학교 신소재공학과, 서울특별시 성북구 안암동 고려대학교, 136-713

²선문대학교 하이브리드공학부, 충남 아산시 당정면 선문대학교, 336-708

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 함량을 저감하기 위해서는, core-shell 미세구조를 구현해야 한다. 이를 위한 공정 중에서 표면코팅확산 공정은, 자석 표면에서 내부로 Dy이 확산 될 때 결정립계를 통하여 확산되기 때문에 core-shell 미세구조 구현에 가장 유리하다 [1, 2]. DyF₃분말을 첨가하면, Dy 원자의 확산이 향상되고 Dy 원자가 응집되어 있는 RE-rich (Rare-earth rich, Nd-Dy-O)상 형성이 억제되기 때문에 보자력이 효율적으로 향상된다 [3]. 따라서, DyF₃ 화합물을 이용하여 표면코팅확산공정을 하면, 효율적으로 Dy-저감 고특성 Nd-Fe-B 소결자석을 제조 할 수 있다 [2]. 하지만, 1차 열처리 온도 변화에 따른 DyF₃-표면코팅확산처리된 Nd-Fe-B 자석의 Dy 확산 거동과 미세구조 및 자기적 특성 변화는 아직 분명히 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는 1차 열처리 온도에 따른 Nd-Fe-B 소결 자석의 미세구조와 상변화, 그리고 그에 따른 자기적 특성의 상관관계를 관찰하여 DyF₃-표면코팅확산공정을 위한 이상적인 1차 열처리 온도를 규명하였다.

2. 실험방법

실험 방법은 Nd_{27.68}Dy_{4.89}Fe_{bal.}B_{1.0}M_{2.4}(wt.%, M=Cu, Al, Co, 그리고 Nb)분말을 준비 1060°C에서 4시간 동안 소결하였다. 10×10×5 mm³크기의 소결자석은 50 wt. %의 DyF₃용액에 15분 동안 ultrasonic을 이용하여 코팅하였다. 1차 열처리는 700~950°C에서 4시간, 2차 열처리는 500°C에서 2시간 동안 처리하였다. 미세구조와 자기적 특성 분석은 EPMA, WDS, HRTEM, 그리고 BH loop tracer를 이용하였다. 미세구조는 주사전자현미경 (JXA-8500F)을 이용하여 관찰하였고 EPMA (JXA-8500F) (Electron Probe Micro Analyzer), WDS (Wavelength Dispersive X-ray Spectroscopy), HRTEM을 이용하여 상 변화 및 상 분포를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 1차 열처리 온도에 따른 DyF₃ 표면코팅확산 공정을 이용한 Nd-Fe-B 소결자석의 자기적 특성을 비교하였다. 1차 열처리 온도(700~900°C) 변화에 따른 보자력은 26.7에서 29.06 kOe으로 증가하였다. 반면, 950°C-1차 열처리 시편의 경우 29.06에서 27.9 kOe 감소하였다. 1차 열처리 온도(700~950°C) 변화에 따른 잔류자화는 12.3에서 12.28 kG으로 변화가 없었다. 1차 열처리 온도 변화에 따른 미세구조를 비교하여 보면, 온도가 증가(700~950°C)할수록, 자석 표면에서부터 결정립계를 따라 내부로 Dy 확산도 증가되었다. 이는, 열처리 온도 증가에 따른 표면에 흡착하고 있는 DyF₃ 화합물의 분해가 촉진되고, Dy의 확산이 상대적으로 용이하기 때문이다. DyF₃ 화합물의 분해에 따른, 확산영역에서의 RE-rich상 부피 분율 분석결과, 1차 열처리 온도(700~950°C) 증가에 따라 1.6에서 0.2 %로 효과 적으로 감소와 함께 core-shell 미세구조가 향상 되었다. 이 결과, 잔류자화 감소 없이 Nd-Fe-B 소결자석의 보자력을 향상하기 위해, DyF₃-표면코팅확산 공정을 적용한 기본목표를 충족하였다. 하지만, 950°C-1차 열처리 시편의 보자력 감소의 원인을 분석하기 위해, 1차 열처리 900, 950°C 시편을 TEM을 이용하여 Cu-rich 삼중점상과 결정립계 결정구조를 분석 하였다. 900°C-1차 열처리한 시편은 C-Nd₂O₃상이 Cu-rich 삼중점상과 결정립계 영역에서 형성 되었다. 반면, 950°C-1차 열처리 온도 시편은

h-Nd₂O₃상으로 형성 되었다. C-Nd₂O₃상 형성은 주상과의 격자 부정합을 감소 h-Nd₂O₃상 보다 상대적으로 계면 에너지를 줄여줌으로써, 역자구의 핵생성을 억제 시켜 보자력 향상에 기인한다 [4]. Nd-O 상태도에 따르면, 950°C 부근에서는 h-Nd₂O₃상 보다 fcc-NdO상으로 형성되기 쉽다 [4]. 1차 열처리에서, h-Nd₂O₃상의 형성은 2차 열처리 동안 Cu 분리에 의해 안정화 될 수 있는 C-Nd₂O₃ 상 형성에 필수 요소 이다 [5]. 그러므로, 950°C-1차 열처리 시 C-Nd₂O₃상이 형성되기에는 너무 높은 온도라고 볼 수 있다. 따라서, 900°C-1차 열처리 온도는 효율적인 core-shell 미세구조 발달과 함께 Nd-rich 상의 개선을 위한 최적의 조건이다.

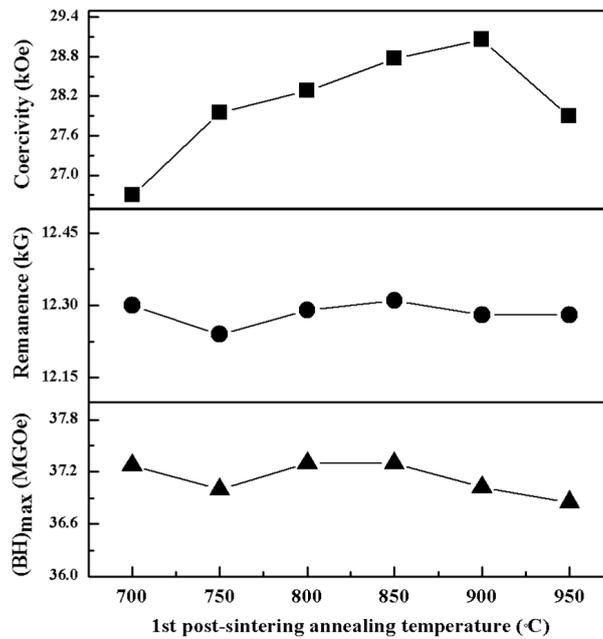


Fig. 1. 1차 열처리 온도에 따른 DyF₃- 표면코팅확산 공정을 이용한 Nd-Fe-B 소결자석의 자기적 특성.

4. 결론

DyF₃-표면확산공정을 이용한 Nd-Fe-B 자석은 900°C-1차 열처리 시, 잔류자화 감소 없이 29.06 kOe으로 최대 보자력을 나타 내었다. 최적의 1차 열처리 온도(900°C)으로 DyF₃-표면확산공정 이용에 따른 미세구조 개선은 다음과 같이 요약 할 수 있다. 첫째, 최적화된 Dy 내부 확산 깊이와 효율적인 core-shell 미세구조, 둘째, 효과적인 RE-rich상 억제 그리고 셋째, 삼중점상 및 결정립계에서의 C-Nd₂O₃상 형성으로 인한 보자력 향상이다.

5. 감사의 글

본 연구는 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업과 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- [1] K. Hirota, H. Nakamura, T. Minowa, and M. Honshima, IEEE. Tran. Magn. 42, 10 (2006).
- [2] H. Nakamura, K. Hirota, M. Shima, T. Minowa, and M. Honshima, IEEE. Tran. Magn. 41, 10 (2005).
- [3] S. E. Park, T. H. Kim, S. R. Lee, D. H. Kim, S. Namkung, and T. S. Jang, IEEE. Tran. Magn. 47, 3259 (2011).
- [4] T. H. Kim, S. R. Lee, D. H. Kim, S. Namkung, and T. S. Jang, J. Alloys Compd. 537, 261-268 (2012)
- [5] S. Nishio, S. Sugimoto, R. Goto, M. Matsuura, and N. Tezuka, Mater. Tran. 50, 4 (2009).

Dy 화합물 표면 코팅 및 확산에 따른 (Nd, Dy)-Fe-B 소결자석의 자기특성변화

이민우*, D.R. Dhakal, 임태환, 장태석
 선문대학교 대학원 재료금속공학과

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 자원고갈 문제도 심각하게 대두될 수 있다. 따라서 최소의 중희토류 원소를 사용하거나 중희토류 원소(Dy, Tb)를 사용하지 않고 보자력을 증가시키는 연구가 진행되고 있다. 그 중 중희토류 원소를 자석 표면에 다양한 방법으로 코팅한 후 열처리를 하여 입계를 따라 중희토류 원소가 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]. 따라서 본 연구에서는 Dy 화합물을 소결자석 표면에 코팅하여 입계 내 확산을 제어하면서 보자력을 증가시키는 방법을 모색하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 32.6RE(Dy 4.9 wt%)TM-B 합금을 용해한 후 스트립캐스터를 통해 급속 냉각하여 두께가 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 μm 의 분말을 제조하였다. 제조된 자성분말을 2.2 T의 자장하에서 일축자장성형을 한 후, 1060 °C에서 4시간 동안 진공소결을 하였다. 소결된 자석을 DyF_3 , DyH_x , Dy_2O_3 를 무수알콜에 분산시킨 용액에 담가 표면을 코팅한 후 1차, 2차 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

Fig. 1에 나타난 바와 같이 Dy 화합물을 소결자석 표면에 코팅하여 확산시켜 소결자석을 만들어 감자곡선을 측정하였을 때 3종의 Dy 화합물을 포함한 소결자석의 보자력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. Dy_2O_3 의 경우 보자력이 0.8 kOe 증가하였고 DyF_3 의 경우 3 kOe, DyH_x 의 경우 4 kOe 증가하였다. 또한, Dy 화합물을 혼합하여 첨가한 소결자석의 경우에는[3] 잔류자화의 감소율이 7 %에 달하는데 비해 Dy 화합물을 코팅하여 확산시킨 소결자석의 경우에는 잔류자화의 감소가 없었다. 이에 따라 최대자기에너지적의 감소없이 높은 경자기 지수($(\text{BH})_{\text{max}+i\text{H}_c}$)를 나타내었다.

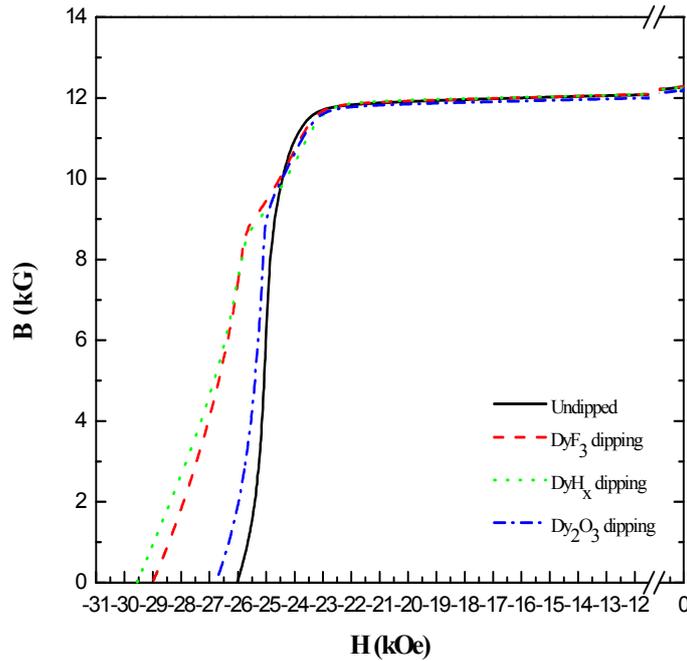


Fig. 1. Demagnetization curves of dipped magnets in Dy-compounds.

4. 결론

Dy 화합물을 소결자석 표면에 코팅하여 확산시켰을 경우 잔류자화의 감소없이 보자력을 증가시킬 수 있음을 확인하였고 DyH_x 의 경우 보자력이 4 kOe 증가하는 것을 확인하였다. 이는 Dy가 입계의 외곽 부분을 따라 확산되어 입계의 내부에는 침투하지 않은 것으로 판단되며 앞으로 후속연구에 의해 소결 및 열처리 조건을 최적화하면 보다 높은 자기 특성을 갖는 Dy 저감형 자석을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

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. Namkung, M.W. Lee, I.S. Cho, Y.D. Park, T.H. Lim, S.R. Lee, and T.S. Jang : Kor. Powder metall. Inst., Vol. 18 (2011) 29

* 본 연구는 지식경제부 에너지자원 융합기술사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Deterministic Control of Morphotropic Phase Boundary using Electric Field

Kwang-Eun Kim^{1*}, Byung-KweonJang¹, JinHongLee¹, Chan-HoYang^{1,2}

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

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

1. Introduction

A multiferroic refers to a material that is both ferromagnetic(or antiferromagnetic) and ferroelectric(or antiferroelectric). It has a spontaneous magnetization that can be switched by an applied magnetic field and a spontaneous polarization that can be switched by an applied electric field as a result of intercoupling between magnetism and electricity. Very few compounds exist in nature or have been synthesized in the laboratory. Bismuth ferrite is one of the multiferroic material which has ferroelectric and antiferromagnetic orders at room temperature. Moreover, morphotropic phase boundary (MPB) where tetragonal-like monoclinic phase and distorted rhombohedral phase coexist, has been found in BiFeO₃ (BFO) films grown on LaAlO₃ substrates. The MPB regions in the BFO films possess large piezoelectric response and non-zero spontaneous magnetic moments. We report that La substitution improves the formation of well-aligned MPB regions. Using piezoresponse force microscopy (PFM), MPB regions can be created or erased. By changing the scanning direction of tip, the MPB alignment angle can be controlled. Our work is focusing on how we can obtain more dense and uniform MPB area and control the MPB alignment angle in a deterministic way.

2. Experiment

We investigated inter-relations between the electrical writing angle of PFM and the MPB alignment direction. First, we obtained the surface image of films and then the sample surface was partially scanned with a tip voltage of -9V using PFM. After electrical poling, we could get the alignment of MPB. Finally, we tried electrical overwriting to check that the electrically-written regions could be rearranged as expected.

3. Experiment result

Changing the tip scanning direction, we can control the MPB alignment direction. There are only 4 variant MPB alignment angles and the net in-plane polarization is not perpendicular to MPB alignment but tilted more by ~15 degrees (tilted by ~30 degrees with respect to a crystal axis). The formed MPB pattern can be overwritten by another electrical poling process.

4. Consideration

The MPB alignment angle is likely to be determined by interaction between in-plane electric field of the tip and the net polarization of MPBs. During tip scanning with a DC electric bias, the final in-plane electric field is parallel to the slow scan axis. By choosing a proper tip scan axis, we can create a MPB region to be aligned as we want.

5. Conclusion

We report that La-substituted BFO shows dense and uniform stripe MPB patterns with large scale continuity of the alignment. By changing the scanning direction of tip, we can control the direction of MPB alignment as well. We also determined the in-plane polarization direction in the region of MPB to be tilted by ~ 30 degrees with respect to a $\langle 100 \rangle$ substrate crystal axis. Moreover we demonstrated that the large scale MPB patterns can be repeatedly overwritten on the same area with different poling directions. Our findings provide pathways to deterministic control of high-quality MPBs in an electric way.

6. Reference

- [1] R. J. Zeches et al., Science. 326, 977 (2009)

이차전지 양극물질 $\text{Li}_x(\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})\text{PO}_4$ 의 자기적 특성 연구

권우준*, 김두환, 서휘, 이재승, 차재훈, 허민재, 김철성

국민대학교 물리학과, 서울시 성북구 정릉로 77, 136-702

1. 서론

리튬이차전지는 충전방전이 가능하고 에너지 밀도가 높은 장점으로 각광받고 있다. 1997년 A. K. Phadi와 J. B. Goodenough는 올리빈구조의 LiFePO_4 의 발표를 시작으로 올리빈 구조 양극물질의 많은 연구가 진행되고 있다[1, 2]. Olivine 계열에 해당하는 리튬인산화물 (LiMPO_4 , M = Fe, Co, Ni, Mn) 물질은 양극물질 중에서 충전/방전 특성이 뛰어나고, 가격이 저렴하고 열적으로 안정적이기 때문에 현재 산업적으로도 많이 각광 받고 있는 물질이다[3-5]. 이와 같은 리튬이차전지 기술의 지속적인 발전과 더불어 기술의 혁신을 위해서는 리튬이차전지 전반에 대한 근본적이고 체계적인 이해가 필수적이다.

2. 실험방법

$\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 분말 시료는 직접합성법으로 제조하였다. Li_2CO_3 , $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MnCO_3 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 의 출발시료를 정확한 당량비로 계산하여 마노에 넣어 곱게 간 후, 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 열처리를 하여 단일상의 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 분말 시료를 제조하였다. $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 분말 시료를 Acetonitrile 용액 속에 첨가한 후 리튬 이온의 결핍을 유도하기 위해 NO_2BF_4 를 용액에 넣어 반응시켜 $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 분말 시료를 제조하였다. 리튬 결핍에 따른 시료의 결정구조와 자기적 특성 변화를 확인하기 위하여 x-ray diffraction 측정과, 57Co 단일선원으로 뫼스바우어 스펙트럼을 측정하여 시료들의 미시적인 상호작용에 대하여 연구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

XRD 실험을 하여 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료와 $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 결정구조를 Rietveld 정련법으로 분석하였으며, 분석결과 시료들은 공간그룹이 $Pnma$ 인 orthorhombic 구조로 분석되었고 Fig. 1에 나타내었다. $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 격자상수는 $a_0 = 10.390\text{ \AA}$, $b_0 = 6.052\text{ \AA}$, $c_0 = 4.717\text{ \AA}$, $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 격자상수는 $a_0 = 10.131\text{ \AA}$, $b_0 = 5.963\text{ \AA}$, $c_0 = 4.798\text{ \AA}$ 으로 각각 분석하였다.

$\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료와 $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 FeO_6 팔면체 구조에서 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 이온가 변화에 따른 초미세 상호작용을 확인하기 위하여 뫼스바우어 분광실험을 하였다. $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 이성질체 이동치(isomer shift) 값은 $\delta = 1.12\text{ mm/s}$, $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료의 이성질체 이동치 값은 $\delta = 0.32\text{ mm/s}$ 으로 분석하여 Fe 이온이 각각 Fe^{2+} , Fe^{3+} 상태임을 분석하였다. 또한 $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료와 $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ 시료는 널온도(Néel Temperature; T_N) 이하에서 Fe 이온의 강한 결정장에 의한 전기 4중극자 상호작용과 자기 2중극자 상호작용이 동시에 존재하여 8 개의 흡수선이 나타나는 것을 확인하였다.

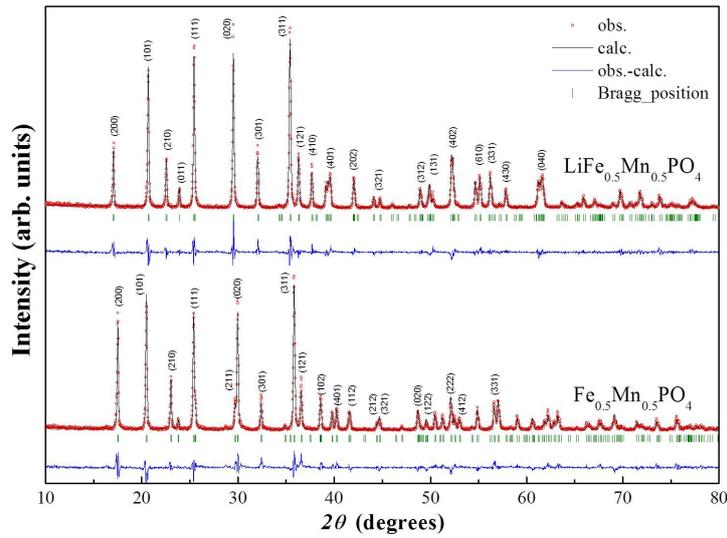


Fig. 1. The refined XRD patterns of $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ and $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ at room temperature.

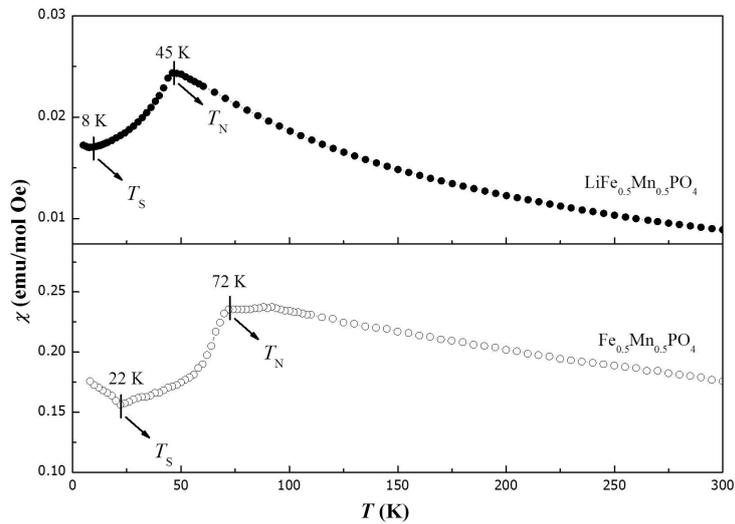


Fig. 2. Temperature dependence of magnetic susceptibility for $\text{LiFe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ and $\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{PO}_4$ at various temperatures.

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).

Antiferromagnetic Ordering in Li_2MnO_3 Single Crystal with two Dimensional Honeycomb Lattice

Sanghyun Lee^{1,2,3*}, Seongil Choi^{1,2,3}, Jiyeon Kim², Hasung Shim^{1,2,4}, Choongjae Won⁵, Seongsu Lee⁶, Shin Ae Kim⁶, Namjung Hur⁵, and Je-Geun Park^{1,2,4}

¹IBS Center for Functional Interfaces of Correlated Electron Systems, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²Center for Strongly Correlated Materials Research, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

³Department of Physics, SungKyunKwan University, Suwon 440-746, Korea

⁴FPRD Department of Physics & Astronomy, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

⁵Department of Physics, Inha University, Incheon 402-751, Korea

⁶Neutron Science Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

1. 서론

삼각격자, 사각격자, 카고메, 벌집격자 등의 층상구조를 가지는 전이금속 산화물 자성체들은 다양한 자기바다상태를 가진다. 반강자성 벌집격자에서 최근접원자간의 상호작용만 존재한다면 찢찢땀 현상을 보이지 않는다. Mn 벌집층을 가지는 $\text{Bi}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}(\text{NO}_3)$ 는 두 번째 근접원자간의 상호작용이 커서 강한 찢찢땀을 유도하고 이로 인해 자기정렬을 하지 않는다[1]. Ru 벌집층을 가지는 Li_2RuO_3 는 540 K에서 $P2_1/m$ 에서 $C2/m$ 으로 결정구조가 바뀌고, 금속-부도체 상전이 및 자화율의 급격한 변화가 같이 관측된다[2]. 스핀다имер의 생성이 이러한 급격한 물성변화의 원인으로 여겨지고 있다[3]. 또한 Ir 벌집층을 가지는 Na_2IrO_3 이론계산에서는, 2%의 인장이 일반적인 부도체에서 위상부도체로의 양자상전이를 일으킬 가능성을 제시하였다[4].

Li_2MnO_3 는 3d 전이금속 Mn이 벌집격자층을 이루고 있다. Ru 4d, Ir 5d 전이금속 산화물에 비해 국소화된 전자상태를 가져 고전적인 스핀계로 생각되지만, 특이한 반강자성 자기 상전이를 보인다.

2. 실험방법

Li_2CO_3 와 MnO_2 를 1.1:1로 잘 섞은 후 1027 °C에서 2일간 구워 고상법으로 분말시료를 얻었다. 또한 $\text{Li}_2\text{MnO}_3:\text{Li}_2\text{CO}_3:\text{B}_2\text{O}_3$ 를 1:2.76:2.39 비율로 백금도가니에 넣어 1100 °C에서 10시간동안 구웠다. 그 후 700 °C까지 2°C/h 속도로 냉각시킨 후 히터를 꺼서 자연냉각이 되도록 하였다. flux를 물로 녹여내서 최종적으로 가로 세로 2~5 mm, 두께 0.2 mm 정도의 판상형태의 단결정을 얻었다. 이렇게 얻은 단결정시료를 사용하여 벌집층에 수직인 방향과 수평인 방향의 자화율, 전기저항 그리고 열용량 등을 측정하였다. X-ray 회절실험을 하여 온도에 따른 결정구조분석을 하였고, 대전 원자력연구원 HANARO의 HRPD 빔라인에서 중성자 분말회절 실험을, FCD 빔라인에서는 단결정 회절실험을 하여 자기구조를 분석하였다.

3. 실험결과

벌집격자층에 수직인 방향의 χ_{OP} 자화율이 $T_M=48$ K에서 퍼진 봉우리를 보이며 자화율의 최대값을 가지고, 36 K에서 급격한 기울기의 변화를 보인다. 기존에 서로 다른 그룹에서 반강자성 상전이온도가 36 K과 50 K으로 서로 다르게 보고되었다. 36 K에서 열용량의 피크가 관측되었으므로 반강자성 상전이온도는 $T_N=36$ K 이다. 가벼운 $\text{Li}_2\text{O}(\theta_{\text{Li}_2\text{O}}=822(3)$ K)과 무거운 $\text{Mn}(\theta_{\text{Mn}}=444(9)$ K)의 드바이온도를 묶어 포논에 의한 열용량을 계산하였고, 측정된 열용량으로부터 포논에 의한 열용량을 제거하여 자기열용량을 구하였다. 이러한 자기열용량 C_{mag} 은 $T < 0.5T_N$ 구간에서 T^3 에 비례하여, 저온에서 3차원 반강자성 자기정렬을 한다는 것을 알 수 있다. 벌집층에 수

직한 방향의 자화율을 Fisher관계식 $C_{\text{mag}}=Ad(\chi_0/T)/dT$ 을 사용하여 C_{mag} 와 비교하면 반강자성 상전이 온도 이하에서 잘 일치한다. 이로부터 스핀의 easy-axis가 벌집층에 수직한 방향임을 알 수 있다. 자기열용량으로부터 자기엔트로피를 구해보면 $S=3/2$ 일 때의 전체 자기엔트로피의 35%가 반강자성 상전이 온도 이상에서 풀어진다.

결정구조 C2/m구조에서 자기전파벡터 $Q_m=(0\ 0\ 0.5)$ 일 때 가능한 자기구조는 Γ_{1g} , Γ_{2u} , Γ_{3g} , Γ_{4g} 총 네 가지가 가능하다. 중성자분말회절실험과 단결정회절실험을 Fullprof프로그램을 사용하여 Rietveld 분석을 하면 기존 F_z 모델[5]이 아닌 Γ_{2u} 모델이 더 잘 맞는다. Γ_{2u} 모델은 벌집층 내 스핀이 이웃한 스핀 간에 반강자성 정렬을 하고 벌집층과 벌집층간에도 반강자성 정렬을 하는 모델이다. 이 때 스핀은 벌집층에 대해 거의 수직으로 서 있다. (0 -2 -1.5), (-1 -1 -0.5), (-1 -1 1.5), (-2 2 1.5) 자기피크의 온도의존성을 단결정 회절실험으로 측정하면 반강자성 상전이 온도 36 K 이상에서 사라진다. 저온 6 K에서 자기모멘트의 크기는 2.3 μ_B 으로, 0.7 μ_B 이 여전히 요동치고 있다.

4. 고찰

Li_2MnO_3 의 절절뎨상수 $f=|0_{CW}|/T_N$ 은 1.6으로 일반적인 반강자성체와 비교할 때 거의 차이가 없다. 그럼에도 불구하고 반강자성온도 이상에서 전체자기엔트로피의 35%가 풀어진다. 이와 같이 상자성 영역에서 자기엔트로피가 풀어지고 비슷한 열용량곡선을 보이는 자성체들은 반강자성 상전이 온도 이상에서 자기분산산란을 보인다. 하지만 Li_2MnO_3 의 중성자회절실험에서는 이러한 자기분산산란을 볼 수가 없었다. 산소팔면체가 모서리를 서로 공유하기 때문에 Mn-O-Mn 90도 Superexchange와 Mn d-d direct exchange 상호작용이 서로 경쟁관계에 있다. 벌집층 내에서 반강자성 정렬을 하므로 d-d direct exchange가 더 우세하게 작용하는 것으로 보인다.

5. 결론

Li_2MnO_3 는 국소화된 Mn 자기모멘트들이 벌집층을 이룬다. 자화율, 열용량, 중성자회절실험으로부터 구한 반강자성 정렬온도는 36 K 이고 Γ_{2u} 자기구조를 갖는다. 36 K 이상의 자기엔트로피 및 저온에서 정렬된 자기모멘트의 크기를 보면, 어떤 절절뎨가 존재하지만 이러한 절절뎨의 원인을 아직 이해하지 못하고 있다.

6. 참고문헌

- [1] M. Matsuda, M. Azuma, M. Tokunaga, Y. Shimakawa, and N. Kumada, Phys. Rev. Lett. **105**, 187201(2010).
- [2] Y. Miura, Y. Yasui, M. Sato, N. Igawa, and K. Kakurai, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 033705(2007).
- [3] G. Jackeli and D. I. Khomskii, Phys. Rev. Lett. **100**, 147203(2008).
- [4] Choong H. Kim, Heung Sik Kim, Hogyun Jeong, Hosub Jin, and Jaejun Yu, Phys. Rev. Lett. **108**, 106401(2012).
- [5] P. Strobel and B. Lambert-Andron, J. Solid State Chem. **75**, 90(1988).

Ar Flow Rate에 따른 산화철 나노입자의 크기 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

자성 나노입자 제조 기술은 나노기술을 응용하는 약물 전달매체(drug delivery), 자기 공명 영상(MRI) 또는 hyperthermia 등의 생명 공학과 차세대 고밀도 자기 저장 매체(HDD) 및 나노 복합소재 등 정보 기술 분야에서 핵심 물질로 부각되어 세계적으로 활발히 연구되고 있다. 나노입자는 고온 열분해법(thermal decomposition), 공침법(coprecipitation), 졸겔 반응법(sol-gel reaction), 전기화학법(electrochemical), 음향합성법(sonochemical), 고온 분무법(hot injection) 등 다양한 방법으로 제조되고 있다[1]. 생명 공학 및 정보 기술에 응용되고 있는 자성 나노입자는 생산 제품의 동일한 성능을 보유하기 위하여 가능하면 작고, 입자의 크기가 균일하게 제조하여야 한다. 입자의 크기가 균일한 자성 나노입자는 나노기술을 적용한 제품의 성능을 향상시키며, 균일한 배열이 가능하여 고밀도 저장 장치에 이용이 가능하다. 본 연구에서는 나노입자 크기를 조정하기 위하여 Ar-flow rate를 조절하였으며, 나노입자의 크기에 따른 자성특성을 분석하였다.

2. 실험방법

산화철 나노입자의 합성을 위하여 15 g의 Trioctylamine 용액, 2 mmol의 Fe Oleate complex, $\text{Fe}(\text{OL})_3$ 및 Oleic Acid 2 mmol을 200 ml의 플라스크에 넣고 자석 진동기를 이용하여 고르게 섞었다. 전열기와 온도 조절기를 이용하여 플라스크 용기내 반응 용액의 온도를 조절하였다. 이때 온도 상승률은 $3.3\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 설정하여 온도를 상승시켰으며, $325\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 1 시간 동안 유지한 후 상온으로 온도를 낮추었다. 산화철 나노입자의 크기를 조절하기 위하여 반응용액에 불어 넣는 Ar-flow rate를 조절하였다. TEM 이미지를 이용하여 입자의 생성 상태 및 구조를 확인하였으며, 강자성공명 신호(FMR 신호)를 이용하여 자성특성을 분석하였다. FMR 신호는 Bruker Xepr을 사용하여 9.84 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

$\text{Fe}(\text{OL})_3$ 은 고온에서 열분해에 의하여 Fe-OL 단구체 (monomer)를 발생시키고, 이들 단구체가 산화철나노입자 생성에 기여한다. 이러한 산화철 나노입자의 생성이 동시에 일어나고, 이들 생성된 나노입자들이 짧은 시간에 걸쳐 빠른 성장과정을 거칠때 균일한 크기의 나노입자들이 형성될 수 있다. Ar bubble은 나노입자의 동시 생성과 빠른 성장과정에 기여하여 균일한 나노입자들을 형성한다. 이러한 과정에 기여하는 Ar-bubble의 flow rate를 조절하여 균일한 크기의 산화철 나노입자의 형성이 가능하다. Fig.1은 Ar-flow rate를 조절하여 산화철 나노입자의 크기조절이 가능함을 보인다. 즉 산화철 나노입자의 크기는 Ar-flow rate에 따라서 감소하며, FMR로 분석한 자성특성은 크기가 10 nm이하의 경우 강자성 트경을 보이며, 10 nm이상의 크기에서는 자성특성이 사라지고 있음을 보인다. 즉 산화철 나노입자의 생성이 빠르게 진행될 경우 단구체에 포함된 산소의 공급이 부족하여 성장하는 산화철이 반강자성체인 FeO를 형성하게 되어 자성특성이 사라짐을 TEM 사진으로부터 알 수 있다.

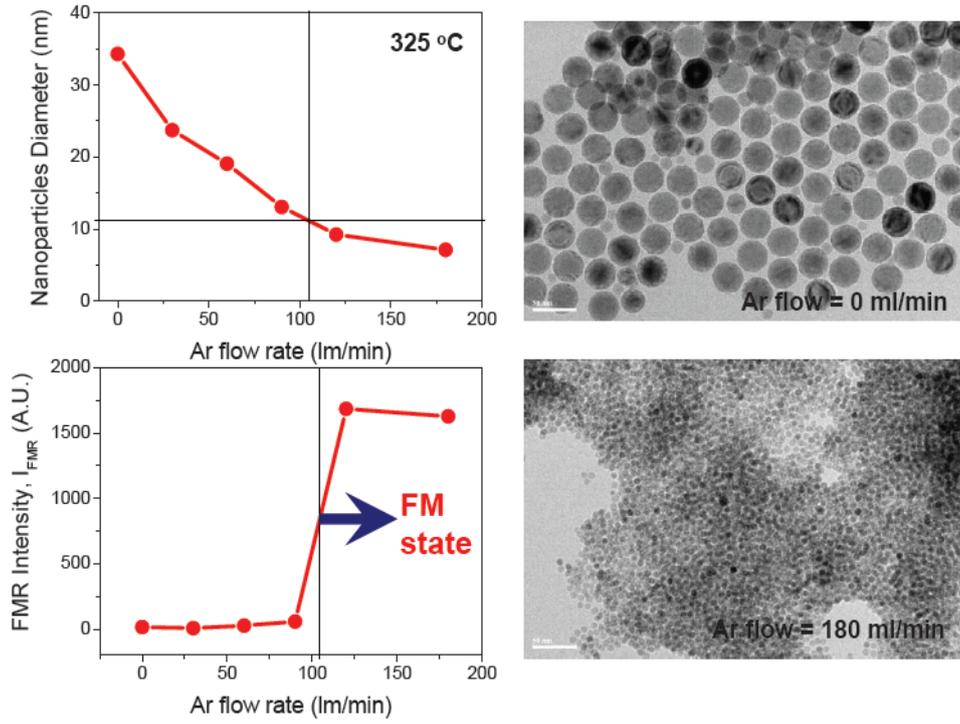


Fig. 1. Size and FMR intensity of the Iron-oxide nanoparticles with Ar-flow rate. The size reduction with Ar-flow rate was shown by TEM images.

4. 참고문헌

- [1] S. Laurent, et. al, Chem. Rev. **108**,2064 (2008).
- [2] J. Park, et. al, *Nat. Mater.* **3**, 891 (2004)
- [3] J. Park, et. al, *Angew. Chem. Int. Ed.* **44**, 2872 (2005).

γ -Fe₂O₃/BiFeO₃ 에서의 교환바이어스 연구

성길동*, 박영안, 허남정, 정종훈

인하대학교 물리학과

1. 서론

다강체를 이용한 전기장 변조 교환바이어스에 대한 연구는 그 잠재적 응용 가능성 때문에 많은 사람들의 관심을 받고 있다. 특히, BiFeO₃ 물질은 상온에서 강유전성과 반강자성을 동시에 가지고 있기 때문에 더욱 더 많은 연구가 진행되어왔다. 본 연구는 BiFeO₃ 물질의 교환바이어스 특성에 대해 고찰하고 이로써 앞으로 전기장 변조 교환바이어스의 디바이스로의 발전 가능성에 대해 논의한다.

2. 실험방법

Pulsed Laser Deposition 방법으로 기판온도 670 도, 산소분압 10 mTorr에서 SrTiO₃ 기판에 BiFeO₃ 박막을 증착한다. Physical Property Measurement System (PPMS) 의 Vibrating Sample Magnetometer (VSM) 옵션으로, 증착한 박막의 자기적 성질을 측정하고, Magnetic Force Microscopy (MFM) 로 국부적인 자기적 성질을 측정하여 실제 자성에 영향을 주는 영역을 조사하였다.

3. 실험결과

BiFeO₃ 의 Néel 온도(~640 K)보다 훨씬 낮은 상온(~300 K)에서 5 T의 자기장으로 field cooling 에 의해 10 K에서 교환바이어스가 (~ -225 Oe) 생기는 것을 관찰하였다. 이 교환바이어스는 온도가 낮아질수록 더욱 그 값이 커지며, 교환바이어스의 방향도 field cooling 하는 방향에 따라 바뀔 수 있었다. 또한, 박막의 결정 방향에 상관없이 교환바이어스의 크기가 거의 비슷하다는 것도 알 수 있었다. MFM 측정 결과 BiFeO₃의 grain boundary에서 γ -Fe₂O₃가 사이사이를 채우고 있다 것을 알 수 있었다.

4. 고찰

Néel 온도 보다 훨씬 낮은 상온에서 field cooling 을 했는데, 저온에서 교환바이어스가 생긴다는 부분을 설명하기 위해 우리는, 상온에서 강자성체/BiFeO₃ 의 교환바이어스 측정을 위해 강자성체 층을 쌓을 때 자기장을 가하는 많은 논문과 그에 대해 설명하는 uncompensated spin 을 이용하였다. Néel 온도 보다 낮은 상온이지만 여전히 실제 교환바이어스를 일으키는 원인인 BiFeO₃ 의 uncompensated spin 은 그 방향이 field cooling 한 방향으로 바뀔 수 있으며 또한 온도가 낮아짐에 따라 BiFeO₃ 의 anisotropy energy 가 증가해 교환바이어스가 발생함을 알 수 있었다. 박막의 결정방향에 무관한 교환바이어스도 같은 방법으로 uncompensated spin 이 field cooling 한 방향으로 바뀌어 BiFeO₃ 과 상호작용하는데, 여기서는 γ -Fe₂O₃가 BiFeO₃ grain 를 둘러싸고 있다는 사실과 BiFeO₃ 의 반강자성 도메인이 여러 개 있다는 사실이 더해져서 설명될 수 있다.

5. 결론

다강체인 BiFeO₃ 박막의 교환바이어스를 새로운 강자성체 층을 쌓지 않고도 BiFeO₃ 증착조건을 바꾸어서 γ -Fe₂O₃ 층을 함께 증착하여 이 둘 사이의 교환바이어스 현상을 연구하였다. 그 결과 교환바이어스를 일으키는 원인인 uncompensated spin 의 field 방향에 따른 방향의 변화, 그리고 온도를 낮춤으로써 BiFeO₃ 의 anisotropy energy 증가로 설명할 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] K. D. Sung *et al.*, J. Appl. Phys. 112, 033915 (2012)

The Effect of Plasma Treatment on the Transport Properties of Magnetic SrRuO₃ Thin Films

F. Kurnia^{1*}, Khairurrijal^{2*}, O. Tambunan¹, B. W. Lee¹, J. Choi³, J. Cho³, B. H. Park⁴, S. -B. Shim⁵, J. Kim⁵, C. U. Jung¹⁺

¹Department of Physics, Hankuk University of Foreign Studies, Yongin, Gyeonggi 449-791, Korea

²Physics of Electronic Materials Research Division, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Institut Teknologi Bandung Jalan Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia

³Department of Electrophysics, Kwangjuon University, Nowon-gu, Seoul 139-791, Korea

⁴Division of Quantum Phases and Devices, Department of Physics, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

⁵Division of Convergence technology, Korea Research of Standards and Science, Daejeon 305-340, Korea

1. Introduction

In the world of nano science technology, SrRuO₃ is known as one of the most promising materials used as the bottom electrode. SrRuO₃ exhibited an excellent conducting properties even at room temperature. However, at the ultrathin layer SrRuO₃ film showed metal-insulator transition which is studied recently.[1,2] The studies in the metal-insulator transition not only restricted in ultrathin SrRuO₃ films. The oxygen stoichiometry, substrate properties, and annealing process also have various effect in the conducting properties of SrRuO₃. [3] In this work, we reported that the disorder due to external treatment can also change the conducting properties of SrRuO₃. The change of conductivity was closely related to the structural properties of SrRuO₃ films. The expansion of SrRuO₃ lattice constant was regarded to the oxygen vacancy concentration in the plasma-treated SrRuO₃ thin films.

2. Experimental

25 nm-thickness of SrRuO₃ film was grown on SrTiO₃ (001) substrate using pulsed laser deposition with a KrF excimer laser. The temperature and oxygen partial pressure was maintained at 750°C and 100 mTorr, respectively. The structure and film orientation of SrRuO₃ were characterized using high-resolution XRD. After film deposition, the film was exposed in the plasma ambient in a conventional RF plasma chamber. To generate O₂ plasma we used O₂ gas, while H₂ gas to create the H₂ plasma. The plasma-treated film was measured using high-resolution XRD to see the effect of plasma treatment in the structural change of SrRuO₃ thin films.

3. Results

The main result of our experiment was shown in the figure 1. In the Fig. 1(a), we found that the conductivity of SrRuO₃ thin film was decreased in the O₂ plasma-treated SrRuO₃ thin film (SRO25-O). Meanwhile, the conductivity of H₂ plasma-treated SrRuO₃ thin film was drastically decreased showing semiconductor properties. Having looked closer to the low temperature region, we also revealed that the transport mechanism could be explained using the Anderson transition method which used the Mott-type variable-range-hopping.[5]

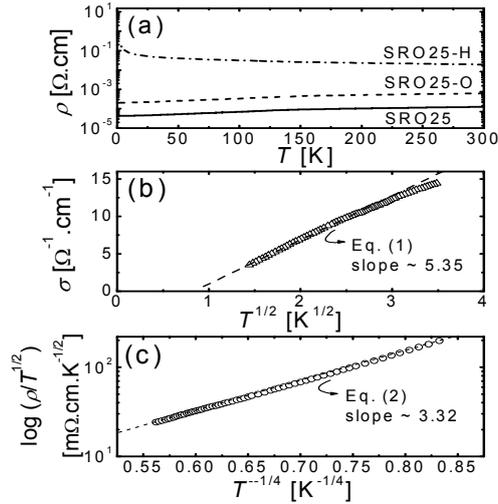


Figure 1 (a) Temperature dependence of resistivity for SRO25, SRO25-O, and SRO25-H films; (b) electrical conductivity of the SRO25-H fitted using the two-fluid model[4], and (c) electrical conductivity of SRO25-H, fitted using the Mott-type variable range-hopping conduction (Anderson insulator) model.[5]

4. Conclusion

The Anderson transition method can be used to explain our H_2 plasma-treated SrRuO_3 thin films. In the low temperature region of resistivity Mott-type variable-range-hopping showed the 3D hopping process and multi-phonon processes. Even though the source of disorder generating the metal-insulator transition was quite different from the other experiment using Ti-doped SrRuO_3 , both experiment showed a clear linear relationship and the values of the fitting parameter were quite similar in order of magnitude.

5. Reference

+ cu-jung@hufs.ac.kr

- [1] Y. J. Chang, et. al., Phys. Rev. Lett., **103**, 057201 (2009).
- [2] D. Toyota, et. al., J. Appl. Phys., **99**, 08N505 (2006).
- [3] Q. X. Jia, et. al., Appl. Phys. Lett., **81**, 4571 (2002).
- [4] M. A. Lopez de la Torre, et. al., Phys. Rev. B., **63**, 052403 (2001).
- [5] K. W. Kim, et. al., Phys. Rev. B., **71**, 125104 (125104).

Photon Polarization Dependence of Photocurrent in Multiferroic BiFeO_3 Thin Films

Seung Jin Kim^{1*}, Jin Hong Lee¹, Ji Soo Lim¹, Kang Hyun Chu¹, Chan-Ho Yong^{1,2}

¹Department of Physics, KAIST

²Institute of NanoCentury, KAIST

1. Introduction

Conventional silicon-based solar cells generate photo-induced electron-hole pairs which are separated through an electric field created at the boundary of p-n junction. But, a ferroelectric material shows different photovoltaic mechanism. Ferroelectric domain walls play an important role in ferroelectric photovoltaic effect; it has been found that open circuit voltage can be increased without a limitation of band gap in proportion to the number of domain walls between two coplanar electrodes. BiFeO_3 (BFO) is a material that has both ferroelectric and anti-ferromagnetic properties. It is G-type antiferromagnet and has a ferroelectric polarization along $\langle 111 \rangle$. When BFO is grown on DyScO_3 (DSO) (110)_o substrate, two-variant stripe ferroelectric domain structure with highly-ordered 71° domain walls can be formed as a result of different in-plane lattice parameters of the substrate. We measured photocurrent of the BFO thin film through coplanar electrodes deposited on the top of the film. We report that the photo-induced short circuit current has dependence of light polarization. Whenever the light polarization is perpendicular to the stripe domain walls, the photocurrent can be maximized.

2. Experiment

BFO was grown on DyScO_3 (110)_o substrate by pulsed laser deposition (PLD) and we obtained well-ordered 71° domain walls. Electrodes were deposited so as to be parallel with domain walls. Linear polarized light (405 nm in wavelength) was illuminated on the film considering that the band gap of BFO is ~ 2.7 eV. We measured I-V curves rotating samples azimuthally fixing the linearly-polarized light. We measured the short circuit current rotating the inter-angle between photon polarization and ferroelectric domain walls.

3. Results

We plotted the short circuit current as a function of the inter-angle between photon polarization and ferroelectric domain walls. It shows the maximum short circuit current at the angle of 90° where photon polarization and ferroelectric domain walls align vertically.

4. Consideration

The inter-angle of 90° between light polarization and ferroelectric domain walls means that photon polarization is parallel to the net ferroelectric polarization.

5. Conclusion

Photon polarization dependence of photocurrent was measured. Parallel alignment of net polarization and photon polarization maximized photocurrent. The anisotropic photocurrent phenomenon suggests that the

well-aligned BFO domain walls can be potentially used for light polarization detector.

6. Reference

- [1] S. Y. Yang. *et al.* Above-bandgap voltages from ferroelectric photovoltaic devices. *Nature nanotechnology*, 5, 143-147(2010)

핵자기공명 실험을 이용한 스피넬 산화물 MnV_2O_4 의 궤도상태 및 자기변형에 관한 연구

조은아^{1*}, 심정현², 김창수¹, 강병기¹, 권상일¹, 이순철¹, T. Katsufuji³

¹물리학과, 한국과학기술원, Daejeon

²Fakult at Physik, Technische Universit at Dortmund, Dortmund, Germany

³Department of Physics, Waseda Unuversity, Tokyo

스피넬 산화물 MnV_2O_4 는 복잡한 구조적 특징 및 자기적 특징을 가지고 있는 물질로 강상관계물질 연구에서 많은 관심을 받고 있다. 특히 MnV_2O_4 물질의 궤도정렬은 가장 많은 관심을 받고 있는 물리적 특징이다. MnV_2O_4 물질의 궤도정렬뿐만 아니라 궤도상태를 직접적으로 알아내기 위하여 7 T 의 강한 외부자기장하에서 단결정 MnV_2O_4 를 회전시키면서 핵자기공명 실험을 하였다. 외부자기장과 단결정의 c축사이의 각도를 0도에서 90도로 변화시키면서 얻은 V 이온의 핵자기공명 스펙트럼은 공명주파수의 변화 및 독특한 피크분리현상을 보여주는데 이를 분석하여 MnV_2O_4 물질의 궤도정렬상태는 yz-zx 반강자성 형태의 궤도정렬상태임을 확인 할 수 있었다. 외부자기장을 자화용이축으로부터 회전시키면서 얻은 Mn 이온의 핵자기공명 스펙트럼으로부터 자기 모멘트가 회전하는 외부자기장방향에 항상 평행하지 않고 어떤 각도를 이루며 기울어져 있음을 알 수 있었다. 또한 90도 대칭성을 가지는 핵자기공명 스펙트럼들로부터 외부자기장을 c축으로부터 45도 이상 회전시킬 때 MnV_2O_4 물질의 자기변형이 갑자기 일어나는 것을 확인 할 수 있었다.

CoFe/Au 바코드 나노선 합성 및 나노선 직경과 자성층 두께에 따른 자기이방성 변화

김봉건^{1*}, 박범철¹, 서효원¹, 김기하¹, 김영근^{1,2}

¹고려대학교 공과대학 신소재공학과, 서울특별시 성북구 안암동 5-1, 136-713

²미래유망 파이오니어 생체응용 나노결정 융합연구단, 서울특별시 성북구 안암동 5-1, 136-713

1. 서론

다층 금속 나노선(또는 바코드 나노선)은 여러 기능을 동시에(복합기능, multifunctional) 가질 수 있으며 물성의 제어가 가능하다. 생물학, 자성학, 의학 분야로의 응용 가능성이 대두되면서 바코드 나노선에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 자성-광학 바코드 나노선(Fe/Au)은 자기적 특성과 광학특성 뿐만 아니라 고유한 특성을 가진다. 그 예로 생물학적 분자와의 높은 친화성을 들 수 있다. 세포 분리(Cell separation), 발열 치료(Hyperthermia), 센서(Sensor) 등의 바이오-메디컬 분야에 응용될 수 있다 [1].

2. 실험방법

본 연구에서는 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}/\text{Au}$ 바코드 나노선을 50, 100, 200 nm 세공 크기를 가지는 산화알루미늄(AAO) 나노틀을 이용하여 단일욕(One bath)에서 펄스전착(Pulse electrodeposition)법으로 합성 하였다. 상온에서 다른 펄스 전류를 교차적으로 주면서 전착하였다. 합성 용액은 Co sulfate, Fe sulfate, Boric acid, 그리고 $\text{KAu}(\text{CN})_2$ 로 이루어진다. 합성된 바코드 나노선의 미세구조와 결정구조는 SEM, TEM, 그리고 XRD을 통해 측정하였고, VSM을 통해 자기적 특성을 확인하였다. 다양한 CoFe 층의 두께(T)에서 세 가지 나노선 직경(D)에 따른 자기적 특성 변화를 보았다 [2].

3. 실험결과

[그림. 1] 상단의 SEM 이미지를 통해 나노선이 원하는 자성층 두께와 나노선 직경에 따라 잘 합성되었음을 볼 수 있다. 하단의 M-H 그래프는 자기적 특성 비교를 위해 상온에서 VSM 측정으로 얻은 것이다. (a). D=50 nm (b). D=100 nm (c). D=200 nm 이며 나노선의 축 방향과 수직 방향으로 자기장을 걸어주었다. 자화 용이축(Easy axis)의 방향 변화로 확인가능한 자기이방성은 본 연구의 핵심 중 하나이다. 특히 T=25 nm CoFe/Au 경우에서 그 특성이 뚜렷하게 나타났다. 나노선의 직경이 D=50 nm, 100 nm, 200 nm로 증가하면서 자화 용이축의 방향이 나노선의 축 방향(//)에서 수직 방향(⊥)으로 변함을 확인할 수 있었다. T=600 nm CoFe층 샘플의 경우 모든 직경에서 자화 용이축이 나노선의 축방향으로 형성되는 것을 볼 수 있었다. D=200 nm 보다 D=50 nm 나노선의 자기이방성이 뚜렷하게 나타난다. 자화 용이축의 보자력(H_c) 값은 41.01 Oe (D=200 nm)에서 172.04 Oe (D= 50 nm)으로 증가하였다.

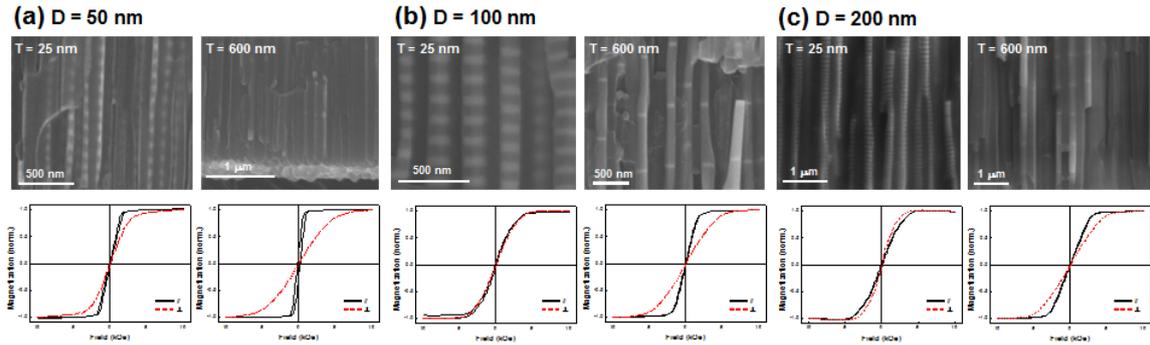


그림. 1.. 직경과 자성층 두께 변화에 따른 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}/\text{Au}$ 바코드 나노선 SEM 이미지와 자기이력곡선.
 (a). $D=50\text{ nm}$, $T=25\text{ nm}$, 600 nm (b). $D=100\text{ nm}$, $T=25\text{ nm}$, 600 nm (c). $D=200\text{ nm}$ $T=25\text{ nm}$, 600 nm

4. 고찰

CoFe/Au 바코드 나노선의 미세구조를 보면 자성층과 비자성층이 확실히 구분되어 있다. VSM을 통한 M-H 그래프를 보면, 잔류자기(Remanece)가 낮아 나노선끼리의 응집이 줄어들며, 보자력(Coercivity)이 낮아 연자성 체임을 확인할 수 있다. CoFe/Au 나노선의 직경이 커지면서 자화 용이축의 방향이 나노선 축방향에서 수직방향으로 변화됨을 확인할 수 있다.

5. 결론

CoFe/Au 바코드 나노선은 단일욕(One bath)에서 펄스전착(Pulse electrodeposition)법으로 합성되었다. 또한 SEM, XRD, 그리고 XRD를 통해 미세구조 및 결정구조를 측정하였으며, VSM을 이용하여 자기적 특성을 측정하였다. 이 바코드 나노선은 자성층과 비자성층이 확실하게 나누어지며, 낮은 보자력(Coercivity)을 가진다. 또한 나노선의 직경과 CoFe 층의 두께에 따라 자화 용이축의 방향이 변화한다. 이와 같이 나노선 직경이나 자성층 두께에 따라 물성의 제어가 가능하다. CoFe/Au 바코드 나노선은 자기적, 광학적, 촉매적 특성을 가지며 바이오 응용 가능한 Au 부분을 가지고 있어 여러 바이오-메디컬 분야에 응용 가능하다.

6. 참고문헌

- [1] J. H. Lee *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **46**, 3663 (2007)
- [2] J. De La Torre Medina *et al.*, *Physical Review B* **77**, 014417 (2008)

UHF 응용을 위한 Y-type 페라이트의 투자손실 특성 연구

이찬혁*, 김진모, 임정태, 고태준, 김삼진, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

투자율과 유전율을 동시에 가진 자성소재를 사용한 RF 소자는 소형화($v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$)와 임피던스 조절($Z = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$)을 통한 방사효율 개선이 가능하여 활발히 연구되고 있다. 이러한 응용에는 낮은 투자손실($\tan \delta_\mu = \frac{\mu''}{\mu'}$)과 사용주파수 대역보다 높은 공명주파수의 특성이 필요하다[1]. Y-type 페라이트는 기존의 입방정 페라이트와 다른 type의 육방정 페라이트에 비하여 높은 공명주파수를 가지고 있으며, UHF 대역에서 우수한 자기손실 특성을 보인다[2]. 본 연구에서는 소성 분위기를 변화시켜가며 Y-type 페라이트를 제조하고, 입도 분석기, X-선 회절, 진동시료형 자화율측정기, 회로망 분석기(network analyzer)를 사용하여 UHF 대역에서의 자기적 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

Y-type 페라이트 $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ (Co_2Y) 분말 시료는 직접합성법으로 제조하였다. 시작원료로 BaCO_3 , Co_3O_4 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 를 사용하였고, Ball mill을 이용하여 균일하게 습식 분쇄하였다. 혼합물을 1000 °C에서 3시간 동안 하소하였고, 하소한 시료를 다시 습식 분쇄한 뒤, 회로망 분석기 측정을 위하여 toroidal 형태로 성형하고, 다양한 조건에서 소성하였다. 주파수에 따른 자기적 특성은 회로망 분석기를 통하여 100 MHz ~ 8 GHz에서 복소투자율을 측정하였다. 습식 분쇄 조건은 입도 분석을 통하여 조절하였다. X-선 회절은 $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$)을 사용하였고, 진동시료형 자화율측정기를 통하여 상온에서의 자기적 특성을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

습식 분쇄된 입자의 크기는 입도 분석기를 통하여 D50이 0.502 micron으로 분석되었다. X-선 회절 분석결과, 다양한 조건에서 제조된 Co_2Y 시료들은 공간군이 $R\bar{3}m$ 인 rhombohedral 구조로 확인되었다. 상온에서 Co_2Y 시편들은 28.27 ~ 33.01 emu/g의 포화자화 값을 보였으며, 공기 분위기보다 산소 분위기에서 소성하였을 때, 더 높은 값을 나타내었다. 보자력은 60.67 ~ 145.26 Oe의 값으로 측정되었으며, 소성 온도가 올라갈수록 입자 크기가 성장되면서 감소하였다. 회로망 측정기를 사용하여 복소투자율을 측정하여 주파수에 따른 자기손실과 공명주파수를 분석하였으며, Co_2Y 시료들은 수 GHz 영역에서 낮은 투자손실과 4 GHz 이상의 높은 공명주파수를 보였으며 이는 자벽 공명에 의한 것으로 판단된다. 산소 분위기에서 소성된 시료의 경우, 그림 1과 그림 2와 같이 투자손실과 공명주파수가 크게 향상되었다. 산소 분위기 1200 °C에서 소성된 시료의 경우 2.1 GHz까지 0.1 이하의 매우 낮은 우수한 투자손실 특성을 보였다.

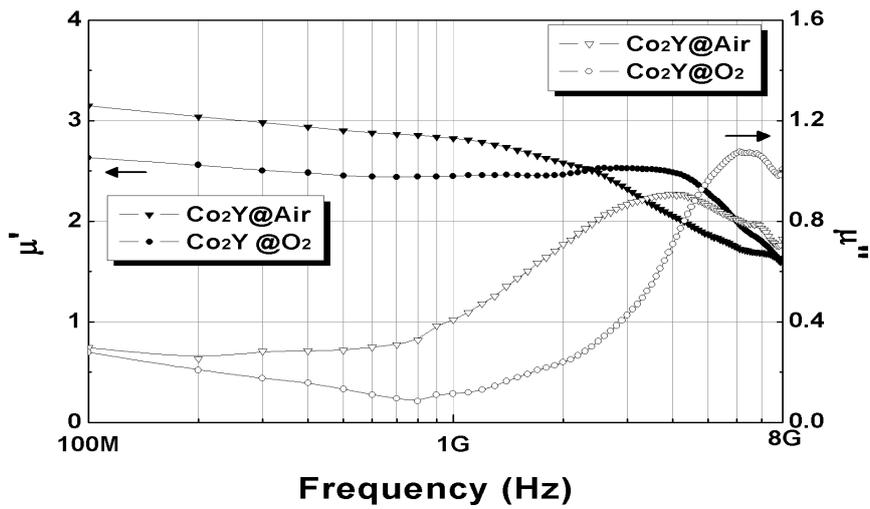


Fig. 1. Frequency dependence of complex permeability of Co₂Y samples sintered at 1200 °C.

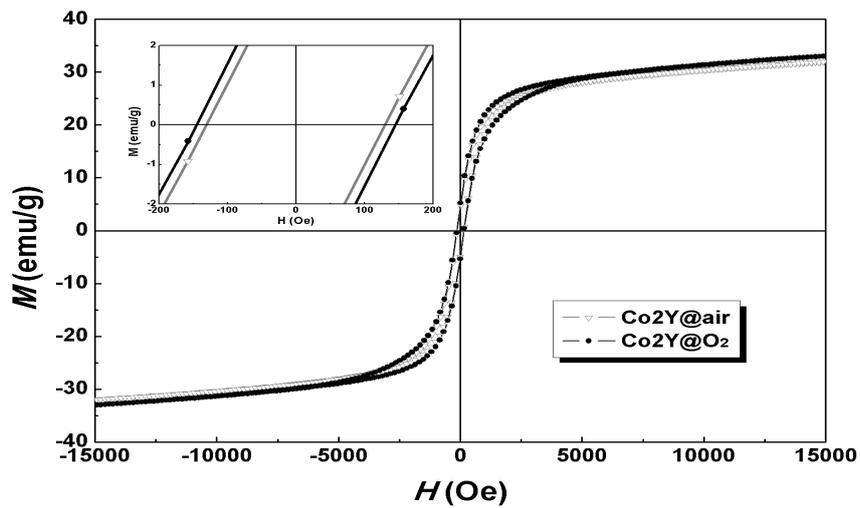


Fig. 2. hysteresis loops of Co₂Y samples sintered at 1200 °C.

참고문헌

- [1] Q. Xia, H. Su, G. Shen, T. Pan, T. Zhang, H. Zhang, and X. Tang, *J. Appl. Phys.* **111** 063921 (2012).
- [2] J. Jalli, Y.-K. Hong, S. Bae, J.-J. Lee, G. S. Abo, J.-H. Park, B.-C. Choi, T. Mewes, S.-G. Kim, S.-H. Gee, I.-T. Nam, and T. Tanaka, *J. Appl. Phys.* **109**, 07A509 (2011).

Co₂Z Ba-ferrite의 결정학적 특성과 자기적 특성연구

임정태*, 김진모, 이찬혁, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

페라이트는 높은 투자율 특성과 높은 전기절연 특성으로 산업적으로 많은 응용성을 가진 소재이다. 페라이트 소재중에 Hexagonal 구조를 가지는 M, Y, Z, W타입 등의 물질은 공명주파수가 GHz영역에서 발견되어 최근 들어 높은 고주파영역대의 응용성에 많은 연구자들이 관심을 가지며 연구되고 있다.[1] 이중 Z타입 구조의 Ba 페라이트는 1 ~ 2 GHz 영역대에 공명주파수가 존재한다고 알려져 있다. 이러한 공명주파수 특성의 발견은 결정학적인 특성과 자기적인 특성이 밀접하게 관계되어있다. Z타입 Ba페라이트는 R, S, T 의 기본 Block의 조합으로 결정되며 총 10개의 금속 사이트가 존재한다.[2] 본 연구에서는 Z-type Ba페라이트물질을 직접합성법을 이용하여 제조하였고 결정학적 및 자기적 성질을 연구하였다.

2. 실험방법

Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁의 시료를 직접 합성법을 이용하여 제조하였다. BaCO₃, Co₃O₄, Fe₂O₃의 원료를 화학적 비로 당량하여 볼밀을 이용하여 24시간동안 혼합 분쇄하였다. 분쇄된 샘플을 하루 건조 후에 분당 0.5 °C로 1000 °C까지 천천히 온도를 올려 총 10시간 동안 열처리하였다. 1차 열처리로 제조된 시료의 균질성 향상을 위하여 다시 마노에 곱게 간후 압착기로 1.5톤의 압력을 가해 알약형태로 압착하고 1차 열처리한 조건에서 최종온도가 1250°C가 되도록 총 3회 재 열처리를 하였다. 분말 시료의 결정 구조를 확인하기위해 CuKα 선을 사용하는 Phillips 사의 X'pert(PW1827) model을 이용하여 X 선 회절(XRD) 실험을 하였고 결정학적 특성 분석을 위해 Rietveld 분석법을 이용하여 분석하였다. 분말 시료의 온도 변화에 따른 거시적인 자화 특성을 확인하기 위해 VSM(vibrating sample magnetometer)을 측정하였다. 미시적인 자화 특성을 확인하기 위하여 온도에 따른 Mössbauer 분광실험을 실행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁의 시료는 XRD 분석을 통하여 single phase를 결정하였으며, 분석결과 공간그룹 *P6₃/mmc* 을 가지는 단일상의 Hexagonal 구조임을 확인하였고 T. Tachibana, et al.[3]의 연구결과와 동일하게 Z타입 결정상의 (0, 0, 14), (0, 0, 18), (0, 0, 32)의 회절픽의 강도가 크게 증가함을 확인하였다. Rietveld분석결과 분석된 격자 상수는 각각 $a_0 = 5.88 \text{ \AA}$, $c_0 = 52.27 \text{ \AA}$ 로 결정하였다. 온도에 따른 자화율 그래프 측정결과 저온 약 204 K에서 534 K, 638 K, 660 K 부근에서 자기적인 변화가 관측되었다. 뫼스바우어 스펙트럼 분석결과 0.128 ~ 0.39 mm/s로 관측되었으며 10개의 Fe자성이온이 상온에서 모두 3+가로 존재하였다.

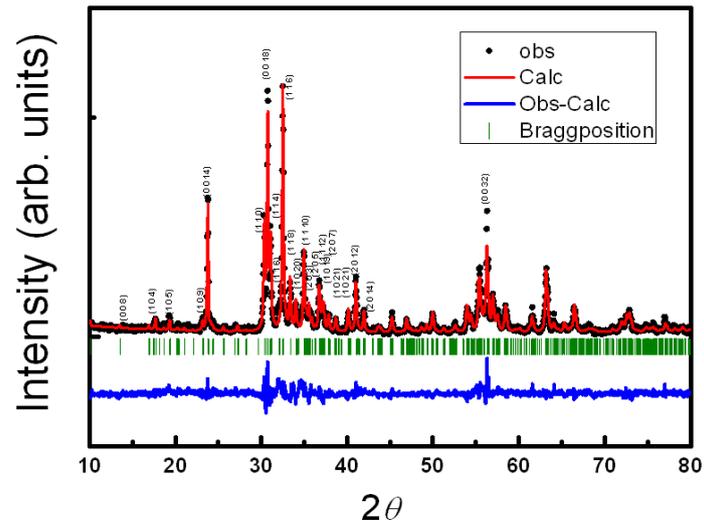


Fig 1. X-ray diffraction patterns of the Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁ at room temperature.

4. 참고문헌

- [1] Robert C. Pullar, Materials Science, **57** 1191-1334 (2012).
- [2] Y. Kitagawa, Y. Hiraoka, T. Honda, T. Ishikura, and H. Nakamura, Nature Materials, **9** 797-802 (2010).
- [3] T. Nakamura, T. Nakagawa, Y. Takada, K. Izumi, T. A. Yamamoto, T. Shimada, S. Kawano, J. Magn. Mater., **262**, 248-257 (2003).

고주파수 소자용 $Ba_2Ni_{2-2x}Co_xMn_xFe_{12}O_{22}$ 의 자기적 특성 연구

조광래*, 원미희, 강주홍, 심인보, 김철성

국민대학교 물리학과, 서울 136-702

1. 서론

무선통신의 발달로 RF소자의 소형화와 광대역화가 요구되고 있다. 이 조건을 만족하기 위해서 유전율과 투자율을 동시에 가진 페라이트 소재가 대표적으로 연구되고 있다[1]. 하지만 입방정 페라이트의 경우 수백 MHz 대역에서 우수한 특성을 보이거나, 공명 주파수가 GHz 보다 낮으므로 사용할 수 없다. 육방정 페라이트의 경우, 자기이방성에 의한 높은 공명 주파수를 가지고 있으므로 GHz 대역에서 사용이 가능하다[2]. 그렇기 때문에 입방정 페라이트 중에서 고주파 영역에서 고투자율과 저손실을 가지는 Ni-Co-Mn 입방정 페라이트를 택하여 $Ba_2Ni_{2-2x}Co_xMn_xFe_{12}O_{22}$ ($x = 0.3, 0.4, 0.5$)로 치환실험을 하였고 RF 소자로써의 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

습식분쇄를 통한 직접 합성법을 통하여 Y-type 육방정 페라이트인 $Ba_2Ni_{2-2x}Co_xMn_xFe_{12}O_{22}$ ($x = 0.3, 0.4, 0.5$) 시료를 합성하였다. 출발물질로는 $BaCO_3$, Co_3O_4 , MnO_2 , NiO , Fe_2O_3 를 사용하였으며, ball mill을 통하여 증류수, 분산제 0.3 wt%와 혼합 후 24 시간 동안 분쇄하였다. 1000 °C에서 하소한 뒤, PVA를 0.5 wt% 혼합하여 toroids 형태로 압축 성형한 후에 1050, 1100, 1150, 1200 °C의 온도에서 소결하였다. 제조 조건에 따른 자기적 특성의 변화를 입도 분석기, x-선 회절(XRD), 진동자화율 측정기(VSM), 그리고 회로망 분석기(network analyzer)를 통하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

X-선 회절 측정 결과, $Ba_2Ni_{2-2x}Co_xMn_xFe_{12}O_{22}$ ($x = 0.3, 0.4, 0.5$) 시료는 모두 $R\bar{3}m$ 의 공간군을 갖는 rhombohedral 구조임을 확인하였다. 진동자화율 측정기로 Co, Mn 치환량이 증가할수록 자화율과 보자력 모두 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 높은 자기이방성을 갖는 Co에 의해 치환량이 증가할수록 보자력이 증가한다고 판단된다. 회로망 분석기를 통하여 Co, Mn 치환량이 증가할수록 투자율은 낮아지나 소결온도가 증가할수록 투자율이 높아지는 것을 확인하였다. 이는 소결 온도에 따라서 입자의 크기가 커지고 자벽이동에 방해가 되는 내부의 기공 감소로 인한 것이라 판단된다. 1150 °C 이하에서 소결 시 0.1 이하의 낮은 투자손실이 1 GHz 이상까지 유지되었다. 2 GHz 이상의 주파수 대역에서 1050 °C로 소결한 경우, 투자손실이 0.1보다 낮은 우수한 특성을 확인하여 GHz 대역 RF 소자로써 응용 가능성을 확인하였다.

4. 참고 문헌

- [1] Q. Xia, H. Su, G. Shen, T. Pan, T. Zhang, H. Zhang, and X. Tang, J. Appl. Phys. **111**, 063921 (2012).
- [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).

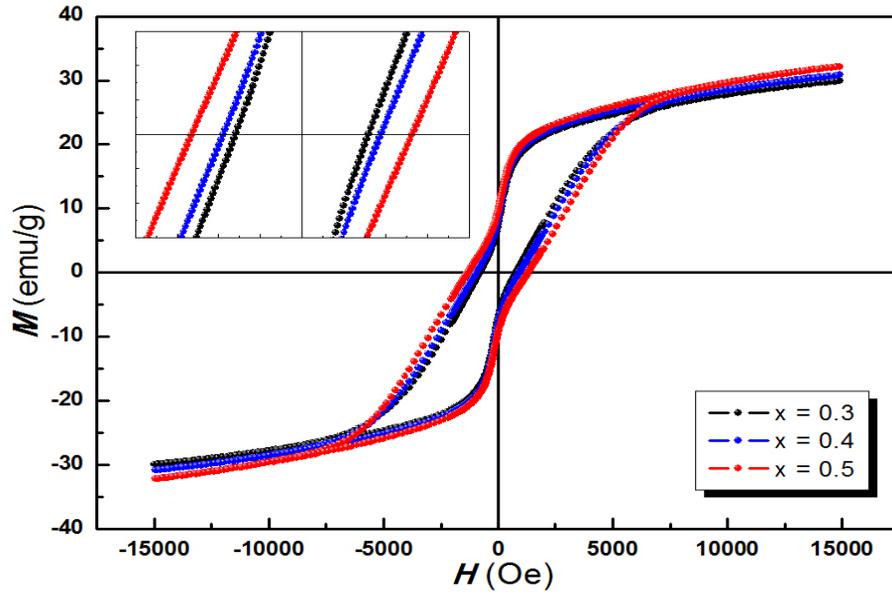


Figure 1. The applied-field dependence of the magnetization curve of $\text{Ba}_2\text{Ni}_{2-2x}\text{Co}_x\text{Mn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0.3, 0.4, 0.5$) at 295 K.

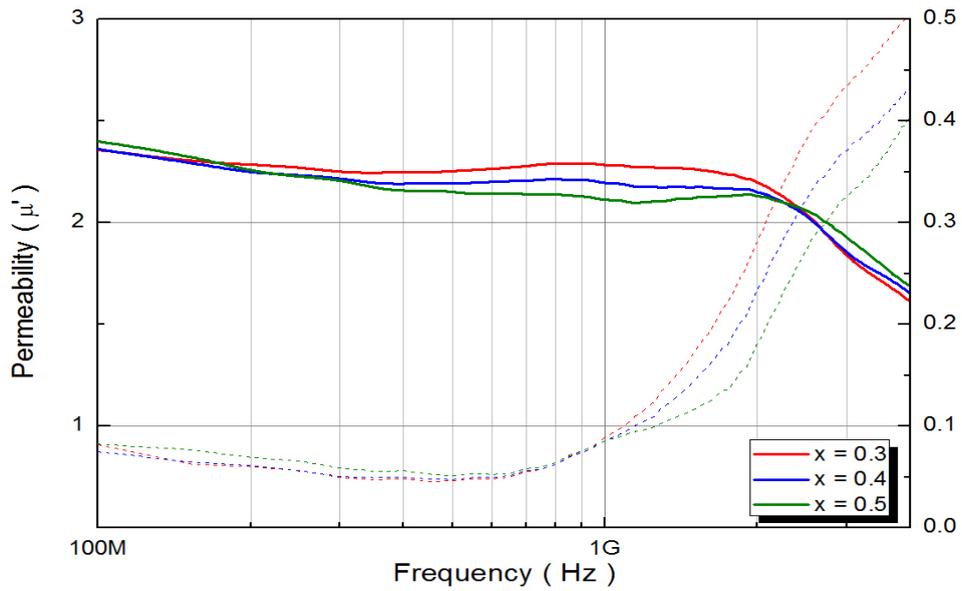


Figure 2. Frequency dependence of μ' , μ'' for the samples of $\text{Ba}_2\text{Ni}_{2-2x}\text{Co}_x\text{Mn}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ ($x = 0.3, 0.4, 0.5$) sintered at 1150 °C.

Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄의 자기적 특성

권윤미*, 유춘리, 이보화

한국외국어대학교 물리학과 경기도 용인시 449-791

1. 서론

Ni-Zn 페라이트는 전자 통신 산업에 널리 쓰이는 연자성 물질 중 하나이며, 그 자기적 특성은 전파흡수특성과 관련되어 있는 것으로 알려져 있다. 포화 자속 밀도는 작지만 고유 저항이 크기 때문에 와전류 손실이 작고 온도 안정성이 양호하다 [1, 2]. Magnetic divalent cation인 Ni²⁺는 octahedral site를 선호하고 NiFe₂O₄는 inverse spinel 구조를 가진다. 반면에 diamagnetic divalent cation인 Zn²⁺는 tetragonal site를 선호하고 ZnFe₂O₄는 normal spinel 구조를 가진다 [3]. 이러한 구조적 특성으로 인하여 Ni-Zn 페라이트는 혼합된 spinel 구조를 만들어내고, 이온의 이동에 따른 구조적 변화는 자기적 특성에 영향을 준다. 본 연구에서는 Ni²⁺ site에 Zn²⁺이온을 치환하여 치환에 따른 자기이력곡선 측정을 수행하여 자기적 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄(0≤x≤1)의 시료들을 고체 상태 반응법으로 제조하였다. 공기 중에서 시료들을 900°C에서 24시간 열처리 후 pellet으로 제작하여 1250°C에서 소결하였다. X-선 회절 측정(Rigaku, Mini Flex)을 통하여 시료들의 상을 확인하였고, Vibrating Sample Magnetometer(Lake Shore, model 7404)를 이용하여 상온에서 자기이력곡선을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

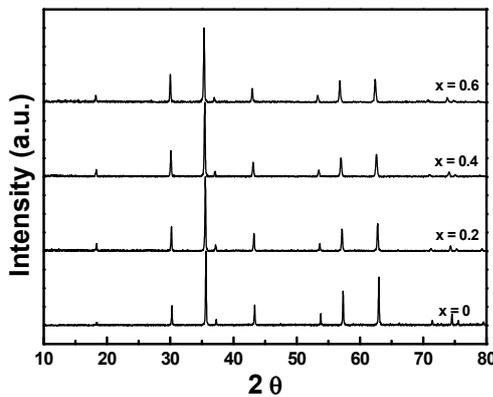


Fig. 1. XRD patterns of Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄

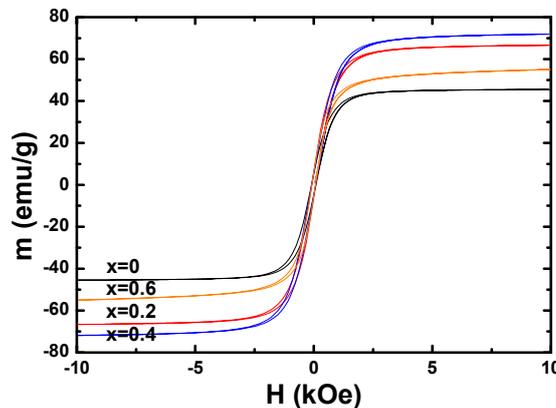


Fig. 2. Magnetic hysteresis loops of Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄

X-선 회절 측정 결과 Ni-Zn 페라이트는 Fig. 1과 같이 cubic 구조의 spinel 상을 보였다. Main peak의 위치는 Zn의 치환정도가 커질수록 2θ가 감소하는 현상이 나타났다. 상온에서 자기이력곡선 측정 결과 Fig. 2와 같이 나타나며, x = 0.4가 될 때까지 자화율이 증가하다가 x = 0.6 이후에는 감소하여, Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe₂O₄에서 가장 큰 자화율을 보였다. 일반적으로 inverse spinel 구조에 Zn²⁺이온을 치환시키면 tetradral site를 점유하여 Fe³⁺이온을 octahedral site로 이동시키는 역할을 하게 되어 자화율이 증가하게 된다.

4. 참고문헌

- [1] P.S. Anil Kumar, J.J. Shrotri, S.D. Kulkarni, C.E. Deshpande, S.K. Date, Mater. Lett. 27, 293-296 (1996)
- [2] J. G. Koh, J. Kor. Mag. Soc. 16, 255-259 (2006)
- [3] Monica Sorescu, L. Diamandescu, R. Peelamedu, R. Roy, P. Yadoji, J. Magn. Mater. 279, 195-201 (2004)

Effect of Preparation Conditions on the Structural and Magnetic Properties of NiZn Ferrite Nanoparticles

유춘리*, 유필선, 채윤기, 권윤미, 이보화
한국외국어대학교 전자물리학과

1. Introduction

Ferrites are advantages over other soft magnetic materials for applications in high frequencies because they exhibit high electrical resistivities combined with useful ferrimagnetic properties. Recently, there has been enhanced interest in developing ferrite materials at nanoscales. When the size of the magnetic particle is smaller than the critical size for multidomain formation, the particle exists in a single domain state and domain wall resonance is avoided; therefore the material can work at higher frequencies.^{1,2} In this respect, more investigations of ferrite particles at nanoscales need to be carried out in order to understand the physical properties and to meet the technological requirement for high frequency applications.

Regarding the synthesis methods of nanoparticles, chemical methods often provide better homogeneity and greater uniformity in particle size and size distribution.³ Among various chemical synthesis routes, sol gel in 2-methoxyethanol is simple and excellent in composition control. In this work, we discuss the effects of precursor solution concentration and annealing temperature on the structural and magnetic properties of NiZn ferrite nanoparticles synthesized by sol gel in 2-methoxyethanol.

2. Experimental Method

Iron(III) nitrate nonahydrate($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), nickel nitrate hexahydrate ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) and zinc nitrate hexahydrate ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) were used as precursors for the preparation of the starting sol. The precursors were dissolved in 2-methoxyethanol with molar ratio of Ni:Zn:Fe=1:1:4. The precursor concentration was adjusted by the volume of the solvent 2-methoxyethanol. The precursor solution was stirred for 3 h at room temperature to form a stable solution. Then the solution was evaporated at $\sim 60^\circ\text{C}$ to remove most of the liquid. The solution was finally dried at 95°C in an oven to form powder, which was annealed at $300\sim 800^\circ\text{C}$ to crystallization and form nanoparticles.

3. Results

The annealing temperature showed critical effect on the crystallization of the NiZn ferrite nanoparticles. It is clearly shown in Fig 1. that NiZn ferrite crystallized at annealing temperature higher than 600°C . The better crystallinity also induced an improved magnetic property, which was confirmed by the M-H curve measurement using Vibrating Sample Magnetometer (VSM). as illustrated in Fig. 2.

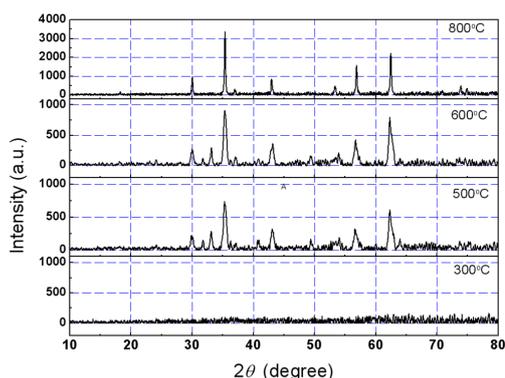


Fig. 1 XRD of NiZn ferrite nanoparticles annealed at different temperatures.

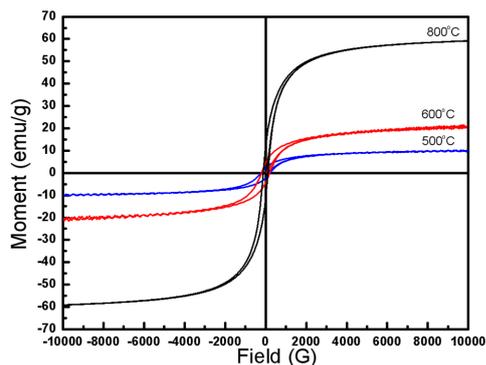


Fig. 2 M-H curves of NiZn ferrite nanoparticles annealed at different temperatures.

The effect of the concentration of the precursor solution was also investigated. The concentration of the precursor solution was adjusted to 0.1, 0.3, 0.5, and 0.75M by 2-methoxyethanol. The VSM measurements revealed that the saturation magnetization of the NiZn ferrite nanoparticles increased with the precursor solution concentration. Through the XRD, and TEM measurement, we will discuss the change of structural and magnetic properties of NiZn ferrite with the concentration of the solution.

4. Conclusion

The effects of preparation conditions (annealing temperature and solution concentration) of NiZn ferrite nanoparticles using sol gel in 2-methoxyethanol were investigated. According to these results, it is possible to adjust the properties of NiZn ferrite nanoparticles according to applications by varying the preparation conditions.

5. References

- [1] A. C. Razzitte and S. E. Jacobo, *J. Appl. Phys.* **87**, 6232 (2000).
- [2] Z. X. Tang, C. M. Sorensen, K. J. Klabunde, and G. C. Hadjipanayis, *Phys. Rev. Lett.* **67**, 3602 (1991).
- [3] B. P. Rao, G.S.N.Rao, A. M. Kumar, K. H. Rao, Y. L. N. Murthy, S. M. Hong, C.-O. Kim, and C.G. Kim, *J. Appl. Phys.* **101**, 123902 (2007).

바이어스 전류가 기본파 구동 플럭스 게이트 센서의 감도와 측정 범위에 미치는 영향

김용민^{1*}, 김영학², 임상호³, 양창섭⁴, 신광호¹

¹경성대학교 정보통신공학과

²부경대학교 전기공학과

³고려대학교 신소재공학과

⁴국방과학연구소

1. 서론

플럭스 게이트 센서는 상온에서 구동할 수 있는 자기 센서 중 구조가 간단하면서도 높은 감도와 분해능을 가지는 센서 중의 하나이다. 하지만 최근에 교류여자 전류에 직류 바이어스 전류를 인가하여 구동하면, 바이어스 전류가 자성체의 자벽이동에 의한 히스테리시스 없이 센서의 기본파 검출을 가능하게 한다는 사실이 밝혀졌다.[1-2] 이와 같은 방식의 센서는 자성 아몰퍼스 와이어를 이용하여 여자 전류를 직접 자성체에 통전하므로 센서를 소형화하기 적합하고, 기본파 구동을 하여 노이즈에 강하고 간단한 신호처리회로를 구성할 수 있다.

본 연구에서는 바이어스 전류가 기본파 구동 플럭스 게이트 센서의 감도와 측정 범위에 미치는 영향을 조사하기 위해, 바이어스 전류의 크기를 가변하면서 아몰퍼스 와이어의 자기 임피던스를 조사하고, 센서의 출력 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

바이어스 전류를 인가하면서 아몰퍼스 와이어의 자기 임피던스를 측정하기 위해 Fig 1. 의 제안된 Bias_T 회로를 이용하여 측정 하였다. 이 회로는 네트워크분석기(Agilent 8714 ES)와 전원공급기(NF VP4610)에 연결되어 측정 주파수는 0.3 MHz ~ 3 GHz, 바이어스 전류는 0 ~ 100 mA 범위에서 측정하였다. 지자계의 간섭을 최소화하기 위해 동서 방향으로 위치한 헬름홀츠 코일의 중심부에 회로를 설치하고 외부 자계를 0 ~ 30 Oe 로 가변하면서 측정 하였다(Fig. 2.). 아몰퍼스 와이어의 자기 임피던스는 네트워크 분석기의 반사법을 이용하여 측정하였다.

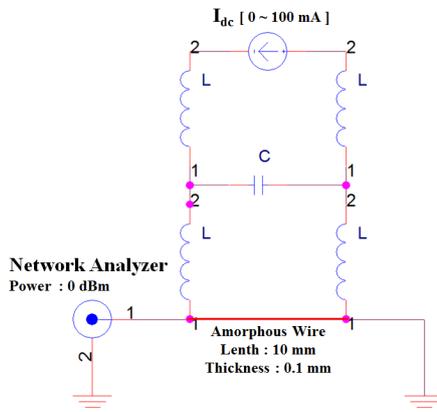


Fig. 1. Proposed Bias T Circuit

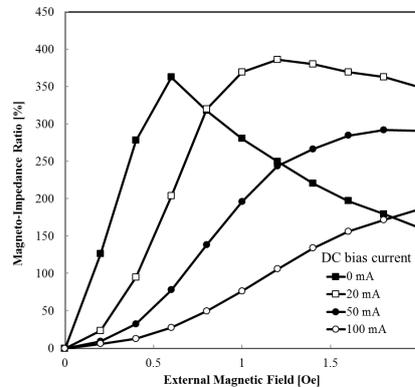


Fig. 2.. Magneto-impedance ratio at 7.8 MHz

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2.은 7.8 MHz의 자기 임피던스를 측정된 그림이다. 바이어스 전류의 크기에 따라 초기 임피던스(H_0)의 크기가 다르므로 그래프의 세로축은 아래의 식

$$\text{Magneto-Impedance Ratio} [\%] = \frac{Z(H_{EX}) - Z(H_0)}{Z(H_0)} \times 100$$

을 이용하여 나타내었다. $Z(H_{EX})$ 는 외부 자계가 H_{EX} 일 때의 임피던스, $Z(H_0)$ 는 외부 자계가 '0'일 때의 임피던스이고, 자기 임피던스 비율은 초기 임피던스($Z(H_0)$)를 기준으로 나타내었다.

Fig. 2. 에서 나타나는 것처럼 외부 자계에 의해 자기 임피던스가 변곡점을 가지는 지점은 바이어스 전류가 증가할수록 커지는 것을 알 수 있다. 자성체의 자기 임피던스의 변화는 대부분 자성체의 투자율 의존하여 변화 [4]하기 때문에, 자기 임피던스 그래프에서 변곡점 또는 포화 되는 지점은 센서의 측정범위, 그래프의 기울기는 감도와 직접적인 상관관계를 맺는다. 여자 주파수를 7.8 MHz, 바이어스 전류가 0 mA 와 20 mA에서 최대 임피던스 변화율은 외부 자계가 각각 0.6 Oe, 1 Oe에서 측정이 되었다. 최대 변화율을 가지는 지점은 바이어스 전류가 증가할수록 큰 외부 자계에서 측정되었지만, 그래프의 기울기는 바이어스가 전류가 증가할수록 감소하였다. 이 원인은 네트워크 분석기의 출력 전력이 0 dBm (0 mW)로 자성 와이어의 자화를 포화시키기 위한 충분한 AC 여자전류가 공급되지 않고, DC 바이어스 전류가 AC 전류보다 큰 비율로 인가되었기 때문으로 예상된다.

4. 결론

본 연구는 바이어스 전류가 플럭스 게이트 센서의 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해, 제안된 Bias_T회로에 네트워크 분석기를 연결하여 반사법으로 아몰퍼스 와이어의 자기 임피던스를 측정하였다. 바이어스 전류가 증가할수록 자성체의 자화가 포화되는 외부 자계가 커지는 경향을 확인하여, 적절한 바이어스 전류가 센서의 측정 범위를 증가시켜 주는 것을 확인하였다. 외부 자계에 의한 임피던스 변화율은 바이어스 전류에 의존하여 감소하는 경향을 보였지만, 자성체를 포화시키기 위해 충분한 AC 전류가 인가되지 못하였기 때문에 판단하고, 적절한 AC 전류와 바이어스 전류를 인가했을 때 기본파 구동 플럭스 게이트 센서의 감도와 측정 범위가 증가할 것으로 예상할 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] I. Sasada, "Orthogonal fluxgate mechanism operated with dc biased excitation", J. Appl. Phys., vol.91, n. 10, p.7789-7791, 2002
- [2] E. Paperno, "Suppression of magnetic noise in the fundamental-mode orthogonal fluxgate", Sensors and Actuators A 116, p.405-409, 2004
- [3] J. P. Sinnecker, "Magnetoimpedance aftereffect in a soft magnetic amorphous wire," Phys. Rev. B, vol.55, issue.6, p.3362-3365, 1997

비정질 FeNiSiB 층을 자유층에 삽입한 이중 자기터널접합의 전압의존성 특성

김도균^{1*}, 조지웅¹, 전병선¹, 신경호², Shinji Isogami³, Masakiyo Tsunoda³, Migaku Takahashi³,
김영근¹

¹고려대학교 신소재공학과

²한국과학기술연구원

³Department of Electronic Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan

1. 서론

이중 자기터널접합(magnetic tunnel junction)은 터널링 자기저항비(tunneling magnetoresistance ratio)의 전압의존성이 낮고, 자유층의 전류구동형 자화반전(current induced magnetization switching)의 임계전류밀도를 감소시킬 수 있는 장점을 가진 소자로 알려져 있다.

그러나 결정질 MgO가 터널링 배리어로 사용되었을 경우, 단일층의 터널링 배리어가 사용된 자기터널접합은 200% 이상의 자기저항비를 나타낸 반면, 이중 터널링 배리어가 사용된 자기터널접합의 자기저항비는 100% 정도로 단일 자기터널접합이 비해 낮은 결과들만 보고 되고 있다. 본 실험에서는 이중 자기터널접합의 자유층에 비정질 강자성층인 FeNiSiB를 삽입하여 자기저항비를 향상시키고 인가전압에 따른 전기전도적 특성 향상에 초점을 두고 연구가 진행되었다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용된 시료들은 초고진공 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하여 증착되었다. 사용된 시스템은 금속 타겟건과 MgO 터널배리어 타겟건이 독립되어 있는 구성이며, 각 챔버의 초기 진공도는 5×10^{-9} Torr 이하의 초고진공을 상태로 유지되었다. 증착된 자기터널접합은 포토리소그래피와 이온빔 밀링 시스템을 이용한 미세공정을 통하여 $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ 크기의 소자로 제작되었으며, 공정 후 고진공 열처리 시스템(진공도: 10^{-6} Torr)에서 4 kOe의 자기장을 인가하며 열처리를 진행하였으며, 4-point probe 시스템을 이용하여 전기적 특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 330도에서 열처리된 자기터널접합의 자기저항비를 보여주고 있다. 그림에 나타난대로 자유층 재료가 CoFeB인 경우에 121%의 자기저항비를 나타내고 있는데, CoFeB과 FeNiSiB를 같이 사용한 경우에 조성에 따라 최대 195%의 높은 자기저항비를 보이고 있다. 이는 FeNiSiB를 사용하였을 경우에 MgO 터널배리어와 인접 자성층인 CoFeB층 사이의 계면의 결정화도 차이에 의한 것으로 판단되는데, 미세구조분석을 통하여 확인한 결과 FeNiSiB를 사용하였을 경우, CoFeB층의 결정화가 더 진행이 된 것으로 확인되었다.

그림 2는 인가전압에 따른 자기저항비의 변화를 출력 전압으로 보여주는 것으로 자유층에 단일 CoFeB층을 사용했을 경우에는 인가된 전압의 방향에 따라 출력 전압 즉 자기저항비가 크게 다른 양상을 보여주고 있지만, CoFeB층과 FeNiSiB층을 같이 사용했을 경우에는 전압 방향에 상관없는 출력전압이 대칭적인 양상을 보여주고 있다. 이와 같이 FeNiSiB층을 사용하였을 때, 개선된 형태의 자기저항비가 나타나는 이유는 다음과 같다. 자기저항비의 인가전압에 따른 특성은 터널배리어와 강자성층 사이의 계면 상태에 따른 영향을 많이 받게 되는데, CoFeB층만 사용하였을 경우 B 원자의 이동에 따른 CoFe/MgO 계면의 결정화가 어렵게 진행되어 위쪽

배리어/강자성층 계면과 아래쪽 배리어/강자성층 계면의 상태가 달라지게 된다. 반면 CoFeB층 사이에 FeNiSiB층을 삽입하였을 경우에 CoFeB에서 B 원자의 이동이 FeNiSiB층 방향으로 유도되어 위쪽 강자성층/배리어 계면과 아래쪽 강자성층/배리어 계면의 결정화도가 비슷하게 되어 전자가 이를 통과하게 될 경우 유사한 환경을 통과하게 되는 효과가 있다.

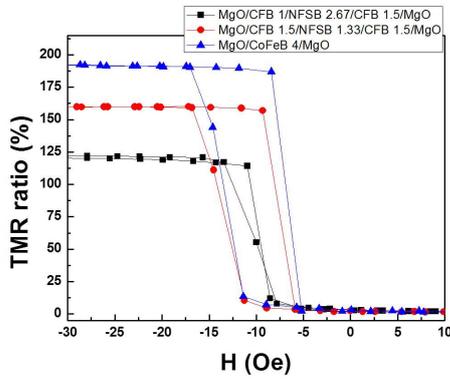


그림 1. 자유층 구성에 따른 자기저항비

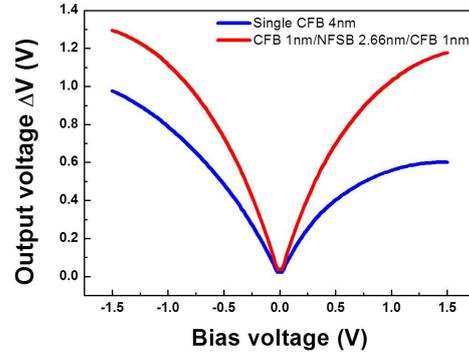


그림 2. 인가전압에 따른 출력전압의 변화

4. 결론

본 연구에서는 이중 자기터널접합의 자유층에 비정질 강자성층에 FeNiSiB층을 삽입하여 자기저항비를 높이고, 인가전압에 따른 자기저항비의 변화를 대칭적으로 개선하여 이중 자기터널접합의 성능을 향상 시키는 연구를 진행하였다.

5. 참고문헌

- [1] Z. Diao, A. Panchula, Y. Ding, M. Pakala, S. Wang, Z. Li, D. Apalkov, H. Nagai, A. Driskill-Smith, L.-C. Wang, E. Chen, and Y. Huai, Appl. Phys. Lett. 90, 132508 (2007)
- [2] C. Heiliger, P. Zahn, B. Yavorsky, and I. Mertig, Phys. Rev. B 72, 180406 (2005)
- [3] G. Feng, S. V. Dijken, J. F. Feng, J. M. D. Coey, T. Leo, and D. J. Smith, J. Appl. Phys. , 105, 033916 (2009)
- [4] H. D. Gan, S. Ikeda, W. Shiga, J. Hayakawa, K. Miura, H. Yamamoto, H. Hasegawa, F. Matsukura, T. Ohkubo, K. Hono, and H. Ohno, , Appl. Phys. Lett. 96, 192507 (2010)

전류 인가 자구벽 이동의 줄 효과 보정

김덕호^{1*}, 문경웅¹, 유상철^{1,2}, 민병철², 신경호², 최석봉¹

¹서울대학교 물리천문학부

²한국과학기술연구원

1. 서론

전류 인가 자구벽 이동(Current-induced domain wall motion; CIDWM)은 매우 흥미로운 물리적 현상이다[1, 2]. 작은 전류밀도에서 CIDWM은 크리프(Creep) 법칙을 따른다[3]. 크리프 운동은 아레니우스 법칙에 따라 다음 속도의 $V = V_0 \exp\left[-\alpha \frac{(H^*)^{-1/4}}{k_B T}\right]$ 형태로 알려져 있다. 여기에서 V_0 는 특성 속도, α 는 에너지 상수, k_B 는 볼츠만 상수, T 는 온도를 나타낸다. 특히 H^* 는 전류에 의해 발생하는 유효 자기장을 의미한다. 그러나 시료에 전류를 인가하면 줄 열(Joule heating)의 발생으로 온도가 증가하는데, 이때 CIDWM에서 순수한 전류 효과를 구분하기가 어렵게 된다. 현재까지 여러 연구들에서 아레니우스 법칙에서 표현된 특성 속도와 에너지 상수는 온도에 무관한 상수라고 가정하고, 식에 표현된 $k_B T$ 항만을 온도 영향으로 고려하였다. 최근 발표된 Pt/Co/Pt 나노선 구조에서 전류 밀도 10^{11} A/m² 이하의 CIDWM에서는 전류에 따른 온도 증가가 작은 범위여서 이러한 가정이 적용 가능하였다[3]. 그러나 매우 큰 온도 증가 범위에서는 자기적 성질의 변화로 크리프 계수가 많이 변할 것으로 생각된다. 따라서 특성 속도와 에너지 상수의 온도 의존성에 대한 연구가 필요하다.

2. 실험방법

본 연구를 수행하기 위해 Si/SiO₂/Ta(5 nm)/Pt(2.5 nm)/Co(0.3 nm)/Pt(1.5 nm) 수직 자기이방성 박막 시료를 제작하였다. 온도범위 296 K에서 318 K까지 자기장에 따른 자구벽 이동을 광자기 커르 효과(Magneto-optical Kerr effect; MOKE) 현미경을 통해 관찰하였다.

3. 실험결과

각각의 온도에서 구해진 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 를 그림 1 (a), (b)에 나타내었고, $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 가 온도에 따라 급격하게 변함을 확인하였다. 다음으로 온도에 무관한 크리프 운동의 보편성을 살펴보기 위해 그림 1 (a), (b)의 온도에 따른 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 의 결과를 이용하여, 자구벽 이동 속도를 다음의 규격화 속도 $V^* = V_0^{RT} \exp\left[\ln\left\{\frac{V}{V_0(T)}\right\} \frac{\alpha_0^{RT}}{\alpha(T)} \frac{T}{T_0}\right]$ 로 정의하였다. 여기에서 T_0 는 상온을 의미하고, 상온에서의 특성 속도와 에너지 상수를 $V_0^{RT} = V_0(T_0)$, $\alpha_0^{RT} = \alpha(T_0)$ 과 같이 나타내었다. 그림 1 (a), (b)의 각각의 상수의 온도 경향성을 이용하여 온도 효과와 배제된 규격화 속도를 그림 1 (c)과 같이 관찰하였다. 그림 1 (c)의 결과에서 나타나듯이 온도 효과가 배제된 속도는 다양한 온도에도 불구하고, 모두 상온의 자기장 속도 법칙과 동일 선상에서 운동함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구를 통해 기존의 아레니우스 법칙에 따른 크리프 운동에서 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 가 온도에 의존함을 확인하였다. 크리프 운동의 계수 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 가 온도 함수임을 고려하여, 여러 온도에서 자기장 인가 자구벽 이동의

보편성을 확인하였다. 따라서 온도에 따른 $\alpha(T)$, $V_0(T)$ 를 CIDWM 에 적용하여, CIDWM에서 줄 열 효과를 배제한 순수한 전류의 역할을 확인할 수 있었다. 실험의 세부사항은 추후 논의할 예정이다.

6. 참고문헌

- [1] R. A. Duine and C. M. Smith, Phys. Rev. B **77**, 094434 (2008).
- [2] Stuart S. P. Parkin, Masamitsu Hayashi, and Luc Thomas, Science **320**, 190 (2008).
- [3] J.-C. Lee, *et. al*, Phys. Rev. Lett. **107**, 067201 (2011).

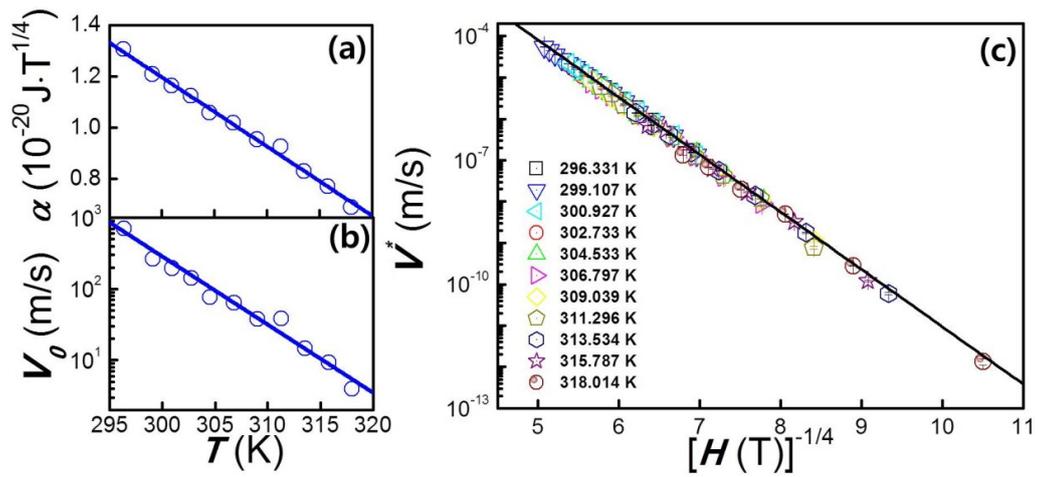


그림 1 (a)온도에 따른 에너지 상수 α , (b)온도에 따른 특성 속도 V_0 , (c) $H^{-1/4}$ 에 대한 V^*

Transition of Magnetic Properties with Various Annealing Temperature in CoFeB Films

Cheong-Gu Cho^{1*}, Sang-Jun Yun¹, Joon Moon¹, Cheol-Hyun Moon², Hyo-Jin Kim³,
Sang-Im Yoo³, and Sug-Bong Choe¹

¹Department of Physics and Astronomy, Seoul National University

²Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology

³Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University.

CoFeB film is one of the candidates for the next-generation nonvolatile random access memory because of its small Gilbert damping. The Gilbert damping constant α is related to the critical current density and the domain wall speed by the spin transfer torque. The CoFeB film has been therefore extensively examined for the potential application for the STT-MRAM [1] and the domain wall device [2]. The magnetic properties of CoFeB films are known to change with respect to the annealing temperature [3]. In this report, we report an experimental observation of the annealing temperature dependence of magnetic properties. For this study, ferromagnetic CoFeB films with various capping/seed layer are prepared on GaAs(100) substrate by dc magnetron sputtering. After deposition process, a series of the films is annealed with different temperatures from 200°C to 400°C in high vacuum condition ($< 3.0 \times 10^{-8}$ torr). The change of the magnetic and structural properties is examined by use of a vibrating sample magnetometer (VSM) as well as an x-ray diffractometry (XRD), as summarized by Figs. 1 and 2, respectively. The magnetization precession is then observed by use of a time-resolved magneto-optical Kerr effect measurement to examine Gilbert damping constant. For this measurement, the pump beam is focused onto a spot with a diameter 1 μm and magnetic field of 2.5 kOe is applied at an angle 10° from the sample normal. The correlation with the magnetic and structural properties will be discussed.

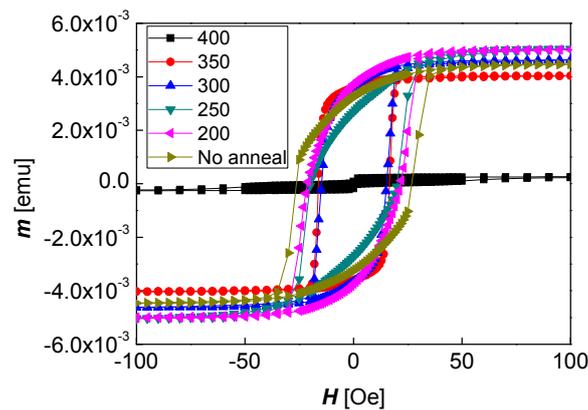


Fig. 1. The hysteresis loop using vibrating sample magnetometer(VSM)

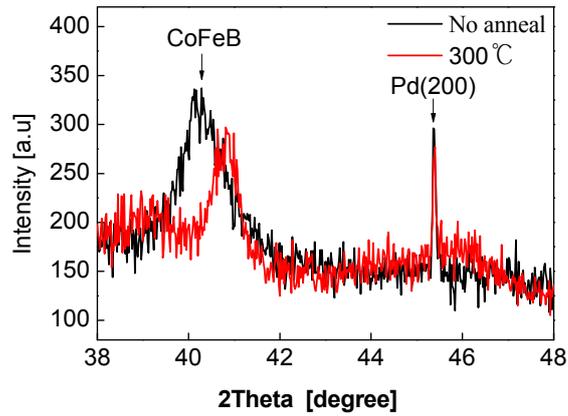


Fig. 2. The intensity of X ray diffraction pattern of Pd/Co72Fe8B20/Pd

참고문헌

- [1] S. Mangin, D. Ravelosona, J.A. Katine, M.J. Carey, B. D. Terris, and Eric E. Fullerton, Nature Mater. 5, 210(2006)
- [2] S. Fukami, T. Suzuki, Y. Nakatani, N.Ishiwata, M. Yamanouchi, S.Ikeda, N.Kasai, and H. Ohno, Appl. Phys. Lett. 98, 092504(2011)
- [3] J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. M.Lee, F. Matsukura, and H. Ohno , Appl. Phys. Lett. 89, 232510(2006)

Pt/Co/Pt 시스템에서의 스핀토크 자구벽 운동 영역의 확장

제송근^{1*}, 유상철^{1,2}, 민병철², 신경호², 최석봉¹

¹서울대학교 물리천문학부

²한국과학기술연구원

1. 서론

최근 수직자기이방성을 가지는 물질에서의 전류인가 자구벽 운동에서 nonadiabatic 스핀토크와 전류에 의한 자구벽의 이동 방향에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전류에 의한 자구벽 이동을 보이는 물질로는 Pt/Co/AlOx, Pt/Co/Pt, Co/Ni이 있는데, 이 중에서 Pt/Co/Pt은 전류방향의 자구벽 이동을 보이고 10^{11}A/m^2 이하의 매우 낮은 전류밀도에서 움직이므로 매우 흥미로운 물질이다. 하지만 지금까지 보고된 속도는 10^{-3}m/s 로 매우 느린 creep 영역의 운동으로 응용적인 측면에서 개선의 여지가 있었다.^[1] 본 연구에서는 Pt/Co/Pt 물질에서의 스핀토크 자구벽 이동 속도를 10^3 배 향상시켜 그 운동 영역을 획기적으로 넓혔다.

2. 실험방법

Si/SiO₂ 기판위에 Ta(3 nm)/Pt(1.5 nm)/Co(0.3 nm)/Pt(2.5 nm)를 sputtering을 이용해 증착하고 e-beam lithography로 500 nm width를 가지는 자성 나노소자를 제작했다. 자구벽 형성은 writing line을 통해 흐르는 전류에 의한 Oersted field writing 방법을 사용했고, 자구벽 이동은 scanning MOKE microscope를 이용해 관측하였다.

3. 실험결과

매우 낮은 dc 전류에 의해 움직이는 자구벽의 이동부터 시작해 m/s 정도까지의 속도를 관측할 수 있었다. 다른 물질들(Pt/Co/AlOx, Co/Ni)에서 10^{12}A/m^2 정도의 전류 밀도에서 수 m/s로 움직이는데 비해 Pt/Co/Pt에서는 $5 \times 10^{11} \text{A/m}^2$ 정도의 비교적 낮은 전류밀도에서 빠른 속도로 자구벽이 이동하는 것이 관측되었다.

4. 결론

본 연구에서는 그동안 느린 creep 영역에서 보고된 Pt/Co/Pt 시스템의 자구벽 운동 영역을 확장하였고 이를 통해 더 넓은 운동 영역에서의 자구벽 운동에 대한 연구가 가능할 것으로 기대한다.

5. 참고문헌

[1] J.-C. Lee et al., Phys. Rev. Lett. 107, 067201 (2011)

교환바이어스 된 NiFe/FeMn 구조의 방위각에 따른 자화 역전과 rotatable anisotropy

최혁철^{1*}, 유천열¹, 김기연²

¹인하대학교 물리학과, ²한국원자력연구원

1. 서론

교환 바이어스는 강자성 (F: ferromagnet)과 반강자성 (AF: antiferromagnet) 사이의 계면에서 비보상 AF 스핀(uncompensated spin)과 F 스핀 사이의 교환 결합(exchange coupling) 의해 일어나는 현상으로 거시적으로 자기장 축을 따라 원점에 대한 자기이력곡선(M-H loop)의 변위 및 폭의 증가가 나타나며 교환바이어스 세기와 보자력의 증가를 동반 한다 [1]. 교환 바이어스된 F/AF 구조를 강자성 공명(ferromagnetic resonance, FMR) 측정을 통하여 교환 결합력에 대한 자기이방성에너지 특성을 분석할 경우 교환 자기이방성에너지 외의 isotropic resonance field 가 아래 (negative)로 이동하는 현상이 관측되는데 이를 rotatable anisotropy 라고 한다 [2-3]. 하지만 rotatable anisotropy 원인은 아직까지도 명확하게 규명되지 않고 있다. 본 연구에서는 Vector-MOKE (Magneto-Optical Kerr Effect) 측정으로 NiFe/FeMn 2층 구조를 갖는 교환바이어스 된 박막들의 자기이방성 및 자화 역전(magnetization reversal)을 인가 자기장의 방위각에 따른 자기이력곡선들을 통하여 분석하였다.

2. 실험방법

교환 바이어스 된 NiFe/FeMn 구조를 제작하기 위해서 Si 기판 위에 강자성 NiFe 두께를 5 nm로, FeMn 두께는 교환바이어스가 나타나는 임계 두께인 5 nm로 하였다. 그리고 이들 2층 박막 구조의 결정 성장을 증진시키기 위해서 씨앗층으로 Ta(5 nm)/Cu(5 nm)를 증착하였으며 시료들의 산화를 방지하기 위해 Ta(5 nm)로 방지막 처리를 하였다. 모든 시료의 제작은 인가된 자기장(~300 Oe)안에서 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 증착하였다. 제작된 박막 시료들을 vector-MOKE로 반시계방향(counterclockwise, CCW)으로 방위각을 5도씩 회전하면서 longitudinal 과 transverse MOKE를 측정한 후 다시 시계방향(clockwise, CW) 회전으로 측정을 진행하여 각각의 방위각에 따른 자기장에 평행한 자기이력곡선과 박막 면내에서 수직(transverse)한 자기이력곡선을 구하였다. 교환 바이어스된 NiFe/FeMn의 자기이력곡선을 방위각의 변화에 따라 5회씩 반복 측정하여 training effect가 사라진 것을 확인한 후 자화곡선이 자기장축과 만나는 두 보자력값 (H_{LC} , H_{RC})으로부터 교환바이어스 값(H_{ex})과 보자력(H_C)을 각각 $H_{ex}=(H_{LC}+H_{RC})/2$, $H_C=(H_{RC}-H_{LC})/2$ 으로 계산하였다. 이것으로부터 자화의 pinning direction (PD)과 자화 역전의 위상 및 자기이방성을 분석하였다.

3. 결과 및 논의

그림 1은 교환 바이어스 된 NiFe/FeMn 시료에서 방위각을 반시계방향(CCW)과 시계방향(CW)으로 회전시키면서 각각의 방위각에 대한 MOKE 신호로부터 얻어낸 교환바이어스 값이다. 반시계방향과 시계방향에 대한 교환바이어스 값들은 일치하지 않으며 중심(180도)으로부터 좌우 비대칭적인 형태를 나타낸 반면 보자력의 경우 비대칭성이 명확하지 않다. 그리고 0도와 한 바퀴 회전한 360도에서의 교환바이어스 값이 서로 다르다. 이는 각각의 방위각에서 자기이력곡선 측정이 끝났을 때 F 자화방향의 일방향 자화용이축(PD)이 반시계 방향과 시계 방향 사이에서는 서로 다른 각도 의존성을 보여준다. 그리고 pinning direction 회전의 손대칭(chirality) 변화는 변화된 방위각을 갖는 외부 자기장에 의해 F의 자화가 역전될 때 교환결합에 의해 비보상 AF 스핀들에 일정한 토크가 가해지게 되는데 외부자기장의 방향이 기존의 PD 방향과 다를 경우 pinned 비보상 AF 스핀들

이 새로운 local energy minimum으로 thermally activated 비가역적 전이를 일으켜 그 결과 PD의 변화가 일어난다. 이러한 실험 결과는 교환바이어스 세기(H_{ex})와 연관된 pinned 비보상 AF 스핀 구조가 일반적으로 여기는 static, fixed 구조가 아니라는 사실을 보여준다.

그림 2는 방위각의 변화에 따른 transverse 자기이력곡선의 변화를 나타낸다. 첫 번째로 모든 방위각에서 F의 자화가 180도 이내에서 회전이 일어나며 360도 회전은 관측되지 않았다. 이는 일축 자기이방성에너지 (uniaxial anisotropy)와 일방향 자기이방성에너지(unidirectional anisotropy)의 상대적인 크기에 따라서 달라진다고 보고된 바 있다. 두 번째로 반시계방향의 자화역전 위상은 0도에서 (-)이나 360도에서는 (+)로 바뀌어 있는데 이는 특정한 임계각도에서 위상 전이가 일어남을 알 수 있으며 시계방향의 데이터에서도 마찬가지로 위상이 반대로 나타난다. 그리고 두 회전방향의 측정에서 반시계방향 측정에서는 160도에서 165도로 방위각이 진행될 때 자화역전 위상이 변하나 시계방향 측정에서는 170도에서 175도로 방위각이 진행될 때 위상이 변함을 알 수 있다. 즉 전이가 일어나는 임계각이 회전 방향에 따라 서로 다르다. 또 transverse loop이 사라지는 부분이 PD라고 한다면 방위각의 회전 방향에 따라서 PD가 다르다는 것을 의미한다. 이는 CCW 및 CW 사이의 방위각에 따른 교환바이어스 값의 이력곡선 현상과도 밀접한 연관이 있다고 생각할 수 있다. 이와 같은 실험 결과는 rotatable anisotropy의 명확한 증거로 보인다.

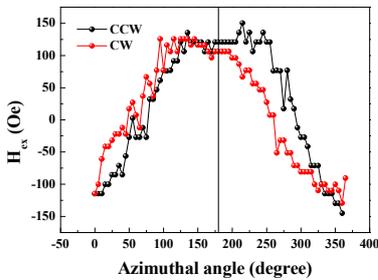


그림 1. CCW 와 CW 사이의 방위각에 따른 교환바이어스의 hysteresis

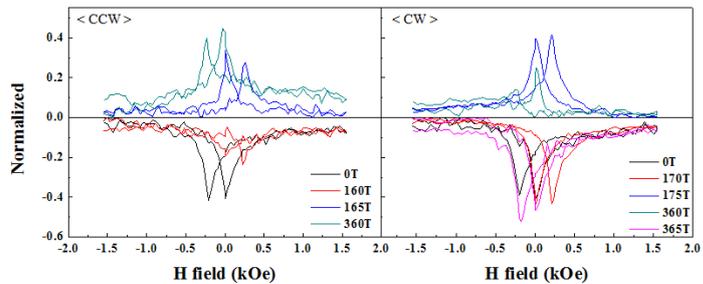


그림 2. 반시계방향과 시계 방향의 방위각에 따른 transverse 자기이력곡선

4. 결론

본 연구에서는 교환바이어스된 NiFe/FeMn 이종접합 구조를 vector-MOKE 측정으로 인가 자기장의 방위각 회전 방향에 따른 자기이력곡선을 통하여 pinning direction과 자화역전의 위상을 분석하였다. 방위각에 따른 교환바이어스 세기는 반시계방향과 시계방향이 서로 비대칭을 이루며 다른 각도 의존성을 나타냈다. 그리고 pinning direction의 회전의 변화는 자화 회전에서 기인함을 보였다. 또 교환바이어스를 갖는 구조에서는 rotatable anisotropy가 존재함을 자화역전 위상을 통하여 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] J. Nogués *et al.*, JMMM **192**, 203-232 (1999).
- [2] R. D. McMichael, M. D. Stiles, P. J. Chen and W. F. Egelhoff, Phys. Rev. B **58**, 8605 (1998).
- [3] M. D. Stiles, R. D. McMichael, Phys. Rev. B **59**, 3722 (1999).

브릴루앙 광산란을 이용한 열처리에 따른 CoFeB 박막의 Exchange Stiffness Constant 특성

정진용*, 김가언, 조재훈, 유천열
인하대학교 물리학과

1. 서론

디지털 정보량의 증가로 저전력 대용량 정보저장 매체 등의 IT 소자의 연구 개발의 필요성이 대두되면서 spin transfer torque(STT)현상으로 기인된 STT-MRAM(Spin transfer torque magnetic random access memory)에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. STT-MRAM은 데이터를 전력 없이 저장할 수 있고, 초고속과 저전력으로 동작이 가능하며, 비휘발성의 장점과 함께 데이터의 안정성을 갖춘 차세대 메모리 중에 하나이다. STT-MRAM의 기록층으로 CoFeB이 적합하다고 예상되어지며 이에대한 많은 연구가 진행되고 있지만[1], CoFeB의 기본 자성상수인 Exchange stiffness constant(교환뻣뻣함 상수, A_{ex})에 대한 연구는 찾아보기 힘들다[2][3]. 더욱이 최근 임계전류밀도가 A_{ex} 에 크게 의존한다는 것이 발견되었다[4]. 본 연구에서는 상온에서 MgO(100) 기판위에 CoFeB을 25 nm 두께로 증착한 시료를 제작하여, 시료의 열처리 온도에 따른 A_{ex} 값을 브릴루앙 광산란(Brillouin light scattering ; BLS)를 이용하여 연구하였다.

2. 실험방법

시료제작은 Ar분압이 1.5 mTorr 로 일정한 상태에서 MgO(100) 기판위에 $Co_{40}Fe_{40}B_{20}$ 을 상온 25° 내에서 증착하였다. 증착된 시료는 DC 마그네트론 스퍼터링(DC magnetron sputtering) 방식으로 CoFeB 층의 두께를 25 nm로 고정하여 증착하였고, 시료의 산화를 방지하기 위해 Ta을 CoFeB 위에 5 nm의 두께로 증착했다. 증착 후 300 °C와 400 °C에서 한 시간동안 열처리를 수행하였다. 열처리 후 A_{ex} 를 결정하기 위하여 Sandercock 방식의 (3+3)형태의 고 분해능 이중 Fabry-Perot 간섭계(tandem Fabry-Perot interferometer)를 이용하여 BLS측정을 하였다. 사용된 빛은 단일 진동수는 532 nm 를 갖는 고체레이저를 사용하였다. 레이저의 출력은 60 mW이며, 후방 산란하는 기하학적인 구조를 사용하여 열적으로 여기된 빛이 산란되는 것을 관찰하였다. 빛이 30°로 입사할 때, in-plane상에서 파수는 $q_{\parallel}=1.118 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 이다.

3. 실험결과

CoFeB을 25 nm로 증착한 후, 300 °C에서 한 시간동안 열처리한 시료를 BLS를 이용하여 측정한 대표적인 스펙트럼을 그림 1에 전시하였다. 측정된 스핀파 진동수는 각각 외부에서 인가하는 자기장이 0.30 kOe과 0.55 kOe에서 측정한 스펙트럼이다. Damon-Eshbach(DE) 모드는 시료의 표면에 생기는 스핀파가 자화방향과 시료 면에서 수직하게 진행하는 형태이고, 덩어리(Bulk) 모드는 시료 내부에서 정상파를 이루는 스핀파의 모드이다. 이 스핀파의 진동수와 자기상수들의 관계는 참고문헌 [5]에 기재한 스핀파 진동수 분산관계를 이용하여 결정하였다. 실험으로 열처리 온도에 따라서 CoFeB이 가지는 A_{ex} 와 Saturation magnetization(포화자화값, $4\pi M_s$), g-factor(g인자, g)의 자기상수를 확인하였다. $4\pi M_s$ 는 열처리 온도에 따라 각각 14.190 ± 0.114 , 14.732 ± 0.183 , 14.170 ± 0.270 kOe이고, g값은 2.178 ± 0.011 , 2.108 ± 0.016 , 2.155 ± 0.026 이다. A_{ex} 는 1.324 ± 0.013 , 1.403 ± 0.008 , $1.406 \pm 0.014 \times 10^{-11}$ J/m 이다. 일반적인 MgO/CoFeB/Ta구조에서 200 °C이상에서 열처리를 하면 CoFeB층의 Boron이 Ta층으로 확산한다고 알려져 있는데, 이는 실험의 결과 열처리 온도 300 °C이상에서 Boron이 Ta층으로 확산되어 A_{ex} 가 커지는 결과를 갖는 것처럼 생각된다.

4. 요약

이 연구는 BLS 실험을 이용하여 $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 박막의 자성특성을 연구하였다. CoFeB 의 열처리 온도에 따라 $4\pi M_S$ 는 일정하였고, A_{ex} 는 300 °C 이상에서 열처리한 시료의 경우 비슷한 값을 가짐을 확인하였다.

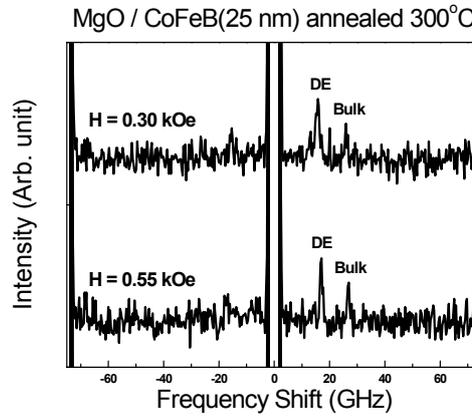


그림 1. 25 nm 두께로 증착한 후 300 oC로 열처리를 가한 시료 BLS 통하여 스핀파 진동수를 측정할 수 있는 대표적인 스펙트럼이다. DE는 Damon-Eshbach mode이고, Bulk는 Bulk mode이다. 위에 그래프에서 실선은 H=0.30 kOe 인가해주었을 때의 스펙트럼이다. 밑에 실선은 H=0.55 kOe 일 때의 스펙트럼이다.

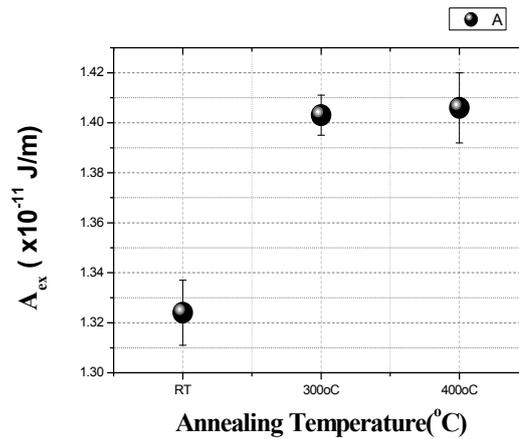


그림 2. 25 nm 두께로 증착된 $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ 의 열처리 온도에 따른 A_{ex} 값의 관계를 나타낸 그래프이다. 가로축은 각각 실온, 300 °C와 400 oC에서 1시간동안 열처리를 수행한 시료를 나타내고, 세로축은 A_{ex} 에 해당하는 값을 나타낸다.

5. 참고문헌

- [1] S. S. P. Parkin et al, Nature Mater. **3**, 862-867 (2004)
- [2] C. Bilzer et al, J. Appl. Phys. **100**, 053903 (2006).
- [3] M. Yamanouchi et al, IEEE Magn. Lett. **2**, 300304 (2001).
- [4] C.-Y. You, Appl. Phys. Express. **5**, 103001 (2012)
- [5] P. Grunberg et al. J. Magn. Magn. Mat. **28**, 319 (1982)

Thermal Activation of Reversal Process in Amorphous CoSiB/Pd Multilayers with Perpendicular Magnetic Anisotropy

Jungbum Yoon^{1*}, Sol Jung², Youngha Choi³, Jaehun Cho¹, Chun-Yeol You¹, Myung-Hwa Jung³, and H. I. Yim²

¹Department, Inha University, Incheon, 402-751, Korea

²Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul, 140-742, Korea

³Department of Physics, Sogang University, Seoul, 121-742, Korea

1. Introduction

For multilayer films of alternating ferromagnetic and nonmagnetic layers, the broken symmetry at the interface can induce the strong perpendicular magnetic anisotropy (PMA). Multilayer systems based on Co/Pt, Co/Pd are (111) textured, the grain boundaries act as pinning sites, and it causes irregular switching behaviors. In this research, we investigate the PMA of CoSiB/Pd multilayer system by replacing Co with amorphous CoSiB. The thermal reversal domain processes such as domain wall motion and the nucleation of reverse magnetization at grain boundaries are confirmed by the magnetic optical Kerr effect (MOKE) microscopy and sweep rate measurements.

2. Experiments

The samples were deposited by DC magnetron sputtering system at room temperature with Ar gas pressure of 2 mTorr from Co₇₅Si₁₅B₁₀ target. The multilayers consist of SiO₂ (100)/Ta (5)/Pd (3)/[CoSiB (t_{CoSiB})/Pd (1.3)]₅/Ta (5) with various thickness, $t_{\text{CoSiB}} = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, \text{ and } 0.6$, (unit is nm). The domain wall (DW) motion due to thermal activation is confirmed with MOKE microscopy measurement. The sweep rate dependence of coercivity was observed by using a vibrating sample magnetometer (VSM).

3. Results and discussion

For $t_{\text{CoSiB}} = 0.2, 0.3, 0.4, \text{ and } 0.5$ nm, the PMA is clearly observed. The maximum coercivity (261 Oe) was found for CoSiB thickness of 0.3 nm. Figure 1 shows the MOKE image of [CoSiB (0.3 nm)/Pd(1.3 nm)]₅ multilayer with waiting time (30 and 180 sec) at -150 Oe. It is described the DW motion related to thermal activation [1, 2]. The fluctuation field, H_f , is useful parameter to understand the thermal reversal process [3, 4]. The sweep rate dependence of coercivity of CoSiB/Pd multilayers with various thickness are shown in Fig. 2. H_f is obtained from fitting to the equation deduced by Bruno *et al.* [5]. In results, the coercivity is larger with smaller H_f .

4. Conclusion

We investigate the thermal activation related to time dependence of magnetization reversal process in CoSiB/Pd multilayers with PMA. The coercivity is intimately associated with the fluctuation field. More detail

analysis including thermal activation energy and the nucleation energy barrier will be discussed.

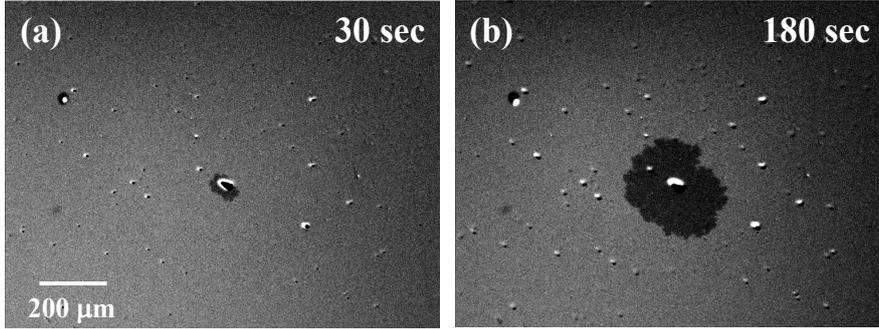


Fig. 1 Magnetic optical image for [CoSiB (0.3 nm)/Pd (1.3 nm)]₅ multilayer after (a) 30 sec and (b) 180 sec at -150 Oe.

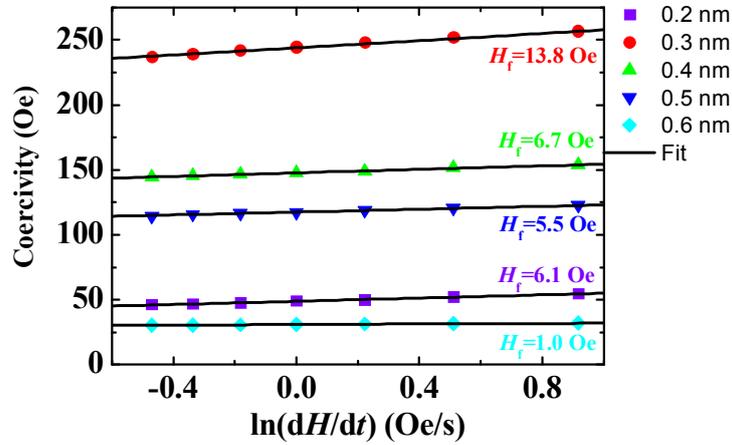


Fig. 2 Sweep rate, $\ln(dH/dt)$, dependence of the coercivity of [CoSiB (t_{CoSiB} nm)/Pd (1.3 nm)]₅ multilayer with various thickness, $t_{\text{CoSiB}} = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5,$ and 0.6 nm. The solid lines represent fit curves to the fluctuation field, (H_f).

5. Reference

- [1] S.-B. Choe and S.-C. Shin, Phys. Rev. Lett. **86**, 532 (2001).
- [2] S.-B. Choe and S.-C. Shin, Phys. Rev. B. **70**, 014412 (2004).
- [3] R. Street and S. D. Brown, J. Appl. Phys. **76**, 6386 (1994).
- [4] S. J. Collocott, J. Appl. Phys. **107**, 09A720 (2010).
- [5] P. Bruno et al., J. Appl. Phys. **68**, 5759 (1990).

인산염 코팅된 Fe-Al 분말 코어의 자기적 특성 (Magnetic Properties of Phosphate Coating Fe-Al Powder Core)

최재정*, 장평우
청주대 이공대학 물리학과

1. 서론

연자성 코어는 변압기, 전동기 등에서 전기에너지, 자기에너지, 기계에너지를 서로 상호변환시킬 때 중추적인 역할을 하는 자성부품으로, 외부자장의 방향전환에 따라 쉽게 자화반전이 일어나기 위해 보자력이 작고, 자성체의 체적효율을 높이기 위해 포화자속밀도가 높고, 고주파에서 사용될 때 손실을 줄이기 위해 비저항이 높은 재료를 사용한다. 이러한 재료로 대표적인 것이 Fe-Si계 합금으로 Fe-3%Si 전기강판이 대표적인 것이다. 최근에 주파수가 증가하고, 전자기 노이즈 문제가 중요함에 따라 분말자성코어의 수요가 증가하고 있다. 분말자성코어는 통상 연자성분말과 절연물질을 혼합하거나, 절연층이 표면에 생성된 분말을 성형하여 만들고 있다. 분말코어는 성형만으로 형상이 만들어지므로 가공을 하지 않아도 되는 장점이 있지만 성형밀도를 높이기 위해서 가공성이 우수한 합금을 사용하는 것이 좋다. Fe-Si 합금은 높은 비저항, 낮은 결정이방성과 자기변형상수를 가지고 있어 훌륭한 연자성재료이지만 Si이 3wt.%이상 첨가되면 가공성이 급격히 악화되므로 분말코어에서도 실리콘함량이 일정함량이하로 제한된다. 한편 Fe-Al 합금은 자기변형이 크지만 비저항이 Fe-Si합금과 비슷하고, 특히 가공성이 Fe-Si합금에 비해 매우 뛰어나므로 분말코어의 성형밀도를 높여 여러 자기특성을 향상시키는데 유리한 측면을 가지고 있다 [1]. 본 실험은 Fe-Al분말에 인산염 코팅을 통해 고품질의 절연층을 생성시켜 코어손실을 줄일 수 있는 방법을 알아보기 위한 기초 실험이다.

2. 실험방법

아토마이징 방법으로 제조된 Fe-6wt%Al 합금분말을 체를 이용하여 106 um 이하의 분말로 입도선별한 후, 인산 1~4 cc, 아세톤을 99~96 cc로 변화시킨 용액에 담귀, 반응을 시켜 상온에서 코팅시켰고, 코팅된 분말을 100 °C 오븐에서 1시간 건조시켰다. 이렇게 생성된 분말에 고체윤활제를 첨가하여 1 GPa의 압력으로 성형하여 외경 12.7 mm, 내경 7.6 mm, 높이 3.7 mm의 트로이드형 코어를 제작하였다. 성형된 코어를 500 °C의 질소 분위기에서 1시간 열처리를 한 후, 투자율, 코어손실 등의 자기특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

일반적으로 인산염코팅에 의해 절연층을 형성하는 것은 순철분말에 주로 사용되어 왔다. 인산염코팅의 가장 큰 단점은 코어를 성형할 때 생성된 응력을 제거하기 위해 열처리하는 온도가 500°C이하로 제한된다는 것이다. 이 보다 높은 온도에서 열처리하면 절연층이 점차 파괴되어 700°C이상에서는 절연층이 완전히 파괴되어 손실이 급격히 증가한다.

순철분말과는 달리 Fe-Al합금을 인산염처리를 하게 되면 철보다 알루미늄이 선택적으로 먼저 산화될 가능성이 매우 높아 열처리를 하더라도 최종적으로 알루미늄산화물이 표면에 남아 절연특성이 그다지 악화되지 않을 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 코팅된 분말을 대기 중에서 열처리할 때 분말표면에 알루미늄층이 생성될 가능성을 XPS, SEM 등으로 분석함과 아울러 분말코어를 제작하여 높은 온도에서 열처리하여 고주파에서 사용할 수 있는 지 알아볼 것이다.

그림 1은 인산함량에 따른 코어의 투자율의 변화를 나타낸 것으로, 인산을 1 cc 첨가하면 투자율이 급격히

증가하고, 2 cc까지 약간 증가하나 그 이후 약간 감소한다. 이것으로 표면에 인산염절연층이 생성된 것을 확인할 수 있다. 그림 2는 인산함량에 따른 코어손실을 나타낸 것으로 인산이 1 cc첨가되면 손실이 크게 감소하고 계속 첨가되면 손실은 약간씩 지속적으로 감소하는 양상을 보이나 다른 조성의 분말코어에 비해 여전히 높은 손실을 나타낸다. 이것은 낮은 코어 열처리 온도에 기인하는 것으로 사료된다.

이상에서 분말표면에 절연층이 생성되었음을 확인하였으나 높은 온도에서 열처리할 가능성을 확보하기 위해서 절연층을 다각도로 분석할 필요가 있으며 현재 실험이 진행 중에 있다.

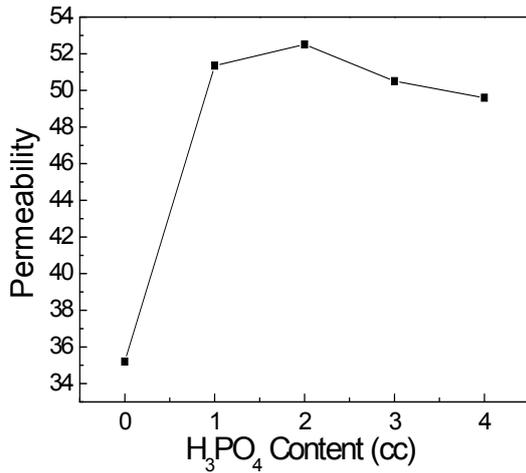


Fig 1. Variation of permeability with content of phosphoric acid in acetone solution.

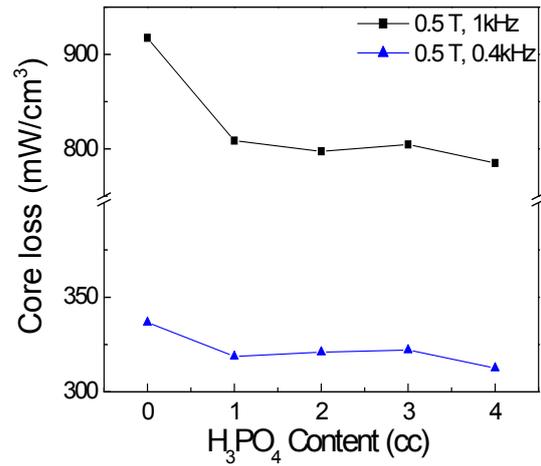


Fig 2. Variation of core loss with content of phosphoric acid in acetone solution.

4. 참고문헌

- [1] 김달중, “Fe-Al계 금속분말 연자성 코어의 개발”, 한양대학교 석사학위 논문, 2011년 8월

Magnetic Couplings in MgO/CoFeB/Ta/CoFeB/MgO and CoPt/Co/Ta/CoFeB/MgO Structures

Chul-Hyun Moon^{1,2*}, Byoung-Chul Min¹, Kyung-Jin Lee^{1,2}, and Kyung-Ho Shin¹

¹Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul 136-791, South Korea

²Korea University, Seoul 136-701, South Korea

1. Introduction

We studied the magnetic couplings in a free-layer stack of MgO/ Co₄Fe₄B₂/ Ta/ Co₄Fe₄B₂/ MgO and a pinned-layer stack of Co₃Pt₁/ Co/ Ta/ Co₄Fe₄B₂/ MgO for perpendicular magnetic tunnel junctions (MTJs). The MgO/CoFeB/Ta stack is known to have a large perpendicular magnetic anisotropy (PMA) as well as high tunnel magnetoresistance (TMR) of over 120%[1]. It has been recently reported that a MgO/ CoFeB/ Ta/ CoFeB/ MgO structure with two CoFeB/MgO interfaces has a high thermal stability factor of 95 with a junction size of 70 nm[2]. The CoPt alloy is a decent choice of pinned layer material, since it has a high coercivity and a large PMA [3,4].

2. Experiment Method

The samples were deposited using both DC and RF magnetron sputtering on the oxidized Si(100) substrates. The magnetic properties were characterized by vibrating sample magnetometer (VSM), and the magnetotransport properties by four-point probe method.

3. Results and Discussion

A PMA was observed both in the free layer of MgO/ Co₄Fe₄B₂/ Ta/ Co₄Fe₄B₂/ MgO and in the pinned layer of Co₃Pt₁/ Co/ Ta/Co₄Fe₄B₂/ MgO after annealing the structures at 300 °C. The Ta interlayer thickness affects the magnetic coupling between CoPt (or CoFeB) and CoFeB layers in the pinned (free) layer. The magnetic configuration of the two layers, parallel or anti-parallel states, can be controlled by changing the Ta thickness. For example, a 0.4-nm-thick Ta layer gives rise to ferromagnetic (F) coupling, whereas a 1.2-nm-thick Ta layer results in antiferromagnetic (AF) coupling. Especially, the AF-coupling in the pinned layer can be used to enhance the thermal stability of the free layer by reducing the stray field.

4. Conclusion

In summary, we show that the magnetic couplings in MgO/ Co₄Fe₄B₂/ Ta/ Co₄Fe₄B₂/ MgO and Co₃Pt₁/ Co/ Ta/ Co₄Fe₄B₂/ MgO depend strongly on the Ta interlayer thickness. The structures studied in this paper can be used for perpendicular magnetic tunnel junctions (p-MTJs) having a free-layer of MgO/ Co₄Fe₄B₂/ Ta/ Co₄Fe₄B₂/ MgO and a pinned-layer of Co₃Pt₁/ Co/ Ta/ Co₄Fe₄B₂/ MgO.

5. Reference

- [1] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanal, J. Haykawa, F. Matsukura and H. Ohno, Nature Materials 9, 721 (2010).

- [2] H. Sato, M. Yamanouchi, S. Fukami, F. Matsukura and H. Ohno, *Appl. Phys. Lett.* 101, 022414 (2012).
- [3] Iulica Zana, Giovanni Zangari and Mohamad Shamsuzzoha, *J. Magn. Magn. Mater.* 292, 266-280 (2005).
- [4] G. M. Choi, B. C. Min and K. H. Shin, *IEEE Trans. Magn.* 48, 1130 (2012).

Switching Phase Diagram and Spin-torque Diode Spectra of MgO Magnetic Tunnel Junctions

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

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

1. Introduction

When current passes from one ferromagnetic layer through a tunnel barrier into another ferromagnetic layer in magnetic tunnel junctions (MTJs), the spin-polarized current can exert a spin torque on the second ferromagnetic layer. Here we reports the tunnel magnetoresistance (TMR), current induced magnetization switching (CIMS), switching phase diagram (SPD), and spin torque diode spectra of nano-patterned MgO MTJs with a CoFeB single free layer. The measurements of SPD and spin-torque diode spectra are useful methods to quantify the magnitude of spin torque[1-4].

2. Experiments

We have prepared MgO MTJs consisting of substrate/ buffer/ CoFe/ Ru/ CoFeB/ MgO/ CoFeB/ capping layer using an ultra-high vacuum DC/RF magnetron sputtering system. The films were patterned into elliptical-shaped MTJs of 270 nm x 90 nm size using electron beam lithography and Ar ion milling.

3. Results

The TMR of MTJs having a 1.7-nm-thick free layer is 132% at room temperature. In CIMS measurements, the magnetization was reversed by spin polarized current. The magnetization switching from parallel (P) to anti-parallel (AP) state occurred at -0.6 mA, and AP to P switching at +0.7 mA at zero net magnetic field. The switching phase diagrams (SPD), where H_c is measured as a function of bias voltage or current, was investigated to quantify the spin transfer torque in this system.

The results obtained from the SPD measurements are analyzed in comparison with the measurements of spin torque diode spectra under various dc bias voltages at room temperature. We have observed small-amplitude oscillations in the spin torque diode spectra. The shape and amplitude of the resonance peak varies with the applied dc bias, presenting quantitative information of spin transfer torque. The SPD and spin-torque diode measurements allow us to study the bias dependence of spin transfer torque.

4. Conclusion

The magnitude of spin torque in MgO MTJs with a CoFeB single free layer is analyzed using the experimental measurements of TMR, SPD, CIMS, and spin torque diode spectra. This provides a consistent understanding of spin transfer torque in nano-patterned MTJs.

5. References

- [1] H. Kubota *et al.* Nature Physics 4, 37 (2008).
- [2] J. C. Sankey *et al.*, Nature Physics 4, 67 (2008).
- [3] A. A. Tulapurkar *et al.*, Nature 438, 339 (2005).
- [4] S. C. Oh *et al.*, Nature Physics 5, 898 (2008).

Anomalous ISHE in Pt/Py System Due to Surface Oxidation on Py Layer

Sang-II Kim^{1,2*}, Jeong-Min Han^{1,3}, Ki-Seung Lee^{1,3}, Byoung-Chul Min³, Kyung-Jin Lee¹,
Kyung-Ho Shin³, and Seung-Young Park²

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

²Nano Material Research Team, Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea

³Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul 136-791, Korea

The generation and detection of a spin current through inverse spin-Hall effect (ISHE) phenomena are the important technique for developing applied spintronic devices. The ISHE has been observed using the spin-pumping[1,2] and the non-local method[3] in Py/Pt films. Above all, the spin pumping method represent to the generation of spin currents from precessing magnetization in a ferromagnetic/paramagnetic bilayer system. And then a spin current is pumped out of the ferromagnetic layer into the paramagnetic layer in the ferromagnetic resonance (FMR) condition. The FMR linewidth and spectroscopy measurement technique provides a convenient way for not only measuring the Gilbert damping constant and the saturation magnetization in magnetic layer[4] but also material characterization such as composition[5].

In our experiment, FMR signal and output voltage of ISHE behavior depending on the magnetic field are distorted according to the exposed time into atmosphere. This dependency severely reduces the accuracy of the experimental results. As shown in Fig. 1 (a), the FMR curve compare as-dep. and 240 hours passed. For the Py/Pt sample after 240 h passed, the amplitude of absorption peak is decreased at H_0 (resonance field) = 1 kOe. And additional resonance peak is appeared at 3 kOe such as similar with that of Fe_2O_3 . Therefore we can estimate to be generated iron oxide due to exposure of atmosphere. According to the oxidation of Py layer, the electric voltage is measured in Py/Pt films by using ISHE, the oxidation of Py layer is a reason that the output voltage reduction and distortion in Fig.1(b). To make the conclusive results, surface analysis measurement such as ellipsometry, X-ray Diffraction (XRD), and X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) is carried out. So a possible origin of distorted output voltage signal for oxidation of Py layer will be discussed in detail.

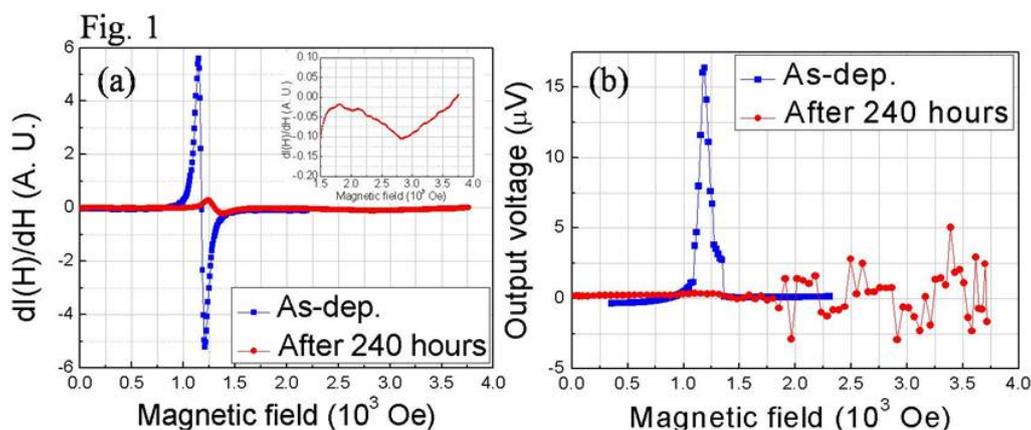


Fig. 1. (a) The FMR curve compare as-dep. sample and Pt/Py sample after 240 hours. (b) The output voltage as a function of magnetic field in Pt/Py sample.

References

- [1] E. Saitoh et al., Appl. Phys. Lett., **88**, 182509 (2006).
- [2] K. Ando et al., Phys. Rev. B., **78**, 014413 (2008).
- [3] T. Kimura et al., Phys. Rev. Lett., **98**, 156601 (2007).
- [4] S. Mizukami et al., Jpn. J. Appl. Phys., **40**, 580 (2001).
- [5] T. Yoshino et al., Appl. Phys. Lett., **98**, 132503 (2011).

Structural and Magnetic Properties of Epitaxial Co_2FeAl Films Grown on MgO Substrates for Different Growth Temperatures

전병선^{1*}, 황찬용¹, 김영근²

¹한국표준과학연구원 산업측정표준본부

²고려대학교 신소재공학과

1. 서론

The objective of this research was to elucidate the correlation between crystalline structure, electronic structure, and magnetic properties of Co_2FeAl films as a function of growing temperature (T_g) by experimentally and theoretically.

2. 실험방법

The Co_2FeAl thin film samples were prepared on 1cm x 1cm MgO (100) single crystalline substrates with various growth temperatures by molecular beam epitaxy (MBE).

3. 실험결과

The degree of atomic site ordering (S) is calculated by the integration of the intensity ratio of the (200) and (400) diffraction peaks in the XRD pattern. The S for the sample grown at 600°C is much higher than that of the sample grown at RT (53%:35%), indicating that the degree of order on the Co sites increase with T_g . The sample grown at RT has a structural or crystalline disorder that disappears with increasing T_g . This disappearance results from the improvement of the structure at the atomic level and represents a transition from short-range to long-range crystallographic order with increasing T_g . Based on TEM and XRD results, the Co_2FeAl film grown at RT is initially in the partially disordered B2 state, but then transitions to a much higher ordered structure with increasing T_g .

From the EELS spectra, we found that the Co L3 and L2 peaks for the sample grown at 600°C was much higher than those of the sample grown at RT, and the $I(L3)/I(L2)$ ratios were 2.3 and 1.9, respectively. Those intensities reflect the occurrence of vacancies in the d-band. Therefore, the higher intensity indicates a larger number of unoccupied 3d states in the sample grown at 600°C. The Fe L3/L2 ratio and peak intensity, however, do not show any significant variation, regardless of T_g . These changes in the $I(L3)/I(L2)$ ratio should be related to the microstructural and chemical evolution associated with the growing temperature, since the TEM and XRD results show a clear trend in the modification of the structure to a more ordered B2 structure with increasing T_g .

As T_g increases, the $I(L3)/I(L2)$ ratio and peak intensity of Co become more dominant than those of the Fe. Moreover, the degree of order on the Co sites increase with T_g . Therefore, the increase in the Co contribution and degree of order on the Co sites with T_g result in the increment of H_c due to the relatively higher magnetic anisotropy of Co than that of the Fe.

We performed inductive magnetization dynamics measurements on Co₂FeAl films. By increasing T_g, damping constant (α) increased. Our T_g dependence of the α characteristics differ from the results of other groups, where the α values decrease with increasing degree of atomic order by annealing.^[1] We deduce that the increase of α resulted from the increasing Co effects with T_g. α is proportional to the square of the spin-orbit coupling parameter and is a consequence of spin-orbit interaction. The orbital moment, resulting from the spin-orbit interaction, is proportional to the difference between the number of states of majority and minority spins at the Fermi level. Fe is a weak ferromagnet with the Fermi level intersecting both the 3d up and down spin bands, while Co is a strong ferromagnet having holes in its 3d down band; hence, the orbital moment in Co is larger than in Fe. Moreover, as the T_g increases, larger numbers of unoccupied 3d states in Co are observed. Therefore, the increase of α with T_g resulted from the increasing spin-orbit interaction of Co.

4. 고찰

Our experimental results will help with the design of high spin polarized with low α materials such as Co₂FeAl full-Heusler alloy and realize a low current density for current induced magnetization switching in a high-density MRAM. These well-defined properties change can be regulated by T_g control and the method presented herein is easily extended to other material systems.

5. 결론

In summary, we clarify the correlation between crystalline structure, electronic structure, and magnetic properties of Heusler Co₂FeAl films as a function of growing temperature. The Co₂FeAl film grown at RT is initially in the partially disordered B2 state, but then it gains a much higher ordered structure with increasing T_g. As T_g increases, higher I(L3)/I(L2) ratio and many more unoccupied 3d states in Co are observed and hence, α increases due to a strong spin-orbit interaction.

6. 참고문헌

- [1] S, Mizukami, D. Watanabe, M. Oogane, Y. Ando, Y. Miura, M. Shirai, T. Miyazaki. J Appl Phys. 105, 07D306 (2009).

Deposition Sequence and Exchange Bias Field in FeMn/NiFe Bilayers with Ta/Cu Underlayer

Ki-Yeon Kim^{1*}, Hyeok-Cheol Choi², Sin-Yong Jo², Chun-Yeol You²

¹*Neutron Science Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Republic of Korea*

²*Department of Physics, Inha University, Republic of Korea*

When antiferromagnetic (AF) layer is grown on top of ferromagnetic (F) layer or vice versa in the applied magnetic field during growth (in-situ field growth) or they are field-cooled from above blocking temperature after growth (ex-situ field cooling), center shift and broadening of magnetic hysteresis (M-H) loop from zero along negative or positive field axes, are simultaneously shown owing to the interfacial exchange coupling between F and AF layers and are named as exchange bias field and coercivity enhancement, respectively. Generally, it is well-known that the deposition of AF layer on top of fully saturated F layer is preferable to the other case to get the large exchange bias field. γ fcc $\text{Fe}_{50}\text{Mn}_{50}$ is a noncollinear antiferromagnetic phase and (111) orientation is a perfectly compensated spin structure at the interface. γ fcc $\text{Fe}_{50}\text{Mn}_{50}(111)$ is the most relevant factor in order to get the largest exchange bias field in NiFe/FeMn bilayers empirically. FeMn and NiFe layers are grown on Ta(5 nm)/Cu(5 nm) underlayer to promote γ fcc FeMn(111) texture. The sample structure we made by magnetron sputtering technique consists of Si(substrate)/Ta(5)/Cu(5)/NiFe(5)/FeMn(5)/Ta(5) and Si/Ta(5)/Cu(5)/FeMn(5)/NiFe(5)/Ta(5). The number in above parenthesis represents the layer thickness in nanometer unit. We prepared in-situ field-growth sample and ex-situ field cooling sample as well in order to compare the exchange bias field among them. For structural analysis, we measured low-angle x-ray reflectivity and high-angle x-ray diffraction. For compositional depth profile, we measured x-ray photoelectron spectroscopy(XPS) depth profiling. For magnetic analysis, we measured vibrating sample magnetometer(VSM). We report the experimental evidence that exchange bias of FeMn(bottom)/NiFe(top) bilayer is larger than that of NiFe(bottom)/FeMn(top) bilayer for both in-situ field growth and ex-situ field cooling cases. We suggest that the composition ratio of FeMn at the F/AF interface affects dominantly the exchange bias field of our samples.

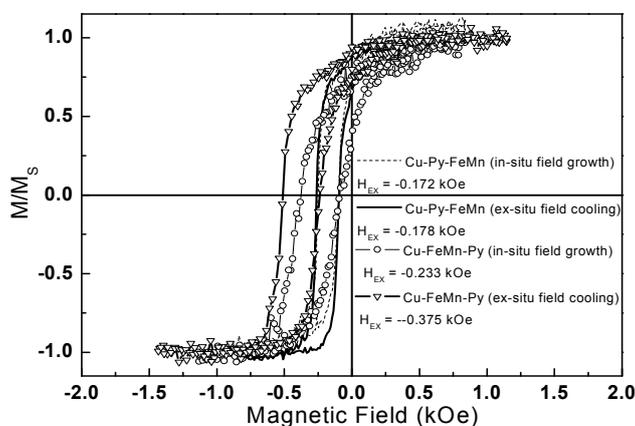
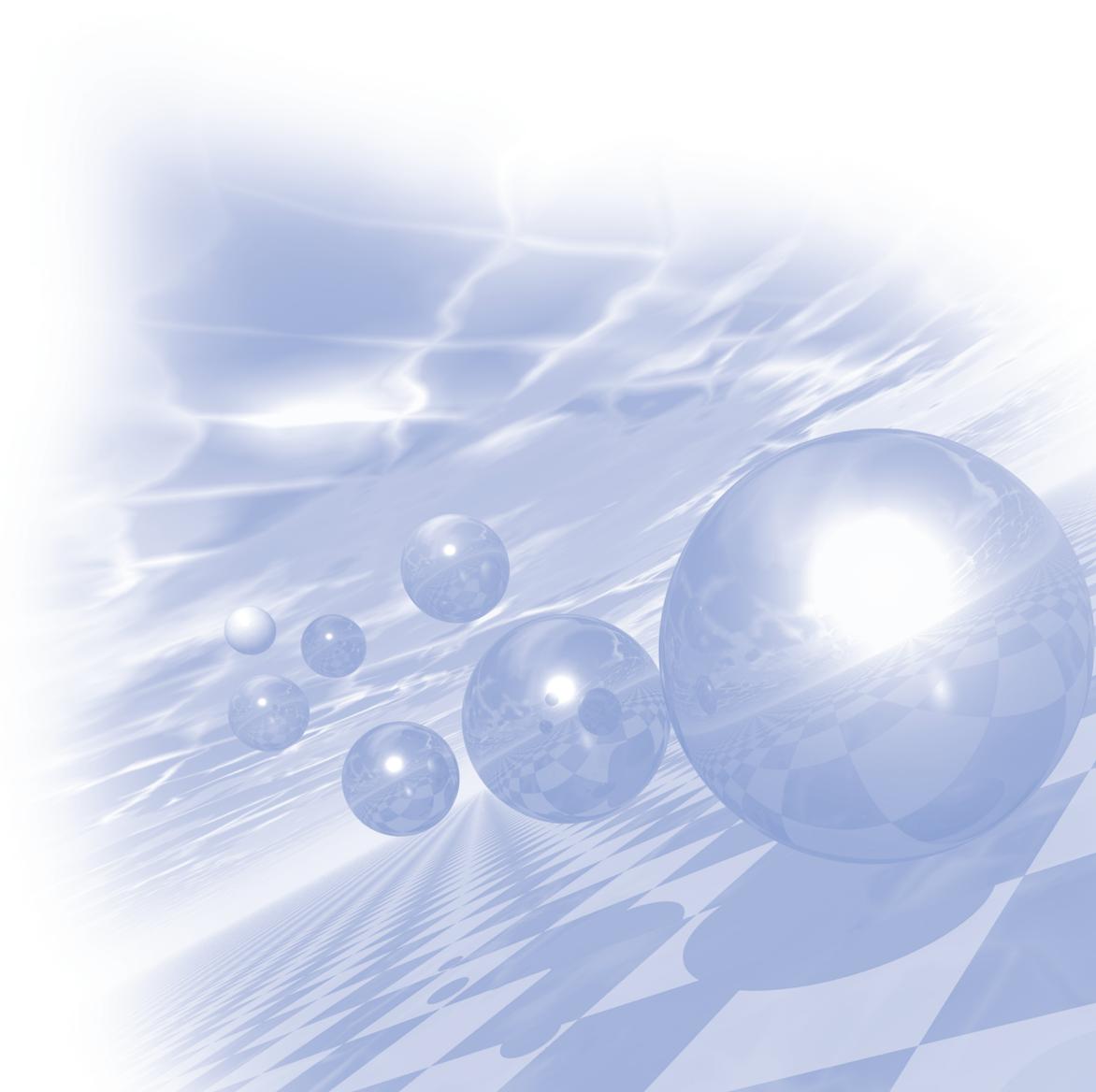


Fig. 1. Magnetic hysteresis loops and each exchange bias field of FeMn/NiFe and NiFe/FeMn bilayers with Ta/Cu underlayer on silicon substrate.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012**

Special Symposium ' Novel magnetic materials and Biomagnetics'



Probe of the Spin-Switching in Spin-Crossover Materials: A Micro-Magnetometer

Ferial Terki^{1*}, Tran Quang Hung¹, Mourad Dehbaoui¹, Souleymane Kamara¹, Richard Dumas¹, Salam Charar¹, Azzedine Bousseksou² and CheolGi Kim³

¹Laboratoire Charles Coulomb UMR 5221 CNRS-Université Montpellier 2, Montpellier, France

²Laboratoire de Chimie de Coordination CNRS UPR-8241, Université de Toulouse, Toulouse, France,

³Departments of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305 764, Republic of Korea

The work is driven by two reasons: (i) Spin-crossover (SCO) materials are of interest since they are one of the best-known forms of an inorganic electronic switching. Variation thermal energy at the crossover leads to both an electronic and structural change, often observed as a change of colour and/or a magnetic moment. A number of research have been reported concerning the synthesis of nanoscale of SCO nanoparticles [1]. The development of these new, tailored architectures is central for the exploration of the physical properties of these materials, at the mesoscopic scale the SCO is a prototype example of mixed-valence crystals and many efforts have been done to understand charge transfer process between the iron sites. Indeed, metal-to-metal electron transfer phenomena in the complexes play an important role in the intense colors of these compounds, in their electrical conductivity, in their electrochemical properties and influences also their magnetic properties. Not surprisingly, electron transfer processes are involved in nearly all practical applications of these new functional materials, such as electrochromic windows, electrocatalytic and electroanalytical devices, molecular based magnets, sensor, display, information storage and nanophotonic devices. (ii) Up to now, the observations are essentially reduced to the simple investigation of the temperature dependence of the magnetisation or the optical absorption in a huge ensemble of nanoparticles with different degrees of size dispersion by using high sensitivity conventional measurement systems such as superconducting quantum interface device (SQUID), or by transmission electron microscopy and/or dynamical light scattering measurements. Magnetoresistive magnetometer [2] can overcome these drawbacks. Compared to the SQUID based ultrasensitive magnetic detection systems, the magnetoresistive technology has advantages of room temperature operation, less complex instruments, and hence more portable and flexible implementation. They could be microscopic in size and sensitive to the presence of small magnetic particles when they are in close proximity. They can detect extremely weak magnetic fields, for example, the magnetic field at nano or picotesla generated by the magnetization of a single micro/nano size object. Such a magnetometer will enable and well adapt for studying the magnetic properties of a single object of SCO molecular based materials. The talk deals with optimization of novel magnetoresistive sensor to detect the spin-switching of SCO materials down to nano world and to understand of size-related spin-crossover properties. Several measurement methods to enhance the sensitivity of the magnetometer are also discussed. The final target to detect a single SCO particle will be done in collaboration among three groups by combining the forces from France and Korea researchers.

참고문헌

[1] A. Bousseksou *et al.*, Chem. Soc. Rev., 40, 3313 (2011)

[2] C. Kim *et al.*, Book chapter, INTECH(2012) <http://dx.doi.org/10.5772/52820>

Synthesis and Magnetic Characterization of “ α ”-Fe₁₆N₂ Interstitial Compound - New Candidate for Permanent Magnetic Material with Rare Earth Element Free -

Migaku Takahashi^{1,2*} and Tomoyuki Ogawa³

¹New Industry Creation Hatchery Center (NICHe), Tohoku University, 6-6-10 Aza-Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan

²Center for Nanobioengineering and Spintronics, Chungnam National University, 220 Gung-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea

³Department of Electronic Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University, 6-6-05 Aza-Aoba, Aramaki, Aoba ku, Sendai 980-8579, Japan

To realize this more ideal social infrastructure in various IT and also power devices, necessity issue is to develop a new ecological system applying a highly potentialized material newly developed. Surprisingly, nearly half of total electric power, especially in Japan, has been wasted by the motor drive application, therefore, the construction of new motor system with low power consumption should be one of the key urgent issues. For current high performance motors, Nd-Fe-B permanent magnet is commonly used. In order for more powerful and torque full motor accompanying with down sizing in the future, not only high coercivity, H_c , but also higher saturation magnetic flux density, B_s , should be indispensable. From scientific view point, in currently used Nd₂Fe₁₄B magnet, the magnetocrystalline anisotropy of this phase is still enough to show high H_c . However, we cannot expect the high magnetization, M_s , 168 emu/g. That means, we cannot expect higher increment of energy product, $(BH)_{\max}$, ~ 64 MGOe in this compound. That is the theoretical limit for $(BH)_{\max}$ in Nd₂Fe₁₄B magnet. While from a mineral resources view point, rare earth elements such as Nd, Dy, Sm and etc. commonly used for permanent magnet industry exist in highly deviated regions in the world, therefore, the mineral resources problem in the world wide scale become much more serious for the rare earth elements, especially for Dy.

In this study, we will focus on an α -Fe₁₆N₂ iron nitride metastable phase with b.c.t structure as a new candidate for the futured permanent magnetic material with rare earth element free. This unique α -Fe₁₆N₂ phase was firstly announced by M. Takahashi et al. in '72 as a thin film form with giant saturation magnetization about 290 emu/g¹. After that, so many groups also including first reporter's group have been devoted to synthesize this phase for a couple of decade, resulting in from 240 emu/g to 315 emu/g²⁻⁵. Thus, poor reproducibility of the giant saturation magnetization had been so-called “magic moment”. Concerning for this physical ambiguity, magnitude of M_s , one of the present authors, M. Takahashi (junior) has already pointed out in his review article² and also clarified the magnitude of magnetocrystalline anisotropy constant, K_u , of this phase was 1×10^7 erg/cm³.⁶ From this view, this compound is hopeful for futured magnetic material with rare earth free.

Gram scale of single phase α -Fe₁₆N₂ nanoparticle powder from several tens to several hundreds nm in size could be successfully synthesized with extra high reproducibility via our uniquely developed multi-step procedures using home made iron oxide nanoparticle powder as a precursor. Thus synthesized α -Fe₁₆N₂ nanoparticle powder shows 234 emu/g of saturation magnetization at 5 K and 8.7×10^6 erg/cm³ of magnetocrystalline

anisotropy energy constant, whose values are superior to those of bulk pure iron and comparable to those of ϵ - Fe_{16}N_2 sputtered thin film reported by one of the present authors^{2,6}. X-ray diffraction and Mossbauer spectra revealed the perfect formation of the single phase ϵ - Fe_{16}N_2 . These results could open a new way of a bulk formation of non-equilibrium metastable interstitial iron nitride phase and will be utilized for the new permanent magnet material.

Magnetic Micro-transporters: Applications in Bioengineering

R. Sooryakumar*

Department of Physics The Ohio State University Columbus, OH 43210, USA

The application of targeted directed forces to individual microscopic objects or biological entities in near-native environments is central to numerous emerging opportunities in engineering and medical research. The need for control over the relevant forces in these situations has become even more important since the functionality of micro- and nano-electromechanical systems (MEMS, NEMS) continues to become more complex. Driven in part by these needs, development of micro-manipulation techniques has witnessed many successes. For instance, the ability of light and oscillating electric fields (optical tweezers) to grasp and move micro-scale objects in a non-contact manner and the technique of dielectrophoresis where an electric field results in a force on a charged or polarizable neutral unit, have enabled selective spatial manipulation of tiny objects. Likewise, conventional magnetic tweezers have evolved into a useful tool in soft condensed matter and biological physics. They have been used to study transport of ferrofluids, to stretch and manipulate DNA, and to probe protein networks in the cell environment.

In advancing techniques that provide pico- to femto-Newton scale forces at the micro- and nano-scale several challenges must often be addressed. These challenges arise from: (a) the need for non-contact manipulation, (b) the necessity, especially with diminishing object size, for large localized optical fields, or electrical/magnetic fields with high gradients that do not adversely affect the targeted object, (c) stochastic forces such as those arising from Brownian fluctuations that hinder directed movement, (d) parallel manipulation for improved throughput and (e) selectiveness to maneuver objects with desired characteristics across different surfaces.

We have developed new approaches, based on programmable magnetic signatures patterned on a surface, to create microscopic transporters whose trajectories and functionalities are remotely controlled. Requiring only five tiny electromagnets, a game controller to direct the motion and the power equivalent to a 60W light bulb, tunable femto- to pico-Newton range forces guide, assemble and manipulate magnetic nano-particles, as well as labeled and unlabeled biological cells in a fluid environment.

Highlights of these joystick- and voice-activated approaches for fundamental nanoscience, engineering, biomagnetics and medicine will be discussed as we move towards realizing new micro- /nano-scale devices and intra-cellular probes.

Biomedical Applications of Sensitive Magnetic Measurements Based on SQUIDs: Brain Research and Cardiac Diagnosis

Yong-Ho Lee^{1*}, Kiwoong Kim¹, Hyukchan Kwon¹, Jin-Mok Kim¹, Kwon-Kyu Yu¹,
In-Seon Kim¹, Seong-Joo Lee¹, Seong-Min Hwang¹ and Chan-Seok Kang¹
¹Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS)

1. Introduction

As the most sensitive magnetic sensors at low frequency, magnetometers based on SQUID (superconducting quantum interference devices) can be applied to measurements of magnetic signals from human body, for example, brain and heart, etc. By measuring these so called biomagnetic fields, functional understanding of brain and diagnosis of heart diseases can be done. In KRISS, we have developed several sensitive multichannel SQUID systems for brain research or cardiac diagnosis, and key technical feature and clinical applications are described in this paper.

2. SQUID systems for magnetocardiography and magnetoencephalography

To measure weak biomagnetic field signals, with amplitudes in the range of 100 fT (brain) \sim 10 pT (heart), sensitive SQUID systems are needed. We developed a second-generation SQUID systems based on new type of SQUID, double relation oscillation SQUID (DROS), which has high flux-to-voltage transfer coefficients and enables the use of simpler flux-locked loop circuits for SQUID operation. Among the SQUID systems we developed, 64-channel first-order axial gradiometer for magnetocardiography (MCG) measurements, and 160-channel helmet-type first-order gradiometer system for magnetoencephalography (MEG) measurements are in routine operation in the hospitals. Fig. 1 shows the MCG and MEG systems installed in the hospitals.



(a)



(b)

Fig. 1. Multichannel SQUID systems installed in the hospitals. (a) MCG in Asklepios Klinik Hamburg Harburg, Hamburg, and (b) MEG system in Yonsei University Hospital, Seoul.

Magnetophoretic Circuitry Elements for Digital Control of Biomolecules

Byunghwa Lim², Xinghao Hu^{1,2}, Venu Reddy^{1,2}, Ilgyo Jeong^{1,2}, Young-Jae Eu², CheolGi Kim^{1,2*}

¹Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

²Center for NanoBioEngineering and Spintronics, Chungnam National University, Daejeon, Korea

Tremendous progress is being made in the development of biosensors integrated with Lab-on-a-chip platform, driven by the advances in biotechnology, nano-/micro-technologies, and microfluidics[1]. The advantage of these small, highly integrated systems play crucial role on the development of two applications; single cell analysis and next generation bioassay equipping high resolution, more rapid, and multiplexed analysis and reduced reagent sample volume. That is, the ability to analyze the cellular contents of individual microorganisms would significantly benefit our understanding of many mechanisms in the minute world of microorganism biology. Rapid developments in lab-on-a-chip technology offer significant advantages over standard techniques for the analysis of individual microorganisms. Integrating the trapping concept to current available technologies will provide the opportunity to analyze microorganisms at the micro levels.

On the other hand, even though innovative sensors have achieved specific biomolecule detection down to ~ fM resolution[2], the nm ~ um sized sensors resolution is not limited by the signal transduction limitation, but by analyte transport in solution which governs the detection time [3]. Therefore, controlling specific biomolecules to sensing site is a prerequisite in ideal Lab-on-a-chip platform for overcoming diffusive accumulation in solution, which would offer high detection resolution of analytes and short detection time.

Since late 1990, magnetoresistive sensors have been initiated for sensing the biomolecules with the help of superparamagnetic nanoparticles or micro-bead labels [4], which can play a role of bio-analytes carriers for transportation as well. Moreover magnetic transporting could offer the great advantages; i) magnetic interaction are generally not affected by surface charges, pH, ionic concentrations or temperature, and ii) bio-analytes with superparamagnetic nanoparticles or micro-bead labels are manipulated by the remote external field for their transport, trapping and positioning, separation and sorting [5]. Here, on-chip soft magnets have gained a lot of interest in trap positioning and transporting bio-agents using superparamagnetic bead carriers with appropriate surface modifications [6], rather than micro-coils which generate heat. A soft on-chip magnet is not only managed by low magnetic field, ~ a few tens of Oe, but also generate no heat, which is essential to the manipulation process for biological entities.

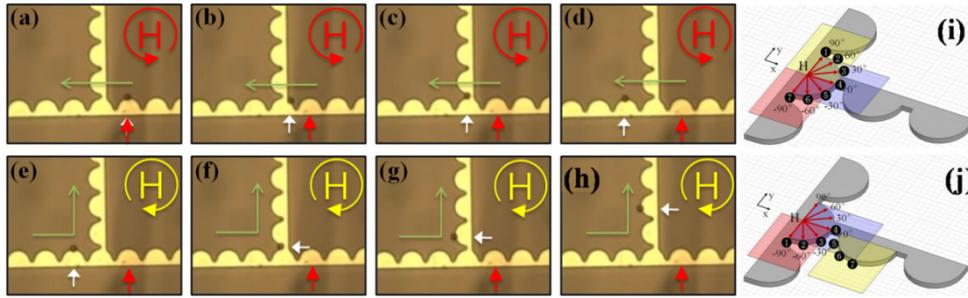


Fig. 1. (a-h) Images of irreversible movement of magnetic beads on a diode pattern and (i-j) schematic representation of magnetic bead motion on the diode pattern (See movie in online: <http://www.nbest.org>). As for the manipulation process for biological entities, it is necessary to develop magnetophoresis circuitry elements for the completion of digital microfluidics. In this talk, firstly I will overview the current status of bioassay sensors, and digital microfluidics for Lab-on-chip integration. Secondly I will introduce the magnetophoresis circuitry elements; resistor, transistor, inductor, diode, capacitor for biological entities, especially focused on material diode. Thirdly, I will show on chip manipulation and trapping of individual biological agents at designated positions in a microfluidic channel, including the concentric translocation of the bio functionalized magnetic beads regulating the diffusive movement of biological entities.

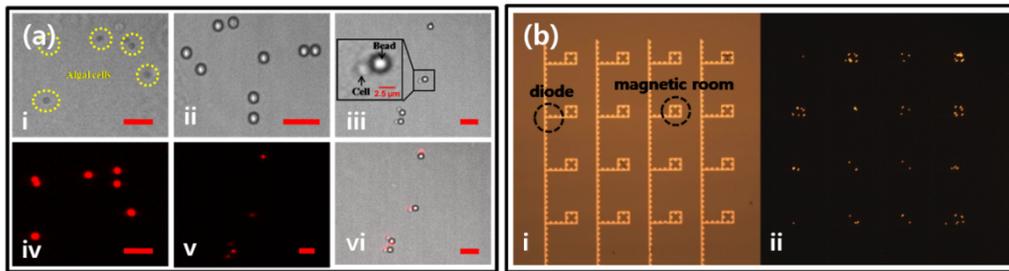


Fig. 2. (a) Characterization of transporting objects using confocal microscope (i. Bright field image of algal cells: ii. Fluorescence image of algal cells: iii. Amine beads: iv. Algal cells loading on magnetic beads: v. Fluorescence image from image iv: vi. Overlapping image of image iv and v) and (b) magnetic room array pathway and trapping of living cells (i. Magnetic pathway with magnetic rooms array: ii. Trapped cells in magnetic room array).

Acknowledgments

This work is supported by MEST through WCU.

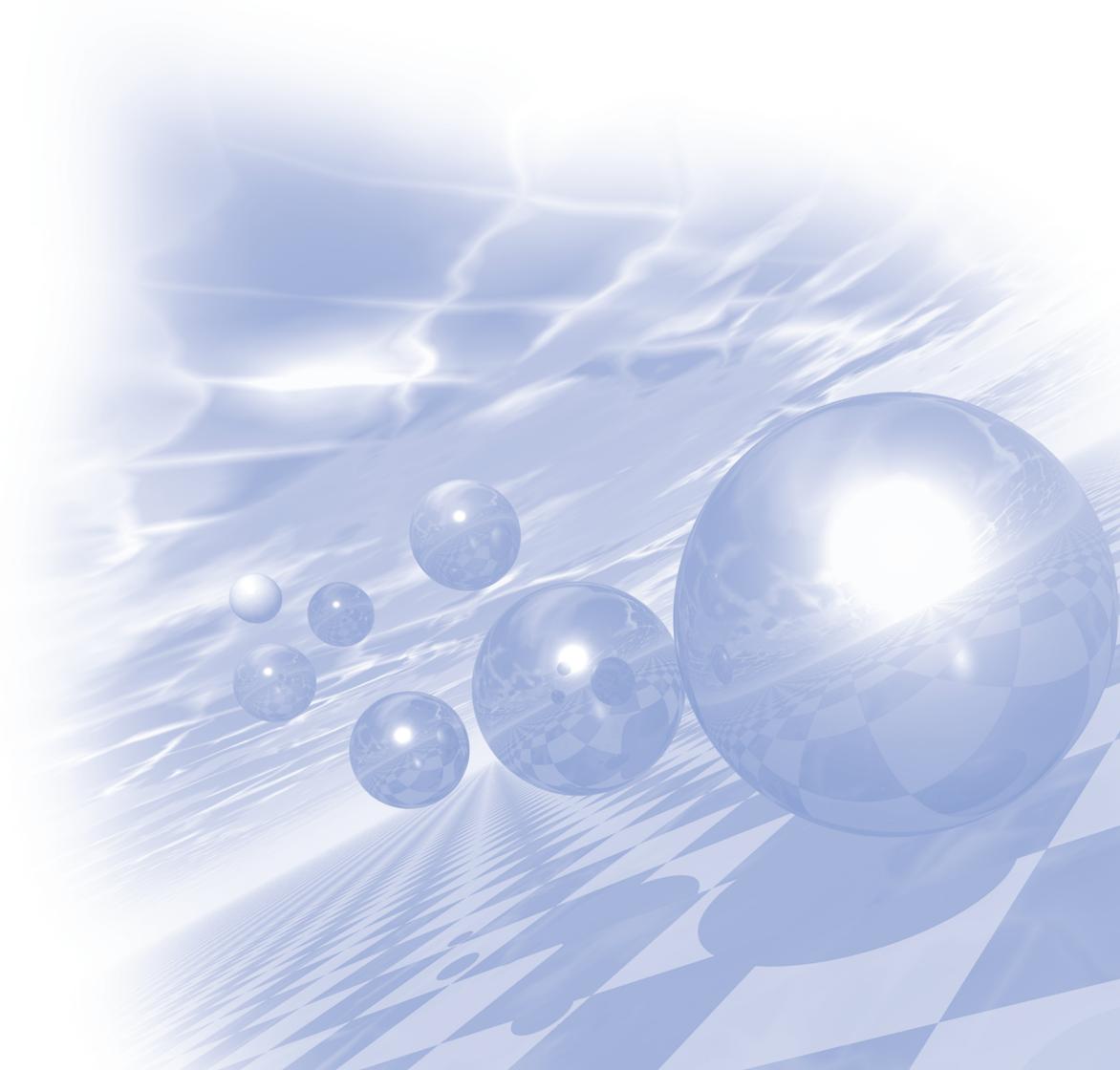
References

- [1] J.L. Arlett, E.B. Myers and M.L. Roukes, *Nature nanotechnology*, vol6, (2011) 203-215.
- [2] Waggoner, P. S., Varshney, M. & Craighead, H. G. *Lab Chip* 9 (2009) 3095–3099.
- [3] Paul E. Sheehan and Lloyd J. Whitman, *Nano letters*, vol5, (2005) 803-807.
- [4] [Richard S. Gaster](#), et al, *Nature Nanotechnology*, Volume: 6, (2011) Pages: 314–320.
- [5] Nicole Pamme, *Lab on a Chip*, vol6, (2006) 24-38.
- [6] S. Anandakumar, et al, *Biosensors and Bioelectronics*, 26, (2010) 1755-1758.



International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012

Symposium on 'Green Magnetics VI' - IT 전자기기용 자성재료



NdFeB 희토류 소결자석과 RE-free 영구자석의 개발 현황

장 태 석*

선문대학교

최근 하이브리드/전기자동차(HEV/EV)의 개발과 상용화가 빠르게 이루어지면서 이들의 구동에 필요한 NdFeB자석(소결자석)의 수요도 급격히 증가하여 2020년 정도에는 그 수요가 지금의 두 배에 이를 것으로 예상되고 있다. NdFeB 자석이 이러한 구동모터용으로 사용되기 위해서는 고온이나 극한 환경에서도 모터의 성능이 유지될 수 있도록 상온에서 높은 보자력을 가져야 하며 (HEV의 경우 25 kOe 이상), 현재의 기술로 이와 같이 높은 보자력을 갖는 고보자력 NdFeB자석을 제조하기 위해서는 Dy의 첨가가 필수적이다. 그러나 Dy는 매장량이 적고 가격도 매우 비싸 현재와 같은 추세로 사용된다면 머지않은 장래에 그 자원이 고갈될 우려가 있고, 전세계 희토류 소요량의 97% 정도를 공급하는 중국에서 정치적, 경제적 이유로 희토류의 공급과 가격 통제에 본격적으로 나서면서 Dy를 비롯한 전 희토류 관련 제품의 생산과 공급에 큰 지장을 초래하고 있다.

그러나 이러한 희토류 자원의 위기는 궁극적으로 일본, 미국 등의 선진국을 필두로 하여 전세계적으로 영구자석에 대한 연구를 부활시키는 촉진제가 되었다. 이에 따라 희토류 자석에 대한 최근의 연구는 일차적으로 Dy의 사용량을 줄이고도 높은 보자력을 얻을 수 있는 기술, 나아가 Dy의 도움 없이도 고보자력 자석을 제조할 수 있는 기술을 개발하는 데에 집중되고 있으며, 일부는 어느 정도 성과를 이루어 상용화 단계에 있다.

또한 중국으로부터의 희토류 자원 공급 통제와 불안정성이 심각하게 대두되면서 희토류 자원의 한정성과 지역(중국) 의존도를 탈피하고자, 희토류 자체를 사용하지 않는 영구자석을 개발하려고 하는 시도도 다양하게 이루어지고 있다. 그러나 아직은 기존 NdFeB 자석의 성능에 버금가거나 능가할만한 재료는 개발되지 못하고 있는 실정이다. 본 발표에서는 최근의 Dy 저감기술 동향과 RE free 자석의 개발 시도에 대해서 다루고자 한다.

Magnetic Properties of HDDR-treated Nd-Fe-B-Type Materials

M. A. Matin^{1*}, H. W. Kwon², J. G. Lee³, J. H. Yu³, T. H. Kim⁴ and C. W. Yang⁴

¹Department of Materials Science and Engineering, University of Rajshahi, Rajshahi, Bangladesh.

²Department of Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Busan, South Korea.

³Nano Functional Materials, Korea Institute of Materials Science, Changwon, Kyungnam, South Korea.

⁴School of Advanced Materials Science Engineering, Sungkyunkwon University, Suwon, South Korea.

1. Introduction

In spite of no straight forward theory for explaining the coercivity mechanism in the Nd-Fe-B-type magnet, it has been generally accepted that the microstructure consisting of ultrafine Nd₂Fe₁₄B grains with a size close to a single domain grain size (~300 nm for Nd₂Fe₁₄B) is crucial for achieving high coercivity. The HDDR treatment can lead effectively to the ultrafine microstructure of the Nd-Fe-B-type alloy. It would be very promising if the HDDR powder can be consolidated into high density bulk magnet keeping the ultrafine microstructure in the HDDR powder state [1]. In the present study, an attempt was made to consolidate the HDDR powder by means of hot pressing technique. The desorption nature of residual hydrogen in the HDDR powder and its effect on the coercivity in the course of heating for consolidation were also investigated.

2. Experimentals

The starting material was Nd_{12.5}Fe_{80.6}B_{6.4}Ga_{0.3}Nb_{0.2} HDDR powder with intrinsic coercivity of 13.5 kOe. Desorption behavior of the residual hydrogen in the HDDR powder was examined by vacuum gauge and TPA (thermopiezic analyser) with heating rate 7 °C/min. The powder was compacted by hot pressing in vacuum (3.2 x 10⁻⁵ mbar at RT) at a temperature ranges from 400 – 850 °C in a closed type die with induction heating at the rate of 200 °C /min. Magnetic characterization of the material was undertaken by means of vibrating sample magnetometer (VSM). Microstructure studies of the compacted material were performed using TEM, SEM and XRD.

3. Results and discussion

Fig. 1 shows the hydrogen desorption trace studied by TPA for the Nd_{12.5}Fe_{80.6}B_{6.4}Ga_{0.3}Nb_{0.2} HDDR powder and HD materials. The desorption traces for alloy ingot and for the hydrogen decrepitated (HD) alloy were also carried out for comparison. The desorption behavior of HDDR powder was quite good agreement with HD alloy except that the amount of desorbed hydrogen was much smaller with respect to the HD material. These results indicated clearly that the HDDR powder contained significant amount of hydrogen. Hydrogen analysis performed by LECO Hydrogen Determinator revealed that hydrogen content in the starting HDDR powder was approximately 1520 ppm. The HDDR powder was hot pressed at different temperatures, and coercivity of the compact was shown in Fig. 2. Coercivity of the compact was lower than that of the initial HDDR powder, and it decreased with increasing the hot pressing temperature. It is worth noting that coercivity of the compact was radically reduced when the compaction was performed at the temperature above 650 °C. Microstructure

observation of the hot pressed compact by SEM showed that no significant difference in the grain size was noticed before and after the hot pressing at higher temperature. TEM observation showed, however, that in some local area, the α -Fe and Fe_2B phases were found in the compact hot pressed at higher temperature. It is believed that these α -Fe and Fe_2B phases may have been formed by the disproportionation of the $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$. The presence of these soft magnetic phases, α -Fe and Fe_3B may be responsible for the radical coercivity reduction in the compact hot pressed above 650 °C. The magnetic soft phases facilitate the nucleation of reverse domain in a demagnetising field, hence reducing coercivity radically.

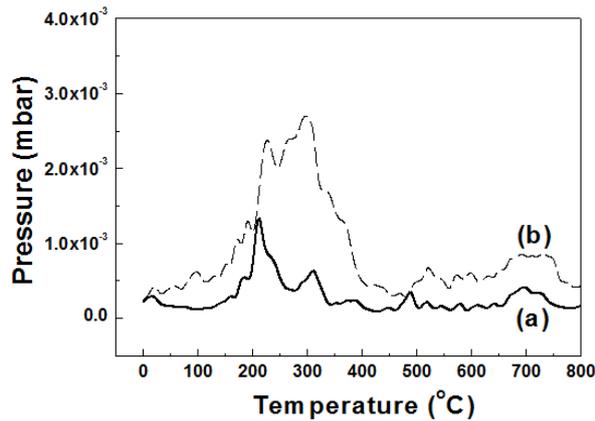


Fig. 1. Hydrogen desorption traces for (a) HDDR powder (b) fully hydrogenated of alloy ingot of $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$

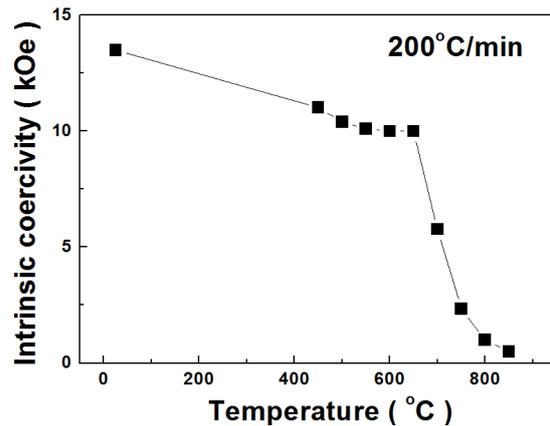


Fig. 2. Coercivity variation of hot pressed compact $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ HDDR powder as a function of hot pressing temperature.

Reference

- [1] N. Nozawa , H.Sepehri-Amin , T.Ohkubo , K.Hono , T.Nishiuchi, .Hirosawa ,“Coercivity enhancement of HDDR-processed Nd–Fe–B permanent magnet with the rapid hot-press consolidation process” *J. Magn.Magn. Mater.*, **323**, pp. 115-121, (2011).

Nd-Fe-B 이방성 압축성형 본드자석과 이를 적용한 모터의 경량화 설계 사례

김효준*, 김상면
자화전자(주)

Nd-Fe-B 압축성형 본드자석은 Nd-Fe-B 자성분말에 약 2~3 w%의 수지를 혼합해 성형하는 방법으로 제작된다. 복잡한 형상의 영구자석의 제조가 용이할 뿐만 아니라 와전류 손실이 작다는 장점이 있고 자성분말의 자기적 특성에 따라 다양한 자기특성 발현이 가능하다[1]. 특히, HDDR 법에 의한 Nd-Fe-B 이방성 자성분말의 자기적 특성은 급속 냉각법으로 제조되었던 종래의 Nd-Fe-B 등방성 자성분말에 비하여 영구자석에 이방성을 부여할 수 있는, 즉 영구자석의 에너지적을 비약적으로 향상시킬 수 있다는 점에서 주목받고 있다. 이를 이용한 NdFeB 이방성 본드자석은 25 MGOe의 높은 자기특성을 강점으로 지난 5년간 기존 페라이트 영구자석을 갈음하면서 모터의 경량화라는 새로운 패러다임을 주도했고 자동차용과 전동공구용 모터산업분야에서 두드러진 약진을 보였다. 본 강연에서는 신 자성재료인 Nd-Fe-B 이방성 자성분말을 이용한 영구자석의 제조 과정을 소개하고 경량화 설계사례를 살펴보고자 한다. 유한요소법(Finite Element Method)을 이용하여 기존의 페라이트 모터와 동 특성을 갖는 Nd-Fe-B 이방성 본드자석 모터의 경량화 설계과정을 보이고 실제 제작된 모터에 관해서도 함께 발표하고자 한다.

참고문헌

- [1] J. J. Croat, *Journal of Applied Physics*, vol. 81, no. 8, pp. 4804-4809, Apr. 1997.
- [2] C. Mishima, K. Noguchi, *Proc. 21th Int. Workshop on REM and Their Applications*, pp. 253-256, 2010.

* 본 연구는 지식경제부가 시행하는 부품·소재기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음[No.10038973].

Trend in Research and Development Related to Permanent Magnets for Solving Rare-earth Resources Problem

이정구*, 유지훈

한국기계연구원 부설 재료연구소 (KIMS)

Since Nd-Fe-B magnet was first synthesized in 1983, many new applications have emerged in the past two decades. With regard to motor market, it will expand because of strong energy saving requirements from the automobile and electric application markets. Especially, permanent magnet motors for hybrid and electric vehicles are drawing great attention and the usage of Nd-Fe-B magnets will increase all the more hereafter. There is, however, a serious problem as motors in such eco-friendly cars are said to operate in high temperatures of about 200°C. Nd-Fe-B magnet has a drawback of dramatically decreasing coercive force with the rise of temperature. In order to improve this aspect, the best way is to add dysprosium (Dy) into the magnet. So, Dy has become an essential element for Nd-Fe-B high-performance magnet as it helps to maintain coercive force even at high temperatures.

On the other hand, the rare earth resources in the earth crust are eccentrically-located and its majority is produced in China. There is a need to reduce its usage as, especially compared to light rare earth elements as neodymium (Nd) and samarium (Sm), heavy rare earth elements including Dy are unevenly distributed to a dramatic degree, their output low, and their prices are about 10 times that of Nd.

The present presentation includes a summary of the trend in research and development of permanent magnets to solve rare-earth resources problem.

참고문헌

- [1] J. G. Lee, J. H. Yu, H. J. Kim and T. S. Jang, *Journal of the Korean Magnetism Society*, vol. 22, pp. 58-65, 2012.
- [2] J. G. Lee and J. H. Yu, *Ceramic Korea*, vol. 25, pp. 86-95, 2012.

This research was supported by a grant from the Fundamental R&D Program for Core Technology of Materials funded by the Ministry of Knowledge Economy, Republic of Korea.

Critical Issues for High Performance Hexaferrite Permanent Magnets

Sang-Im Yoo*

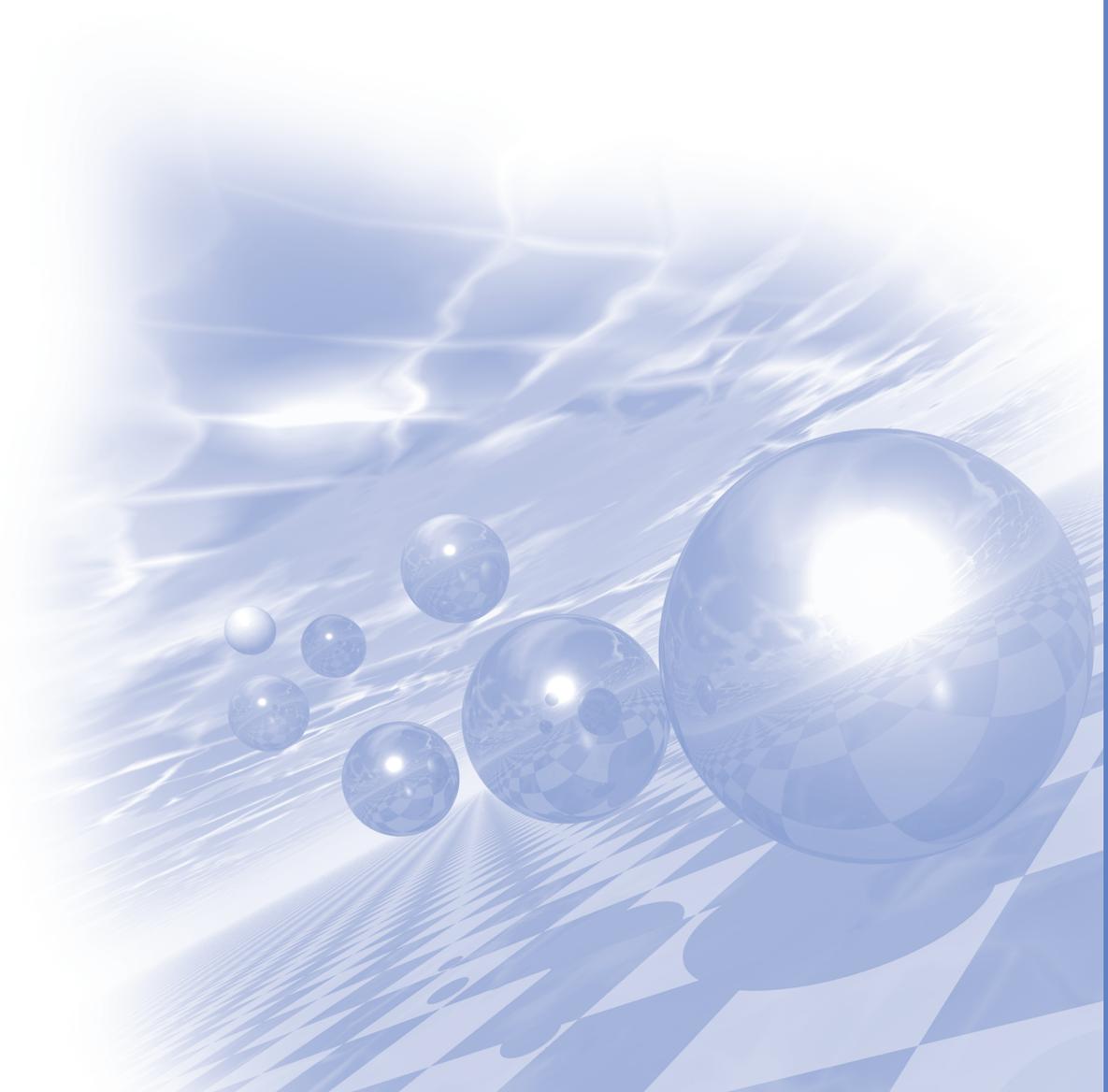
Department of Materials Science and Engineering & Research Institute of Advanced Materials (RIAM), Seoul National University, Seoul 151 744, Korea

Recently, industrial demands on high performance rare earth and ferrite magnets are continuously increasing for their diverse applications such as automobiles, household appliances, medical equipments, and etc. To achieve high maximum energy product $(BH)_{max}$, both remanence B_r and coercive field H_c should be large. While the B_r value is an intrinsic property dependent upon the components of the magnet compounds, the H_c value is an extrinsic property sensitive to relative density, grain size and shape, and grain alignment of magnets which are determined by the fabrication processing parameters. The Nd-Fe-B permanent magnets currently exhibiting the highest performance are being utilized as various motors including driving motor of the hybrid electric automobile. However, because of a recent abrupt increase in the cost of rare earth elements, world-wide R&D activities are under progress to develop cost-effective new materials. One of such efforts is to improve the performance of hexaferrites. Although *M*-type hexagonal ferrites such as $BaFe_{12}O_{19}$ and $SrFe_{12}O_{19}$ exhibit the $(BH)_{max}$ value of around 3~4.5MGOe, and thus those are applicable to the motors for laundry machine and for the fuel pump and starter of automobiles, further improvement in their performance is highly required for wider replacement of the rare earth magnets. In this presentation, I will discuss the critical issues to improve the performance of hexaferrites.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012**

초청강연



양성자 조사에 의한 복잡한 자성 나노 구조물의 비파괴적 나노 패터닝

홍종일*, 김상훈, 이수길, 고정호, 손장엽, 김민석

연세대학교 신소재 공학과, 서울시 신촌동, 120-749

1. 서론

이온 조사법은 He, N, Ar, Kr, Ga 등의 이온을 다층 구조로 되어있는 자성 박막에 수십~수천 keV의 에너지로 가속시켜 그것의 계면이나 결정 구조를 인위적으로 손상시킴으로써 나노 크기의 패터닝을 구현하는 독특한 방법으로 알려져 있다[1]. 그러나 이 방법은 이온이 갖는 높은 가속 에너지로 인해 표면 및 구조의 손상과 예상치 못한 결함들이 발생하는 문제점을 가지고 있다. 특히, 패터닝이 어려운 강자성 물질의 경우 패터닝된 단위 셀 간의 교환 결합력에 의해 패터닝된 단위 셀 간 상호작용이 발생하고 자기적 성질이 변형되어 소자의 오작동을 유발하는 단점을 피할 수 없다. 게다가 재료 자체가 자기적 성질을 갖고 있는 물질에 국한되고 금속 시스템에만 적용할 수 있어 다양한 분야로의 응용에 어렵다.

본 연구에서 제안하는 저에너지 양성자(수소 이온) 조사 패터닝 방법은 금속 산화물 내 산소원자만을 선택적으로 제거하는 환원 현상을 이용한 것으로, 가장 가볍고 작은 이온인 양성자를 기존 기술의 수 천분의 일 수준인 300 eV의 작은 에너지로 가속시켜 원자 단위의 물리적 또는 화학적 손상을 최소화하고 복잡한 공정 절차 없이 나노미터 수준의 패터닝이 가능한 새로운 개념의 패터닝 기술이다[2].

2. 실험방법

[Co₃O₄ 0.6 nm/Pd 1.0 nm]₁₀ 인공격자는 초고진공 d.c. 마그네트론 스퍼터를 이용하여 4.0×10⁻⁹ torr 이하의 진공에서 증착되었다. 양성자 플라즈마는 Arios 사의 EMIS 221 플라즈마 건을 이용하여 2.5 GHz의 microwave power로 형성되었고, 300 eV의 가속전압을 이용하여 이빔 리소그래피에 의한 나노 마스크 패터닝이 형성된 산화 인공격자에 조사되었다. 나노 자성 패터닝의 자기적 특성은 비정상 홀 효과를 이용하여 측정되었으며 XRD, XRR, TEM을 이용하여 환원된 인공격자의 결정학적 구조를 확인하였다. 나노패터닝의 이미지는 MFM을 이용하여 확인하였다.

3. 실험결과

스퍼터링법으로 제작된 [Co₃O₄ 0.6 nm/Pd 1.0 nm]₁₀ 인공격자에 농도와 에너지가 섬세하게 조절된 양성자를 조사함으로써 인공격자 내 0.6 나노미터 두께의 산화물 층에 존재하는 산소이온만을 선택적으로 제거하여 물질 자체를 변화시키게 된다. 이때, [Co₃O₄/Pd]₁₀ 인공격자는 [Co/Pd]₁₀ 인공격자로 환원되어 산화물이 금속으로, 비자성이 강자성으로 동시에 상변태되는 독특한 특성을 보인다. [Co₃O₄/Pd] 인공격자의 상온 상자성 또는 비자성 특성은 패터닝 후 단위 셀 간 자기적 상호작용을 피할 수 있게 해준다. 이 [Co₃O₄/Pd] 인공격자에 양성자의 농도와 에너지를 제어하여 조사하면 환원에 따른 강자성 특성이 나타나는데, 자기이력 곡선들을 통해 양성자의 농도가 증가함에 따라 비자성체에서 강자성체로 변이가 일어나면서 영구적인 자기모멘트가 증가함을 알 수 있다. 4.3×10²⁰ ions/m² 양성자 농도에서 환원된 [Co₃O₄/Pd] 인공격자의 자기이방성은 1.54×10⁶ J/m³ 으로 초상자성 효과를 극복할 수 있는 기준 시료의 자기이방성(1.43×10⁶ J/m³)보다 큰 값을 갖고 있어 환원된 인공격자는 나노소자에서 요구되는 열적으로 우수한 특성도 갖고 있음을 알 수 있다. 양성자 농도가 증가할수록 환원된 인공격자가 갖고 있는 FCC Co/Pd (111) 결정 배향성이 증가함을 x선 회절법(XRD)을 통해 확인하였

다. 이는 자기 모멘트의 증가 경향과 일치하여 환원에 따른 결정 배향성 향상이 자기적 특성에도 좋은 영향을 주었음을 알 수 있었다. 투과 전자 현미경(TEM) 측정 결과는 4.3×10^{20} ions/m²의 양성자 농도로 환원된 인공 격자가 원자수준의 결합이나 계면에서의 손상이 없음을 보여준다.(그림 1좌)

4.3×10^{20} ions/m²의 양성자 농도로 형성된 100 나노미터 크기를 갖는 인공격자의 패턴은 자기력 현미경(MFM)을 통해 외부 자기장이 없을 때에도 하나의 자기영역 형태로 존재함을 알 수 있었다.(그림 1우) 또한 패턴들 사이의 공간은 비자성체로 이루어져 있어 이들 간의 자기적 상호작용이 없음을 확인하였다. 패턴들의 수직 자기 이방성 및 자화 반전 특성은 비정상 홀 효과(AHE) 자기 검출법에 의해 측정되었다. 이를 통해 양성자 조사에 의해 패터닝된 인공격자 패턴들은 강한 수직자기이방성을 갖고 있으며 인접 패턴들 간 상호 작용 없이 우수한 자기 스위칭 특성을 보임을 확인하였다. 특히 양성자 조사에 의해 패터닝된 강한 수직자기이방성을 갖는 패턴들은 크기가 작아지면서 열에너지에 의해 발생하는 초상자성 효과에 의한 정보손실을 막을 수 있는 장점을 갖고 있음을 증명하였다.

4. 고찰

환원된 [Co/Pd] 인공격자에 대한 화학 및 결정학적 구조 분석을 통해 기존에 문제가 되었던 격자 내 결합의 발생과 인공격자의 물리적 또는 화학적 손상이 원자수준에서 발견할 수 없음을 확인하였다. 또한 자기적 특성 분석을 통해 나노 크기의 구조체에서 필요한 열적 안정성이 기존의 방법으로 만들어진 인공격자에 비해 우수하다는 것을 확인하였다.

5. 결론

본 연구 결과는 기존의 방법으로 시도하기 어려운 복잡한 구조와 화합물로 이루어진 재료 시스템에서 목표로 하는 원자만을 선택적으로 제거함으로써 복잡한 절차 없이 비파괴적 패터닝이 가능한 새로운 개념의 양성자 조사 나노 패터닝 방법을 제시하고 있다. 나노 기술이 발전함에 따라 점차 중요해지는 구조 및 계면의 상태를 결합 없이 패터닝할 수 있는 최초의 방법으로, 물질을 구성하는 원자 각각의 결합 에너지가 서로 다른 원리를 이용하기 때문에 다양한 물질 시스템에 적용할 수 있어 과학기술적 응용 및 관련 산업 전반에 걸쳐 상당한 파급 효과를 가져올 것으로 기대된다.

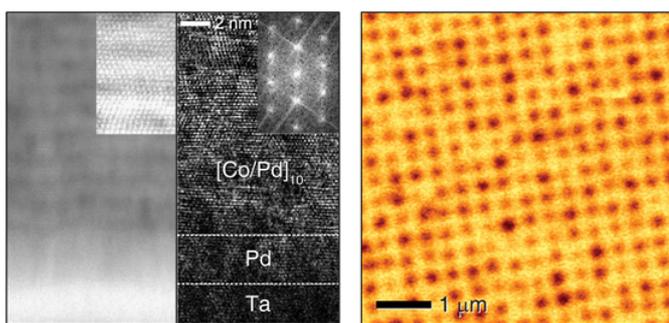


그림 1 (좌) 환원된 [Co/Pd] 인공격자의 STEM 및 XHRTEM 측정 결과. (우) 양성자 조사에 의해 형성된 패턴들의 MFM 이미지.

6. 참고문헌

- [1] C. Chappert *et al.* Planar patterned magnetic media obtained by ion irradiation. *Science* **280**, 1919–1922 (1998).
- [2] S. Kim *et al.* Nanoscale patterning of complex magnetic nanostructures by reduction with low-energy protons. *Nature Nanotech.* **7**, 567 (2012)

자기장의 생체반응연구

황도근*, 이진용, 이현숙

상지대학교 한방의료공학과

자기장이 인체에 미치는 영향에 대한 연구는 18세기부터 시작되어 치료방법의 하나로 오랫동안 관심을 보여 왔으나 본격적으로 임상적 연구가 시작한 것은 1979년 부정유합과 관련된 골절치유에 대해 미국식품의약국(FDA) 공인 이후부터다. 그 이후 여러 연구자들에 의해 요통, 경부통, 견관절 질환, 슬관절염, 대상포진 신경통, 골반통, 다발성 경화증, 신경병성 통증 등에도 적용되었다. 2004년에는 펄스자기장 자극이 뼈 융합이 어려운 심각한 환자에게 경추융합수술의 보조로 FDA에 의해 승인되기도 했다.

최근에 와서는 뼈 관련 연구 외에 혈관생성 및 성장률, 혈류량 증가, 말초신경계, 뇌신경 및 청각신경, 암세포반응, 다양한 통증, 심장반응 등에 관련된 여러 연구논문들이 발표되고 있다. 여러 선행연구 중에서 가장 확실하게 치료기기로 자리 잡은 것은 최고 펄스자기장 세기가 2 Tesla인 경두개자기자극술(r-TMS, Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation)로 현재 우울증 및 뇌질환 환자의 치료방법으로 도입되어 활용되고 있다.

자기장 자극치료의 경우 비접촉, 비침습적이라는 장점을 가지고 있으나 그 치료효과를 입증하는데 많은 시간이 소요되며 과학적으로 뚜렷한 연구결과를 내기 어렵다는 점에서 앞으로 많은 연구가 필요하다. 기존의 대표적인 비침습적인 치료방법인 전기자극기는 많은 종류가 의료기기로 자리를 잡았으나 접촉단자가 피부에 직접 접촉되어야 하는 불편함과 전류가 대부분 피부 표면으로 흘러 심부 깊숙이는 영향을 주지 못하는 단점이 있다.

자기장 치료기기는 전기효율 부분에서 제한적이고 인체에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 우려 때문에 아직 많은 관심을 못 받고 있으나 앞으로 좀 더 다양한 임상연구결과들이 나온다면 새로운 치료기술로서 의료분야의 중요한 위치를 차지하게 될 것이다.

본 연구에서는 최근 5년여 동안 연구되어온 1 Tesla 펄스자기장 하에서 혈류량 변화를 조사하기 위해 PPG(photo-plethysmography, 광전용적맥파) 생체신호를 분석하였고, 적혈구를 채혈하여 펄스자기장 자극 전후의 적혈구 상태변화를 조사하였다. 또한 백혈구세포, 관절세포, 유방암세포 등을 배양하면서 펄스 및 교류자기장을 인가함에 따른 세포증식률 변화 및 DNA, m-RNA 변화를 조사하였다. 특히 암세포와 자기장의 상관관계는 지속적으로 연구 중에 있다. 그리고 한의학적 경혈자리에 자기장을 인가했을 때 뇌파의 변화도 연구하였다.

Ni Nanotube Array의 강자성 공명 특성 및 IT응용

김동영*, 전성재, 윤석수

안동대학교 물리학과

1. 서론

자성 나노와이어와 나노튜브 배열(magnetic nanowire and nanotube arrays)는 스핀트로닉스, 마이크로파 응용, 바이오 센싱 등의 분야에서 응용이 가능하여 주목을 받고 있으며 이들을 합성하는 방법과 자성 특성에 대한 많은 발전이 이루어지고 있다. 나노튜브 배열은 나노박막이나 나노와이어 배열과는 매우 다른 자기이방성과 자화반전 특성을 보이기 때문에 이에 대한 연구가 최근에 특별한 주목을 받고 있다[1-3].

본 발표에서는 나노 기공을 가진 polycarbonate membrane을 형판으로 사용하고 여기에 전기도금 방법을 적용하여 Ni 자성 나노튜브 배열을 제작하는 새로운 방법을 소개한다. 제작한 Ni 자성튜브 배열에 대해 VSM과 Ferromagnetic Magnetic Resonance(FMR) 방법으로 측정된 자기 이방성 특성을 나노박막과 나노와이어 배열에 대해 측정된 특성과 비교한다. Ni 자성튜브의 특별한 자기 이방성 특성이 메타(meta) 재료, 마이크로파 흡수체 등의 IT 분야에 응용될 수 있다는 가능성도 제시하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 polycarbonate membrane 형판을 이용하고, 3전극 및 정전압(potentiostatic) 방식의 전기도금으로 Ni 튜브배열을 제작하였다. 통상적인 방법과 달리 polycarbonate membrane 형판에 금을 스퍼터링하여 형성한 working electrode 면을 도금용액과 바로 맞닿도록 위쪽으로 향하게 놓고 진행한다(통상적으로는 polycarbonate membrane의 working electrode 면을 아래쪽으로 놓고 전기도금을 수행한다). Ni 도금에 사용한 용액은 DI water 1 리터 기준에 NiSO₄ 15.48 g, H₃BO₃ 12.37 g을 용해시켜 제조하였으며 Potentiostat 장치를 이용하여 Ag/AgCl 기준전극에 대해 working electrode의 전위를 -1.0 V로 일정하게 유지하면서 도금을 진행하였다. 제작된 시편의 자화곡선은 VSM 장치를 이용하여 측정하였으며 FMR derivative spectra는 9.89 GHz의 마이크로파를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 polycarbonate membrane 형판에 Ni 나노튜브를 증착한 후 형판을 dichloromethane 용액속에 넣어 용해시킨 시편을 FE-SEM으로 관찰한 사진을 보여준다. 이 결과로부터 직경 400 nm, 두께 40 nm 길이 약 3.2 μm의 튜브배열이 잘 제작되었음을 알 수 있다. 그림 2는 제작된 Ni 나노튜브 배열에 대해 FMR derivative spectra를 다양한 각도에서 외부자기장을 스위칭하면서 측정된 결과이다. 이 결과로부터 Ni 나노튜브 배열은 자기장을 가한 방향에 관계없이 약 2 kOe의 공진자기장(H_{res})을 보인다는 것을 알 수 있다. 이는 나노 박막이나 와이어배열에서 공진자기장이 외부자기장의 각도에 민감하게 변하는 결과와는 매우 다른 특이한 현상이다. 이러한 특이한 현상이 튜브배열에서 일어나는 기구를 VSM 측정 결과와 연관하여 고찰한다.

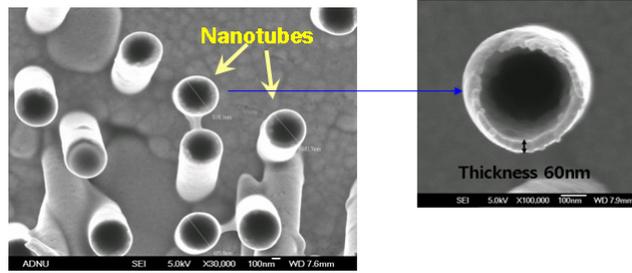


Fig.1 FE-SEM image of Ni tube array with wall thickness of 60 nm and diameter of 400 nm.

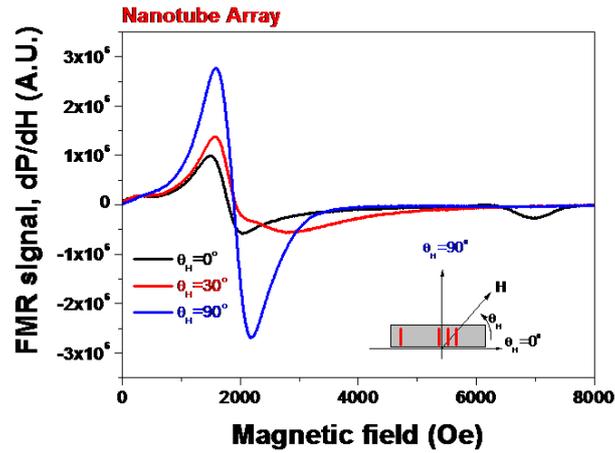


Fig.2 Angular dependence of FMR derivative spectrum of the Ni tube array with wall thickness of 60 nm and diameter of 400 nm.

4. 참고문헌

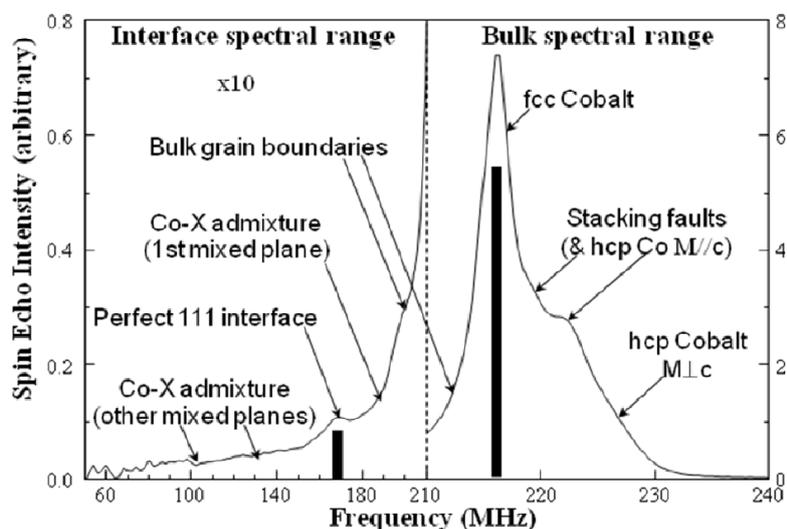
- [1] Y.L. Li, S.L. Tang, R. Xie, Y. Wang, M. Yang, J.L. Gao, W.B. Xia, and Y.W. Du. Appl. Phys. Lett. **100**, 052402 (2012).
- [2] X.F. Han, S. Shamaila, R. Sharif, J.Y. Chen, H. R. Liu, and D. P. Liu, Adv. Mater. **21**, 4619 (2009).
- [3] D.D. Li, R.S. Thompson, G. Bergmann, and J.G. Lu, Adv. Mater. **20**, 4575 (2008).

Nuclear Magnetic Resonance in Ferromagnetic Materials: Correlating the Structure and Morphology of Thin Films, Multilayers and Nanocomposites to their Physical Properties

Christian Meny^{1*}

¹Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg(Institute of Physics and Chemistry for Materials of Strasbourg) UMR 7504 UDS-ECPM-CNRS, BP 43, 23 rue du Loess, 67034 Strasbourg Cedex 2, France

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) is a technique that is very commonly used in medicine, chemistry or biology, but it is much less used to study ferromagnetic materials. However when used to study ferromagnetic materials, it has the ability to provide, simultaneously and at the same scale, information about the local structure as well as about the local magnetic properties of the probed atoms. In the first part of this talk I will present the basis of NMR and more particularly I will point out the particularities of the technique when it is used to study ferromagnetic materials. As an example the NMR spectrum of a Cobalt thin film is shown in the following figure: The high frequency side shows the NMR sensitivity to the bulk crystallographic structure of Co (cubic, hexagonal and stacking faults) while the low frequency side shows the sensitivity of NMR to the Co chemical environment (interfaces with the neighbouring layers). In addition to these structural information, magnetic information for each local environment observed in the NMR spectrum can also be obtained. For this purpose we have developed 3D NMR1 in ferromagnets to visualise simultaneously the structural and the magnetic in-homogeneities into the studied samples. The magnetic information is recorded in the form of a local magnetic susceptibility (or more exactly a local magnetic stiffness: $\sim 1/c$). A detailed description of this aspect of NMR will be given during the talk. In the second part of this presentation I will give examples of studies of thin films, multilayers, and nano-composites taken from very different research fields: Thin films for magnetic ¹ and optical² applications, supported Co particles for catalyses³...



참고문헌

- [1] C. MENY, P. PANISSOD Nuclear Magnetic Resonance in Ferromagnetic Multilayers and Nanocomposites: Investigations of Their Structural and Magnetic Properties *In Modern Magnetic Resonance*, G. Webb, Ed., Springer, Heidelberg, 2006.
- [2] K. LE GUEN, M.-H. HU, J.-M. ANDRE, S. K. ZHOU, H. CH. LI, J. T. ZHU, Z. S. WANG, C. MENY, A. GALTAYRIES, P. JONNARD Observation of an asymmetrical effect when introducing Zr in Mg/Co multilayers *Appl. Phys. Lett.* **98**, 251909 (2011)
- [3] B. DE TYMOWSKI, Y. LIU, C. MENY, C. LEFÈVRE, D. BEGIN, P. NGUYEN, C. PHAM, D. EDOUARD, F. LUCK, C. PHAM-HUU Co–Ru/SiC impregnated with ethanol as an effective catalyst for the Fischer–Tropsch synthesis *Appl. Catalysis A.* **419–420**, 31-40 (2012)

Neutron Diffraction Study of the $\text{Ga}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_3$ Compounds

Christophe Lefevre^{1,2*}, Francois Roulland¹, Alexandre Thomasson¹, Christian Meny¹, Florence Porcher³, Gilles André³ and Nathalie Viart¹

¹Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (UMR 7504 CNRS-UDS), BP 43, 23, rue du Loess, 67034 Strasbourg Cedex 2, France

²Department of Physics, Ewha Womans University, Seoul, 120-750, Korea

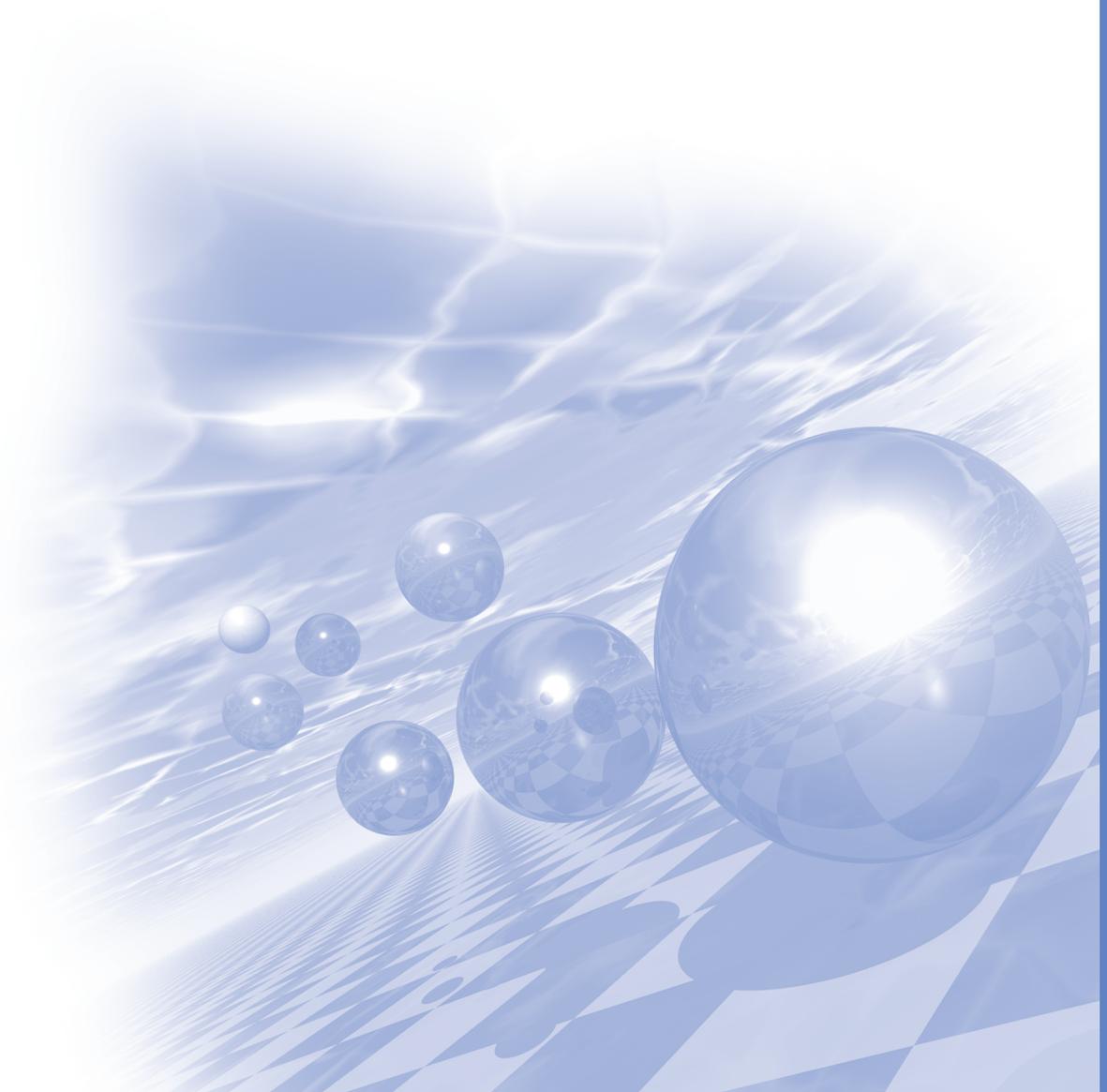
³Laboratoire Léon Brillouin (UMR12 CEA-CNRS), Bât 563 CEA Saclay, 91191 Gif sur Yvette, France

Neutron scattering methods are indispensable in studying structure-property relationships. The determination of magnetic structure in magnetically ordered materials makes neutron diffraction among the major tools in the research on magnetoelectrics because to understand why a given compound displays or does not display the expected properties calls for detailed information on microscopic level. We present here a thermal study by neutron diffraction of both GaFeO_3 and $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$ samples which have been proved to be magnetoelectric at room temperature making them then extremely interesting in new potential electronic device. These compounds crystallize in an orthorhombic structure (S.G: $Pc2_1n$) with $a \sim 8.7 \text{ \AA}$, $b \sim 9.4 \text{ \AA}$ and $c \sim 5.1 \text{ \AA}$. The compounds have been prepared as polycrystalline powders by solid state reaction route. Neutron experiments were carried out at the LLB (Saclay, France). The powder diffraction patterns in the paramagnetic state have been registered at 300K for GaFeO_3 and at 400K for $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$ on the 3T2 ($\lambda=1.225\text{\AA}$) diffractometer and thermal evolution from 1.8 to 290 K of the diffraction pattern have been recorded on the G4.1 ($\lambda=2.423\text{\AA}$) multidetector diffractometer. The nuclear refinements indicate a preferential cationic distribution within the structure. Moreover, astonishing results about the magnetic structures have been obtained. Indeed, the magnetic moments of GaFeO_3 are oriented along the c axis whereas a tilt is observed for $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$. These structures as well as the different magnetic parameters will be introduced.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012**

구두발표



Doped Graphene Induced Magnetization Reversal and Spintronics of Ni/Graphene/Co

Jisang Hong*, Dongyoo Kim, and Hashmi Arqum

Department of Physics, Pukyong National University

Using the full potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method, we have investigated the magnetization reversal induced by carrier doped graphene in Ni/Graphene/Co and the potential application for spintronics devices. In undoped Ni/Graphene/Co, the Ni and the Co layers have an antiferromagnetic coupling in ground state and this feature is still preserved even when hole carriers are doped in graphene. Interestingly, we find magnetization reversal from antiferromagnetic (AFM) to ferromagnetic (FM) interaction between two magnetic layers and this behavior is induced by Cl doped graphene. In addition, the Ni and Co layers show the opposite spin asymmetry near the Fermi level, thus we propose that the Ni/Graphene/Co structure can be utilized for potential spintronics application because the oppositely spin polarized in-plane current will be generated if an external bias is applied.

Size Distribution and Temperature Dependence of Magnetic Anisotropy Constant in Ferrite Nanoparticles

Sunghyun Yoon*

Department of Physics, Gunsan National University, Gunsan 573-701

Abstract

The temperature dependence of the effective magnetic anisotropy constant $K(T)$ of ferrite nanoparticles is obtained based on the measurements of SQUID magnetometry. For this end, a very simple but intuitive and direct method for determining the temperature dependence of anisotropy constant $K(T)$ in nanoparticles is introduced in this study. The anisotropy constant at a given temperature is determined by associating the particle size distribution $f(r)$ with the anisotropy energy barrier distribution $f_A(T)$.

In order to estimate the particle size distribution $f(r)$, the first quadrant part of the hysteresis loop is fitted to the classical Langevin function weight-averaged with the log-normal distribution, slightly modified from the original Chantrell's distribution function.[1]

In order to get an anisotropy energy barrier distribution $f_A(T)$, the temperature dependence of magnetization decay M_{TD} of the sample is measured. For this measurement, the sample is cooled from room temperature to 5 K in a magnetic field of 100 G. Then the applied field is turned off and the remanent magnetization is measured on stepwise increasing the temperature.

And the energy barrier distribution $f_A(T)$ is obtained by differentiating the magnetization decay curve at any temperature [2]. It decreases with increasing temperature and finally vanishes when all the particles in the sample are unblocked.

As a next step, a relation between r and T_B is determined from the particle size distribution $f(r)$ and the anisotropy energy barrier distribution $f_A(T)$. Under the simple assumption that the superparamagnetic fraction of cumulative area in particle size distribution at a temperature is equal to the fraction of anisotropy energy barrier overcome at that temperature in the anisotropy energy barrier distribution, we can get a relation between r and T_B , from which the temperature dependence of the magnetic anisotropy constant was determined, as is represented in the inset of Fig. 1.

Substituting the values of r and T_B into the Néel-Arrhenius equation with the attempt time fixed to 10^{-9} s and measuring time being 100 s which is suitable for conventional magnetic measurement, the anisotropy constant $K(T)$ is estimated as a function of temperature (Fig. 1).

As an example, the resultant effective magnetic anisotropy constant $K(T)$ of manganese ferrite decreases with increasing temperature from 8.5×10^4 J/m³ at 5 K to 0.35×10^4 J/m³ at 125 K. The reported value for K in the literatures is 0.25×10^4 J/m³. [3] The anisotropy constant at low temperature region is far more than one order of magnitude larger than that at 125 K, indicative of the effects of inter-particle interaction, which is more pronounced for smaller particles.

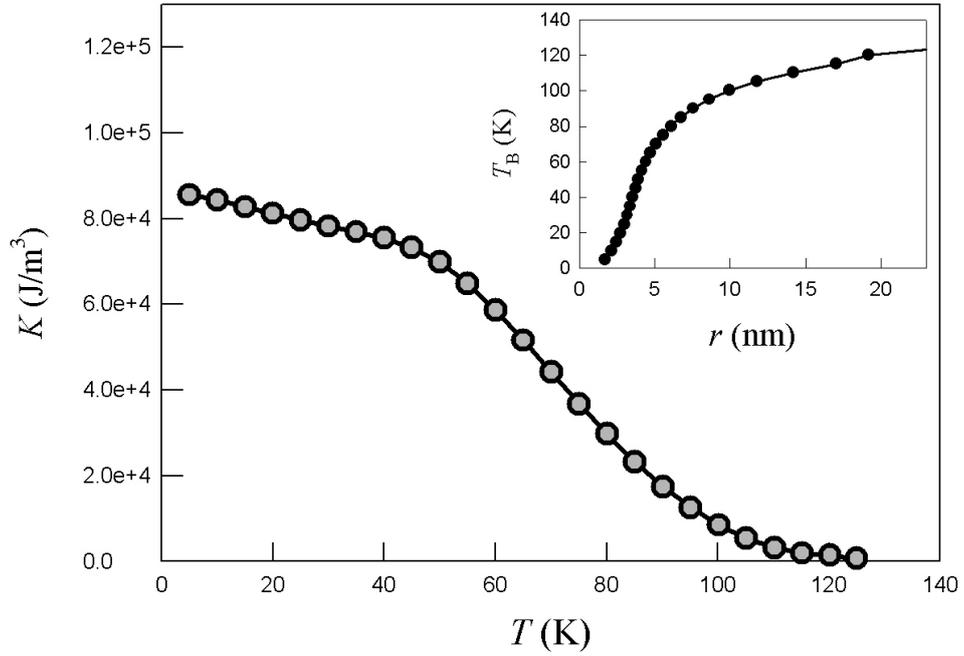
참고문헌

- [1] S.-H. Yoon, M. Gonzales-Weimuller, Y.-C. Lee, and Kannan M. Krishnan, J. Appl. Phys. **105**, 07B507

(2009).

[2] A. J. Rondinon, A. C. S. Samia, and Z. J. Zhang, *Appl. Phys. Lett.* **76**, 3624 (2000).

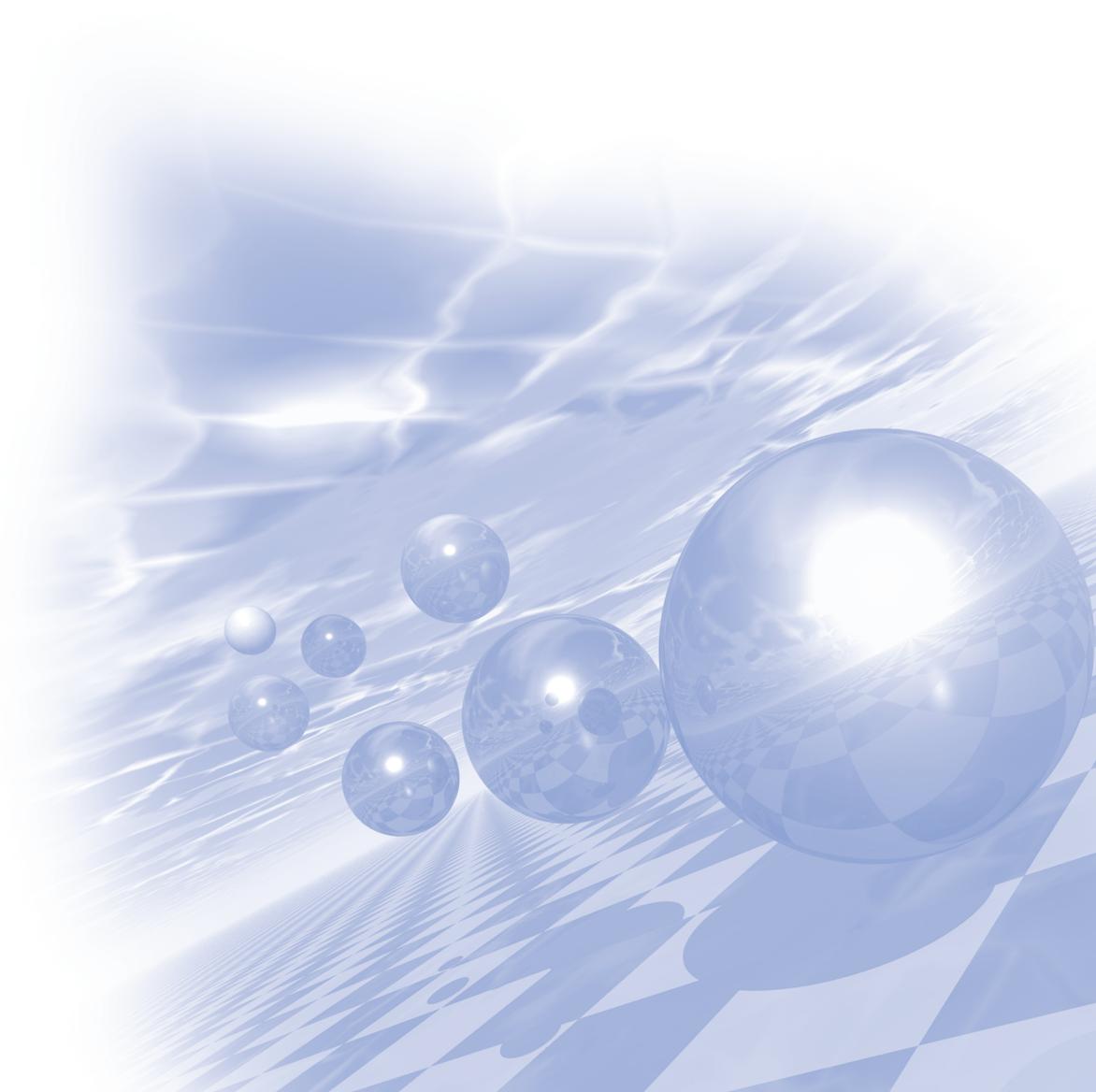
[3] V. A. M. Brabers, in *Handbook of Magnetic Materials*, edited by K. H. J. Buschow (Elsevier Science, Amsterdam, 1995), Vol. 8, Chap. 3.





**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2012**

포스터발표 (II)



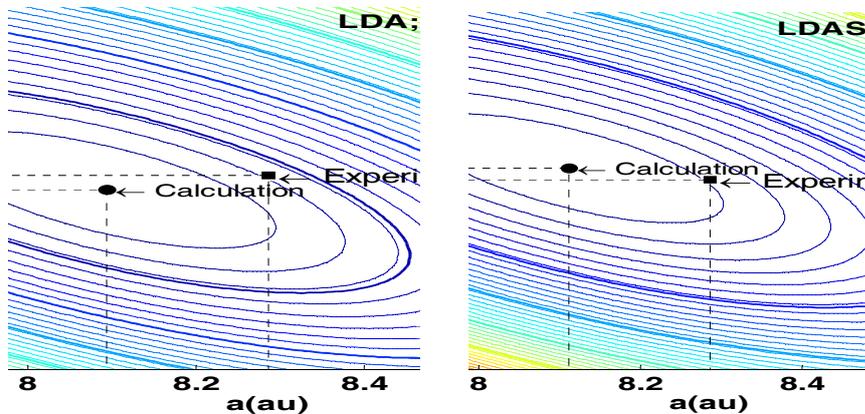
Spin Orbit Coupling and Correlation Effect on the Structural Optimization of Telluride Alloys ; First-principles Approach

Tran Van Quang^{1*} and Miyoung Kim²

¹Dept of Physics Hanoi University of Transport and Communications, Vietnam

²Dept of Nano Physics, Sookmyung Women's University, Korea

Correlation effect due to the strongly localized electronic bands often needs to be treated with additional terms beyond the general exchange correlation potentials such as the local density approximation (LDA). Spin-orbit coupling also plays crucial role for most of materials in this category. Here, we report the first-principles investigation on the effect of the correlation and spin-orbit coupling interactions on the structural optimization for telluride alloys. The all-electron full-potential linearized augmented plane-wave (FLAPW) [1] method is employed within LDA with and without +U and the second variational treatment of spin-orbit coupling is adopted. We found that the optimized lattice constants of the telluride alloy are affected by SOC as shown in the figures below and the lattice distortion upon the Gd doping is critical to precisely determine the conducting property.



참고문헌

- [1] E. Wimmer, K. Krakauer, M. Wienert, and A.J. Freeman, Phys.Rev B **24**, 864 (1981).

(111) 방향으로 성장한 강자성체 박막의 자화거동 계산

강희경*, 남윤재, 임상호

고려대학교 신소재공학과

자성재료의 자기 이방성은 자기 모멘트가 어떠한 축으로 자화 되려고 하는지에 대한 정보를 제공하며, M-H 곡선의 형태에 가장 큰 영향을 미치는 매우 중요한 요인이 된다. 대표적 자성재료들인 Fe, Ni과 같은 경우 입방 결정구조를 가지며 이러한 입방결정구조를 가진 자성재료는 벌크에서의 구조적 대칭을 자화과정에서도 그대로 보여준다. 그런데 이들 재료를 박막의 경우로 가져가게 되면 자화의 거동이 거대한 탈 자장에 의해 막 면으로의 움직임이 제한되게 되어 벌크일 때와는 다른 자화거동을 보이게 된다[1, 2]. 그러므로 박막일 때 막 면에 따라서 자성재료가 어떠한 특성을 가지는가에 대해 예측하는 것은 박막을 응용하고자 하는데 있어 상당히 중요한 이슈라 할 수 있다.

Single domain을 기반으로 하는 total energy equation은 자화의 과정을 예측하는데 있어 많이 사용되어지는 tool이지만, 단순한 가정을 사용하므로 그 적용에 있어 실질적으로 많은 제약을 받는다. 하지만 단결정으로 잘 성장된 박막에 대해서는 상당히 근접한 결과를 이끌어 낼 수 있음이 계산되었다[3]. 따라서 total energy equation을 통해 여러 가지 방향으로 성장된 박막에 대한 자기적 거동을 예측해 본 결과 자화의 회전은 막 면내에서 제한되었지만 벌크의 경우와 마찬가지로 자기적 특성은 면의 대칭을 그대로 반영함을 알 수 있었다.

그러나 현실적으로 실험 시 면에 대한 완벽한 제어가 어려우므로 막 면에 대해서 이 결정이 조금씩 틀어져 있을 때의 상황을 고려해 볼 수 있다. 대표적인 면인 (001), (011), (111)면을 살펴보면 (001), (011)의 경우 energy barrier가 워낙 크고 이에 따라 보자력 역시 크기 때문에 면이 조금 틀어지더라도 히스테리시스 특성에는 큰 영향을 미치지 않음을 예상할 수 있었고 계산 결과 역시 크게 변하지 않음을 확인 할 수 있었다. 하지만 (111)면의 경우 energy barrier가 상당히 작고 (111)면에 따라 에너지 분포가 상당히 작으므로 조그마한 결정축의 변화에도 자기적 성질이 크게 변할 여지를 가지고 있다. 그리하여 본 연구에서는 total energy equation을 기반으로 하는 계산을 수행하여 에너지 적으로 상당히 민감한 (111)면을 polar 또는 azimuthal angle로 조금씩 틀어주어 자화가 어떠한 거동을 보이는지에 대해 알아보았다.

완벽히 제어된 (111)면의 경우 에너지 편차가 크지 않고 각각의 minimum이 정확히 60도 마다 위치하고 있음을 볼 수 있었다(그림 1). 하지만 polar angle과 azimuthal angle로 각각 1°씩 기울인 면의 경우 에너지 편차가 상당히 커지고 6-fold symmetry 자체가 완전히 깨어지면서 그림 2의 (a)처럼 마치 2개의 uniaxial anisotropy를 가지고 있는 시스템이 되어 두 곳의 global minimum과 함께 두 곳의 다른 local minimum을 가지는 에너지 분포를 관찰 할 수 있었다(그림 2). 제안한 방식에서의 접근을 통해 우리는 음의 보자력이나, 자체적인 exchange bias를 가지는 system이 어떻게 형성되는지를 파악할 수 있을 것으로 보인다.

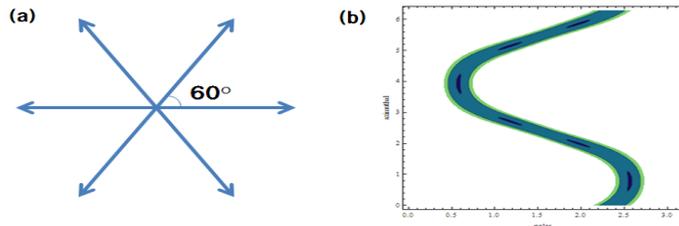


그림 1. (111)면으로 성장한 자성박막의 (a) 대칭성과 (b) 그에따른 에너지 커브

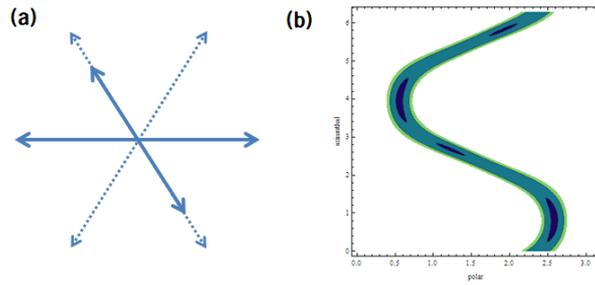


그림 2. (111)면에서 polar angle과 azimuthal angle로 각각 1°씩 기울인 방향으로 성장한 자성박막의 (a) 대칭성과 (b) 그에따른 에너지 커브

참고문헌

- [1] B. D Cullity and C. D. Graham 'Introduction to magnetic materials' Wiley, pp. 199
- [2] Mitsuru Ohtake, Osamu Yabuhara, Jumpei Higuchi, and Masaaki Futamoto J. Appl. Phys. 109 (2011) 07C105
- [3] Yoon Jae Nam and S. H. Lim, Thin Solid Films 519 (2011) 8256–8259

Thickness Dependent Energy Product and Coercivity Field of Exchange Spring Magnet FeCo/FePt Multilayers

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 magnetic properties of the rare earth free exchange spring magnet FeCo/FePt(001) multilayers. In this study, we have increased the thickness of FeCo layers from 3 to 9 monolayer (ML). Also, coverage of FePt layers are considered as 5 and 7 ML. The average magnetization and estimated maximum energy product increase with FeCo thickness. Besides, we find a giant perpendicular magnetocrystalline anisotropy (MCA) energy for all multilayer systems. We have also estimated the FeCo thickness dependent maximum coercivity field based on MCA energy. In particular, the suppression of coercivity field with FeCo thickness is very weak, while the energy product is rapidly increasing. From energy product and coercivity field calculation, we may imply that the FeCo/FePt multilayer systems can be utilized for potential rare earth free exchange spring magnet materials.

X선 마이크로포커스 음극 집속관 설계제작을 위한 전자빔 궤적계산 연구

(Orbit Calculation of Electron Beam for X-ray Microfocus Cathode Tube)

박태영^{1*}, 정훈모¹, 이근학¹, 장창실², 박래준², 이상석¹

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

²(주)엑스엘, 강원도 원주시 태장동 1720-26번지 의료기기산업기술단지 4동 106호

본 연구의 목적은 정전기장에서 OPERA-3D/SCALA S/W 을 이용하여 전자빔의 궤적계산을 한 결과를 바탕으로 마이크로 포커스 집속관 구조를 설계하는 것이다. OPERA-3D/SCALA S/W 프로그램을 X-관에 적용하여 유한요소로 분할하여 표시한 집속관 모델링과 CAD를 이용한 형상설계 및 구체적인 좌표를 설정한다. S/W를 통한 유한요소로 분할하여 X03_pre.comi 파일에서 변수화 모델로 전처리하고 후처리용 파일 X03_post.comi에서 처리하여 궤적을 계산한다.

Fig.1에서 보여준 것처럼, Mo 타겟과 W 타겟을 갖는 맘모그래피용 마이크로 포커스 회전 X-관을 제작, 필요로 한 성능과 해상도를 향상 시키기 위하여 OPERA-3D/SCALA를 사용, 실질적인 조건을 유지하여 필라멘트에서 방출되는 전자빔의 궤적을 계산한다.

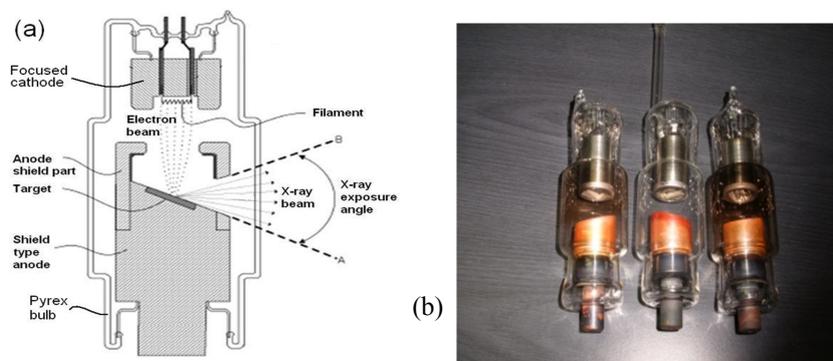


Fig. 1. (a) Schematic structure and (b) real picture of major parts of a fixed anode X-ray tube equipped with nonproliferation getter.

시제품을 만들기 전 정확한 분석과 시뮬레이션을 해보기 위해 Fig. 2의 OPERA-3D/SCALA를 이용하여 모델링을 한다.

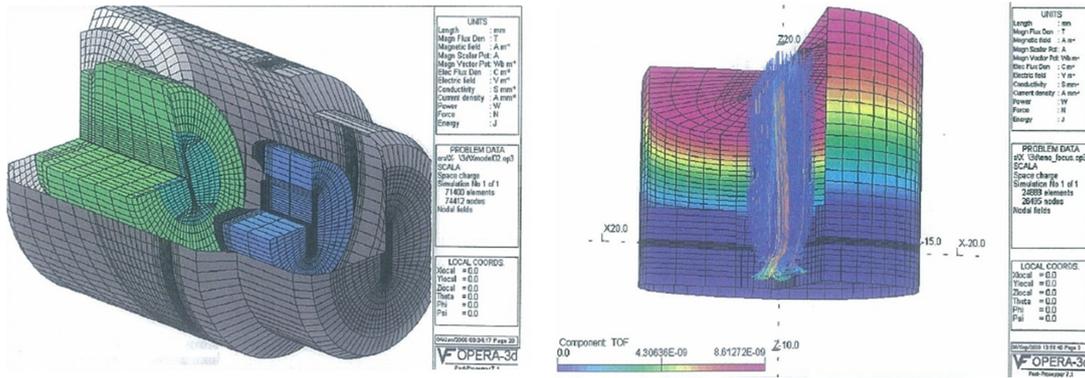


Fig. 2. OPERA-3D/SCALA : Opera is a world-leading software package for the modelling of static and time varying electromagnetic fields, and related fields such as temperature.

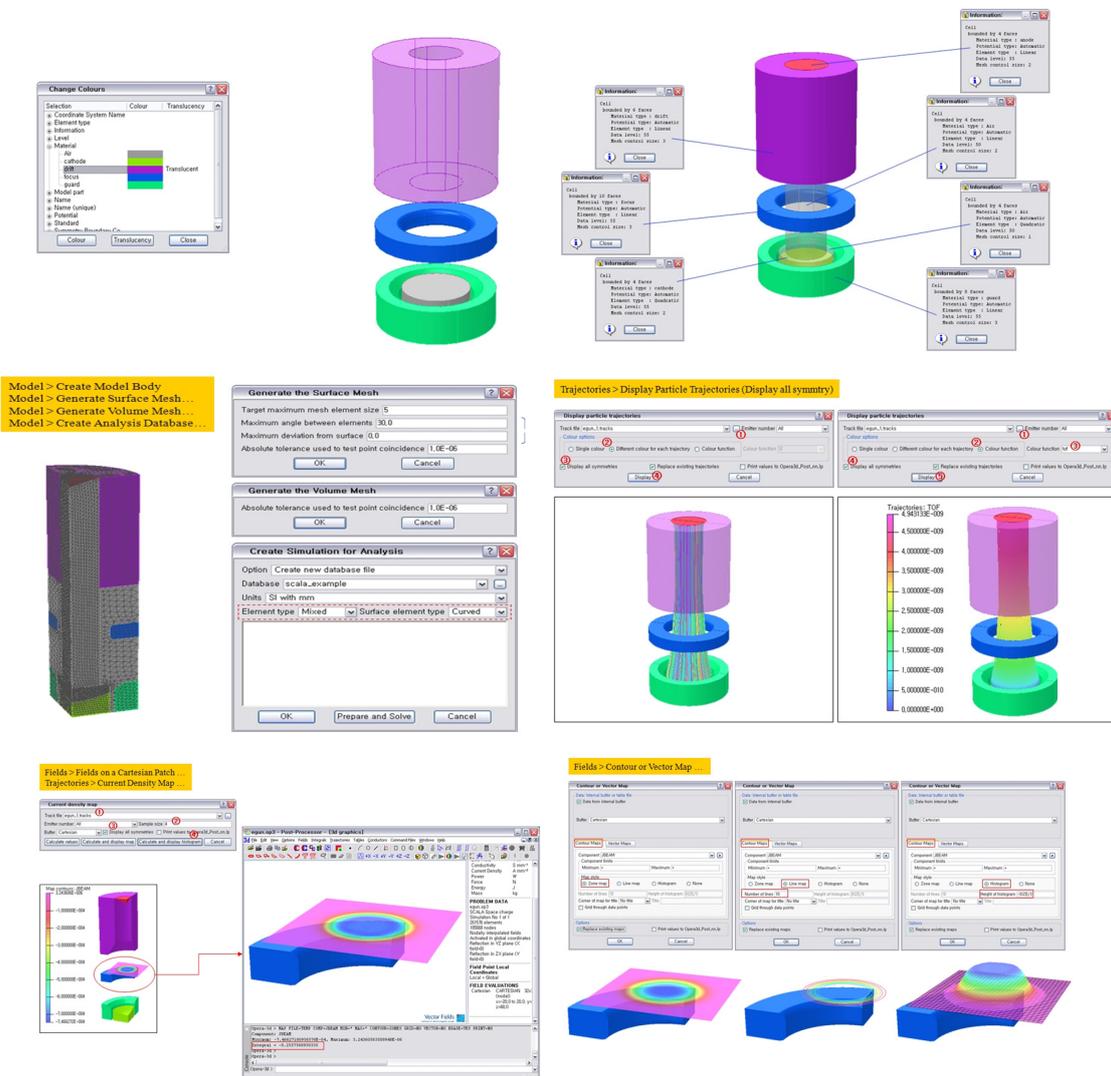


Fig. 3. Example of simulation process by using OPERA-3D/SCALA.

Fig. 3의 시뮬레이션 프로세스를 거쳐 CAD 또는 Opera를 통해 모델링을 한 후, 각각 요소의 properties를 적용한다. Cathode에 강한 전기장장을 인가하여 에너지 장벽을 투과하는 터널링 현상으로 전자가 도체의외부로 방출된다. F-N 터널링은 $2\sim 3 \times 10^7$ V/cm 이상의 전계가 인가되었을 때 발생한다. Fig. 4처럼 Opera의

Post-Processing을 통하여 입체 자기장 가로 세로 단면의 전자기장 세기 등 다양한 형태의 분석 결과를 볼 수 있다.

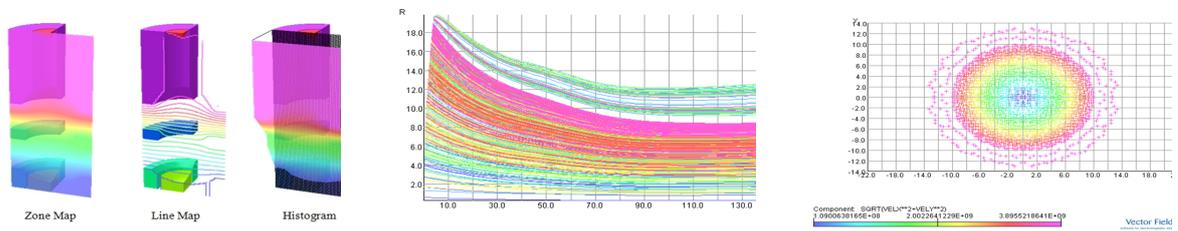


Fig. Post-processing results of OPERA-3D/SCALA.

※ 본 연구는 2012년도 강원광역경제권 선도산업 R&D의 “마이크로포커스 회전양극엑스선관 개발” 과제에 대한 연구결과이다.

Pt₃M (M=Co, Fe) 합금의 O₂ 분해 촉매성과 자성에 대한 제일원리계산

권오룡*, 홍순철
울산대학교 물리학과

현재 PEM 연료전지는 공기극(cathode)과 연료극(anode)에서 Pt촉매가 사용된다. 이는 Pt가 국소적으로 매장 이 되어 있기 때문에 높은 가격 또는 자원의 무기화가 예상된다. 특히 O₂ 환원반응을 하는 공기극(cathode) 촉매에서 연료극(anode) 촉매보다 느린 반응과 표면 피독현상이 나타나기 때문에 이를 대체하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 공기극(cathode)에서 Pt를 대체할 수 있는 Pt₃M (M=Co, Fe)합금에 대하여 연구하였다.

제일원리 계산방법은 VASP(Vienna Ab-initio Simulation Package)을 이용하였으며 Pt에 대표적인 강자성물질인 Co, Fe이 합금에 첨가가 됨에 따라 어떠한 자성상태가 안정한지를 총에너지 계산을 통하여 확인하였으며, 그리고 표면에서 원자들의 전자구조계산을 통하여서 합금의 자성구조가 O₂흡착에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 그리고 VASP계산의 NEB(NUDGED ELASTIC BAND) 방법을 통하여 합금표면에 흡착된 O₂분자가 해리될 때 가지는 경로와 각각의 에너지를 분석하였다.

First-principles Investigation on Fundamental Magnetism and Electronic Structures of α -Mn

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

Manganese is known to be the most complex metallic element and have four allotropic modifications exhibiting a complex phase diagram [1]. From the various experimental results, α -Mn, which is the stable phase below 1000 K, orders in non-collinear antiferromagnetic (AFM) structure [2, 3]. The 29 atoms per primitive unit cell (58 atoms per cubic cell) are distributed over four crystallographically inequivalent sites (denoted as Mn_I, Mn_{II}, Mn_{III}, and Mn_{IV}) with complex simple cubic structure. α -Mn undergoes a paramagnetic to AFM phase transition at the Néel temperature of $T_N = 95$ K.

In density functional study, Hobbs *et al.* [4] exhausted extensively structural and magnetic properties of α -Mn using first-principles calculations with reviews. The α -Mn formed by strongly magnetic (Mn_I, Mn_{II}) and weakly magnetic (Mn_{III}) or even nearly nonmagnetic (NM) (Mn_{IV}) atoms in its AFM state. Note that a pseudopotential method very occasionally predicts erroneous higher magnetic moment than a real value due to disregarding the spin polarization of core electrons. For this reason, the studies for more reliable information to the electronic and magnetic properties of α -Mn have been required. Therefore, we used the all-electron full-potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method [5], well known for its most suitable in magnetic system calculation.

2. Computational Method

The Perdew-Burke-Ernzerhof form of the generalized gradient approximation (GGA) [6] for the exchange correlation potential was used. An energy cutoff of $4.58 (2\pi/a)$, where a is the lattice parameter, was employed for expanding the linearized augmented plane wave basis set. An $18.44 (2\pi/a)$ star function cutoff was used for depicting the charge density and potential in the interstitial regions. Lattice harmonics with $l \leq 8$ were employed to expand the charge density, potential, and wave functions inside each muffin-tin sphere, with radii of 2.0 a.u. for Mn atom. Integrations inside the Brillouin zone (BZ) were performed using the improved tetrahedron method over a $15 \times 15 \times 15$ mesh within the three-dimensional (3D) BZ.

3. Results and Discussions

From previously reported literatures [2-4], the bulk α -Mn for AFM phase crystallized in a tetragonal structure with the I-42m space group. However, the resultant c/a ratio estimated too small values which have 0.99955 and 0.9999 for experimental observation [3] and first-principles calculation [4], respectively. Therefore, our calculation was performed that the atomic structure of α -Mn assumed as cubic symmetry (I-43m space group) for two magnetic states (NM and AFM).

As a result, the equilibrium lattice constant calculated to be 8.572 and 8.667 Å for NM and AFM states, respectively. In ferromagnetic (FM) state case, we could not determine equilibrium lattice constant since the calculated data did not fit well. As compared to experiment [3], these values are reduced to 3.31 and 2.37 % for NM and AFM states, respectively. Furthermore, the AFM state of α -Mn is energetically favored by 33.55 meV/Mn over the NM state. Above mentioned, there are four inequivalent sites in a simple cubic system, of which the calculated magnetic moments per Mn atoms are listed in Table I. For comparison, the results for neutron diffraction experiment and another first-principles calculation also given. As shown in Table I, our results are in well agreement with theoretical results, but calculated the magnetic moments of Mn_{III} and Mn_{IV} are not in perfect agreement with experimental results.

Table I. The calculated spin magnetic moments (in units of μ_B/Mn) at the crystallographically four inequivalent sites of α -Mn.

Site	Present work	Lawson <i>et al.</i> ^a	Hobbs <i>et al.</i> ^b
MnI	2.82	2.83	2.79
MnII	2.28	1.83	2.22
MnIII	1.34	0.55	1.00
MnIV	0.02	0.47	0.0

^aRef. [3] (neutron diffraction measurement)

^bRef. [4] (pseudopotential calculation)

4. Summary

In this study, the magnetic and electronic properties of α -Mn have been investigated using the all-electron FLAPW method based on the GGA. The local magnetic moment of Mn atoms are consistent with previously calculated results. Detailed discussion on the structural, magnetic, and electronic properties of α -Mn will be given.

5. References

- [1] J. Donohue, *The Structures of the Elements* (Wiley, New York, 1974).
- [2] T. Yamada *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **28**, 615 (1970).
- [3] A. C. Lawson *et al.*, *J. Appl. Phys.* **76**, 7049 (1994).
- [4] D. Hobbs *et al.*, *Phys. Rev. B* **68**, 014407 (2003).
- [5] E. Wimmer *et al.*, *Phys. Rev. B* **24**, 864 (1981); M. Weinert, *et al.*, *ibid.* **26**, 4571 (1982).
- [6] J. P. Perdew *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **77**, 3865 (1996); *ibid.* **78**, 1396 (E) (1997).

Analytic Solutions of Quadratic Lattice Bethe Model of Binary Alloys

Jee Yong Lee^{*}, Won Seok Yun, 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

Alloy consists of several kinds of atoms which make superlattice order, and this superlattice order breaks down in consequence of thermal agitation, as the temperature increases. This characteristic makes difficult to study alloy systems, due to its complexity of considering randomness of their configurations. One of the simplest one is the Bragg-Williams approximation [1] which models alloy system similar to the Ising model, within the mean-field theory. It calculates the energy of the system from the interchange energy between different atoms proportional to the order parameter of the system. Another one is the Bethe approximation [2], which utilizes the partition function of the short-range interactions between atoms, and also considers the long-range interactions. In the previous study, the analytic and numerical results of Bragg-Williams approximation were given [3]. In this present work, analytic results of Bethe approximation are given, and also the two different models of alloy are to be compared. Their interaction parameters of the ordered state were obtained from the density functional calculations. Moreover, the results are also to be compared with experimental values, in order to verify the relevances of the alloy models we considered.

2. Calculation models

For the case of binary alloys which consist of two atoms A and B, the equilibrium condition of Bragg-Williams approximation is obtained by equating two functions f_1 and f_2 such that

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

where p is the probability for an A atom to occupy at one of the A-sublattice, and a , and r are parameters which represent the value of p for complete disorder, and the fraction of the number of A-sites, respectively. Also, ϕ is the order parameter of the alloy, which is defined by $\phi = (p-a)/(q-a)$, with q as the maximum value of p , and Δ is the value of increased internal energy by interchanging an A atom in the A-sublattice with a B atom in the B-sublattice.

Meanwhile, the Bethe approximation, which considers local fluctuations of the order parameter, utilizes the partition function,

$$Z_{nm} = g_{nm} \left(\frac{\epsilon + x}{1 + \epsilon x} \right)^n \left(\frac{\epsilon + x^2}{1 + \epsilon x^2} \right)^{\left(\frac{1}{2}z - 1\right)n - \frac{1}{2}m} \left(\frac{x(1 + \epsilon)}{1 + \epsilon x^2} \right)^m = g_{nm} \lambda^n \mu^{\frac{1}{2}m} \quad (2)$$

for the case of second approximation of quadratic lattice system, with

$$\lambda = \frac{\epsilon + x}{1 + \epsilon x} \left(\frac{\epsilon + x^2}{1 + \epsilon x^2} \right)^{\frac{1}{2}z-1}, \text{ and } \mu = \frac{x^2(1 + \epsilon)^2}{(1 + \epsilon x^2)(\epsilon + x^2)} \quad (3)$$

Here, g_{nm} is the weighting factor of the configuration of the first characterized by the number n of wrong atoms in the shell and the number m of pairs of unequal neighbors in it. z is the coordination number, x is the Boltzmann factor $\exp(-J/kT)$, where $J = 1/2(J_{AA} + J_{BB}) - J_{AB}$ with J_{AA} , J_{BB} , and J_{AB} , the interaction energies between the atoms A A, B B, and A B, respectively. ϵ is a factor of partition function for each wrong atom in the first shell, giving long-range interaction to it.

3. Analytic thermodynamic functions

Fig. 1 shows how Bethe's second approximation works. We choose, in the atomic lattice, an arbitrary atom as a central atom, and consider the configurations of its surrounding atoms, called as "shell"s. In the Fig. 1, the crossed circle is the central atom. The squares surrounding it are the nearest neighbor atoms of the central atom, which are called as the "first shell", and the crosses and the circles surrounding the first shell are called as the "second shell", and so on. While the first approximation only utilizes the configuration of the central atom and the first shell, and consider the outer shells as a effective field, the second approximation also uses the configurations of the second shell, which makes the approximation much more realistic.

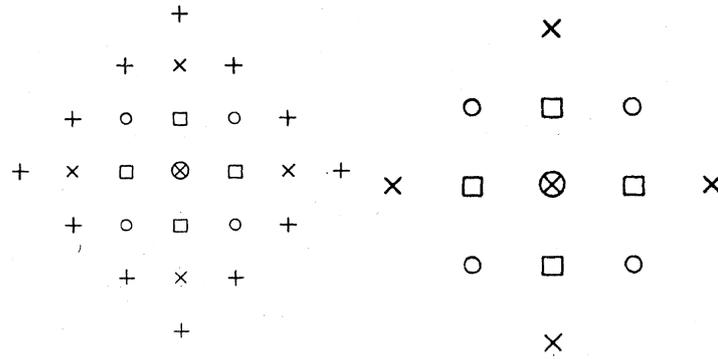


Figure 1. Bethe's approximation in the quadratic lattice.

Figure 1. Bethe's approximation in the quadratic lattice [2].

The analytic result of Bethe's second approximation for quadratic lattice is as in the following.

The partition function is

$$Z = (1 + x^4) \left\{ 1 + \left(\frac{\epsilon + x}{1 + \epsilon x} \right)^4 \left(\frac{\epsilon + x^2}{1 + \epsilon x^2} \right)^4 \right\} + 4x(1 + x^2) \left(\frac{\epsilon + x}{1 + \epsilon x} \right) \left\{ 1 + \left(\frac{\epsilon + x^2}{1 + \epsilon x^2} \right)^2 \right\} + 4x^2 \left(\frac{\epsilon + x}{1 + \epsilon x} \right)^2 \left(\frac{x(1 + \epsilon)}{1 + \epsilon x^2} \right)^2 \left\{ \left(\frac{x(1 + \epsilon)}{1 + \epsilon x^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\epsilon + x^2}{1 + \epsilon x^2} \right) \right\} \quad (4)$$

We obtained the explicit forms of the following thermodynamic functions calculated by:

$$F = -\frac{1}{\beta} \ln Z, \quad U = -\left(\frac{\partial \ln Z}{\partial \beta} \right)_{N, V}, \quad S = \frac{-F + U}{T}, \quad C = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_{N, V} \quad (5)$$

From these relations, the analytic form of each thermodynamic property was obtained explicitly. The details will be discussed in the presentation.

4. References

- [1] W. L. Bragg and E. J. Williams. Proc. R. Soc. Lond. **A 145**. 699-730 (1934)
- [2] H. A. Bethe, Proc. R. Soc. Lond. **A 150**. 552-575 (1935).
- [3] J. Y. Lee *et al.*, "On the Ising Characteristic of Bragg-Williams and Bethe Alloy Models", Kor. Mag. Soc. 2012 Summer Conference.

암염구조를 가지는 반쪽금속 CaN 과 NaN이 (001)계면을 형성할 때의 전자구조

김동철^{1*}, Beata Bialek², 이재일²

¹한라대학교 전기전자공학과, 강원도 원주시 한라대 1길, 220-712

²인하대학교 물리학과, 인천 남구 용현동 253, 인천 402-751

1. 연구동기

최근 들어, 전이금속을 포함하지 않으면서 반쪽금속성을 나타내는 강자성체가 관심을 끌고 있다. 이러한 물질로는, Kusakabe 등이 이론적으로 발견한 첨아연광 (zinc-blende; ZB)구조의 CaP, CaAs, CaSb 등이 있다 [1]. 3d 전자를 포함하는 반쪽금속에서 이종 교환상호작용이나 p-d 교환상호작용에 의해 반쪽금속성이 나타나는 것과는 달리 이들 물질은 sp 원소들만으로 반쪽금속성을 가지기 때문에 sp 형 반쪽금속이라 불린다. 또한 I-V 원소로 이루어진 질소화합물인 MN ($M=Na, K$)도 Slater-Pauling 규칙을 따르는 반쪽금속성을 가진다는 것이 보고되었다 [2,3]. 본 연구에서는 기존에 발견된 II-V 질소화합물인 CaN과 I-V 화합물인 NaN이 (001)면에서 계면을 이루고 있을 때 자성 및 반쪽금속성을 전자구조 계산을 통해 고찰하고자 한다.

2. 연구방법 및 모형

RS 구조를 가지는 NaN과 CaN이 (001)면에서 계면을 이룰 때의 전자구조를 연구하기 위해, Fig. 1 (a) 및 Fig. 1 (b)와 같은 2개의 계면구조를 고려하였다. Fig. 1(a)은 RS 구조를 가지는 NaN과 CaN이 단순한 계면을 이룰 때의 구조이고, Fig. 1(b)는 계면에서 Na와 Ca 원자가 반반씩 섞인 혼합면이 계면을 이룰 때의 구조를 나타낸다. 이들 계면계의 전자구조는, FLAPW (Full-potential Linarized Augmented Plane Wave) 방법[4]을 이용하여 계산하였다.

3. 결과 및 논의

두 계면 구조계에서 계산된 총 자기모멘트는 각기 $12 \mu_B$ 및 $24 \mu_B$ 로 정수 배의 보어마그네톤 값을 가져, 계 전체가 반쪽금속성을 유지함을 확인하였으며, 이는 계면의 존재가 이들 계의 반쪽금속성을 해치지 않는다는 것을 뜻한다.

두 계면 구조에서 각 원자들의 자기모멘트를 보면, 계면으로부터 안쪽으로 놓여 있는 N3, N4 원자 (Fig. 1(a) 참조)의 자기모멘트는 각각 0.807 및 $1.690 \mu_B$ 으로 덩치 CaN과 NaN 에서의 값인 0.843 및 $1.677 \mu_B$ 로부터 크게 달라지지 않았다. 그러나 계면에 놓여 있는 N1 및 N2원자의 자기모멘트는 안쪽 원자와 비교하여 자기모멘트 값이 다소 변화하였다. 즉, Ca1과 같은 계면에 놓여있는 N1 원자의 자기모멘트는 $0.970 \mu_B$ 로서 안쪽 N3에 비해 다소 증가한 반면 Na1과 같은 계면에 놓여 있는 N2원자의 자기모멘트는 $1.574 \mu_B$ 로 안쪽 N4에 비해 다소 작은 값을 가졌다. 양이온인 Ca의 경우 계면 Ca1의 자기모멘트 ($0.033 \mu_B$)는 안쪽 Ca2 원자 ($0.048 \mu_B$)에 비해 다소 감소하였다. CaN 쪽 계면에서 N1 원자의 자기모멘트가 안쪽에 비해 증가한 것은 이 N1원자가 NaN 쪽의 Na와 결합하게 되어 안쪽 N3원자에 비해 p 전자수가 감소한 탓이고, NaN 쪽 계면 N2 원자의 경우는 이와 반대의 이유이다. 이러한 상황은 sp 자성체에서 음이온의 자기모멘트는 결합에 참여하지 않는 p 전자에 의해 결정된다는 사실과 부합한다.

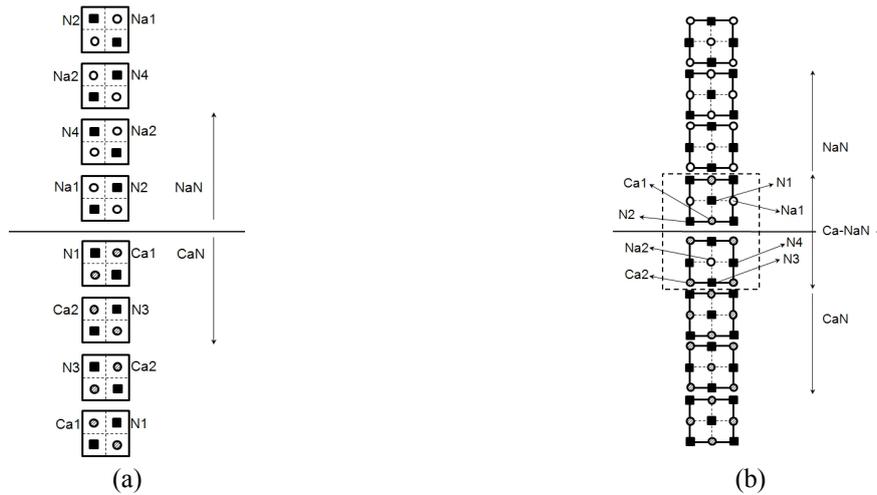


Figure 1. Geometrical structure for the RS NaN-CaN simple interface system and mixed interface system.

혼합 계면계를 보면, 계면에 놓여 있는 4개의 N 원자의 자기모멘트는 CaN과 NaN에서 각기 N 원자의 자기모멘트 값의 평균 정도를 가진다. 구체적으로 N1, N2는 각각 1.264 및 1.387 μ_B , N3, N4는 각각 1.110 및 1.266 μ_B 를 가졌다. 위 네 개의 N 원자 중에서 N2가 제일 큰 자기모멘트 값을 가지고 N3가 제일 작은 자기모멘트 값을 가지는데, N2는 아래 위층에서 모두 Na 원자와 접하여 있고 N3 원자는 아래 위층에서 모두 Ca 원자와 접해 있어서 이에 따라 머핀 톨 구 내에 가지고 있는 p 전자수가 서로 다르기 때문이다. Ca 원자와 Na 원자의 경우를 보면 NaN 쪽에 혼합된 Ca1의 자기모멘트가 CaN 쪽에 원래 있는 Ca2 보다 다소 감소하였고, CaN 쪽에 혼합된 Na2의 자기모멘트는 원래 NaN 쪽에 있는 Na 원자의 자기모멘트에 비해 증가하였다. 이러한 경향도 역시 각 원자의 머핀 톨 구내의 p 전자수와 상관이 크다.

참고문헌

- [1] K. Kusakabe, M. Geshi, H. Tsukamoto, and N. Suzuki, *J. Phys.: Condens. Matter* **16**, s5639 (2007).
- [2] E. Yan, *Physica B* **407**, 879 (2012).
- [3] Y. Zhang, Y. Qi, and Y. Hu, *J. Magn. Mater.* **324**, 2523 (2012).
- [4] E. Wimmer, H. Krakauer, M. Weinert, A. J. Freeman, *Phys. Rev. B* **24**, 864 (1981).

20kHz 자기장 노출에 의한 3차원 고해상도 인체모델의 유도전류 해석

송혜진*, 신한수, 변진규
 숭실대학교 전기공학과

본 논문에서는 대중교통수단의 무선충전에 쓰이는 20kHz 자기장에 인체가 노출되었을 때 인체 영향을 평가하기 위해 중간주파수 대역에서 유도전류 해석에 쓰일 수 있는 수치해석 기법을 제시하고, 제시된 수치해석 기법을 이용하여 3차원 고해상도 인체모델이 20kHz 자기장에 노출되었을 때의 유도전류를 계산하고 그 최대값을 구한다. 또한 3차원 고해상도 인체모델의 구조 및 조직별 전기적 특성을 분석하고 전자기장의 인체보호기준과 관련된 국제표준을 분석한다.

1. 서론

최근 무선충전방식을 적용한 대중교통수단이나 모바일 기기 무선충전 등의 다양한 분야에서 중간 주파수 대역의 자기장이 이용되고 있다. 전자파가 인체에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 이동통신 단말기 등에 쓰이는 수백 MHz에서 수 GHz 주파수 대역과 전력기기 등에 50~60Hz 저주파 대역의 저주파에 대한 것이 주를 이루었고, 이에 대한 안전규격이 ICNIRP(International Commission on Non-

Ionizing Radiation Protection, 국제비전리 복사보호위원회)와 FCC 등에 의해 설정되었다. 이에 반해 대중교통수단의 무선충전에 쓰이는 20kHz 대역의 인체영향에 대한 연구는 상대적으로 미비하다. 전자장 인체보호기준의 양대 표준인 IEEE와 ICNIRP 표준에서 중간주파수 자기장 노출기준의 차이가 존재하고 있으며, 현재 국제표준의 개정이 이루어지고 있어 향후 관련 표준 제정 시 혼란이 야기될 수 있다. 따라서 기본적인 인체전류밀도를 해석 할 수 있는 수치해석 기법을 연구하여 20kHz 대역의 저주파 자기장의 안전성을 확보하여야 한다. 그러므로 본 논문에서는 20kHz 자기장대역에 대한 3차원 고해상도 인체모델의 전류 밀도 해석 기술을 확보하고 이를 이용하여 인체유도전류의 최대값을 분석한다.

2. 인체보호기준 표준분석

	Controlled Environment(A/m)	Uncontrolled Environment(A/m)
ICNIRP 1998	24.4	5
ICNIRP 2010	80	21
IEEE C95.1_2005	490	163

표1. Reference levels for magnetic field exposure (20kHz)

표1은 IEEE와 ICNIRP 표준에서 20kHz 자기장 기준레벨(Reference level)을 나타낸 것이다. 두 기준은 일반적으로 국제 기준으로 통용되고 있다. ICNIRP는 1998년에 비해 2010년 개정된 기준이 완화되었다. 또한 IEEE에서는 표준간의 차이에서 발생하는 혼란과 문제점을 극복하고 최근에 발표된 새로운 생물학적 연구결과를

고려하기 위해 IEEE C95.1-2005 표준을 제정하였다. 이 버전에서 국부 SAR의 기본한계를 포함한 상당부분의 개정이 이루어졌으며 전체적인 개정의 방향이 ICNIRP 기준과의 조화를 추구하는 방향으로 이루어졌다.

3. 3차원 고해상도 인체모델

본 논문에서는 Virtual Family Model[1]에 포함된 Virtual Family Tool을 이용하여 인체조직 파라미터를 분석하였다. Virtual Family는 자기공명영상 어른 2명의 데이터와 어린이 2명의 데이터 등 총 4가지의 해부학적 고해상도 모델로 구성되어 있으며 조직 및 장기가 3차원 CAD 개체로 만들어져 있다. 그림 1에 본 논문에서 해석한 “Billie”인체모델의 내부 구조가 나타나 있다. Virtual Family Tool의 주요 인체조직 파라미터는 다음 표2과 같다.

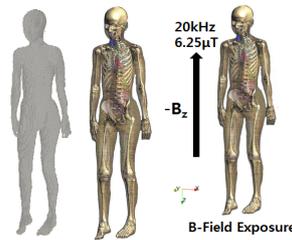


그림1. 3차원 고해상도 인체모델과 내부구조

	Permittivity ϵ_r	Electrical Conductivity σ (S/m)
Skin	1131.7	0.000214
Skull	362.076	0.020513
Muscle	18515.9	0.06072
Liver	5489.32	0.531337
Stomach	15521	0.34488

표2. The tissue parameter Human Model

또한 준정적 FDTD 프로그램을 인체유도전류 계산에 적용하여 20kHz 대역에서 자기장에 노출된 경우의 인체유도전류를 계산하였다. 각각의 노출 시나리오에서 자기장의 방향과 세기는 1998년 ICNIRP 인체보호 기준에서 정의된 일반인 20kHz 자기장 기준레벨을 근거로 정했다. 즉 20kHz 주파수 대역에서 자기장 노출의 경우는 발쪽에서 인체의 키 방향으로 들어오는 -z방향 6.25 μ T의 세기를 갖는 자기장을 소스로 사용하였다.

4. 유도전류 계산 결과

본 연구에서 사용한 인체모델은 신장 148cm, 약 75개의 조직으로 분류되어 있으며 각각의 조직에 대해 C. Gabriel의 연구에 의해 알려진 유전율과 도전율을 지정하였다 [2].

20kHz 자기장에 노출된 경우 인체유도전류의 y축에 방향에 따른 z-y 분포는 그림2와 같다. 그림을 보면 자기장 노출의 경우 인체유도전류의 최대값은 몸통 중심부분에서 나타났다. 이때 최대값은 약 0.105mA이다. 이 결과는 IEEE기준 20kHz 자기장의 일반인 유도전류 기준인 9mA의 2%미만 수준이다.

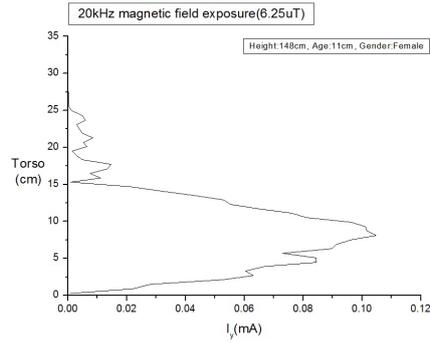


그림2. 20kHz 주파수 자기장 노출시 y축 방향에 따른 인체유도전류의 분포

5. 결론

본 연구에서는 저주파대역 기본적인 인체 전류밀도해석을 위해 준정적 FDTD 알고리즘을 이용한 소프트웨어를 개발하고 인체유도전류를 해석하였다. 그리고 20kHz 주파수에 대하여 3차원 인체모델의 인체유도전류를 계산하고 전류밀도 분포해석 및 최대값을 분석하였다. 본 연구는 20kHz 자기장의 인체 안전성에 대한 연구가 부족한 시점에서 대중교통 무선충전시스템의 상용화에 도움을 줄 수 있을 것으로 전망된다.

6. 참고문헌

- [1] <http://www.itis.ethz.ch/services/anatomical-models/overview/>
- [2] S. Gabriel, et al., "The dielectric properties of biological tissue", *Phys. Med. Biol.*, vol. 41, pp. 2271-2293, 1996.

전자장 흡수용 자성시트의 와전류손실 시뮬레이션 (Simulation of Eddy Current Loss for Absorption of EM Noise)

문수진*, 장평우
청주대학교

1. 서론

최근 테블릿PC, 스마트폰 등 다양한 전자기기의 보급이 증가함에 따라 수십 MHz 대역에서 발생하는 근자장 노이즈를 자성분말을 고분자수지에 분산시킨 자성시트로 흡수하는 연구가 활발하다 [1]. 노이즈를 흡수하는 기구로는 이력손실, 와전류손실, 강자성공명손실, 자벽공명손실 등이 있다. 통상 공명손실은 수 GHz 또는 수십 GHz대역에서 일어나므로 수십 MHz에서의 흡수는 이력손실이나 와전류손실에 기인할 것이라 예상된다 [2]. 본 연구는 수십 MHz영역의 노이즈를 자성시트로 흡수할 때 자성입자의 두께, 비저항, 크기, 형상, 입자와 입자 사이의 절연층 두께에 따른 와전류손실을 유한요소법으로 수치해석하였다.

2. 수치해석

수치 해석에 상용프로그램인 Vector Field 사의 OPERA (version 15)를 사용하였다. 자성시트에 분산된 자성분말로 비저항이 큰 Fe-4.5%Si을 사용하였다. 자성입자의 크기는 $50 \times 50 \times 2 \mu\text{m}$ 이고, 입자와 입자사이의 절연층 두께는 $0.2 \mu\text{m}$ 로 한 층의 입자의 갯수와 자성층 수를 최적화하였다. 흡수용 자성시트에 크기가 약 1 A/m , 주파수가 13.56 MHz인 자기장을 전류환선을 이용해 인가하였다.

3. 결과 및 고찰

그림1은 자성시크와 전류환선을 배치시킨 모양을 나타낸 것이고, 그림2는 전류환선과 반대편에 있는 자성층에서 입자내부의 전류밀도를 나타낸 것이다. 그림 2에서 자성입자의 비저항에 비해 인가한 자기장의 주파수가 높아 환형의 전류가 입자 바깥부분에 유도되고, 반면에 내부에는 와전류가 매우 약한 것을 알 수 있다. 이러한 거동은 표피효과(skin depth effect)로 잘 이해될 수 있으며 입자의 비저항이 매우 낮을 경우 skin depth가 작아 입자 전체에서 흡수가 일어나지 않고 단위 체적 당 와전류

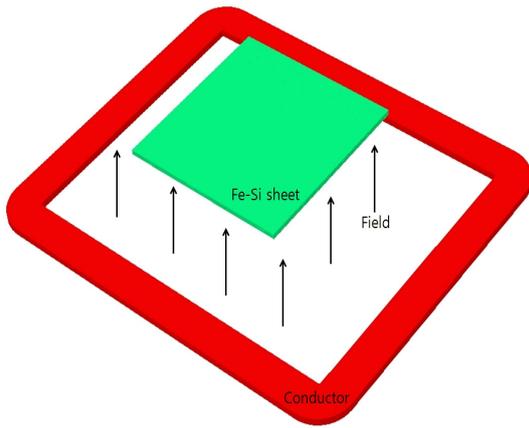


Fig.1 Fe-Si sheet model for the FEM analysis

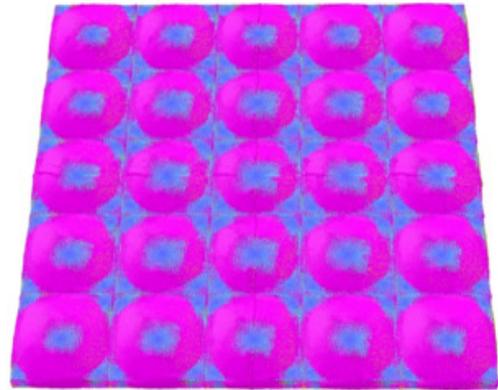


Fig.2 Current density distribution for the Fe-Si absorber

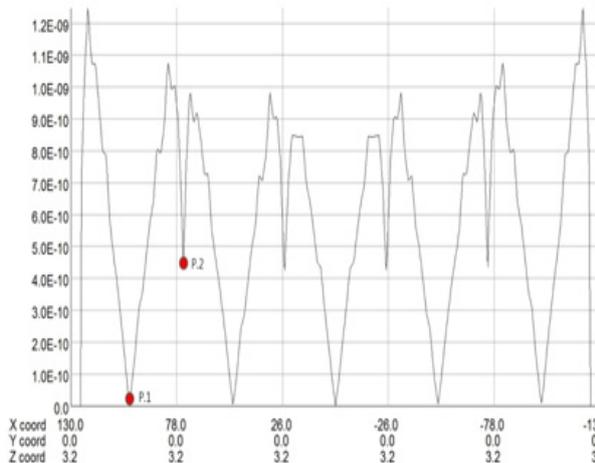


Fig. 3 Eddy current density distribution along the x-axis (Time angle = 0°)

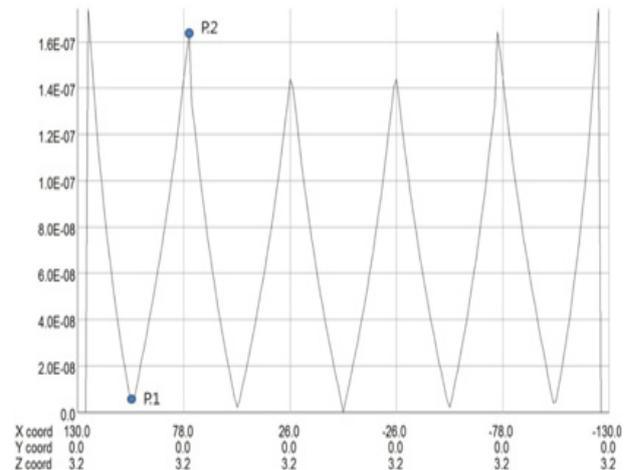


Fig. 4 Eddy current density distribution along the x-axis (Time angle = 90°)

손실이 작아진다. 반면에 비저항이 높을 경우 자기장은 입자내부까지 침투하여 입자전체에서 흡수가 일어나나 높은 비저항으로 말미암아 유도된 와전류의 크기가 작아져 손실역시 줄어들 것으로 예상된다.

그림 3과 4는 표피효과를 도식적으로 나타낸 것으로 각각 위상이 0와 90°인 경우이다. 표피효과의 정량적 계산식에 의하면 자화는 깊이에 따라 표면 자화의 크기에 비해 지수함수의 역수로 감소하므로 와전류손실은 지수함수 역수의 제곱으로 감소한다. 그림 4에서 입자 중심, 특히 가운데 입자의 경우 와전류가 없다. 비저항이 높을 경우 입자전체에서 손실이 일어나므로 적당한 비저항을 가질 경우 입자전체에서 손실이 발생하여 흡수효율을 높일 수 있으며 현재 해석 중에 있다.

이 외에도 입자층 수, 입자의 형상 등의 영향을 발표할 것이다.

6. 참고문헌

- [1] 노태환 · 김주범, FeSiCr/폴리머 복합 시트의 전자파 흡수 특성에 미치는 시트 두께의 영향 (2010)
- [2] 金紋奭, NiZn 계 ferrite와 FeSiCr의 전자파흡수체 특성 연구 (2009)

Current-induced Domain-wall tilting in Ferromagnetic Nanowires with Perpendicular Magnetic Anisotropy

Sang-Cheol Yoo^{1,2*}, Kyoung-Woong Moon¹, Kyung-Ho Shin²,
Byoung-Chul Min² and Sug-Bong Choe¹

¹Department of Physics, Seoul National University

²Center for Spintronics Research, Korea Institute of Science and Technology

Magnetic thin films with perpendicular magnetic anisotropy (PMA) provide useful features for application to the domain-wall-based memory devices such as the magnetic random access memory and the racetrack memory [1]. To achieve a high domain-wall speed for fast operation, it is crucial to inject a high current density into the devices. However, such high current density also induces sizeable Oersted field inside the devices, which in turn affects the domain-wall configuration.

In this study, we have derived an analytic prediction on the domain-wall deformation caused by the Oersted field, using the variational principle to get the energy minimum state. An exact solution on the tilting angle of the domain wall is then achieved as a function of the current density, the wire geometry, and the magnetic properties. The tilting angle increases as the current density increases, and, at a certain current density, the domain becomes split into bi-domains across the nanowire. This is related to the upper bounds of both the feasible current density and the maximum data storage density. We have confirmed the validity of the theory by comparison with the micromagnetic simulations.

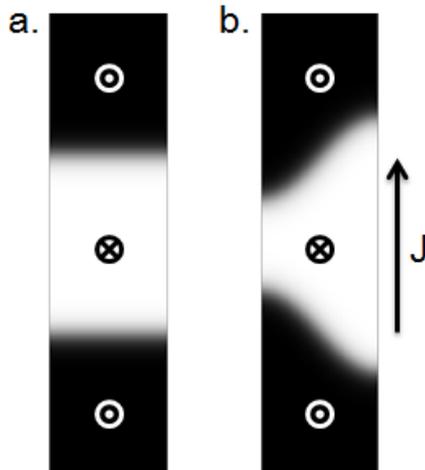


Fig. 1. Illustrations of (a) the initial domain state and (b) deformation of the domain-wall after the injection of current

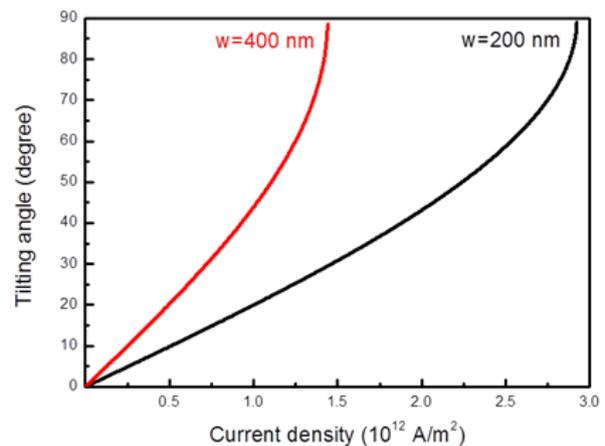


Fig. 2. Domain-wall tilting angle at the center of the nanowire as a function of the current density for the different wire widths

참고문헌

- [1] S. S. P. Parkin *et al.*, Science **320**, 190 (2008)

Electronic Structure and Magnetism of Alloying Elements Substituted B2 FeAl Intermetallic Compounds: A Density Functional Study

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 iron aluminides based on Fe₃Al (D0₃-type) and FeAl (B2-type) intermetallic compounds have been the subject of intense study due to their potential technological and industrial applications. In particular, the B2 ordered Fe-Al intermetallic compounds are being investigated since their intriguing properties such as, low density, good corrosion resistance, good thermal conductivity, and low material cost, and so on. Moreover, these materials have excellent soft magnetic properties. However, it is known that these systems have low ductility and brittle fracture toughness at ambient temperatures. In order to improve their mechanical and magnetic properties, recently several studies are in progress on alloying element additions into Fe-Al alloys, but few investigations are presented [1]. Therefore, there is a need for a systematic first-principles study on fundamental thermodynamic and magnetic properties of transition metal (TM) substituted B2 ordered FeAl intermetallic compounds. In this work, we used the all-electron full-potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method [2], well known for its most suitable in magnetic system calculation.

2. Computational Model and Method

In the present calculations, we used the various alloying elements (*3d* and *4d* TMs) substituted 2×2×2 supercell (contained 16 atoms) of the B2-FeAl structure. This composition corresponds to a alloying element content of 6.25 at.%. In order to find preferential site stability, we consider the alloying element substitute into a Fe or Al site. Note that there are only two nonequivalent sites (denoted as Fe- or Al-site). In the FLAPW calculation, the generalized gradient approximation (GGA) [3] for the exchange correlation potential was used. An energy cutoff of 4.5 ($2\pi/a$), where a is the lattice parameter, was employed for expanding the linearized augmented plane wave basis set. An 18.0 ($2\pi/a$) 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. Integrations inside the Brillouin zone (BZ) were performed using the improved tetrahedron method over a 13×13×13 mesh within the three-dimensional (3D) BZ.

3. Results

In order to determine preferential site occupations of alloying elements in the B2 FeAl, we calculated the formation enthalpy ΔH , which also can be understood as the relative stability. As a result, it was shown that the

early $3d$ and $4d$ TMs would occupy Al-site, whereas the late $3d$ TMs would occupy Fe-site, from the formation enthalpy calculation. In addition, we found out that the formation enthalpy of Ti, V, Co, Ni, Zr, and Nb substituted Fe-Al systems are lower than that of binary B2 FeAl. This means that these elements show good solubility in B2 ordered Fe-Al system. On the other hand, Cr, Mn, Cu, Zn, and Mo elements seem to disturb forming of B2 ordering.

In Table I, we list calculated spin magnetic moments for $3d$ and $4d$ TMs substituted B2 FeAl. In the Cu substituted system, it is interesting to find out that even though the starting spin configuration is set to a ferromagnetic, the self-consistent calculation is converged to the nonmagnetic state. Moreover, the Sc substituted system has the highest total magnetic moment.

Table I. The calculated spin magnetic moments (in units of μ_B)

TM	Stable Site	Magnetic Moments			
		TM	Fe atom	Al atom	Total
Sc	Al	-0.122	0.845	-0.039	6.233
Ti	Al	-0.211	0.708	-0.029	5.117
V	Al	-0.292	0.583	-0.022	4.122
Cr	Al	-0.339	0.456	-0.015	3.109
Mn	Al	1.968	0.557	-0.030	6.192
Fe	-	-	0.771	-0.031	5.869
Co	Fe	0.040	-0.601	0.027	-4.690
Ni	Fe	0.061	0.634	-0.027	4.429
Cu	Fe	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	Fe	0.296	-1.205	0.009	-3.060
Zr	Al	-0.139	0.710	-0.034	5.169
Nb	Al	0.142	-0.557	0.024	-4.060
Mo	Al	-0.128	0.412	-0.017	2.982

4. Summary

In this study, the thermodynamic and magnetic properties of alloying element substituted B2 FeAl systems have been investigated using the all-electron FLAPW method based on the GGA. It was shown that the important changes take place in the structural properties as well as in the magnetism when alloying element is substituted by Fe or Al site in B2 FeAl. Detailed discussion on the thermodynamic and magnetic properties and electronic structure of these intermetallic compounds will be given.

5. References

- [1] P.-H. Chen, *et al.*, Metall. Mater. Trans. A **43A**, 757-762 (2012).
- [2] E. Wimmer *et al.*, Phys. Rev. B **24**, 864 (1981); M. Weinert, *et al.*, *ibid.* **26**, 4571 (1982).
- [3] J. P. Perdew *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77**, 3865 (1996); *ibid.* **78**, 1396 (E) (1997).

Epitaxial Growth and Magnetic Properties of Fe/MgO/InAs(001) Heterostructures

Jeong Hong Jo^{1,2*}, Yoon Jae Nam¹, Kyung Ho Kim^{1,2}, Hyung Jun Kim², Joon Yeon Chang², Jin Pyo Hong³, and Sang Ho Lim¹

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

²Spin Convergence Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

³Department of Physics, Novel Functional Materials and Devices Laboratory, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Electrical injection of spin-polarized electrons from a ferromagnetic metal (FM) into a semiconductor (SC) has great interest in the application of spintronics. The epitaxially grown MgO tunnel barrier between FM and SC has been widely introduced to overcome the conductivity mismatch that prevents efficient spin-polarized electron transfer from FM to SC. Recently, the use of alternative SC substrates is introduced to improve the efficiency of spin-polarized electron transfer. Among the SC substrates, we focus on InAs substrate due to long spin relaxation time and large spin-orbit coupling strength. In the previous study¹⁾, the microstructural evolution of epitaxial Fe/MgO layers grown on InAs(001) with respect to MgO growth temperature was investigated. However, the relation between structural properties and magnetic properties was not shown clearly. In this study, 4 nm thick MgO thin films and the subsequent 7 nm thick Fe layers were grown on InAs(001) substrates by a molecular beam epitaxy system and magnetic properties was measured by a vibrating sample magnetometer. Figure 1 shows the hysteresis loops for Fe/MgO/InAs thin film. It is well known that the thin Fe two dimensional layer shows magnetization switching including both domain wall motion and magnetization rotation. On the other side, when the magnetic field is applied perpendicular to the film plane, magnetization reversal takes place by only magnetization rotation. From the results, we investigate the detailed relation between the microstructures and magnetic properties by using energy equation with single domain assumption²⁾.

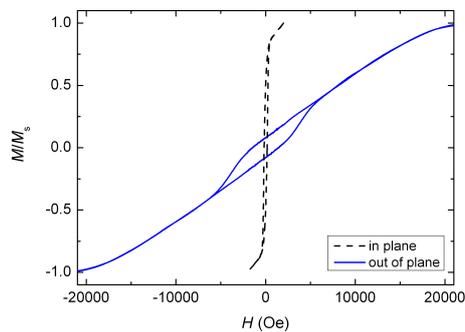


Fig 1. VSM hysteresis loops of the Fe/MgO/InAs with the MgO layer grown at 200°C.

Reference

- [1] K. H. Kim *et al.*, Cryst. Growth Des., **11**, 2889 (2011).
- [2] Y. J. Nam and S. H. Lim., Thin Solid Films, **519** 8256 (2011).

NiFe 박막의 두께에 따른 강자성공명 특성 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

강자성 공명(ferromagnetic resonance, FMR)은 강자성 박막 재료의 자기이방성 상수, 다층박막의 층간 결합력, 교환 바이어스 및 g-factor을 결정하기 위하여 널리 사용되고 있다. 강자성 공명 신호는 강자성체의 자구를 형성하는 자구모멘트의 세차운동 주파수와 마이크로파 주파수가 공명조건이 되었을 때 마이크로파 에너지를 흡수하는 특성을 이용하여 측정된다. 마이크로파 주파수를 고정한 경우 강자성 공명 조건은 특정한 자기장의 세기에서 일어나며, 흡수된 파워(P)를 자기장(H)로 미분한 신호 특성 (dP/dH)을 강자성 공명 신호라고 한다. 또한 강자성 공명 선폭 ΔH_{pp} 는 FMR 신호가 최대가 되는 자기장과 최소가 되는 자기장의 차이로 정의된다. 이러한 ΔH_{pp} 는 강자성 공명 신호의 고유한 Gilbert 감쇠(damping)특성에 기인하는 $\Delta H_{intrinsic}$ 와 재료의 비균질 자성 특성에 의하여 유기된 ΔH_{inhom} 의 합으로 해석된다. 본 연구에서는 NiFe 박막의 두께에 따른 강자성 공명신호를 측정하여, 이들 결과로부터 NiFe 박막의 두께에 따른 유효 자화량 및 ΔH_{pp} 의 특성 변화를 spin-chain 모델을 이용하여 분석하였다.

2. 실험방법

NiFe 박막 시료는 고진공 DC 스퍼터링 챔버에서 Si기판 위에 상온 증착하였다. 이때 하부층으로는 Ta(5 nm)를 사용하였으며, 시편의 산화를 방지하기 위한 상부층으로 Cu(5 nm)를 증착하였다. 시료의 적층구조는 Ta/NiFe(x nm)/MgO(2 nm)/Cu로 제작하였다 ($x = 20, 10, 7, 5$). 또한 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호(FMR signal)는 FMR 측정 장치인 Bruker Xerp를 사용하여 9.89 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다. 또한 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호(FMR signal)는 FMR 측정 장치인 Bruker Xepr를 사용하여 9.89 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다. 박막 재료의 수직면(out-of-plane)에서 자기장의 방향에 따른 FMR신호를 측정하였으며, 이들 결과로부터 자기장의 방향에 따른 H_{res} 과 ΔH_{pp} 를 도출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 두께가 20 nm인 NiFe 박막 재료의 자기장 방향에 따른 H_{res} 의 ΔH_{pp} 변화 특성을 보인다. Fig. 1의 실선은 계산 결과이며, 이들 계산으로부터 두께가 20 nm인 NiFe 박막의 M_{eff} 는 823.5 emu/cc,이고 g-factor은 2.112이며, 감쇄상수 α 는 0.0062임을 얻었다. 20 nm NiFe 박막의 ΔH_{pp} 는 감쇄상수에 의하여 설명되고 있다. Fig. 2는 NiFe 박막의 두께가 감소함에 따라서 유효 자화량이 감소하고, 강자성공명 선폭이 증가하는 경향을 보인다. 두께에 따른 이러한 특성 변화는 박막의 표면 이방성에너지에 기인한다. 즉 NiFe 표면에서는 표면에 수직인 방향으로 이방성 자기장이 형성되며, 유효 자화량을 감소시키는 역할을 한다. 표면에서 형성된 수직 방향의 이방성 자기장은 국부적으로 자화 방향을 변화 시키고 따라서 자기공명 선폭의 증가 요인이 된다. 이러한 유효 자화량 감소 및 자기공명 선폭의 증가 요인을 분석하기 위하여 자기장의 방향에 따른 국부적인 자화 변화의 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국부적인 자화변화를 분석하기 위하여 spin-chain 모델을 이용하였다. 두께에 따른 NiFe 박막의 유효 자화량 변화를 분석하는데 이들 결과를 이용하였다. 강자성 공명 신호의 선폭변화는 표면 이방성에 의하여 유기된 ΔH_{inhom} 의 영향임을 발표할 예정이다.

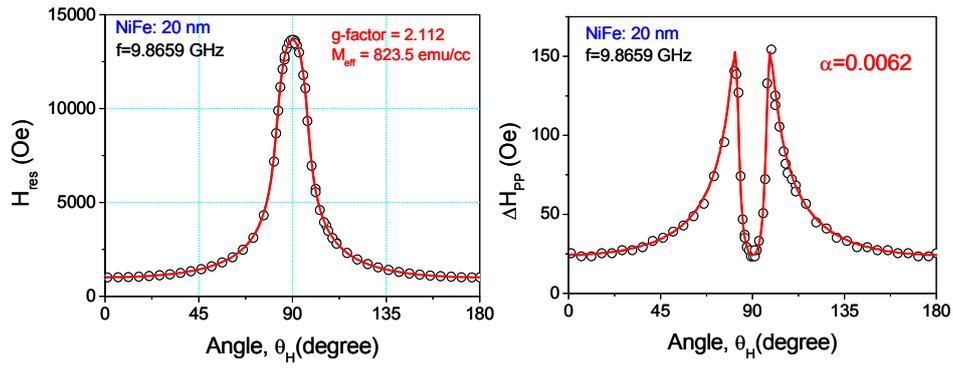


Fig. 1. H_{res} and ΔH_{PP} with magnetic field angle in NiFe thin film ($t=20$ nm)

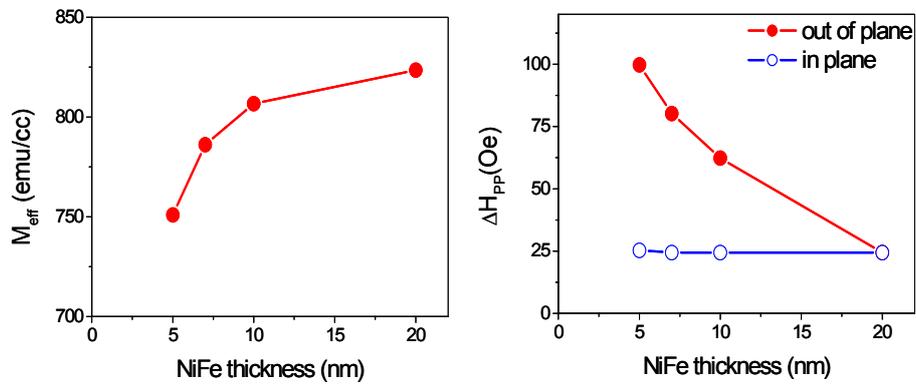


Fig. 2. M_{eff} and ΔH_{PP} with thickness of NiFe thin film

4. 참고문헌

- [1] S. Yuan, et. al, J. Appl. Phys. **101**,113915,(2007).
- [2] S. Yuan, et. al, J. Appl. Phys. **105**,063902,(2009).
- [3] S. Misukami, et.al, Jpn. J. Appl. Phys. **40**,580,(2001).

Growth Temperature Dependent Magnetic Properties in Epitaxial Co Thin Films

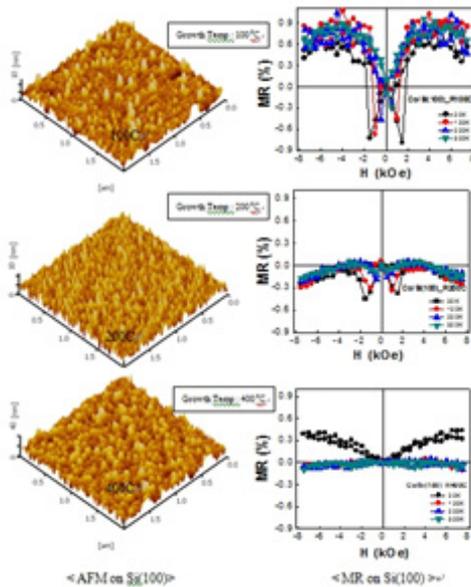
Seungmok Jeon*, Duong Anh Tuan, Yooleemi Shin, and Sunglae Cho
Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

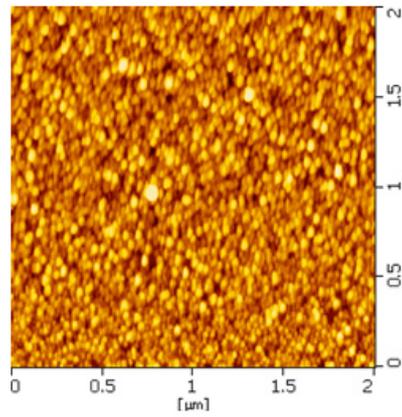
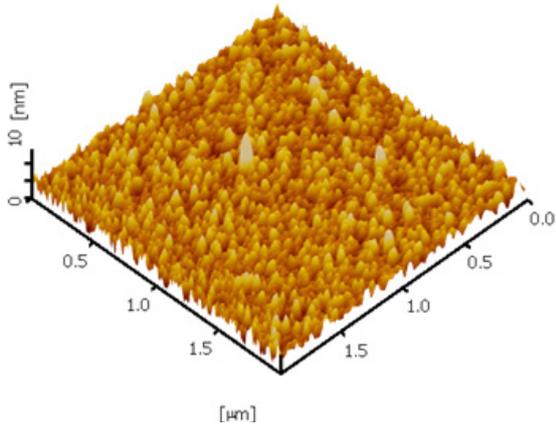
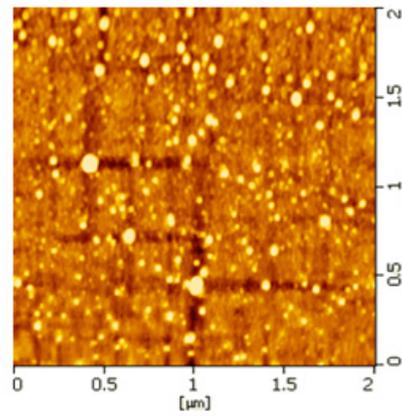
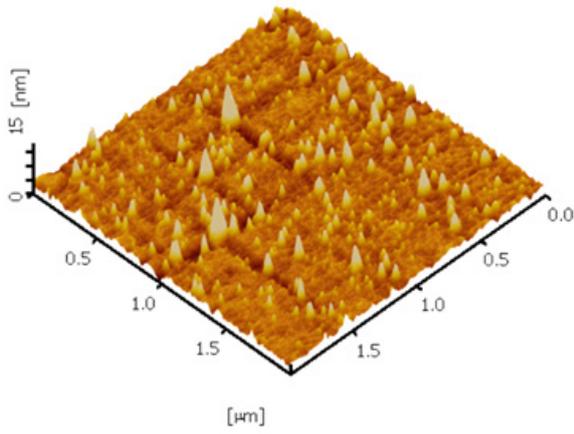
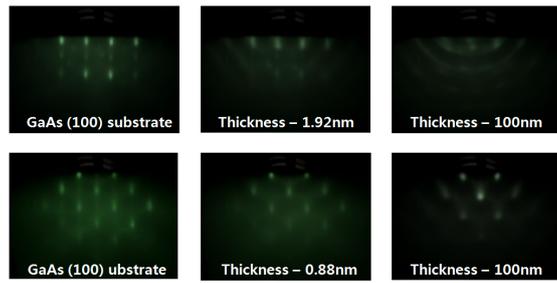
Co is one of ferromagnetic materials which has been used in real applications such as magnetic data storage, spin valve and microelectronic devices because Co plays an important role due to high spin polarization of carriers at Fermi level [1, 2]. In this work, we report the magnetic properties of Co thin films grown on GaAs(100) substrates grown at RT, 100°C, 200°C via molecular beam epitaxy (MBE).

Temperature dependent resistivity showed metallic behavior. The magnetoresistance (MR) measured under the out of plane magnetic field showed that a high positive transverse MR effect was observed in Co thin film grown at 100°C and reduced with the increase of growth temperature. We will discuss in detail about substrate and growth temperature dependent magnetic properties in epitaxial Co thin films.

참고문헌

- [1]. K. G. Nath, F. Maeda, S. Suzuki, Y. Watanabe, **J. Appl. Phys** 90 ,3 (2001)
[2] A. Sharma, R. Brajpuriya, S. Tripathi, D. Jain, R. Dubey, T. Shripathi, S.M. Chaudhari, **J.Mat. Sci. Eng B** 130, 120–125, (2006)



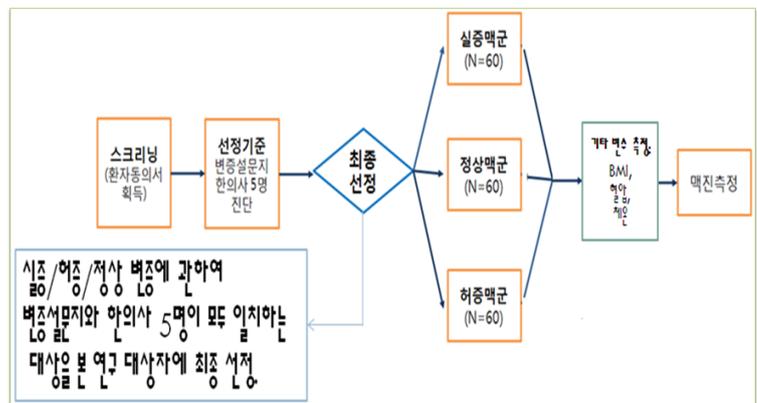


홀소자 집게형 맥진기로 획득한 허맥과 실맥의 파형 분석 (Analysis of Weakness and Strongness Pulse Waveforms Acquired by Clip-type Pulsimeter with Hall Device)

이남규^{1*}, 허준이¹, 김근호¹, 손일호², 최종구¹, 이상석¹
¹한방의료공학과, 보건과학대학, 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 산 660번지
²(주)신명정보통신, 서울시 금천구 가산동 SK트윈타워 705호

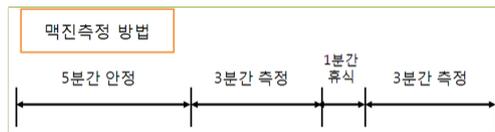
1. 서론

맥진은 한방 병원에서 많이 이용되는 진단 방법이나 한의사들의 임상적 경험, 숙련도, 상황에 따라 맥진의 결과가 상이하게 나타날 수 있다. 이에 하고자 하는 연구는 KGMP(Korea Good Manufacturing Practice; 한국 우수 의약품 제조 및 품질 관리 기준)를 통과한 홀소자가 구비된 집게형 맥진기를 임상시험을 통해 각 허맥군, 평맥 군, 실맥 군의 맥파 정보를 측정 한 후 데이터를 통계 처리 및 분석하여 상관인자를 정하고 결과에 따른 허맥, 평맥, 실맥의 진단지표를 도출하고자 한다. 추후 맥상, 측정 변수 및 진단 결과를 보여주는 소프트웨어를 개발 하고자 한다. 허맥, 실맥, 지맥, 삭맥은 다음과 같이 간략하게 구분된다. 허맥-허공을 누르는듯 연하고 힘이 없는 맥, 실맥-힘이 있는 맥, 지맥-한 호흡에 세번 뛰는 느린 맥(1분 60회 이하), 삭맥-한 호흡에 다섯번 이상 뛰는 빠른 맥(1분 90회 이상). 또한 허실맥 판정은 일본에서 유래한 허실판정 진단 지표로서 임상 연구 참여를 희망하는 대상자에게 설문지를 받은 후 적합한 대상에게 연락을 하여 한방 병원에서 정식으로 임상 연구를 시행한다.



2. 임상시험 방법

식품의약품안전청 IND 승인 후 상지대학교 부속 한방병원 IRB에 프로토콜 승인 이후 임상 시험을 실시한다. 대상자를 모집한 후 본 임상연구에 관하여 충분히 설명한 후 자발적 동의를 받고 실시한다. (그림 참조)



3. 임상시험 기기

형명-SPULS-2011(홀소자가 구비된 집게형 맥진기):피부표면에 영구자석을 밀착시키면 요골동맥의 수직 변위에 따른 자석의 위치도 변하게 되면서, 자석의 변위에 따라 일정 거리에 있던 홀센서에 받아들여지는 자기장의 세기도 변하게 된다. 이렇게 변하는 자기장에 대해 홀 센서는 전압신호로 변환한다. 즉, 맥진기는 변환된

전압신호를 분석한다.

형명-SPULS-2012-SW-1:임상용 집계형 맥진기 파형저장 프로그램으로서 맥진기와 연결하여 사용하며, 데이터 전송 속도는 초당 115200 비트이며, 1분간 60000개의 데이터를 텍스트 문서에 60000행 1열 형식의 Amplitude 값으로 저장한다. 초당 비트 수(보레이트)와 저장할 데이터 수(측정 건수)는 정할 수 있으나 임상연구에는 사용하지 않는다. (오른쪽 그림 참조)

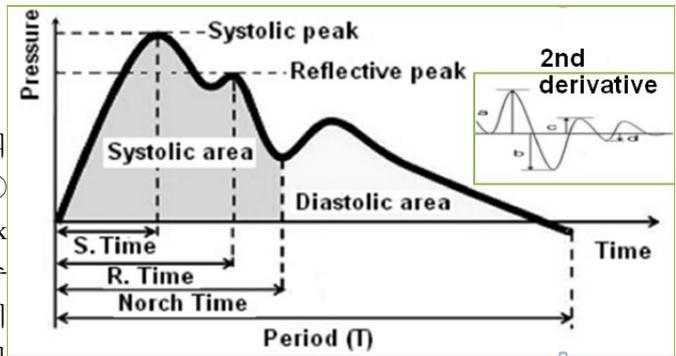


4. 임상시험자 대상과 선정기준

임상시험 대상자는 허맥군 60명 (남 30명/ 여 30명), 실맥군 60명 (남 30명/ 여 30명), 평맥군 60명 (남 30명/ 여 30명)으로 하며, 선정 기준은 만 19세 이상~75세 이하의 성인으로 제외기준에 해당하지 않는 자, 변증 설문지의 변증과 한의사 5명의 변증 및 맥상 진단이 일치하는 자로 정한다.

5. 맥파의 주요인자와 허맥/실맥 변별

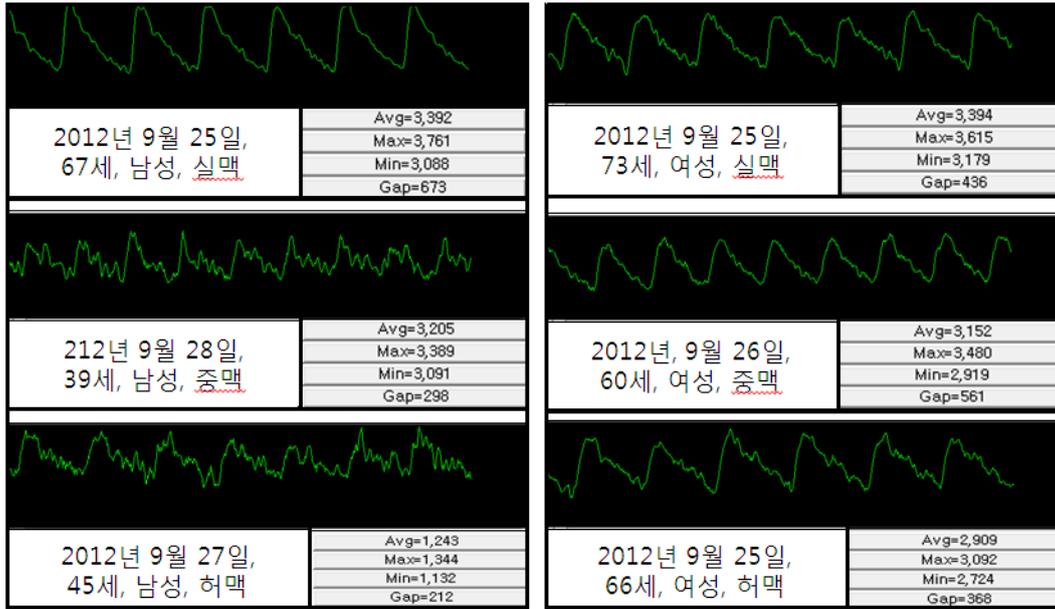
허맥, 평맥, 실맥의 맥파의 크기는 (1) 맥파의 Amplitude 값의 크기 및 시간으로 구분하여 ① Systolic peak amplitude, ② Reflective peak amplitude, ③ Norch amplitude, ④ 승각 시간, ⑤ 승각 기울기, ⑥ 반사파 시간, ⑦ 절흔 시간, ⑧ 전체 시간(주기)와 (2) 맥파 2차미분파의 b/a의 비율, 그리고 (3) 맥파 기타 구역별 값의 크기로 정의한다. (오른쪽 그림 참조) 그리고 기타 변수로는 BMI (Body Mass Index; kg/m^2), 체질 검사, 혈압, 체온이 있다.



허실의 개념은 맥진기에서 Amplitude 값의 크기로 나타날 수 있다. Amplitude값의 크기는 2차 미분파에서 승각시간 (상승시간)과 상승하는 기울기에 비례한다고 판단된다. 허실을 변별하는 설문지와 5명의 한의사가 판단한 결과가 일치하는 경우, 허와 실을 변별한 후, 맥파 형의 특성을 분류하여 특징을 관찰한다. 기타 변수는 맥파의 값들과 기타 평가 변수의 상관관계를 측정하기 위하여 보조적으로 측정한다.

6. 대표적인 허맥과 실맥 파형 모양과 분석

측정한 data는 60000행 1열의 Amplitude 값으로 텍스트 문서에 저장되며, 추후 임상 data를 분석하는 프로그램 제작할 예정이다. 프로그램이 1차, 2차, 3차 미분이 가능해지면 미분 파형과 위에서 언급된 측정변수를 얻을 수 있으며, 이러한 데이터를 이용하여 분석 및 통계 처리 하여 결과를 아래 그림처럼 원래의 맥진파형과 함께 도출한다. 여기서 Amplitude의 Avg=평균값, Max=최대값, Min=최소값, Gap=최대값과 최소값의 차이를 나타낸다.



※ 본 연구는 보건복지부의 지원을 받아 수행하고 있는 한의약선도 기술과제의 한방의료기기개발과제 (B100030)에 대한 연구결과이다.

Blood Velocity and Pulse Wave Velocity by using ECG-PPG-Radial Artery Pulse Wave Equipped with Magnetic Hall Device

Joo-Hyung Lee*, Jae-Yeon Lee, Jun-Yi Hur, Nam-Kyu Lee, Keun-Ho Kim, Jong-Gu Choi, and Sang-Suk Lee

Dept. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Woosan-dong, Wonju-si, Gangwon-do

Through U(Ubiquitous)-health care era of the new medical paradigm has arrived, a confined diagnosis and treatment of existing medical services is expected now be expanded into the realm of real-life. Overseas global IT companies as Intel, IBM, etc predicted an advent of U-health care era are preparing the expansion of business to the east business line already. Thereby, the technical development to domestic companies is needed. U-health care is not only important as a new growth industry for next generation, but it can be the primary means of reduction for medical expenses in the nation's that economy keep increasing the medical expenses for the elderly by elderly society. Thus, development research of a wearable medical device which is able to analyze the U-health care's bio-signal of blood velocity is required.

In this study, we used clip-type pulsometer which is fixed a permanent magnet on radial protrusion of wrist indicating pulse wave that hall device is sensing the change of magnetic field by work of radial artery. In other words, the hardware system detecting the voltage signal was applied through equipping the hall device right upper side after sticking a permanent magnet in the center of radial artery which is "Chawn". We developed the system that measures PRG and PPG simultaneously connecting with clip-type pulsometer and PPG measuring equipment and researched capabilities and measurement of blood velocity through analyzing measured PRG and PPG simultaneously. The measured result of blood velocity that gained by simultaneous measurement system of PPG and clip-type pulsometer was indicated 0.8 m/s and it became to be the grounds of being a bio-signal which can do monitoring. PRG-PPG hereby can be applied from simultaneous display monitor apparatus for patient to principal clinical parameter. This finding showed us using possibility of U-Health care Bio-monitoring system indicating continuous blood pressure and pulse measurement data by measuring the blood velocity using unpressured type conveniently with a PPG connection and furthermore analysis algorithm of pulse wave.

Fig. 1(a) is the explanation of functional several parts of and Fig. 1(b) schematic of the basic structure of a typical clip-type pulsometer. Here is one form of the radial artery pulsometer's pulse-sensing and skin-contacting parts by using Hall device and permanent magnets, respectively. The pressure chamber between the skin-contacting and pulse-sensing parts is full of air. The status of working stages; Fig. 1(c) pulse measurement and Fig.1 (d) data process and results display.

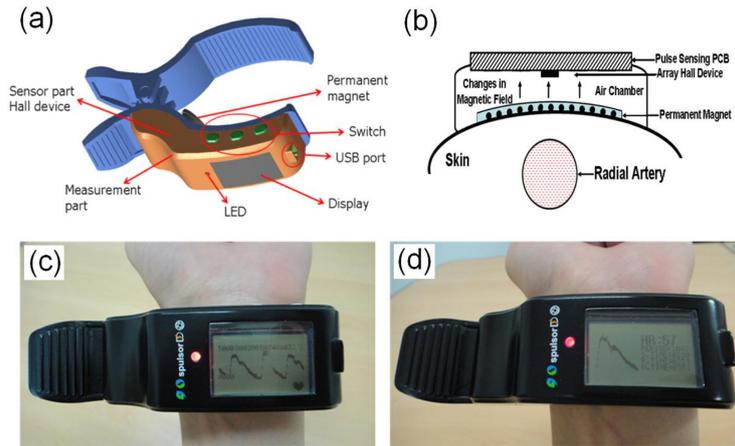


Fig. 1.

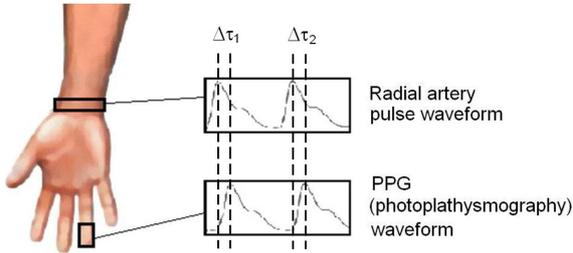


Fig. 2

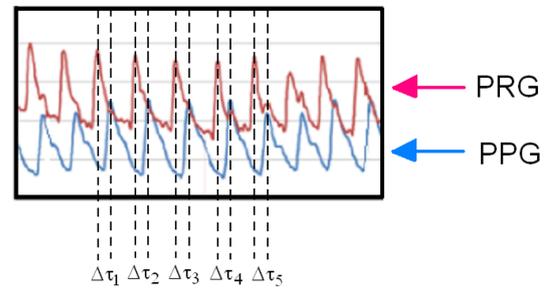


Fig. 3

Fig. 2 is a schematic of three dimensional motion of radial artery. Relationship of arterial pulse's motion, ECG (electro cardiograph) and blood flow of radial artery according to the cardiac cycle. Fig. 3 is two differently PRG (pulse of radial artery graph) and PPG signals obtained by the simultaneous measurements from clip-type pulsimeter and PPG meter mounted with left hand wrist and finger. Here $\Delta\tau_i$ is time interval measured from i th phase difference of two pulse waveforms. The analysis of blood velocities in ascending order of Fig. 3(a) systolic blood pressure, Fig. 3(b) diastolic blood pressure, Fig. 3(c) heart rate, and Fig. 3(d) pulse rate measured from clinical 40 participants. The average value of blood velocity is about 0.8 m/s.

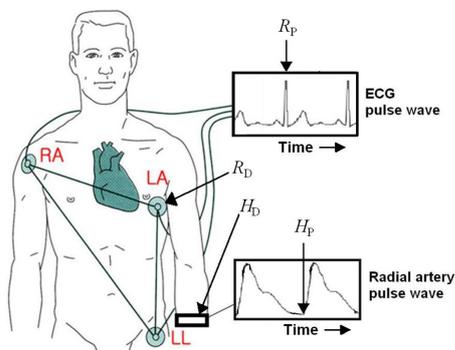


Fig. 4

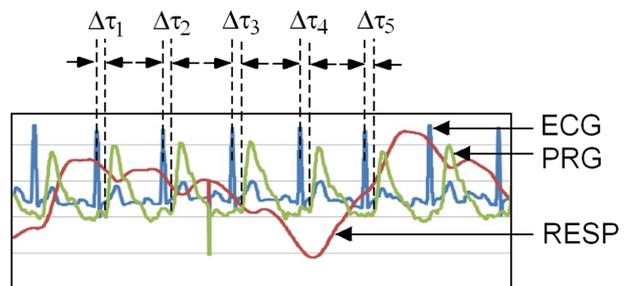
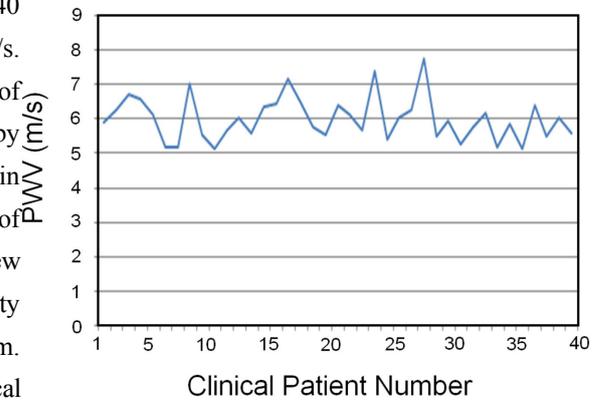


Fig. 5

Fig. 4 is configuration of ECG and radial artery pulsometer for the measurement of PWV. Here RP , RD , HP , and HD are maximum peak of ECG pulse wave, distance of heart position, starting point of radial artery pulse

wave, and distance of radial wrist position, respectively. Fig. 5 is ECG, PRG, RESP signals obtained by the simultaneous measurements from ECG meter and clip-type pulsometer mounted with I, II, III and axis for the standard (anode) limb lead and a left hand wrist, respectively. Here $\Delta\tau_i$ is time interval measured from i th phase difference of two pulse waveforms.

Fig. 6 is the analysis of PWV from clinical 40 participants. The average value of PWV is about 6 m/s. Therefore, in the this research, two simultaneous peaks of radial artery pulse wave and ECG pulse wave measured by using clip-type pulsometer and ECG were investigated in order to analyze pulse wave velocity. The measured value of a pulse wave velocity is about 5~7 m/s, it is proved one new method to measure an exact value of pulse wave velocity more than the typical biomedical signal monitoring system. This result implies that data measured by the oriental medical diagnosis apparatus as pulsometer is clinically used in future. Fig. 6.



※ This study was supported by a grant of the Oriental Medicine Advanced Technology R & D Project, Ministry for Health, Welfare & Family Affairs, Republic of Korea (B100030).

홀센서 집게형 맥진기 요골동맥파에 FFT를 적용한 호흡수 추출 (Extraction of Respiratory Rate by using FFT for Radial Artery Pulse Waves Acquired by Clip-type Pulsimeter with a Hall Sensor)

조현성*, 장명복, 이남규, 김근호, 최종구, 이상석
한방의료공학과, 보건과학대학, 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 산 660번지

1. 홀센서가 구비된 집게형맥진기의 특성

집게형 맥진기에 대한 영구자석, 홀센서, 측정 부분, LED, 디스플레이, USB port, 스위치 부분을 Fig. 1(a)에 나타내었다. 집게형 맥진기의 접촉 부분의 자기 물질은 작은 원통형 영구자석과 맥박의 진동에 따라 쉽게 변화될 수 있도록 되어 있다. 특히 피부를 국소적으로 누르지 않기 위하여 피부 접촉 부분의 표면에 탄성이 좋고 인체 피부에 적합한 실리콘 고무 하우징을 사용하였다. 이 고무 하우징의 중심부분에는 지름 2 mm, 높이 1 mm 크기 원통모양의 영구자석 표면에서 1 mm 떨어진 곳에서 자기장이 약 150 Oe를 갖도록 하였다. 영구자석은 요골동맥의 "관" 부분에 위치하도록 실리콘 고무 원판 중심에 고정시켰다. 손목 피부에 접촉하는 실리콘 고무가 영구자석 중심으로 고르게 늘어날 수 있도록 측정부 위치를 조정하였다. Fig. 1(b)는 실제 사람의 손목에 착용하여 맥파신호를 측정하는 모습을 보여준 사진이다.

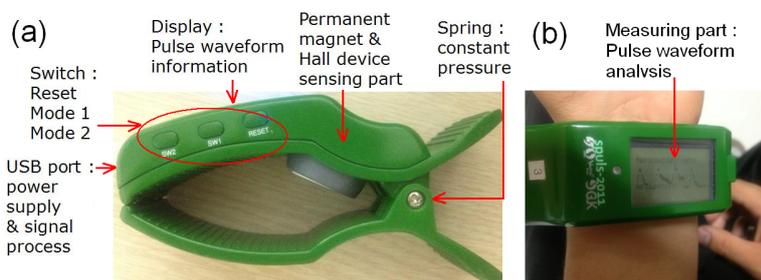


Fig. 1. (a) The notation and function of several major parts and (b) the measurement process of acquisition pulse signals by a real clip-type pulsimeter.

2. 홀센서 맥진파형의 FFT 분석

본 연구에 사용된 맥진파형의 주파수 분석기기는 BIO PAC Systems, INC.의 MP35를 하드웨어로 사용하였다. 데이터의 분석은 MP35와 함께 제공되는 분석프로그램인 BIO PAC Systems, INC.의 BSL 3.7.7 Pro를 사용하였다. 또한 가장 중요한 부분인 맥파에 대한 측정은 홀센서를 사용한 집게형 맥진기를 이용하였다. 호흡성분이 추출되기 용이한 대역을 알아보기 위하여 실험자는 각각 다른 주파수 대역에 맞추어 고정된 호흡을 실시하였다. 고정된 호흡을 인위적으로 주기 위해서 메트로놈 프로그램을 적용하였다. 그렇게 각각의 실험자들은 15, 20, 30, 40, 50 템포(Tempo)의 속도로 고정호흡을 실시하였으며 맥진파에 영향을 주는 충분한 시간인 100 s 이상 맥진파 데이터를 측정하였다.

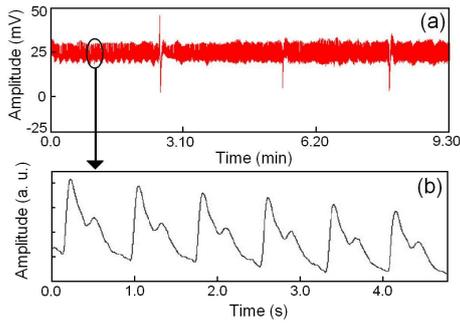


Fig.2 (a) The selected region of pulse waveform measured during 9 m 30s for a fixed respiratory rate periods of 0.33 Hz (40 tempo). (b) The typical pulse waveform during 5 s in part of (a) pulse wave band

메트로놈에서의 15 , 20 , 30 , 40 , 50 템포를 각각 주파수로 표현을 하면 0.125 Hz, 0.16 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz, 0.41 Hz 이다. Fig. 2(a)는 40 템포를 고정시킨 후, 9분30초 동안 측정한 맥진파형을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)에서 대략 2.5 ~ 3초 간격으로 보이는 peak가 호흡과 관련되는 것으로 보인다. 이것은 일정한 시간 동안 40 템포인 0.33 Hz 주파수로 호흡을 하고 있을 때의 집게형 맥진기 센서 부분에서의 아날로그 신호 변화가 반영된 것으로 볼 수 있다. 한편 Fig. 2(b)에는 Fig. 2(a)의 일부분 A 구역인 약 5초간 전형적인 맥진파형을 확대하여 나타내었다. 이러한 각각의 고정된 임의의 호흡신호들에 대한 고속 푸리에변환 (Fast Fourier transform ; FFT) 분석하였다.

3. 맥진파형의 호흡수 추출 알고리즘

5가지의 고정된 임의의 호흡신호들에 대한 FFT 분석을 수행한 결과인 Fig. 3에서 특이점을 볼 수 있다. Fig. 3에서 각각의 주파수 별로 특별한 피크(peak)를 가지고 있다는 것과 스펙트럼에 나타나는 피크는 각각의 고정된 호흡의 피크와 일치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 점에서 착안하여 홀센서가 장착된 집게형 맥진기로 측정된 맥파신호에서 나타나는 호흡성분을 추출하기 위한 알고리즘을 적용하였다.

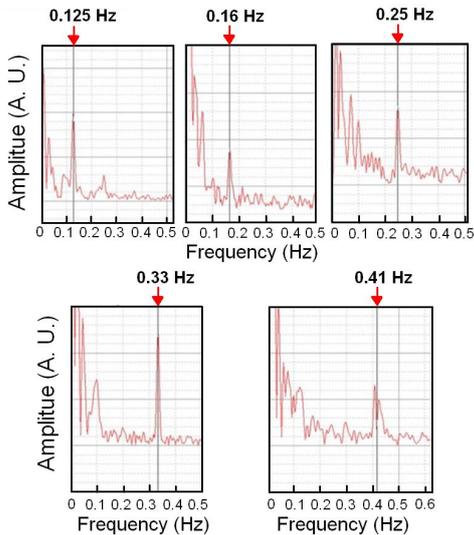


Fig. 3. The FFT spectrum peaks with 0.125 Hz, 0.16 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz, and 0.41 Hz corresponding to 15, 20, 30, 40, and 50 tempo. Each indicated peak for five arrows coincides to each respiratory rate, respectively.

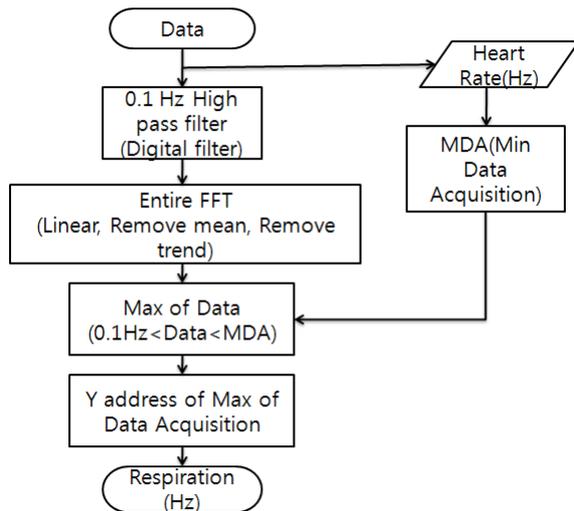


Fig. 4. The flow chart of algorithm for the extraction of respiratory rate by using FFT spectrum through pulse waveform.

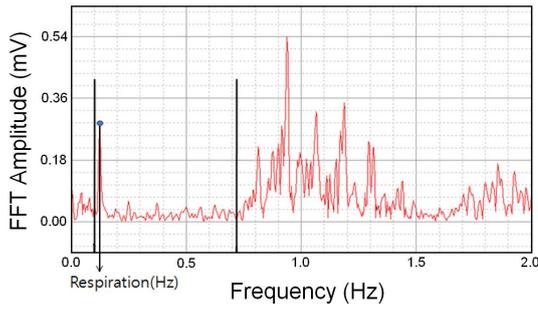


Fig. 5. The final spectrum and peak after FFT process on basis of algorithm for the extraction of respiratory rate. The solid lines note region between two cut-off frequencies of 0.1 Hz and 0.7 Hz after the digital filtering process.

Fig. 4에 나타난 호흡추출 알고리즘 과정을 거쳐 0.1 Hz 이상의 대역만 통과시키는 작용을 하는 디지털 필터를 적용하였다. 전체 영역에 대한 전형적인 FFT 스펙트럼은 Fig. 5에 나타내었다. 이 방식으로 추출된 호흡 신호는 주어진 시간 동안 많은 데이터 얻었기 때문에 보다 정확한 호흡수를 얻을 수 있었다. 100 s, 200 s, 그리고 300 s 동안 얻은 맥진파형 데이터에서 Fig. 4의 알고리즘을 적용한 결과, 호흡성분은 얻어지는 시간이 길어 질수록 FFT 호흡 주파수에 알맞은) 피크가 뾰족해지는 모습을 볼 수 있었다. 이는 더 많은 데이터를 통한 오차가 점점 줄어들면서 나타나는 FFT 분석의 특성이다. 때문에 일정한 수준 이상의 시간인 300 s 동안 데이터를 확보해야 하는 임계값을 보여주었다.

※ 본 연구는 보건복지부의 지원을 받아 수행하고 있는 한의약선도 기술과제의 한방의료기기개발과제 (B100030)에 대한 연구결과이다.

미크론 자성비드 검출용 바이오센서에 대한 고감도 GMR-SV 소자의 제작과 특성 연구

(Fabrication and Characteristics of a Highly Sensitive GMR-SV Biosensor for Detecting of Micron Magnetic Beads)

최종구^{1*}, 박광준¹, 이주형¹, 이상석¹, 이장로²

¹한방의료공학과, 보건과학대학, 상지대학교, 강원도 원주시 우산동 상지대길 83

²물리학과, 자연과학대학, 숙명여자대학교, 서울시 용산구 청파동 2가

1. 초록

미크론 자성비드 검출용 바이오센서에 활용하는 GMR-SV 박막을 이온빔 스퍼터링 증착법으로 glass/Ta(5.8 nm)/NiFe(5 nm)/Cu(*t* nm)/NiFe(3 nm)/FeMn(12 nm)/Ta(5.8 nm)의 구조를 갖도록 증착하였다. 비자성체 Cu의 두께가 3.0 nm에서 2.2 nm까지 얇아질수록 교환결합력은 증가하였으며 자기저항비는 다소 낮았다. 비자성체의 두께가 얇으면 반강자성체의 층간 교환작용이 강자성체의 고정층 뿐만 아니라 자유층의 스핀배열에도 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 리소그래피 공정 과정을 거쳐 GMR-SV 소자를 제작하여 미크론 자기비드를 검출하였다. 여기서 자기비드를 떨어뜨리기 전과 후의 자기저항비, 교환결합력, 보자력은 각각 0.9%, 3 Oe, 2 Oe의 값을 나타내었다. 이것으로 미크론단위의 바이오센서로서 활용할 수 있는 가능성을 보여주었다.

2. GMR-SV 소자를 이용한 자성비드 검출과 특성

Fig. 1(a)는 GMR-SV 소자를 이용하여 미크론 크기의 자성비드에 생체분자를 검출하는 시스템이다. 전자석을 GMR-SV 소자 주위에 인가하여 포화 자화과정을 거치게 한 후 가장 민감한 변화를 일으키는 지점을 선정하여 자기저항의 변화를 조사하였다. Fig. 1(b)는 미크론 자성비드 검출 시스템에서 관찰한 DNA의 정제와 생체분자를 흡착하는 1 μm 의 초상자성체 자성비드(-Si-OH)의 자화 상태를 나타낸 것이다. 여기서 자화 상태를 높이기 위해 자성비드를 3 kOe의 네오뎀 영구자석 위에 수 시간동안 보관한 후 스포이드(sput)를 이용하여 떨어뜨렸다. 그리고 정확성을 위해 소자와 밀접한 거리에 가우스 미터(gauss meter) 프로브(probe)를 고정시켜 자성비드를 떨어뜨린 전과 후의 MR loop를 측정하였으며, 상하 좌우의 미세조절이 가능한 탐침 봉에 정교한 전도성 탐침을 장착하고 Fig. 1(c)에 보여주는 것처럼 전극과 전극 사이를 연결하여 자기저항 특성을 조사하였다.

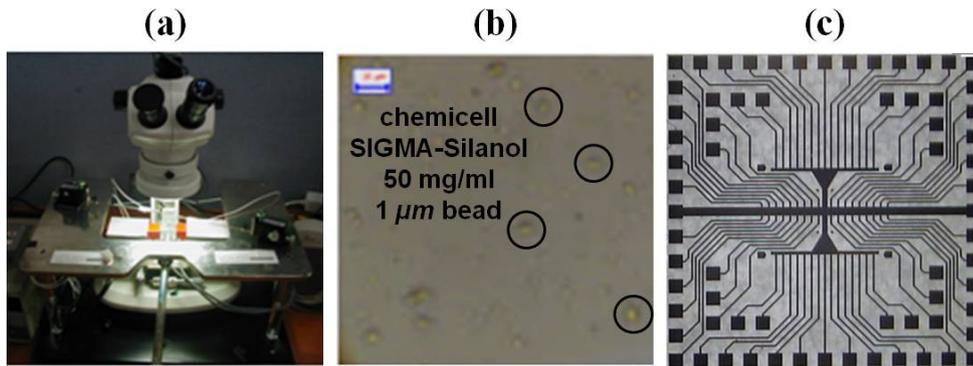


Fig. 1. Detecting experiment of magnetic bead ; (a) GMR-SV bio-sensing stage system with microscope, electromagnet, and electrode probe, (b) several magnetic beads($\times 400$) with a solution of 50 mg/ml(Si-OH), and (c) magnetic bead dropping status upon the GMR-SV devices.

Fig. 2은 GMR-SV 소자로 검출한 $1 \mu\text{m}$ 의 자성비드를 400배와 800배의 광학현미경으로 관찰한 것이다.

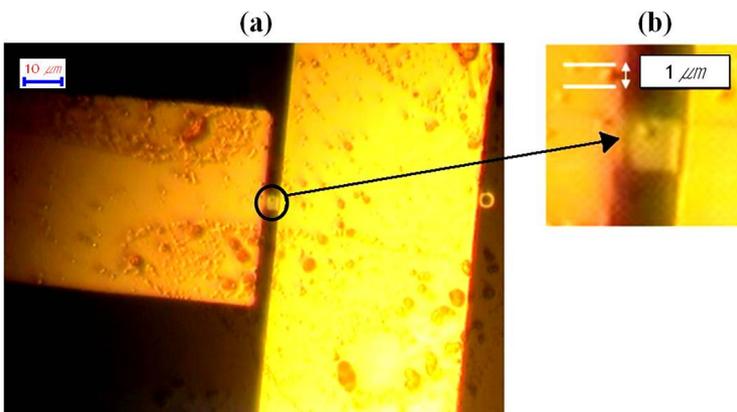


Fig. 2. Photograph of magnetic bead upon on device ($2 \times 4 \mu\text{m}^2$) of GMR-SV bio-sensor ; (a) ($\times 400$) and (b) ($\times 800$).

Fig. 3(a)와 (b)는 패터닝 전과 후의 자기저항 특성을 비교한 것으로 자기저항비는 2%에서 1%으로 감소하였지만 GMR-SV 박막에 대한 각 층별 두께와 너비, 금속의 비저항을 적용해 보았을 때 약 250Ω 의 값을 얻었으므로 오차 범위 내에서 제작된 GMR-SV 소자는 완전한 자기저항곡선을 나타내었으며 교환결합력과 보자력은 각각 3 Oe와 2 Oe이었다. Fig. 3(c)에서 일정하게 유지되던 GMR-SV 소자의 저항은 떨어뜨린 자성비드에 반응하여 급격하게 감소하였으며 20초 뒤에 완만하게 증가하여 0.9%의 자기저항비를 나타내었다. 여기서 자성비드는 Fig. 2(b)와 같이 GMR-SV 소자에 정착되면서 인가된 자기장에 따라 변화하였다. 또한 Fig. 3(d)와 같이 자성비드 등 자성체와 무관한 일반 오일을 떨어뜨렸을 때도 0.2%의 미세한 변화를 보여주었다. 이러한 결과로 DNA 분석용 바이오센서나 Fe가 포함된 적혈구 내 헤모글로빈(hemoglobin)을 분석하는 등 나노 단위의 바이오센서에 활용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

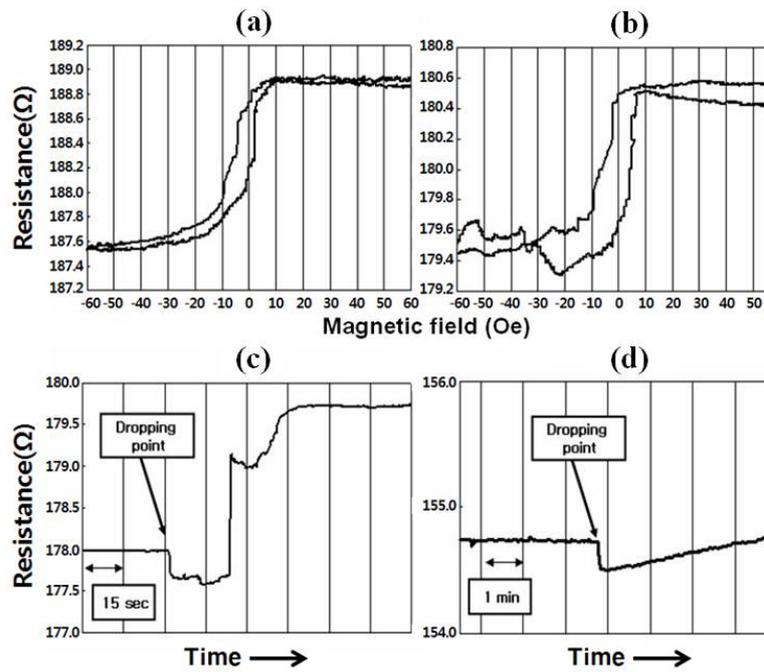


Fig. 3. Comparison of magnetic bead dropping; Minor loops of (a) before and (b) after magnetic bead dropping. (c) Change of magnetoresistance when oil composed of magnetic beads is dropping on GMR-SV device. (d) Change of magnetoresistance when oil except magnetic beads is dropping on GMR-SV device.

※ 이 논문은 교육과학기술부 한국연구재단의 지원을 받아 수행하고 있는 2010년도 하반기 기본연구지원사업(2010-0024665)의 연구결과이다.

자기소거 및 자기장분포 측정 장치 제작

김정윤*, 유일선, 이성민, 손대락
 한남대학교 물리학과, 대전광역시 중구 오정동 133

1. 서론

본 연구는 자성체가 가공되는 과정에서 발생하는 stress induced magnetic anisotropy에 의한 가공물의 자화를 측정하고 이를 교류자기장 장치를 사용하여 자기 소거를 시킨 후 자기장 분포를 측정하기 위한 연구이다.

2. 측정 장치 제작

그림 1은 본 연구에서 제작한 자기장 분포측정 장치의 개략도이다. 스캔장치는 먼저 PC를 통해 step motor를 제어하여 원하는 위치에 Hall probe를 이동시킨 후 4-channel Gaussmeter로 자기장을 측정하고 측정한 자기장 값을 4-channel data acquisition module을 통해 PC의 USB port로 데이터를 전송하여 분석하는 방식을 택하였다. 스캔장치의 구조는 그림 2에서 보는 바와 같이 동시에 ±25 cm 스캔할 수 있게 장치를 설계 제작한 것으로 일차원 상으로 회전이 없이 왕복운동을 할 수 있게 설계를 하였고, 또한 4-ch Gauss meter를 이동시키기 위한 stepping 모터로써, 일차원 운동을 강제로 시키기 위하여 12개의 베어링을 사용하였다. 좌우 4개의 베어링은 좌우이동을 방지하고, 아래 4개와 위의 4개 베어링은 상하의 진동을 방지하는 기능을 하고 있다. 조립이 된 스캔장치는 이동시 ±0.10 mm 이내 1차원 운동을 하고 있음을 확인 하였다.

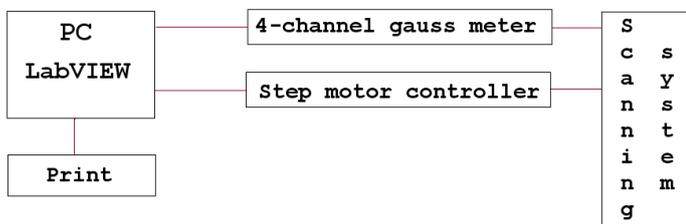


그림 1 . 자기장분포 측정 장치의 개략도.

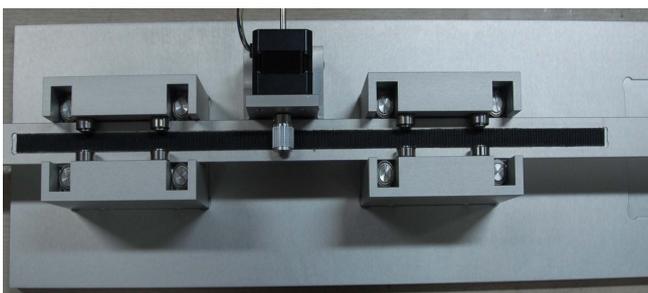
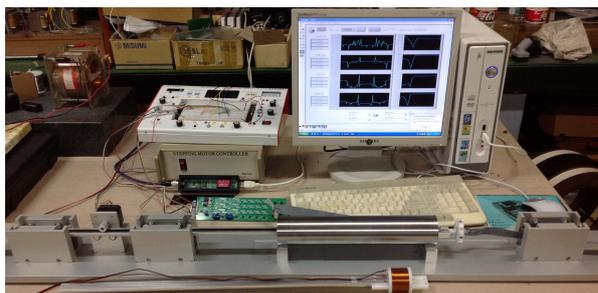


그림 2 . 스텝모터 부분 (a)



자기장분포 및 자기소거 장치 (b)

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 mm×2.9 mm이다. 4 - channel 홀센서를 이용한 가우스 미터의 전자장치의 사진으로 홀센서에 일정한 전류를 인가하기 위하여 정 전압 원 Ref43을 사용하였으며 2.5 V의 정전압을 일정한 전류로 변환하기 위하여 OPA07 증폭기를 사용 하였다. 또 가변저항을 이용해 출력의 Offset을 교정 할 수 있게 제작 하였다.

4 - channel Gaussmeter의 출력을 컴퓨터로 가져가지 위한 Data acquisition module 사용하였다. AD

converter는 24bit δ - σ 형태의 ADC인 AD1253을 사용하였으며 이 ADC를 제어하고, 측정값을 computer의 USB port로 보내기 위하여 AVR 2313을 사용하였다.

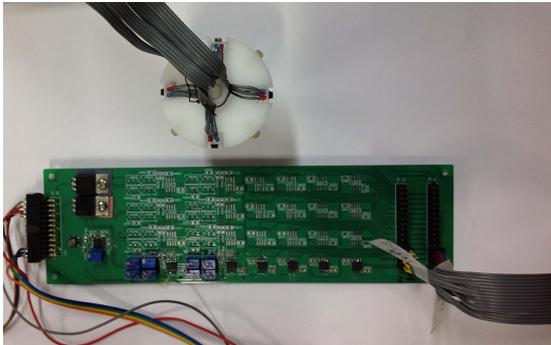


그림 4 . 4-channel Hall effect gaussmeter

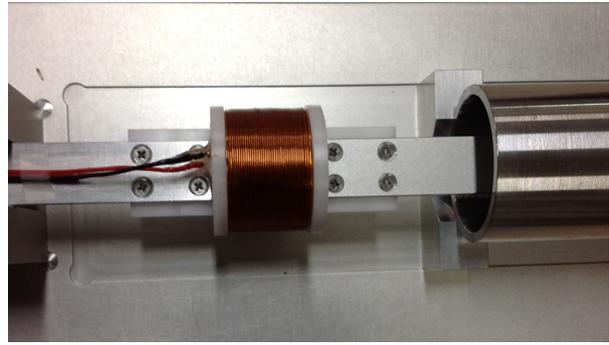


그림 5 . 자기소거장치

그림 4는 4-channel Hall effect gaussmeter 이다. 방사형으로 측정하기 위해 상하좌우에 4개의 홀센서를 부착하였다. 그림 5는 자기화 되어있는 가공물을 자기소거 하기위한 solenoid의 사진이다.



그림 6. 자화 되어있는 가공물을 1회 왕복 측정한 그래프와 차트.

3. 측정

본 측정 software는 LabVIEW 프로그램을 사용하여 step motor controller 의 이동 속도와 이동거리 회전 방향을 제어하고, 4-channel data acquisition module를 통해 데이터를 수집 할 수 있게 programming 하였다. 그림 6은 SS40 강판을 선반작업한 후 자화가 되어있는 상태를 측정한 결과이다.

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).

Flux-gate Magnetometer의 Perming 효과 측정

장세종¹, 김은애¹, 이승주¹, 손대락^{2*}

¹대전광역시 유성구 유성대로 1646, 509호, (주)센서피아

²대전광역시 대덕구 오정동 133, 한남대학교 물리학과

1. 서론

플럭스게이트형 마그네토미터는 2차세계대전을 전후로 개발된 저자장 측정센서로[1-3], 1960년대부터는 로켓트와 인공위성의 자세제어, 우주공간의 자장측정 및 지자장과 그 변화를 측정하는데 사용되었으며, 오늘날 선박의 충돌방지, 비파괴검사 및 강자성체의 탐지용으로 그 응용범위가 매우 다양하다.

Flux-gate 마그네토미터의 원리가 오늘날까지 사용되고 있는 데에는 여러 가지의 장점을 가지고 있기 때문으로, 특히 저자장측정기술로 소형이면서 장기적 안정성이 요구되는 분야에 아직도 많이 사용하고 있다. Flux-gate센서의 이러한 장점을 증가시키기 위해서는 분해능을 향상시키고, 전력소비가 적은 센서의 개발을 위하여 비정질리본이 사용되고 있다.

본 연구에서는 Co-계 비정질 리본을 사용하여 magnetometer의 주요 특성중에 하나인 perming효과에 대하여 조사를 하였으며, 기존에 permalloy코어를 사용하는 경우보다 우수한 것으로 측정되었다.

2. 센서제작 및 성능시험

본 연구에서는 Co-계 비정질재료인 Metglass사의 2714A를 3mm의 폭으로 slitting한 후 1×10^{-2} mTorr의 진공에서 350 °C의 온도하에서 1시간 열처리를 한 시편을 마그네토미터의 코어로 사용하였다. 센서코어는 race-track 형태로 제작을 하였고 자화주파수는 15 kHz로 구동하였다. 이치코일에 유도되는 기전력은 커패시터를 통하여 교류전압만 통과시킨 후 PSD증폭기를 사용 even higher harmonics성분만 측정을 하였고, 저주파대역 필터(LPF) 통한 신호는 이차코일에 feed-back을 시켜서 센서코어에 받는 자기장이 0이 되는 feed-back 방법을 택하였다. 마그네토미터의 perming 효과를 줄이기 위하여 자기장의 보상은 ± 1 mT 까지 가능하게 하였으며, 마그네토미터의 출력은 24 bit ADC를 사용 $\pm 100 \mu\text{T}$ 가 full scale이 되게 출력하였다. 그림1 perming을 실험하기 위하여 제작한 solenoid로 주변 강자성체의 자화에 의한 perming 효과를 줄이기 위하여 동일한 2개를 사용 서로 극성이 반대로 되게 직렬로 연결하여 사용하였다. 그림 2는 제작된 마그네토미터의 perming을 측정 한 결과로 왼쪽으로부터 자기장을 ± 1 mT, $\pm 800 \mu\text{T}$, $\pm 600 \mu\text{T}$, $\pm 400 \mu\text{T}$, $\pm 200 \mu\text{T}$, $\pm 100 \mu\text{T}$ 를 인가하였을 때 센서의 출력을 보인 것으로 perming은 ± 1 mT의 인가자장에서 ± 2 nT 정도 이었다.

참고문헌

- [1]. H.Aschenbrenner. Hoch frequenztechn. U. Electroak., 44, pp. 2(1934)
- [2]. F. Forster, Z. Metallkde, Vol. 46, pp.358(1955).
- [3]. D. I. Gordon, IEEE Trans. on Mag. Vol. 8, pp. 8(1972).

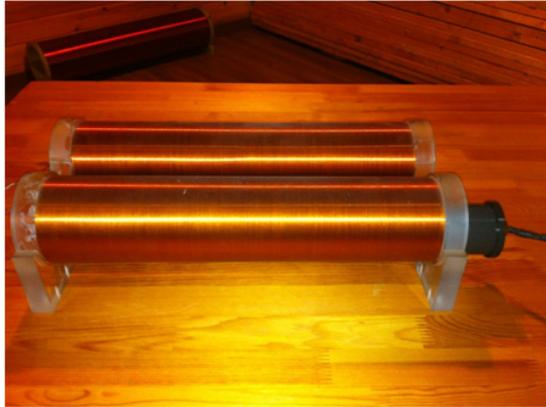


그림 1. Perming 효과를 실험하기 위한 2개의 솔레노이드.

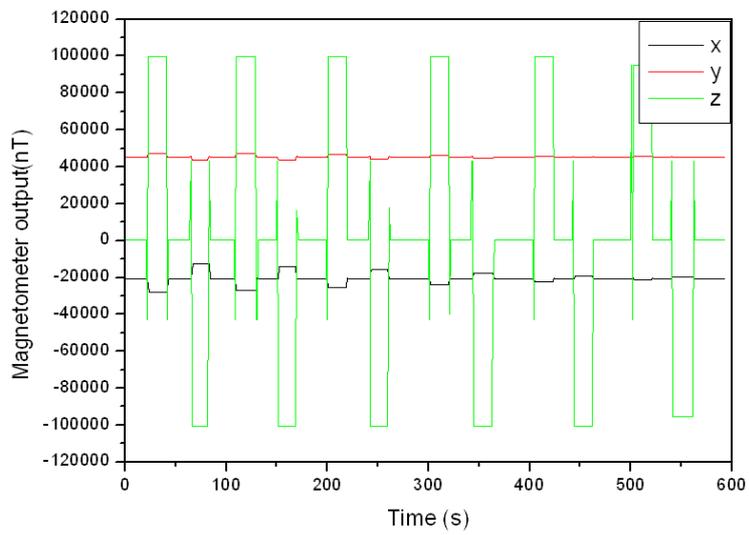


그림 2. 왼쪽으로부터 자기장을 ± 1 mT, ± 800 μ T, ± 600 μ T, ± 400 μ T, ± 200 μ T, ± 100 μ T를 인가하였을 때 센서의 마그네토미터의 출력.

교류 자기장센서 시험장치 제작

이승주¹, 양창섭², 정현주², 손대락^{3*}

¹대전광역시 유성구 유성대로 1646, 509호, (주)센서피아

²경상남도 창원시 진해구 진해우체국 사서함 18호, 국방과학연구소

³대전광역시 대덕구 오정동 133, 한남대학교 물리학과

1. 서론

교류 자기장의 측정은 전자장치 등에서 발생하는 자기장의 측정 및 교류자기장의 차폐율 측정에 많이 사용되고 있으며, 측정원리는 일반적으로 flux-gate magnetometer 및 search coil magnetometer가 사용되고 있다. 이들 교류자기장센서의 주요특성은 noise level, 선형도, 주파수대역폭이 있다. 본 연구에서는 이들 특성을 자동으로 측정할 수 있는 장치를 설계 제작하였다.

2. 장치 제작

본 장치는 교류자기장하에서의 자기센서의 특성을 측정 및 분석하는 장치로서, 교류 자기장을 발생시키는 장치와 자기센서의 출력 전압을 측정 및 분석하는 장치로 구성하였다. 교류 자기장을 발생시키는 장치로는 교류 전압을 인가시키기 위한 waveform synthesizer와 power amplifier와 인가된 전압을 이용하여 교류 자기장을 생성시키는 솔레노이드 또는 3축 헬름홀츠 코일로 구성되어지며, 자기 센서의 출력 전압을 측정 및 분석하는 장치로는 자기센서의 출력전압과 셉트저항 양단의 전압을 측정하기 위한 DAQ module과 장비 제어 및 자기센서의 신호를 분석하기 위한 LabVIEW 프로그램으로 구성하였다. 그림 1은 본 연구에서 개발한 교류자기장센서 특성측정장치의 사진이다.

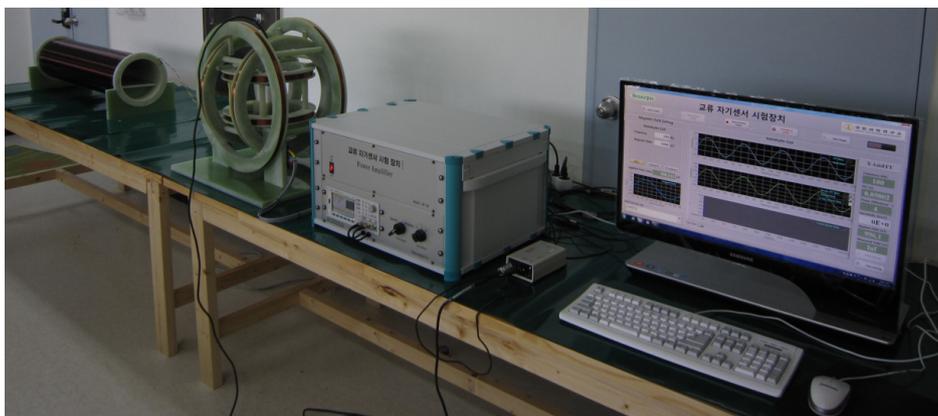


그림 1. 교류 자기센서 시험 장치

2. 측정 프로그램 및 성능시험

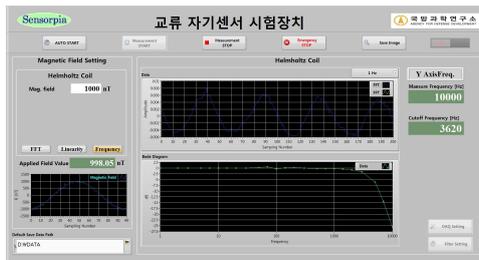
본 장치의 측정 프로그램으로는 NI-LabVIEW를 사용하였으며, 솔레노이드와 헬름홀츠 코일의 생성되는 자기장은 셉트 저항 양단의 전압과 coil constant를 이용하여 계산된다[1]. 솔레노이드와 헬름홀츠 코일의 coil constant는 한국표준과학연구원서 교정 받은 Bartington사의 Mag-01을 사용하여 DC자기장에서 측정하였다. 솔레노이드 또는 헬름홀츠 코일에서 생성되는 자기장은 측정 프로그램에서 자기장 설정 값의 $\pm 0.5\%$ 이내로 생성되도록 프로그램에서 feed-back 되어지며, 생성된 자기장의 측정오차를 줄이기 위하여 측정된 셉트 전압

을 FFT하여 노이즈 성분을 제거한 파형을 feed-back 하였다. 측정 프로그램은 동특성, 선형도, 주파수 대역폭을 측정할 수 있으며, 동특성 측정은 자동모드와 수동모드를 선택할 수 있게하였다. 자동모드 시에는 설정 주파수와 자기장에 따라 DAQ의 input voltage range, sample rate, sample number를 자동 설정하여 4 주기의 데이터를 측정, 저장할 수 있으며, 수동 모드 시에는 waveform synthesizer의 주파수, 진폭 DAQ의 input voltage range, sample rate, sample number 등 유저가 설정하는 값에 따라 데이터를 측정, 저장할 수 있다. 선형도 측정은 측정 주파수와 자기장 최대값, 최소값, 측정 간격 등 설정값에 따라 연속적으로 측정되어지며, 기울기, y절편, 표준편차, 선형도를 측정할 수 있다. 주파수 대역폭 측정은 1 Hz ~ 10 kHz까지 22개의 설정된 주파수를 연속적으로 측정하며, bode diagram창을 이용하여 cut-off frequency를 측정한다.



(a) 동특성 측정 프로그램

(b) 선형도 측정 프로그램



(c) 주파수 대역폭 측정 프로그램

그림 2. 교류 자기장센서 측정 프로그램

참고문헌

- [1]. F. Fiorillo "Measurement and Characterization of Magnetic Materials" pp. 108 (2004)

와전류 탐촉자를 활용한 비접촉 탄속측정 장치제작

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

¹대전광역시 대덕구 오정동 133, 한남대학교 물리학과

²대전광역시 유성구 외삼동 52-1, 한화종합연구소

³대전광역시 유성구 가정로 297, 한국표준과학연구원

1. 서론

탄이 진행되는 것을 비접촉으로 외부에서 탐지하는 방법은 크게 2가지 방법이 있다. 즉 광학적 방법과 자기적 방법이 있다. 본 연구에서는 신뢰성이 우수한 자기적 방법에 대해 연구를 하였는데 비파괴 등에 사용되는 와전류 탐촉자의 원리를 응용하여 보았다. 원통형 코어의 경우 자기장이 넓은 영역으로 퍼져 영향을 주기 때문에, 이러한 영향을 줄이기 위하여 U-형태의 ferrite 코어에 코일을 권선하는 형태를 사용하였다.

2. 실험장치 제작

일반적인 와전류 탐촉자는 원통형의 코어에 코일을 권선한다. 본 연구에서는 외부의 금속이나 자성체에 의한 영향을 최소화하기 위하여 단면적이 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$, 길이가 20 mm 인 U 자형의 Mn-Zn 계열의 ferrite 코어를 사용하였다. 제작된 탐촉자는 그림 1-(a)와 같고, 속도를 측정하기 위한 전자장치는 그림 1-(b)와 같이 구성하였다.



그림 1. 모의탄 발사장치에 부착된 U자형 와전류 탐촉자 (a) 및 측정장치 (b).

2. 실험결과

그림. 2은 본 연구에서 제작된 자기적 방법의 탐촉자의 간격을 10 cm , 광학센서의 간격이 50 cm 일때 측정이 된 것으로, 탄속이 17 m/s 에서 자기적 방법으로도 탄의 속도를 잘 측정함을 알 수 있었으며, 추후 외부에서 탄의 속도의 정보를 탄에 입력하는 방법에 대하여 연구를 수행 할 수 예정이다.

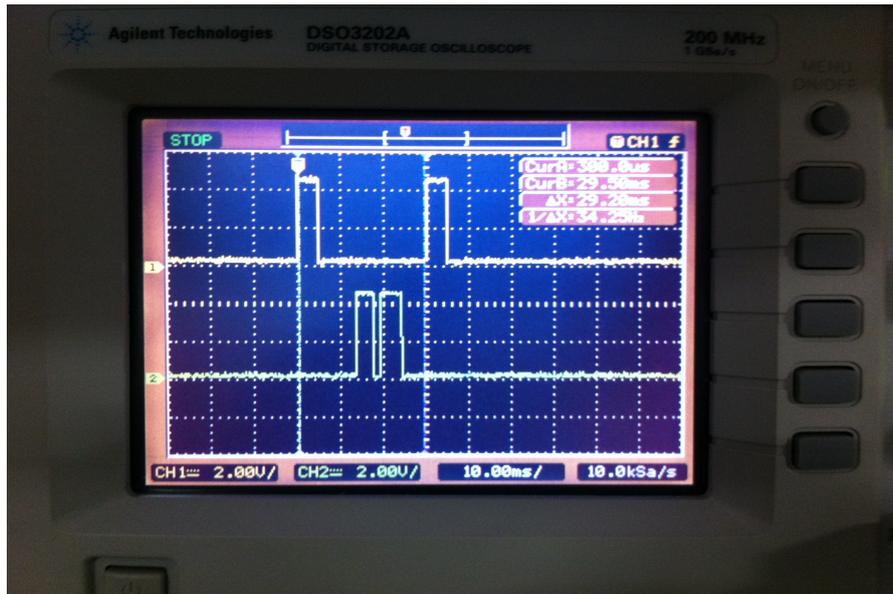


그림. 3 자기적 방법으로 탄속을 측정한 TTL 신호(아래) 및 광학적 방법으로 측정한 TTL신호(위)

참고문헌

- [1] <http://www.rheinmetall-wm.com>
- [2] Fausto Fiorillo, "Measurement and Characterization of Magnetic. Materials, Elsevier(2004)

Perpendicular Magnetic Anisotropy Properties of [Co₆₀Cu₄₀/Pt]₆ Multilayers

Dong Su Son*, Sang Ho Lim, and Seong-Rae Lee

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

Magnetic tunnel junctions with perpendicular magnetic anisotropy (PMA) have attracted a lot of research interests. This is because distinct advantages of this system over in-plane magnetic anisotropy are found in the reduced critical current density (J_c) for magnetization switching with high thermal stability. Among the various PMA materials, Co/Pt multilayers are promising candidate owing to its high anisotropy energy (K_u). However, in order to make commercially viable device using this material, it would be desirable to decrease the M_s for feasibility of reducing J_c . Although conventional Co/Pt multilayers consisted of thick Pt with thin Co layer coincide with this requirement, it should be lead to degradation of PMA during post annealing process. In this respect, low M_s material, Co₆₀Cu₄₀(~37% smaller M_s than pure Co [1]) was considered in this study and an effort to constitute thermally stable multilayers having low M_s was made by inverted layer structure of thick CoCu with thin Pt layer.

The structure of Ta / Pt / Ru / [Co₆₀Cu₄₀(t_{CoCu})/Pt(0.2 nm)]₆ / Ru was fabricated on a Si/SiO₂ substrate using a DC magnetron sputtering system. The base pressure was 7×10^{-8} Torr while working pressure was fixed at 2×10^{-3} Torr. Post annealing was carried out temperature range of $\sim 500^\circ\text{C}$ and magnetic properties were measured by vibrating sample magnetometer.

As shown in Fig. 1(a) the values of K_u are mainly affected by t_{CoCu} . For the as-deposited sample, increase of K_u is observed from 0.33 to 1.12×10^6 erg/cc as increasing the t_{CoCu} of 0.3~0.5nm. Although these values are slightly increased by the post annealing process, the effect is not prominent. In the case of M_s , however, quite different dependencies on post annealing are observed. As shown in Fig. 1(b), the values of M_s are nearly proportional to t_{CoCu} , variation trends of which are similar to the case of K_u . However, post annealing at 500°C effectively reduce the M_s values over the whole t_{CoCu} range. Transmission electron microscopy results demonstrate that layer intermixing between CoCu and Pt is attributed to reduced M_s . As a consequence, the most desirable properties of strong PMA ($K_u \sim 1.39 \times 10^6$ erg/cc) with low M_s value (340 emu/cc) is obtained from [Co₆₀Cu₄₀(0.5nm)/Pt (0.2nm)]₆ structure annealed at 500°C .

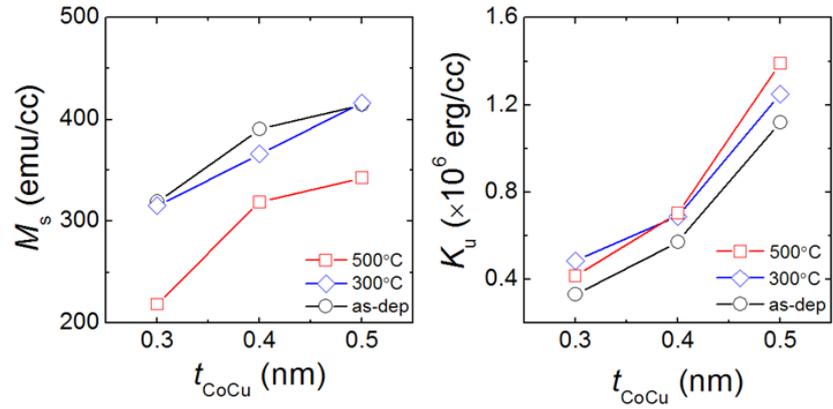


Figure1. The change in (a) K_u and (b) M_s as a function of t_{CoCu} .

Reference

- [1] Yuan *et al.*, *J. Appl. Phys.* **108**, 113909 (2010).

Corresponding author: *Sang Ho Lim, e-mail: sangholim@korea.ac.kr

펄스자기장 치료기 코일프로브 개발

김성현^{1*}, 석효준¹, 이종력¹, 이진용¹, 이현숙¹, 황도근¹

¹상지대학교 한방의료공학과

1. 서론

펄스자기장은 ion 전해질이 있는 인체에 자기장이 가해지면서 생성된 와전류에 의한 치료방법으로 비침습적(non-invasive)이고 비접촉적(non-contact)인 특성과 심부 깊숙이 쉽게 침투하는 장점을 가지고 있어 말초신경 자극, 혈류개선, 통증치료 등 다양한 연구가 보고되어왔다[1, 2]. 특히 1979년, 골절치료 효과가 인정되어 미국 식약청(FDA) 승인을 얻은 후 다양한 통증치료에 사용되어 확대되고 있다. 그러나 현재 펄스자기장 치료기에 사용되는 코일프로브는 단순한 단일 평면코일 형태로 개발되어 인체의 다양한 환부에 따라 자극이 쉽지 않은 단점이 있었다. 특히 관절부위나 요실금발생 부위 등 특정부위 자극시 코일부에서 많이 떨어지므로 자기장의 세기가 급격히 감소하는 단점이 있어 전원부의 출력을 높여야 하는 부담을 안고 있다.

본 연구는 이러한 단점을 보완하는 펄스자기장 치료기용 코일프로브를 개발하기 위해 2차원 유한요소법으로 시뮬레이션 하여 적합성을 판단하고 제작한 후 자기장 분포를 측정하여 기존 단일 평면형 프로브와의 비교 분석을 하였다. 또한 새로 개발한 코일프로브를 이용하여 말초혈관에 미치는 영향을 광혈류측정기((PPG, Photoplethysmo-graphy)로 측정하여 비교분석하였다.

2. 실험방법

기존의 펄스자기장 치료기용 코일프로브의 단점을 보완하고자 코일디자인 개선(밴드구조, 집게구조 등)과 자기장 발생코일의 형태(단층구조, 이층구조)를 변화하면서 2차원 유한요소법을 선행하여 코일 디자인을 선정하였다. 이를 기초로 코일프로브를 제작하여 Hall Sensor 측정을 통해 비교하였다. 일층구조와 이층구조의 코일 특성과 자기력선의 특성은 표1과 그림1에서 보여주고 있다.

자극 방식은 두가지로, 하나는 기존 자극방식과 동일하게 자극 부위만 자극하는 방식과, 두 번째로 자극 부위의 양단에 자극을 가하는 방식으로 3분의 안정시간, 자극 5분, 자극 후 3분, 총 11분 동안 측정했다. PPG 측정은 Biopac 사의 MP36 장비를 이용하였고, 펄스자기장의 세기는 0.26T이고 transition time은 0.132ms이다. PPG분석은 자극 시간에 따른 혈관 용적 변화를 알기 위해 1분단위로 얻은 파형을 적분하고, 안정 상태를 기준으로 자극시간에 따른 상대적 혈관 용적변화를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1에서 보여주듯이 평면형 단층코일보다 6 turn을 추가한 이층구조 코일은 같은 전원장치를 활용했을 때 최대 출력이 0.16 T에서 0.26 T로 증가되었다. 또한 중심부에서 자기장의 밀집도 역시 증가되었다. 상대적으로 코일의 형태변화에 의한 파형의 변화는 미비하여 표 1에서 보여주듯이 펄스의 transition time이 0.128 msec, 0.132 msec로 큰 차이를 보이지 않고 있다. 결국 동일한 출력시스템에서 자기장 세기를 증가시킬 수 있는 코일부의 개선을 확인 할 수 있었다. 또한 코일프로브의 형태를 밴드형과 집게형으로 다양화함으로써 관절부위 치료 시 사용자의 편의성을 증대시켜 줄 뿐 아니라 코일양단에 자기장 보강효과로 단일코일자극에 비해 더큰 자기장효과를 구현할 수 있었다.

4. 참고문헌

- [1] M. Kanje, A. Rusovan, B. Sisken, and G. Lundborg, Bioelectromagnetics. 14, 353 1993).
 [2]. D. J. Cotter, Med. Instrum. 17, 289 (1983).

표1. 이중코일과 이층코일의 특성비교

coil type	No. of turns	size - inner	size - outer	Maximum field intensity	transition time
1 layer	15	3cm	9cm	0.16T	0.128 msec
2 layer	1layer 15 2layer 6	1layer 3cm 2layer 6.5cm	1layer 9cm 2layer 9cm	0.26T 0.22T	0.132 msec

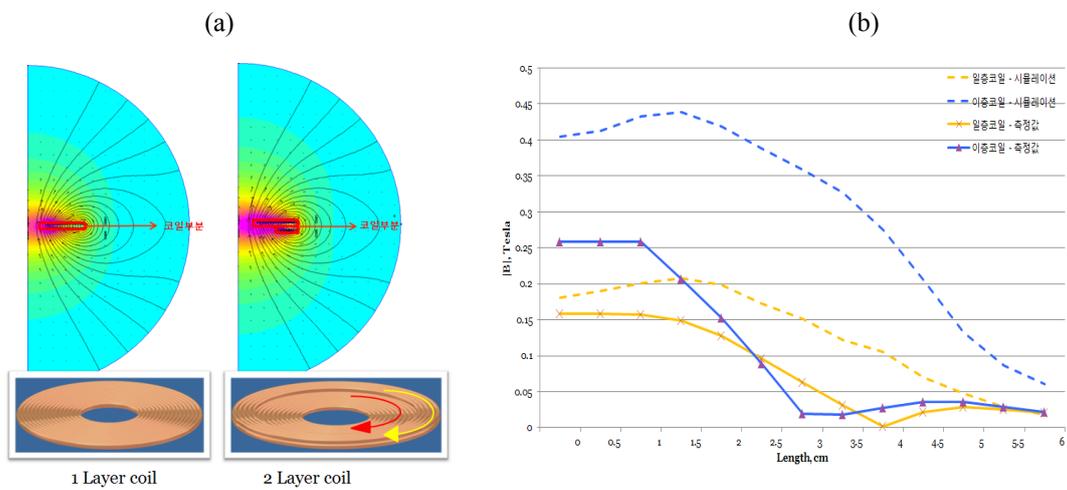


그림1. 이중코일과 이층코일의 (a) 자기력선 시뮬레이션 및 (b) 자기장 특성비교

비정질 강자성체 CoSiB/Pd 다층박막의 수직자기이방성 연구

정 슬^{1*}, 임혜인¹, 윤정범², 유천열²

¹숙명여자대학교 물리학과, 서울 용산구 청파동2가 효창원길 52

²인하대학교 물리학과, 인천 남구 용현동 253

1. 서론

스핀전달토크(STT)를 고밀도 자기기록매체의 읽기헤드나 자기센서로 이용하기 위하여 수직자기이방성 (Perpendicular magnetic anisotropy, PMA)에 기반을 둔 자기터널접합 (Magnetic tunnel junctions, MTJs)이 고밀도 MRAM (magnetic random access memory)을 상용화할 수 있는 가능성 있는 후보로 널리 연구되고 있다 [1,2]. 수평기록은 수직자화성분이 존재하여 기록밀도를 증가시켰을 때 기록비트 사이 소자작용이 커져 고밀도 기록을 할 수 없다는 단점을 가지고 있으나, PMA를 이용한 수직기록방식은 수평기록에 비하여 높은 포화자화를 가지는 박막에서도 고밀도가 가능하여 흥미를 끌고 있다. STT를 이용한 고밀도 MRAM의 가장 중요한 이슈는 큰 신호전압과 열적 안정성확보이다 [3]. 터널자기저항비 (Tunneling magnetoresistance, TMR)가 큰 MTJs 제작에 있어 각 층 사이의 평탄한 계면을 유지하기 위해 비정질의 강자성체 물질을 개발하고, 높은 열적 안정성을 갖기 위한 높은 PMA 값을 갖는 새로운 구조 개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 비정질 합금 $\text{Co}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ 을 이용하여 큰 PMA를 갖는 $[\text{CoSiB } t_{\text{CoSiB}}/\text{Pt } t_{\text{Pt}}]_n$ 다층박막의 구조 및 자기적 특성을 조사한 기존의 실험에서 한 발 더 나아가, $[\text{CoSiB}/\text{Pd}]$ 구조가 가지는 수직자기이방성을 연구해봄으로써, 큰 PMA를 갖는 비정질 재료의 조합과 그 결과를 살펴보았다.

2. 실험방법

6개의 타겟이 장착된 *dc* 스퍼터링 장치를 사용하여 $\text{Si-SiO}_2/\text{Pt } 50/[\text{CoSiB } t(= 1, 2, 3, 4, 5, 6)/\text{Pd } t(= 11, 12, 13, 14, 15, 16)]_5/\text{Ta } 50$ (in Å) 다층박막을 제작하였다. 교환결합세기의 피속박자성층(pinned layer) 두께에 따른 의존성을 조사하기 위해 CoSiB의 두께를 달리하면서 증착하였으며, 증착 시 자기장 100 Oe 크기의 영구자석을 이용하여 강자성층의 일축 자기이방성을 유도하였다. 기본진공도는 3×10^{-7} Torr 이하였고, 공정압력은 2×10^{-3} Torr를 유지하였다. 이 샘플과 비교하기 위해 Co와 CoFe도 동일한 방법으로 실험하여 최적의 조건을 찾아 결과를 비교해보았다.

3. 실험결과

이 실험의 모든 결과는 그림 1에서 볼 수 있다. $[\text{CoSiB } 3 \text{ \AA}/\text{Pd } 13 \text{ \AA}]_5$ 에서 가장 좋은 수직자기이방성 특성을 보였다.

4. 고찰

조금 더 정확한 비교를 내리기 위해서는 PMA 상수 K_u 를 구해야 하지만 본 실험에서 얻은 결과만으로도 비교가 충분하다고 판단, 그래프와 수치 비교를 통해 실험 결과를 도출해내었다. 본 연구를 바탕으로 앞으로 이루어질 연구에는 이 데이터에 어닐링효과를 가하여 열적안정성에 대한 실험을 추가하여 또 다른 방향으로 연구를 진행해볼 계획이며, 동시에 Co/Pd 다층박막의 실험을 재현하여 본 실험 결과와 비교 및 분석하여 강자성체에 비해 비정질 강자성체가 가지는 강점에 대해 연구해볼 계획이다.

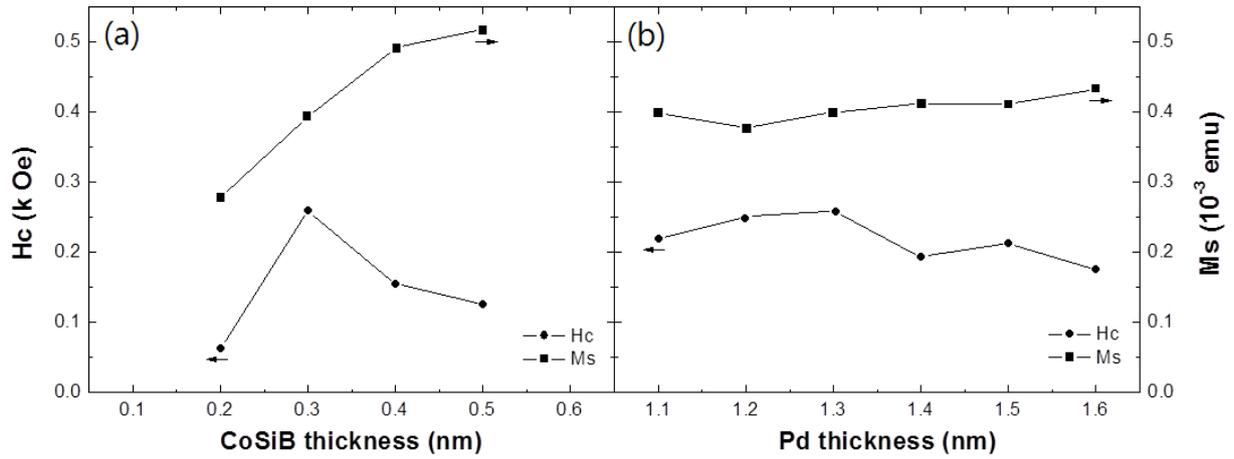


그림 1 [CoSiB x Å/Pd y Å]₅ 다층박막의 각각의 Hc 및 Ms 값 비교

5. 결론

우리는 비정질 강자성체 CoSiB/Pd 다층박막의 CoSiB 와 Pd 각각의 층 두께를 변화시켜 실험을 진행하였다. 이 결과, 가장 좋은 조합의 박막은 CoSiB 3 Å와 Pd 13 Å이라는 결과를 얻을 수 있었으며, 이 박막의 Hc와 Ms는 각각 대략 0.26 kOe 0.4x10⁻³emu/cm³ 로 나타내어 졌다.

6. 참고문헌

- [1] Takehito Shimatsu, , a, Hiroyuki Uwazumib, Hiroaki Muraokaa and Yoshihisa Nakamura, J. Magn. Magn. Mater. **235**, 273 (2001).
- [2] S. Tehrani, J. M. Slaughter, M. Deherrera, B. N. Engel, N. D. Rizzo, J. Slater, M. Durlam, R. W. Dave, J. Janesky, B. Butcher, K. Smith, and G. Grynkewich, Proc. IEEE **91**, 703 (2003).
- [3] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater., **159**, L1 (1996).

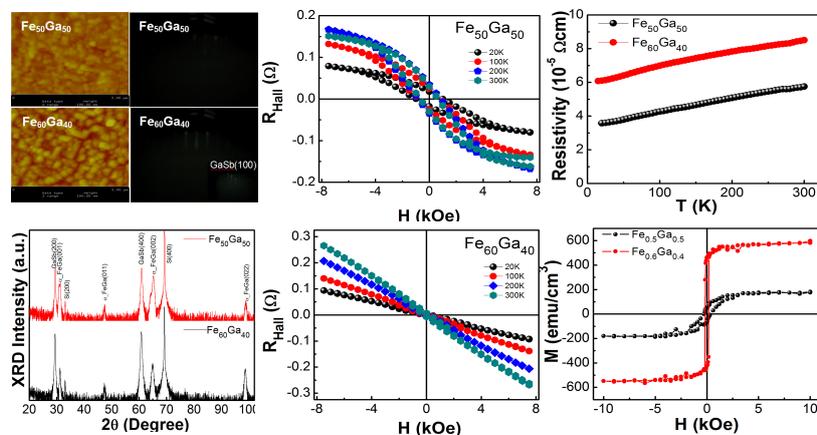
Structure and Magnetic Properties of FeGa Thin Film on GaSb (100)

Anh Tuan Duong¹, Yooleemi Shin¹, Tran Viet Cuong^{2*}, and Sunglae Cho¹

¹Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680 749, Republic of Korea

²Department of Solid State Physics, Faculty of Physics, Ho Chi Minh University of Natural Sciences, 227 Nguyen Van Cu Street, 5 District, Ho Chi Minh City, Vietnam

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 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 $Fe_{1-x}Ga_x$ ($4 < x < 27$) alloy, the magnetostriction constant (\bullet_{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 $Fe_{0.81}Ga_{0.19}$ has the saturation magnetostriction and magnetization of 298 ppm and 1265 emu/cm^3 at 80°C , respectively, and by Cullen *et al.* that $Fe_{0.82}Ga_{0.18}$ has ~ 300 ppm [5, 6]. In addition, there is less information about transport and magnetism properties of the epitaxial Fe-Ga thin film which grown on semiconductor substrates. Epitaxial $Fe_{1-x}Ga_x$ ($x = 40; 50$) thin film has been grown on GaSb (100) substrate by molecular beam epitaxy. The bcc $\overline{C}2$ -Fe crystal structure (A2) with the lattice parameter as 2.967\AA was observed by X-ray diffraction. The saturation magnetization and coercivity at room temperature of $Fe_{60}Ga_{40}$ and $Fe_{50}Ga_{50}$ are 570 emu/cm^3 ; 170 (Oe) and 180 emu/cm^3 ; 364 (Oe), respectively. The temperature dependent resistivity of both samples 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 of sample increased from $1.71 \times 10^{20} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ to $10.38 \times 10^{20} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ with increasing the Ga concentration from 40 to 50% at room temperature which are calculated from Hall measurement results.



*Corresponding author: scho@ulsan.ac.kr

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 I. Takeuchi, *J. Appl. Phys.* **94**, 243507 (2009).
- [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).

Structural and Magnetic Properties of FeSi Films Grown on Si(001)

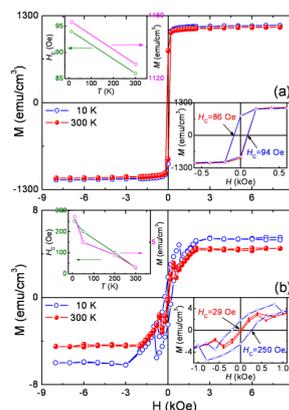
Yooleemi Shin*, Duong Anh Tuan, and Sunglae Cho

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

Since the discovery of skyrmion lattice formation in $\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{Si}$, the growth of Fe(Co)Si thin films has attracted much interests during the last several years. The high reactivity between 3d transition metal Fe and Si produces a number of stable phases (Fe_3Si , $\epsilon\text{-FeSi}$, $\alpha\text{-FeSi}_2$, $\beta\text{-FeSi}_2$) and metastable silicides ($c\text{-FeSi}$, $\gamma\text{-FeSi}_2$). The semiconducting $\beta\text{-FeSi}_2$ has attracted much attention for optoelectronic devices because of its band gap of 0.9 eV, corresponding to the adsorption minimum of silica optical fiber^[1]. Ultrathin ferromagnetic Fe_3Si films has been used as a spin injector in spin devices.^[2] The stable $\epsilon\text{-FeSi}$ is a paramagnetic narrow band gap (0.05 eV) semiconductor. Berling *et al.* reported that the Fe magnetic moment depends in the chemical composition of iron silicides and that the Fe magnetic moment decreases from $\sim 2.2 \mu_{\text{B}}$ (bulk Fe) to 0 (FeSi) with increasing the Si concentration^[3]. Here we report on the modified magnetism from paramagnetic to ferromagnetic states in $\epsilon\text{-FeSi}$ thin films. Firstly, we grew Fe thin films on Si(100) substrates at 30 and 600 °C using MBE. Interestingly, the crystal structure was changed to $\epsilon\text{-FeSi}$ for the samples grown at 600 °C. The temperature dependent resistivity changed from metallic to semiconducting with growth temperatures. In order to investigate the correlation between magnetization and charge carrier transport, we performed magnetoresistance and Hall resistance measurements. The saturated magnetization and coercive field of the samples grown at 30 and 600 °C are 1129 emu/cm^3 ; 86 Oe and 4.6 emu/cm^3 ; 29 Oe at 300 K, respectively.

참고문헌

- [1] D. Leong, M. Harry, K. J. Reeson, and K. P. Homewood, *Nature* **387**, 686 (1997).
- [2] K. Lenz, E. Kosubek, K. Baberschke, H. Wende, J. Herfort, H. P. Schonherr, and K. H. Ploog, *Phys. Rev. B* **72**, 144411 (2005).
- [3] D. Berling, G. Gewinner, M. C. Hanf, K. Hricovini, S. Hong, B. Loegel, A. Mehdaoui, C. Pirri, M. H. Tuilier, and P. Wetzel, *J. Magn. Magn. Mater.* **191**, 331 (1999).



The Magnetic Entropy Change on $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ Compound

J. S. Hwang, D. M. Jang, K. S. Kim and S. C. Yu*

¹BK21 physics Program and Department of Physics, Chungbuk National University, 12 Gaesindong Cheongju 361-763 Chungbuk, Korea

I. Introduction

The magnetic caloric effect (MCE) is intrinsic to magnetic solids and is induced via the coupling of the magnetic sub-lattice with the magnetic field, which alters the magnetic part of the total entropy due to a corresponding change in the magnetic field. It can be measured and calculated as the adiabatic temperature change $\Delta T_{\text{ad}}(T, \Delta H)$ or as the isothermal magnetic entropy change $\Delta S_M(T, \Delta H)$. Traditionally, diluted paramagnetic slats and rare earth intermetallic compounds that display significant MCE have been considered as attractive materials for cryogenic applications [1,2]. Especially, double perovskite $\text{Ba}_2\text{FeMoO}_6$ (BFMO) shows room temperature magnetoresistance and a ferrimagnetic phase transition with a Curie temperature of 310 ~ 330 K [3,4]. Therefore, it would be very interesting to study the magnetocaloric effect for this kind of materials because of the Curie temperature being near room temperature. We have already published reports on the magnetocaloric effect of $\text{Ba}_{1.9}\text{La}_{0.1}\text{FeMoO}_6$ compound [5]. The magnetic entropy change can be tuned by suitable sintering process. In this work, the magnetocaloric effect of $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compound was investigated. Materials with proper Curie temperature and large spontaneous magnetization have many peculiar properties that are attractive for applications as magnetic refrigerants.

II. Experiments

Polycrystalline $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x=0.0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07$) samples were prepared by standard solid-state reaction in a stream of 5% H_2/Ar gas at sintering temperatures of 1273 K for 12 h. A stoichiometric mixture of high purity Fe_2O_3 (99.99%), FeO_3 (99.99%), BaO_3 (99.99%) and MnO_2 (99.999%) powders were fired in an Al_2O_3 crucible at 1573 K in an electric furnace. X-ray diffraction patterns were taken with a Phillips diffractometer using $\text{Cu K}\alpha$ radiation. The temperature dependence of the magnetization was measured with a commercial vibrating sample magnetometer (VSM) at various temperatures from 80 K to 500 K in fields up to 10 kOe.

III. Results and discussion

Figure 1 shows the temperature dependence of magnetization for $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compound measured at 100 Oe from 80 K. The magnetic transition temperature, T_c defined as the minimum temperature of the dM/dT vs. T curve. The sharp decrease in magnetization implies the occurrence of magnetic ordering. As shown in figure 1, the Curie temperature decreased from 346 to 132 K with increasing Fe concentration.

Figure 2 show the temperature dependence of the magnetic entropy change for $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compound with an external field of 10 kOe. The magnetic entropy change, a function of temperature and magnetic field,

produced by the variation of the magnetic field from 0 to H_{\max} is calculated by $|\Delta S_M| = \sum_i \frac{M_i - M_{i+1}}{T_{i+1} - T_i} \Delta H$. As can be seen in figure 2, with a magnetic field varying from 0 to 10 kOe, ΔS_M is about 0.415 J/kg K \sim 1.140 J/kg K. Our results show that the maximum value of ΔS_M obtained at $x=0.2$ compound. The magnetocaloric effect is taken place around room temperature, especially. The superior features of this compound make it a competitive candidate for a working material in room temperature magnetic refrigeration because of proper substitution of Fe. This opens promising applications in magnetic cooling systems, probably.

IV. Conclusion

The magneto-caloric effect and magnetization behavior have been analyzed in the double-perovskite $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compound with the sintering temperature at 1273 K. Samples were fabricated by conventional solid-state reaction method. X-ray diffraction measurements revealed that all the samples are single phase in cubic structure. The T_C decreased with increasing Fe content. The magnetic entropy changes, ΔS_M of about 0.42 \sim 1.93 J/kg K were obtained in the temperature range of 145 K \sim 350 K. The maximum values of ΔS_M obtained at $x=0.02$ compound with Curie temperature of 297 K.

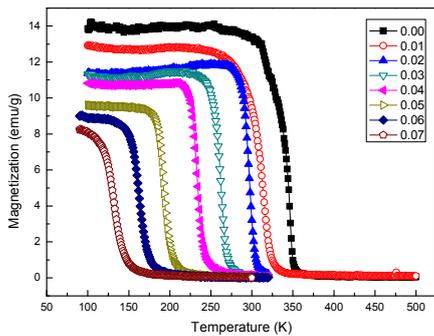


Fig. 1 Temperature dependence of magnetization for $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compound. Measured at 100 Oe on $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compound.

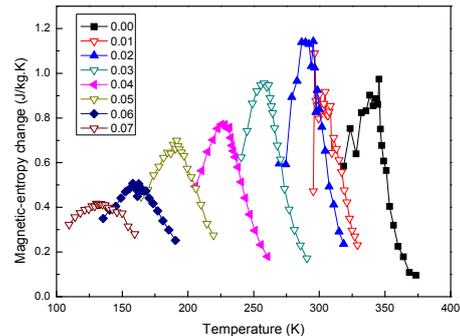


Fig. 2 Temperature dependence of the magnetic entropy change for $\text{La}_{0.7}\text{Ba}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ compound.

References

- [1] K. Pecharsky and K. A. Gschneidner Jr, J. Appl. Phys. 86, 565 (1999).
- [2] M. Földeàki, R. Chahine, and T. K. Bose, J. Appl. Phys. 77, 3528 (1995).
- [3] C. X. Huu, N. Chau, N. D. The and N. Q. Hoa, J. Kor Phys. Soc. **53**, 763 (2008).
- [4] N. Chau, D. T. Hanh, B. C. Tinh, N. H. Luong, N. D. Tho and N. H. Hai, J. Korean Phys. Soc. **52**, 1431 (2008).
- [5] M.S. Lee, C.M. Heo, K.S. Kim, B.S. Kang, S.C. Yu, Y.S. Kim, J.Y. Kim and B.W. Lee, J. Kor. Phys. Soc. 57, 1897 (2010).

La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃의 자기열량효과

장동민, 황종순, 김경섭, 유성초*

충북대학교 물리학과, 충북 청주시 흥덕구 개신동 12번지, 청주 361-763

1. 서론

본 연구에서는 페로브스카이트 구조를 지니고 있는 란타늄 망간산화물인 La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃(x=0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06, 0.07, wt.%) 합금에 대하여 자기열량효과 연구를 수행하였다. 이들 재료는 Gd 계열의 재료에 비해 비록 낮은 자기열량효과를 보이지만 제조하기가 쉽고 원가가 저렴한 장점을 가지고 있어서 유용한 자기냉각 소재로서 기대 되고 있는 물질이다. 본 논문에서는 Mn 대신 Ni 를 치환함에 따른 큐리온도의 변화와 자기열량효과의 변화를 관측하였다. 시료진동형 자력계 (VSM) 를 이용하여 자기적인 특성을 측정하였으며, 자기엔트로피 변화를 알아보기 위하여 큐리온도 근처에서 자기장의 변화에 따른 시료의 자기모멘트의 변화를 측정하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃ 합금은 분말을 측량하여 혼합하여 잘 섞어주고 900°C에서 12 시간 가열한다. 이 과정을 2-3 번 반복하고 분말을 동전모양으로 압축하여 만들고 이동전모양의 샘플을 1300°C에서 24시간 가열하고 다시 갈아서 동전모양의 샘플을 만들어 가열한다. 이 과정을 2-3 번 반복한다. 시료의 구조를 분석하기 위하여 X-ray 회절 실험을 하였다. 자기적 특성은 시료진동 자력계 (VSM) 을 이용하여 100 K 부터 300 K까지의 온도영역에서 1.0 T 까지 자기장을 증가시켜가며 자기이력 곡선과 자화값의 온도 의존성을 측정하였다. 또한, 자기열량효과의 간접적인 측정방법인 자기 엔트로피 변화를 측정하기 위하여 각 합금들의 큐리온도 근처에서의 외부자기장의 변화에 따른 자화값의 변화를 측정하였다.

3. 실험결과

시료의 조성에 따른 구조적 특성을 분석하기 위하여 XRD실험을 수행하였는데 회절실험 결과로부터 분석된 La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃ (x=0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06, 0.07, wt%) 시료는 조성에 상관없이 orthorhombic 구조를 보이고 있다. 그림 1은 La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃ 시료의 자화값의 온도의존성을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 Ni 의 함량이 증가함에 따라 큐리온도의 범위는 220K 에서 210K 로 감소함을 알 수 있다. 자기 엔트로피 변화와 온도 변화는 온도에 대해 자화값이 크게 변할 때 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있는데 자기모멘트가 가장 크게 변화할 때는 자성체의 상태가 강자성에서 상자성으로 변할 때와 같은 상변이가 일어 날 때이며 또한 인가해주는 자기장의 크기와 비례함을 알 수 있다. 따라서 자기냉동기에 사용될 자성체는 커다란 자기모멘트를 가지고 있을수록 유리하며 큐리온도가 사용하고자 하는 온도 영역, 즉 상온근

처인 재료가 가장 이상적이라 할 수 있다. 자기 엔트로피를 변화를 구하기 위하여
$$\Delta S_M = \sum_i \frac{M_{i+1} - M_i}{T_{i+1} - T_i} \Delta H$$

의 관계를 이용하여 계산을 하였다. 그림 2 는 La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO₃ 시료의 자기 엔트로피의 변화를 나타낸 그림이다. 자기엔트로피의 변화는 전체적으로 대략 0.3 에서 1 J/kg K 의 범위를 가지고 있을 을 알 수 있었다. 전체적으로 Ni 의 함량이 증가함에 따라 자기 엔트로피 특성은 작은 값을 지니고 있었지만 특히, x = 0.02 의 시료인 경우 340 K 의 온도 범위에서 약 3 J/kg K 의 자기 엔트로피 값이 갑자기 증가함을 알 수 있었다. 이렇게 갑자기 값이 커진 이유를 검증하기 위하여 앞으로 x = 0.02 의 범위근처에서 보다 정밀한 실험을 계획

중이다.

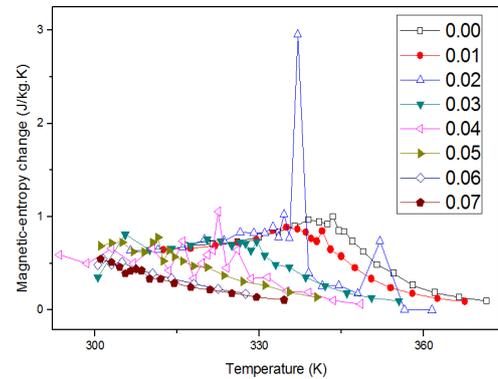
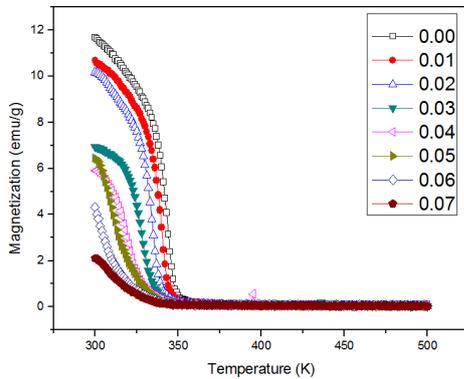


그림 1 $La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO_3$ 시료의 자화값의 온도의존성 그림 2 $La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO_3$ 시료의 온도에 대한 자기 엔트로피의 변화

4. 결론

자기냉동기의 냉매로 연구 되어진 재료는 많이 있으나 본 실험에서 사용된 망간산화물 계열은 만들기 쉬우면서 가격이 싼 장점을 가지고 있다. Gd 등 금속화합물과 비교하면 자기열량효과가 낮은 단점을 가지고는 있지만 저렴한 가격에 큰 자기열량효과를 가지고 있는 재료를 찾는 것은 중요한 과제라 할 수 있다. 본 $La_{0.7}Ba_{0.3}Mn_{1-x}Ni_xO_3$ 시료계인 경우 Ni의 함량이 증가함에 따라 자기 엔트로피 특성은 작아지는 경향을 가지고 있었지만 $x = 0.02$ 의 시료인 경우 340 K의 온도 범위에서 약 3 J/kg K로 자기 엔트로피 값이 갑자기 증가함을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] A. O. Pecharsky, K. A. Gschneidner, Jr and V. K. Pecharsky, J. Magn. & Magn. Mater., 367, 60 (2003)
- [2] W. Dunhui, L. Haidong, T. Shaolong, Y. Sen, S. Huang, Y. Du, Phys. Lett. A, 297, 247 (2002).
- [3] O. Tegus, E. Bruck, X. W. Li, L. Zhang, W. Dagula, F. R. De Boer, and K. H. J. Buschow, J. Mag. & Mag. Mat. 272, 2389 (2004).
- [4] E. Bruck, M. Ilyn, A. M. Tishin, and O. Tegus, J. Magn. & Magn. Mater., 290, 8 (2005)
- [5] N. Chau, D. T. Hanh, B. C. Tinh, N. H. Luong, N. D. Tho and N. H. Hai, J. Korean Phys. Soc. 52,1431(2008)
- [6] M.S. Lee, C.M. Heo, K.S. Kim, B.S. Kang, S.C. Yu, Y.S. Kim, J.Y. Kim and B.W. Lee, J. Kor. Phys. Soc. 57, 1897 (2010).

Effects on Magnetic and Electric Properties by Cation Substitution (Mg, Co) in Multiferroic $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$ thin films

R. H. Shin^{1,2*}, S. H. Oh¹, W. Jo¹, C. Lefevre^{1,2,3}, F. Roulland³, A. Thomasson³,
C. Meny³, and N. Viart³

¹Department of Physics, Ewha Womans University, Seoul, 120-750, Korea

²CNRS-EWHA International Research Center, Seoul, 120-750, Korea

³Institute of Physics and Chemistry of Material of Strasbourg (UMR 7504 CNRS-UDS), BP 43, 23, rue de Loess, 67034 Strasbourg, Cedex 2, France

1. 서론

Magnetoelectric (ME) property has become an growing issue because of multifunctional or multibit device application. Among of ME materials, $(\text{Ga,Fe})_2\text{O}_3$ (GFO) is the candidate material because of high magnetic T_C as 370 K at $\text{Fe}=1.4$ and non-zero remnant magnetization. However, GFO has serious issue about ferroelectricity that should be solved for new room temperature multiferroic. Ferroelectric polarization of GFO have not been reported yet due to high level charge conduction. Recently, we have solved the issue by substituting Mg [1]. However we cannot be sure the conservation of magnetic property such as high T_C . Thus we have tried different element as Co that is magnetic one.

2. 실험방법

Co doped GFO (GFO:Co) thin films were deposited by pulsed laser deposition method with different Co concentration at 750°C with oxygen gas as 200 mTorr on $\text{SrRuO}_3/\text{SrTiO}_3(111)$ and $\text{Pt/Ti/YSZ}(111)$ substrates. Composition of the GFO:Co was obtained by energy dispersive spectrometer with scanning electron microscopy. Their crystallization was studied using x-ray diffraction patterns. Charge conduction behavior was characterized by HP 4145B semiconductor parameter analyzer equipped with probe station. $M(T)$ and $M(H)$ curves were obtained by SQUID measurement to study magnetic properties of the GFO:Co thin films. Scanning probe microscopy was employed to show their surface morphology and charged state. Especially, piezoresponce force microscopy (PFM) was used when we obtained local ferroelectricity.

3. 실험결과

The GFO:Co thin films were epitaxially grown along b axis shown in Fig. 1. Charge conduction was reduced with increasing Co concentration until the GFO:Co 1.34%. The magnetic T_C was also reduced and $M(H)$ curves showed ferrimagnetic shape. We could obtain ferroelectric polarization using PFM.

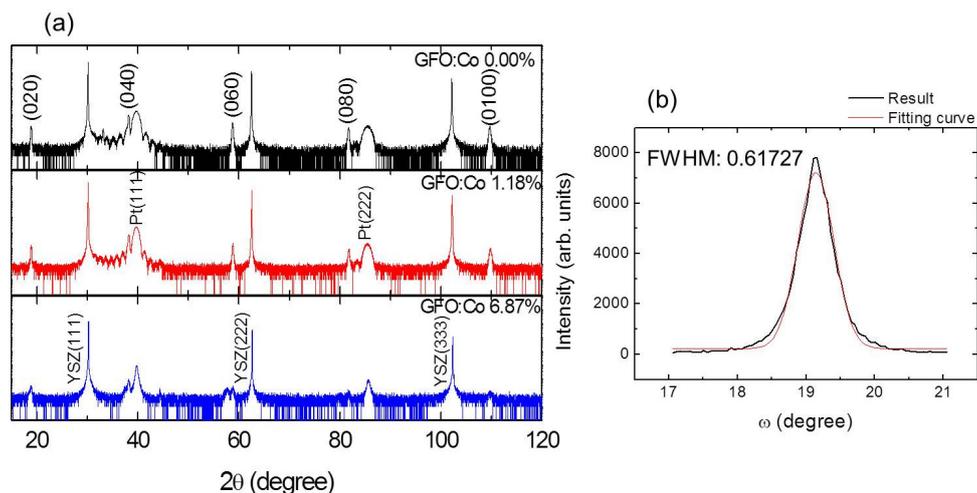


Figure 1. (a) X-ray diffraction patterns for the GFO:Co thin films on Pt/Ti/YSZ(111) to characterize their crystalline structure. (b) Rocking curve for the GFO:Co 1.18% thin films

4. 고찰

In the GFO:Co showed the lowest charge conduction charge conduction, magnetic T_C was the lowest as 355 and 332°C depending on substrates and bottom electrodes that is still above room temperature by SQUID measurement because Fe ions were substituted by Co ion. The mechanism of ferroelectric polarization of the GFO:Co is charge density modulation without dipole of a cation and anion pair[2]. When there is non-centrosymmetric charge distribution, polarization can be generated only with cations. In the GFO:Co thin films, Co^{2+} and Fe^{3+} induced ferroelectric polarization.

5. 결론

GFO:Co showed ferrimagnetic $M(H)$ by SQUID and ferroelectric $P(E)$ behaviors by piezoresponce force microscopy owing to charge density modulation. Therefore, we suggest the optimal Co concentration in GFO thin films for a new room temperature multiferroic material.

6. 참고문헌

- [1] C. Lefevre, R. H. Shin, J. H. Lee, S. H. Oh, F. Roulland, A. Thomasson, E. Autissier, C. Meny, W. Jo, and N. Viart, Appl. Phys. Lett. **100**, 262904 (2012).
- [2] N. Ikeda, H. Ohsumi, K. Ohwada, K. Ishii, T. Inami, K. Kakurai, Y. Murakami, K. Yoshii, S. Mori, Y. Horibe & H. Kito, Nature, **436**, 1136 (2005).

Electronic structure and magnetism of catalytic material Pt₃Ni surfaces: Density-functional study

Bharat Kumar Sharma^{1*}, Oryong Kwon², Dorj Odkhuu², Soon Cheol Hong²

¹Department of Physics, Concordia University

7141 Shebrooke St. West, Montreal, Quebec, Canada H4B 1R6

²Department of Physics and Energy Harvest Storage Research Center

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

Abstract

A Pt-skin Pt₃Ni(111) surface was reported to show high catalytic activity. In this study, we investigated the magnetic properties and electronic structures of the various oriented surfaces of bulk-terminated and Pt-segregated Pt₃Ni by using a first-principles calculation method. The magnetic moments of Pt and Ni are appreciably enhanced at the bulk-terminated surfaces compared to the corresponding bulk values, whereas the magnetic moment of Pt on the Pt-segregated Pt₃Ni(111) surface is just slightly enhanced because of the reduced number of Ni neighboring atoms. Spin-decomposed density of states shows that the dz² orbital plays a dominant role in determining the magnetic moments of Pt atoms in the different orientations. The lowering of the d-band center energy (-2.22 eV to -2.46 eV to -2.51 eV to -2.65 eV) in the sequence of bulk-terminated (100), (110), (111), and Pt-segregated (111) may explain the observed dependence of catalytic activity on surface orientation. Our d-band center calculation suggests that an observed enhanced catalytic activity of a Pt₃Ni(111) surface originates from the Pt-segregation.

Keywords: Pt₃Ni, density-functional theory, magnetism, electronic structure, catalytic activity

A study on Spontaneous Hall effect in Amorphous CoSiB/Pt/CoSiB sandwich structure

Y.K. Kim^{1*}, S.Y. Kim¹, I.S. Park¹, H.N. Lee¹, H.J. Kim¹, T.W. Kim¹

¹Department of Advanced Materials Engineering, Sejong University, Seoul, 143-747, Korea

Magnetic multilayer films with perpendicular magnetic anisotropy have been extensively studied for the application of magnetic recording media and magnetic sensor. The spontaneous Hall effect (Extraordinary Hall effect) in magnetic metals and alloys which is caused by spin-orbit interaction is substantially larger than the ordinary Hall effect due to Lontz force. Some materials exhibit quite large spontaneous Hall effect suitable for Hall sensor. These materials include amorphous rare earth (RE)-transition metal (TM) alloy and Pt-based magnetic multilayer.

In this study, we have quantitatively investigated the Spontaneous Hall effect (SHE) in amorphous CoSiB/Pt/CoSiB sandwich structure. The amorphous CoSiB/Pt/CoSiB sandwich structure were prepared by changing Pt thickness. The thickness of Pt were varied in the range of from 11 to 42 Å. The amorphous CoSiB/Pt/CoSiB sandwich structure exhibited moderate spontaneous Hall resistivity (ρ_H , $0.016 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm} \sim 0.39 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$) and large Hall angle (ρ_H/ρ , 2.5~9.5%), which was larger than those of amorphous rare-transition metal alloys (ρ_H/ρ , 3%) and normal transition metal alloys (ρ_H/ρ , 6~8%).

Anisotropy Magnetoresistance(AMR) Effect in the Co-TbN two-phase system

S.Y. Kim^{1*}, H.N. Lee¹, Y.K. Kim¹, H.J. Kim¹, I.S Park¹, T.W. Kim¹

¹Department of Advanced Materials Engineering, Sejong University, Seoul, South Korea.

Two-phase magnets are a new class of phase separated magnetic materials. In materials with two magnetic phases it is possible to have exchange coupling at the phase boundary when the two phases are in intimate contact. A two-phase magnet Co-TbN, which consists of TbN particles in a Co matrix, showed the giant magnetoresistance(GMR) at room temperature. The GMR effect of the Co-TbN system was explained by scattering of spin polarized conduction electrons on antiparallel exchange coupled spins at the phase boundary between TbN particles and the Co matrix¹). The recent study examined an AMR effect of two-phase magnet Co-TbN which consists of two phase, HCP Co matrix and highly-ordered TbN precipitates. The Co-TbN exhibited a large AMR effect. The magnetoresistivity ($\delta\rho$) and magnetoresistance ($\delta\rho/\rho$) of Co-TbN thin film is about $\sim 1 \times 10^{-7} \Omega_{cm}$ and $\sim 3\%$ at room temperature up to the field of 500Oe.

Reference

- [1] T.W. KIM , R.J.Gambino & T.R. McGuire , Journal Of Applied Physics, 89(1), 7299(2001)

Author Index

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
André Gilles	초청강연 I-5	100	Jung C. U.	MO06	29
Arqum Hashmi	MT03	112	Jung K. Y.	ST10	65
Arqum Hashmi	O-1	103	Jung Myung-Hwa	ST07	59
Bialek Beata	MT08	122	Jung Sol	ST07	59
Bousseksou Azzedine	총회초청	3	Kamara Souleymane	S-1	75
Bousseksou Azzedine	S-1	75	Katsufuji T.	MO08	33
Chang Joon Yeon	NM01	132	Khairurrijal	MO06	29
Charar Salam	S-1	75	Kim CheolGi	S-1	75
Cho Cheong-Gu	ST03	52	Kim CheolGi	S-5	80
Cho J.	MO06	29	Kim Dongyoo	MT03	112
Cho Jaehun	ST07	59	Kim Dongyoo	O-1	103
Cho Sunglae	NM03	135	Kim H.J.	OT10	173
Cho Sunglae	OT04	163	Kim H.J.	OT11	174
Cho Sunglae	OT05	165	Kim Hyo-Jin	ST03	52
Choe Sug-Bong	ST03	52	Kim Hyung Jun	NM01	132
Choe Sug-Bong	MT11	129	Kim In Gee	MT06	117
Choi Hyeok-Cheol	ST13	71	Kim In Gee	MT07	119
Choi J.	MO06	29	Kim In Gee	MT12	130
Choi Jong-Gu	SA02	140	Kim J.	MO06	29
Choi Seongil	MO03	24	Kim Jin-Mok	S-4	79
Choi Youngha	ST07	59	Kim Jiyeon	MO03	24
Chu Kang Hyun	MO07	31	Kim K. S.	OT06	166
Cobo Saioa	총회초청	3	Kim Keun-Ho	SA02	140
Cuong Tran Viet	OT04	163	Kim Kiwoong	S-4	79
Dehbaoui Mourad	S-1	75	Kim Ki-Yeon	ST13	71
Dhakal D. R.	HM03	18	Kim Kwang-Eun	MO01	20
Dumas Richard	S-1	75	Kim Kyung Ho	NM01	132
Duong Anh Tuan	OT04	163	Kim Miyoung	MT01	109
Eu Young-Jae	S-5	80	Kim S.Y.	OT10	173
Han Jeong-Min	ST11	67	Kim S.Y.	OT11	174
Hong Jin Pyo	NM01	132	Kim Sang-Il	ST11	67
Hong Jisang	MT03	112	Kim Seung Jin	MO07	31
Hong Jisang	O-1	103	Kim Shin Ae	MO03	24
Hong Soon Cheol	OT09	172	Kim T. H.	VI-2	86
Hu Xinghao	S-5	80	Kim T.W.	OT10	173
Hur Jun-Yi	SA02	140	Kim T.W.	OT11	174
Hur Namjung	MO03	24	Kim Y.K.	OT10	173
Hwang J. S.	OT06	166	Kim Y.K.	OT11	174
Isogami Shinji	ST01	48	Kurnia F.	MO06	29
Jang Byung-Kweon	MO01	20	Kwon H. W.	VI-2	86
Jang D. M.	OT06	166	Kwon Hyukchan	S-4	79
Jeon Seungmok	NM03	135	Kwon Oryong	OT09	172
Jeong Ilgyo	S-5	80	Lee B. W.	MO06	29
Jo Jeong Hong	NM01	132	Lee H.N.	OT10	173
Jo Sin-Yong	ST13	71	Lee H.N.	OT11	174
Jo W.	OT08	170	Lee J. G.	VI-2	86

Name	Abstract ID	Page
Lee Jae-Yeon	SA02	140
Lee Jee Yong	MT06	117
Lee Jee Yong	MT07	119
Lee Jee Yong	MT12	130
Lee Jin Hong	MO07	31
Lee JinHong	MO01	20
Lee Joo-Hyung	SA02	140
Lee Ki-Seung	ST11	67
Lee Kyung-Jin	ST09	63
Lee Kyung-Jin	ST11	67
Lee Nam-Kyu	SA02	140
Lee Sanghyun	MO03	24
Lee Sang-Suk	SA02	140
Lee Seong-Rae	OT01	157
Lee Seongsu	강습회 T-3	9
Lee Seongsu	MO03	24
Lee Yong-Ho	S-4	79
Lefevre C.	OT08	170
Lefevre Christophe	초청강연 I-5	100
Lim Byunghwa	S-5	80
Lim Ji Soo	MO07	31
Lim Sang Ho	NM01	132
Lim Sang Ho	OT01	157
Matin M. A.	VI-2	86
Meny C.	OT08	170
Meny Christian	초청강연 I-4	98
Meny Christian	초청강연 I-5	100
Min B. C.	ST10	65
Min Byoung-Chul	MT11	129
Min Byoung-Chul	ST11	67
Min Byoung-Chul	ST09	63
Molnar Gabor	총회초청	3
Moon Cheol-Hyun	ST03	52
Moon Chul-Hyun	ST09	63
Moon Joon	ST03	52
Moon Kyoung-Woong	MT11	129
Nam Yoon Jae	NM01	132
Odkhuu Dorj	OT09	172
Ogawa Tomoyuki	S-2	76
Oh S. H.	OT08	170
Park B. H.	MO06	29
Park I.S	OT11	174
Park I.S.	OT10	173
Park J. M. Sungil	강습회 T-1	7
Park Je-Geun Park	MO03	24
Park S. Y.	ST10	65
Park Seung-Young	ST11	67
Porcher Florence	초청강연 I-5	100
Quang-Hung Tran	S-1	75
Quang Tran Van	MT01	109
Real José-Antonio	총회초청	3

Name	Abstract ID	Page
Reddy Venu	S-5	80
Rhie K.	ST10	65
Roulland F.	OT08	170
Roulland Francois	초청강연 I-5	100
Salmon Lionel	총회초청	3
Sharma Bharat Kumar	OT09	172
Shim Hasung	MO03	24
Shim S. -B.	MO06	29
Shin K. H.	ST10	65
Shin Kyung-Ho	MT11	129
Shin Kyung-Ho	ST09	63
Shin Kyung-Ho	ST11	67
Shin R. H.	OT08	170
Shin Yooleemi	NM03	135
Shin Yooleemi	OT04	163
Shin Yooleemi	OT05	165
Son Dong Su	OT01	157
Sooryakumar R.	S-3	78
Takahashi Migaku	ST01	48
Takahashi Migaku	S-2	76
Tambunan O.	MO06	29
Tanaka Koichiro	총회초청	3
Terki Ferial	S-1	75
Thomasson A.	OT08	170
Thomasson Alexandre	초청강연 I-5	100
Tsunoda Masakiyo	ST01	48
Tuan Duong Anh	NM03	135
Tuan Duong Anh	OT05	165
Viard N.	OT08	170
Viard Nathalie	초청강연 I-5	100
Vieu Christophe	총회초청	3
Won Choongjae	MO03	24
Yang Chan-Ho	MO01	20
Yang. C. W.	VI-2	86
Yim H. I.	ST07	59
Yong Chan-Ho	MO07	31
Yoo Sang-Im	ST03	52
Yoo Sang-Cheol	MT11	129
Yoo Sang-Im	VI-5	90
Yoon Jungbum	ST07	59
Yoon Sunghyun	O-2	104
You Chun-Yeol	ST07	59
You Chun-Yeol	ST13	71
Yu J. H.	VI-2	86
Yu Kwon-Kyu	S-4	79
Yu S. C.	OT06	166
Yun Sang-Jun	ST03	52
Yun Won Seok	MT06	117
Yun Won Seok	MT07	119
Yun Won Seok	MT12	130
강병기	MO08	33
강주홍	SM04	40

Name	Abstract ID	Page
강희경	MT02	110
고정호	초청강연 I-1	93
고태준	SM02	36
권상일	MO08	33
권오룡	MT05	116
권우준	MO02	22
권윤미	BM01	13
권윤미	SM05	42
권윤미	SM06	44
김가언	ST06	57
김경섭	OT07	168
김근호	SA01	137
김근호	SA03	143
김기연	강습회T-2	8
김기연	ST05	55
김기하	SM01	34
김덕호	ST02	50
김도균	ST01	48
김동영	초청강연 I-3	96
김동영	MO04	26
김동영	NM02	133
김동철	MT08	122
김두환	MO02	22
김민석	초청강연 I-1	93
김봉건	SM01	34
김삼진	SM02	36
김상면	VI-3	88
김상훈	초청강연 I-1	93
김성현	OT02	159
김영근	SM01	34
김영근	ST01	48
김영근	ST12	69
김영학	SM07	46
김용민	SM07	46
김은애	SA06	151
김정윤	SA05	149
김정윤	SA08	155
김진모	SM02	36
김진모	SM03	38
김창수	MO08	33
김철성	MO02	22
김철성	SM02	36
김철성	SM03	38
김철성	SM04	40
김태훈	HM01	14
김태훈	HM02	16
김효준	VI-3	88
남윤재	MT02	110
문경웅	ST02	50
문수진	MT10	127
민병철	ST02	50
민병철	ST04	54

Name	Abstract ID	Page
박광준	SA04	146
박래준	MT04	113
박범철	SM01	34
박상윤	BM01	13
박성균	강습회T-2	8
박영안	MO05	28
박유근	BM01	13
박태영	MT04	113
배경훈	HM02	16
변진규	MT09	124
서효원	SM01	34
서휘	MO02	22
석효준	OT02	159
성길동	MO05	28
손대락	SA05	149
손대락	SA06	151
손대락	SA07	153
손대락	SA08	155
손일호	SA01	137
손장엽	초청강연 I-1	93
송혜진	MT09	124
신경호	ST01	48
신경호	ST02	50
신경호	ST04	54
신광호	SM07	46
신준규	SA08	155
신한수	MT09	124
심인보	SM04	40
심정현	MO08	33
양창섭	SA07	153
양창섭	SM07	46
원미희	SM04	40
유권상	SA08	155
유상철	ST02	50
유상철	ST04	54
유성초	OT07	168
유일선	SA05	149
유일선	SA08	155
유지훈	VI-4	89
유천열	OT03	161
유천열	ST05	55
유천열	ST06	57
유춘리	SM05	42
유춘리	SM06	44
유필선	SM06	44
윤석수	초청강연 I-3	96
윤석수	MO04	26
윤석수	NM02	133
윤정범	OT03	161
이근학	MT04	113
이남규	SA01	137
이남규	SA03	143

Name	Abstract ID	Page
이민우	HM01	14
이민우	HM02	16
이민우	HM03	18
이보화	BM01	13
이보화	SM05	42
이보화	SM06	44
이상석	MT04	113
이상석	SA01	137
이상석	SA03	143
이상석	SA04	146
이성래	HM01	14
이성래	HM02	16
이성민	SA05	149
이성민	SA08	155
이수길	초청강연 I-1	93
이순철	MO08	33
이승주	SA06	151
이승주	SA07	153
이승환	강습회T-2	8
이은주	BM01	13
이장로	SA04	146
이재승	MO02	22
이재일	MT08	122
이정구	VI-4	89
이정수	강습회T-2	8
이종력	OT02	159
이주형	SA04	146
이진용	초청강연 I-2	95
이진용	OT02	159
이찬혁	SM02	36
이찬혁	SM03	38
이현숙	초청강연 I-2	95
이현숙	OT02	159
임상호	MT02	110
임상호	SM07	46
임정태	SM02	36
임정태	SM03	38
임태환	HM03	18
임혜인	OT03	161
장동민	OT07	168
장명복	SA03	143
장세종	SA06	151

Name	Abstract ID	Page
장창실	MT04	113
장태석	HM01	14
장태석	HM02	16
장태석	HM03	18
장태석	VI-1	85
장평우	MT10	127
장평우	ST08	61
전병선	ST01	48
전병선	ST12	69
전성재	초청강연 I-3	96
정규체	SA08	155
정술	OT03	161
정종훈	MO05	28
정진용	ST06	57
정현주	SA07	153
정훈모	MT04	113
제승근	ST04	54
조광래	SM04	40
조은아	MO08	33
조재훈	ST06	57
조지웅	ST01	48
조창우	강습회T-2	8
조현성	SA03	143
차재훈	MO02	22
채윤기	SM06	44
최석봉	ST02	50
최석봉	ST04	54
최재정	ST08	61
최종구	SA01	137
최종구	SA03	143
최종구	SA04	146
최혁철	ST05	55
허남정	MO05	28
허민재	MO02	22
허준이	SA01	137
홍순철	MT05	116
홍종일	초청강연 I-1	93
황도근	초청강연 I-2	95
황도근	OT02	159
황리라	BM01	13
황선민	강습회T-2	8
황종순	OT07	168
황찬용	ST12	69