

한국자기학회 2014년도 임시총회 및 하계학술연구발표회

KMS 2014 Summer Conference

논문개요집



- | | |
|----|--------------------------|
| 일시 | 2014. 5. 29(목) ~ 5.31(토) |
| 장소 | 한화리조트 해운대 티볼리 |
| 주최 | 한국자기학회 |
| 후원 | 한국과학기술단체총연합회 |

Digests of the KMS 2014 Summer Conference
The Korean Magnetics Society

사단법인 한국자기학회

한국자기학회 2014년도 임시총회 및 하계학술연구발표회

KMS 2014 Summer Conference

논문개요집



일시 2014. 5. 29(목) ~ 5.31(토)

장소 한화리조트 해운대 티볼리

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

“이 발표논문집은 2014년도 정부재원으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음”



공지사항

1. 연구발표를 하시는 회원은 아래사항을 지켜주시기 바랍니다.

- 1) 포스터보드 크기는 한 분당 가로 120cm X 세로 180cm 사용할 수 있습니다.
- 2) 포스터 발표자는 발표시간 10분 전에 붙여주시기 바랍니다.

2. 일 정

5월 29일(목)	12:00~	참가자 등록	
	13:00~16:10	강습회 프로그램 (마나톨라)	
	16:10~16:20	Coffee Break	
	16:20~16:50	초청강연 I (마나톨라)	
	16:50~17:00	Coffee Break	
	17:00~18:20	구두발표 I (마나톨라)	구두발표 II (베르나차)
5월 30일(금)	08:30~	참가자 등록	
	09:00~11:50	구두발표 III (마나톨라)	구두발표 IV (베르나차)
	11:50~13:30	Lunch	
	13:30~14:50	Special Session I (마나톨라) “미래 Magnet 연구회”	Special Session II (베르나차) “의과학 자기 연구회”
	14:50~15:00	Coffee Break	
	15:00~16:00	초청강연 II (마나톨라)	
	16:00~17:00	연구회, 자성학 계절학교, 홈페이지 운영방향 설명회 (마나톨라)	
	17:00~17:20	Coffee Break	
	17:20~18:00	총회 특별초청강연 (마나톨라) - 백종렬(한국알박(주))	
	18:00~18:30	한국자기학회 정기총회 (마나톨라)	
	18:30~20:30	Dinner (Banquet, 몬테로소)	
5월 31일(토)	08:30~	참가자 등록	
	09:00~11:00	포스터발표 (로비)	
	11:00~11:30	Best Poster 시상식 및 폐회 (마나톨라)	

3. 『Best Poster 시상』이 5월 31일(토) 11시 00분에 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여바랍니다.
(단, 수상자(발표자)가 불참시에는 수상이 취소됩니다.)

5월 29일 (목)

시간	프로그램		
12:00 ~	참가자 등록		
	강습회 프로그램 (마나톨라)		
	좌장: 박덕근(한국원자력연구원)		
13:00 ~ 14:30	T-1. 자기센서의 원리와 응용		
	손대락(한남대)		
14:30 ~ 14:40	Coffee Break		
14:40 ~ 16:10	T-2. Future R&D strategies of magnetic MEMS/NEMS sensors		
	김철기(대구경북과학기술원)		
16:10 ~ 16:20	Coffee Break		
	초청강연 I (마나톨라)		
	좌장: 한석희(한국과학기술연구원)		
16:20 ~ 16:50	초O-I-1. 스마트폰 속의 자기센서		
	윤석수(안동대)		
16:50 ~ 17:00	Coffee Break		
	구두발표 I (마나톨라)		구두발표 II (베르나차)
	좌장: 홍지상(부경대)		좌장: 김동영(안동대)
17:00 ~ 17:20	O-I-1. 반 호이슬러 구조 화합물 CCsBa (001)표면의 전자구조와 반쪽금속성 이재일(인하대)	17:00 ~ 17:20	O-II-1. Control of skyrmion magnetic bubble gyration 문경웅(한국표준과학연구원)
17:20 ~ 17:40	O-I-2. Size-specific dynamic properties of magnetic nano-spheres with a three-dimensional magnetic vortex 유명우(서울대)	17:20 ~ 17:40	O-II-2. Magnetism of atomically thin NiO films 김재성(숙명여대)
17:40 ~ 18:00	O-I-3. Magnetic properties of Gadolinium doped Bismuth Tellurides: First-principles calculation Tran Van Quang(아주대)	17:40 ~ 18:00	O-II-3. Perpendicular magnetic anisotropy induced by spin direction of antiferromagnet layers in a ferromagnetic-antiferromagnetic bi-layer system 김원동(한국표준과학연구원)
18:00 ~ 18:20	O-I-4. Half metallic g-C ₄ N ₃ on BN layer Hashmi Arqum(부경대)	18:00 ~ 18:20	O-II-4. Low Noise 및 Wide Supply Voltage Range 3-axis Flux-gate Magnetometer 제작에 관한 연구 손대락(한남대)



5월 30일 (금)

시간	프로그램		
08:30 ~	참가자 등록		
	구두발표 III (마나몰라) 좌장: 김삼진(국민대) / 최판규((주)MTI)		구두발표 IV (베르나차) 좌장: 유천열(인하대) / 홍종일(연세대)
09:00 ~ 09:20	O-III-1. HoN 나노입자 합성 및 자기열량 효과 연구 김동수(재료연구소)	09:00 ~ 09:20	O-IV-1. Relative strength of perpendicular magnetic anisotropies at bottom and top interfaces in [Pt/Co/Pt] trilayers 원영찬(고려대)
09:20 ~ 09:40	O-III-2. Strain effect on magnetic properties in SrRu _{0.9} Fe _{0.1} O ₃ thin films Kirstie(한국외대)	09:20 ~ 09:40	O-IV-2. Formation of a CoFe(001) texture in FeZr-inserted multilayer-based stacks with perpendicular magnetic anisotropy 원영찬(고려대)
09:40 ~ 10:00	O-III-3. Electronic structure change due to migration of oxygen vacancies in Ca-doped BiFeO ₃ 임지수(한국과학기술원)	09:40 ~ 10:00	O-IV-3. Pt/Co/Pt 박막에서 자기 비등방성 에너지 조절을 통한 자구벽 속도 제어 김대연(서울대)
10:00 ~ 10:20	O-III-4. Electric field control of magnetic easy axis using phase competition in tensile strained BiFeO ₃ thin films 이진홍(한국과학기술원)	10:00 ~ 10:20	O-IV-4. 양성자 조사에 의해 환원된 Co/Pd superlattice의 비정상 pseudomorphism과 그에 따른 계면에서의 스핀-궤도 결합의 강화 김상훈(연세대)
10:20 ~ 10:30	Coffee Break		
10:30 ~ 10:50	O-III-5. 등방성 나노결정립 Nd-Fe-B계 자성분말의 저온치밀화에 따른 미세조직과 자기특성 변화 차희령(재료연구소)	10:30 ~ 10:50	O-IV-5. Magnetic Domain wall motion in [CoSiB/Pt] _n thin films with perpendicular magnetic anisotropy 정명화(서강대)
10:50 ~ 11:10	O-III-6. A New 8-Pole Alignment Ring-Shaped Nd-Fe-B Sintered Magnet for High Power Motor 김호준(자화전자)	10:50 ~ 11:10	O-IV-6. DMI 측정법: DMI에 의한 비대칭적 자구벽 운동 및 스핀-오비탈 토크에 의한 자구벽 운동 제승근(서울대)
11:10 ~ 11:30	O-III-7. 자성유체 적용에 따른 보이스코일의 방열 특성에 관한 실험적 연구 김형진(동아대)	11:10 ~ 11:30	O-IV-7. Graphene as an effective tunnel barrier for spin injection into n-Ge 백승현(한국과학기술원)
		11:30 ~ 11:50	O-IV-8. 광자기 Kerr 효과를 이용한 스핀 궤도 돌림힘 측정 윤상준(서울대)

시간	프로그램		
11:50 ~ 13:30	Lunch		
	Special Session I (마나롤라) “미래 Magnet 연구회” 좌장: 권해웅(부경대)		Special Session II (베르나차) “의과학 자기 연구회” 좌장: 박철수(한림성심대학)
13:30 ~ 13:50	초 S-I-1. Rare-Earth-Free Permanent Magnets as a Next-Generation Magnet: MnBi-Based Alloys 이우영(연세대)	13:30 ~ 13:50	초 S-II-1. The effect of source to image-receptor distance(SID) on radiation dose for digital chest x-ray examination 권순무(대구보건대)
13:50 ~ 14:10	초 S-I-2. Magnetically induced variations in phonon frequencies 이주형(광주과학기술원)	13:50 ~ 14:10	초 S-II-2. The clinical usefulness about the fat saturation method which is effective in 3.0T MRI 한만석(강원대)
14:10 ~ 14:30	초 S-I-3. Applications of Metallic Glass utilizing Soft Magnetic Properties 임혜인(숙명여대)	14:10 ~ 14:30	초 S-II-3. 방사선치료분야의 전자기기술 적용사례연구 서정민(대원대)
14:30 ~ 14:50	초 S-I-4. 일본의 원소전략프로젝트에서의 자석재료 연구동향 최판규((주)MTI)		
14:50 ~ 15:00	Coffee Break		
	초청강연 II (마나롤라) 좌장: 이우영(연세대)		
15:00 ~ 15:30	초 O-II-1. Switching Current Density Reduction in Spin Transfer Torque Magnetic Tunneling Junction 유천열(인하대)		
15:30 ~ 16:00	초 O-II-2. Spin-torque nano-oscillators for wireless communication 민병철(한국과학기술연구원)		
16:00 ~ 17:00	연구회, 자성학 계절학교, 홈페이지 운영방향 설명회 (마나롤라) 사회: 황도근(상지대)		
17:00 ~ 17:20	Coffee Break		
17:20 ~ 18:00	총회 특별초청강연 (마나롤라) 좌장: 장준연(한국과학기술연구원) 희토류(Nd)소결자석 양산설비 소개 백충렬(한국알박(주))		
18:00 ~ 18:30	한국자기학회 정기총회 (마나롤라)		
18:30 ~ 20:30	Dinner (Banquet, 몬테로소)		



5월 31일 (토)

시간	프로그램
08:30 ~	참가자 등록
	포스터 발표 (로비) 좌장: 류권상(한국표준과학연구원) / 김미영(숙명여대)
09:00 ~ 11:00	<p>Session BM[Biomedical materials]</p> <p>Session HM[Hard magnetic]</p> <p>Session MO[Magnetic oxides and multiferroics]</p> <p>Session SM[Soft magnetic]</p> <p>Session SA[Sensors and applications]</p> <p>Session ST[Spintronics]</p> <p>Session MT[Magnetic theory and calculations]</p> <p>Session NM[Nanostructured materials]</p> <p>Session OT[Others]</p>
11:00 ~ 11:30	Best Poster 시상식 및 폐회 (마나몰라)



CONTENTS

KMS 2014 Summer Conference

5월 30일(금) 17:20~18:00
Session : 총회 특별초청강연

마나틀라

✿ 좌 장 : 장준연(한국과학기술연구원)

총회초청	17:20	희토류(Nd)소결자석 양산설비 소개 3
		백충렬*

5월 29일(목) 13:00~16:10
Session : 강습회 프로그램

마나틀라

✿ 좌 장 : 박덕근(한국원자력연구원)

T-1	13:00	자기센서의 원리와 응용 7
		손대락*
T-2	14:40	Future R&D strategies of magnetic MEMS/NEMS sensors 8
		CheolGi Kim*

5월 29일(목) 16:20~16:50
Session : 초청강연 I

마나틀라

✿ 좌 장 : 한석희(한국과학기술연구원)

초O-I-1	16:20	스마트폰 속의 자기센서 11
		윤석수*, 김동영

5월 29일(목) 17:00~18:20
Session : 구두발표 I

마나틀라

✿ 좌 장 : 홍지상(부경대)

O-I-1	17:00	반 호이슬러 구조 화합물 $\text{CCsBa}(001)$ 표면의 전자구조와 반쪽금속성 15
		이재일*, Beata Bialek, 장영록
O-I-2	17:20	Size-specific dynamic properties of magnetic nano-spheres with a three-dimensional magnetic vortex 17
		Myoung-Woo Yoo*, Jehyun Lee, Dong-Soo Han, Hayoun Lee and Sang-Koog Kim†

O-I-3	17:40	Magnetic properties of Gadolinium doped Bismuth Tellurides: First-principles calculation	19
		Tran Van Quang* and Miyoung Kim [†]	
O-I-4	18:00	Half metallic g-C ₄ N ₃ on BN layer	20
		Hashmi Arqum*, Jicheol Son, Jisang Hong	

5월 29일(목) 17:00~18:20
Session : 구두발표 II

베르나차

✿ 좌 장 : 김동영(안동대)

O-II-1	17:00	Control of skyrmion magnetic bubble gyration	23
		Kyoung-Woong Moon*, Byong Sun Chun, Wondong Kim, Z. Q. Qiu and Chanyoung Hwang	
O-II-2	17:20	Magnetism of atomically thin NiO films	24
		J.-S. Kim*	
O-II-3	17:40	Perpendicular magnetic anisotropy induced by spin direction of antiferromagnet layers in a ferromagnetic-antiferromagnetic bi-layer system	25
		Wondong Kim*, Gwang-Eun Yang, Kyoung-Woog Moon, Byung Sun Chun, Chanyoung Hwang, Han-Ku Lee and Jae-Young Kim	
O-II-4	18:00	Low Noise 및 Wide Supply Voltage Range 3-axis Flux-gate Magnetometer 제작에 관한 연구	26
		김은애, 전해진, 손대락*	

5월 30일(금) 09:00~11:30
Session : 구두발표 III

마나틀라

✿ 좌 장 : 김삼진(국민대) / 최판규((주)MTI)

O-III-1	09:00	HoN 나노입자 합성 및 자기열량 효과 연구	29
		김동수*, 안종빈, 정국채, 최철진	
O-III-2	09:20	Strain effect on magnetic properties in SrRu _{0.9} Fe _{0.1} O ₃ thin films	30
		Kirstie Raquel Natalia Toreh*, Octolia Togibasa Tambunan and Chang Uk Jung [†]	
O-III-3	09:40	Electronic structure change due to migration of oxygen vacancies in Ca-doped BiFeO ₃	31
		Ji Soo Lim*, A. Ikeda-Ohno, T. Ohkochi, M. Kotsugi, T. Nakamura, J. Seidel, Chan-Ho Yang	
O-III-4	10:00	Electric field control of magnetic easy axis using phase competition in tensile strained BiFeO ₃ thin films	32
		Jin Hong Lee*, Kanghyun Chu, Ahmet A. Ünal, Sergio Valencia, Florian Kronast, Stefan Kowarik, Jan Seidel and Chan-Ho Yang	

O-III-5	10:30	등방성 나노결정립 Nd-Fe-B계 자성분말의 저온치밀화에 따른 미세조직과 자기특성 변화	33
		차희령*, 유지훈, 김양도, 권해웅, 이정구	
O-III-6	10:50	A New 8-Pole Alignment Ring-Shaped Nd-Fe-B Sintered Magnet for High Power Motor	35
		Hyo-Jun Kim*, Sun-Tae Kim, Sang-Hyup Lee, Sang-Myun Kim and Tae-Suk Jang	
O-III-7	11:10	자성유체 적용에 따른 보이스코일의 방열 특성에 관한 실험적 연구	36
		김대완, 김형진*, 이무연	

5월 30일(금) 09:00~11:50
Session : 구두발표 IV

베르나차

✿ 좌 장 : 유천열(인하대) / 홍종일(연세대)

O-IV-1	09:00	Relative strength of perpendicular magnetic anisotropies at bottom and top interfaces in [Pt/Co/Pt] trilayers	41
		Young Chan Won*, Tae Young Lee, Dong Su Son, Sang Ho Lim and Seong-Rae Lee	
O-IV-2	09:20	Formation of a CoFe(001) texture in FeZr-inserted multilayer-based stacks with perpendicular magnetic anisotropy	42
		Young Chan Won*, Tae Young Lee, Sang Ho Lim and Seong-Rae Lee	
O-IV-3	09:40	Pt/Co/Pt 박막에서 자기 비등방성 에너지 조절을 통한 자구벽 속도 제어	44
		김덕호, 유상철, 김대연*, 문경웅, 제송근, 조정구, 민병철, 최석봉	
O-IV-4	10:00	양성자 조사에 의해 환원된 Co/Pd superlattice의 비정상 pseudomorphism과 그에 따른 계면에서의 스핀-궤도 결합의 강화	45
		김상훈*, 이수길, 이현휘, 박성훈, 박재훈, 이한구, 홍종일	
O-IV-5	10:30	Magnetic Domain wall motion in [CoSiB/Pt] _N thin films with perpendicular magnetic anisotropy	47
		Youngha Choi, Kyujoon Lee, Jungbum Yoon, Jaehun Cho, Chun-Yeol You, Taewan Kim and Myung-Hwa Jung*	
O-IV-6	10:50	DMI 측정법: DMI에 의한 비대칭적 자구벽 운동 및 스핀-오비탈 토크에 의한 자구벽 운동	48
		제송근*, 김덕호, 유상철, 김주성, 민병철, 이경진, 최석봉	
O-IV-7	11:10	Graphene as an effective tunnel barrier for spin injection into n-Ge	50
		백승현*, 서유진, 오중건, 박민규, 봉재훈, 윤성준, 서민수, 박승영, 박병국, 이석희	
O-IV-8	11:30	광자기 Kerr 효과를 이용한 스핀 궤도 돌림힘 측정	52
		윤상준*, 문준, 황현석, 최석봉	

5월 30일(금) 13:30~14:50

Session : Special Session I "미래 Magnet 연구회"

마나틀라

✿ 좌 장 : 권해웅(부경대)

초S-I-1	13:30	Rare-Earth-Free Permanent Magnets as a Next-Generation Magnet: MnBi-Based Alloys	55
		Wooyoung Lee*	
초S-I-2	13:50	Magnetically induced variations in phonon frequencies	56
		Joo-Hyoung Lee*	
초S-I-3	14:10	Applications of Metallic Glass utilizing Soft Magnetic Properties	57
		Haerin Yim*	
초S-I-4	14:30	일본의 원소전략프로젝트에서의 자석재료 연구동향	58
		최판규*	

5월 30일(금) 13:30~14:30

Session : Special Session II "의과학 자기 연구회"

베르나차

✿ 좌 장 : 박철수(한림성심대학)

초S-II-1	13:30	The effect of source to image-receptor distance(SID) on radiation dose for digital chest x-ray examination	61
		권순무*, 조재환, 박철수	
초S-II-2	13:50	The clinical usefulness about the fat saturation method which is effective in 3.0T MRI	63
		Man-Seok Han*, In-Mo Yang, Jae-Hwan Cho, Cheol-Soo Park, Jeong-Min Seo	
초S-II-3	14:10	방사선치료분야의 전자기기기술 적용사례연구	64
		서정민*, 박철수, 장현철, 권순무, 황도근	

5월 30일(금) 15:00~16:00

Session : 초청강연 II

마나틀라

✿ 좌 장 : 이우영(연세대)

초O-II-1	15:00	Switching Current Density Reduction in Spin Transfer Torque Magnetic Tunneling Junction	69
		유천열*	
초O-II-2	15:30	Spin-torque nano-oscillators for wireless communication	70
		Byoung-Chul Min*	

✽ 좌 장 : 류권상(한국표준과학연구원) / 김미영(숙명여대)

○ Session BM[Biomedical materials]

- BM01 Poster 자기영동회로를 이용한 디지털 세포제어 73
임병화*, 후싱하오, 이시홍, 김철기

○ Session HM[Hard magnetic]

- HM01 Poster Dy-X(X=F 또는 H) 분말 첨가와 입계 확산을 동시 처리한 Nd-Fe-B 소결자석의
미세구조와 자기적 특성 최적화 연구 75
김태훈*, 이성래, 김효준, 이민우, 장태석
- HM02 Poster Nd-Fe-B 소결자석의 표면에칭 조건에 따른 DyH₂ 코팅층의
입계확산 향상에 관한 연구 77
공주영*, 김태훈, 이성래, 김효준, 이민우, 장태석
- HM03 Poster DyH₂ 용액을 코팅한 저산소 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성과의
상관관계 연구 79
배경훈*, 이성래, 김효준, 이민우, 장태석
- HM04 Poster Coercivity of hot-pressed compacts of Nd-Fe-B- type HDDR-treated powder ... 81
K. M. Kim*, Md. A. Matin, H. W. Kwon, J. G. Lee and J. H. Yu
- HM05 Poster Coercivity change after grain boundary diffusion treatment of Nd-Fe-B
sintered magnet using DyF₃ mixed with low melting elements Cu and Al 82
Dhani Ram Dhakal*, Min-Woo Lee, Taesuk Jang[†], Tae-Hoon Kim,
Seong-Rae Lee and Hyo-Jun Kim

○ Session MO[Magnetic oxides and multiferroics]

- MO01 Poster YFe_{0.6}Mn_{0.4}O₃의 뢰스바우어 분광 연구 84
임정태*, 이상준, 최영재, 김철성
- MO02 Poster Magnetic hysteresis loop investigated by terahertz magnetic resonance
in canted antiferromagnetic YFeO₃ 85
KIM Tae-heon*, KANG Chul, KEE Chul-Sik, TOKUNAGA Yusuke,
TOKURA Yoshinori, LEE Jong Seok
- MO03 Poster Influence of Co content on the magnetic and transport properties
of Co_xFe_{3-x}O₄ thin films grown on MgO(100) substrate using MBE 86
Quang Van Nguyen*, Duong Anh Tuan, Yooleemi Shin, Christian Meny
and Sunglae Cho

○ Session SM[Soft magnetic]

- SM01 Poster Dynamic parameters of superparamagnetic carriers on nano-bio-interfaces 87
XingHaoHu*, ByeongHwa Lim, T. S. Ramulu, CheolGi Kim[†]
- SM02 Poster Investigation of site distribution on iron in spinel FeGa₂O₄
with Mössbauer spectroscopy 88
Bo Ra Myoung* and Chul Sung Kim

SM03	Poster	BaCoZnFe ₁₆ O ₂₇ 의 외스바우어 분광 연구	90
		김현규*, 김철성	
SM04	Poster	Co _x Ni _{1-x} O/Ni _{0.8} Fe _{0.2} 이층 구조 박막에서의 이방성 자기저항을 통한 교환 바이어스 효과 연구	91
		유우석*, 추성민, 이규준, 홍정일, 유천열, 정명화	
SM05	Poster	Ni 박막에서 two magnon scattering 특성 분석	92
		김동영*, 윤석수	
SM06	Poster	전기도금된 NiFe/Cu 복합 와이어에서의 자기완화	94
		조성언*, 서수교, 김동영, 윤석수	
SM07	Poster	Si분말을 첨가한 Fe-Si 합금코어의 자기적 특성	95
		최재정*, 장평우	
SM08	Poster	기계화합금법으로 보론이 주입된 Fe-Si-Cr-B 자성분말과 자성시트의 자기특성	96
		장평우, 문수진*	
SM09	Poster	Magnetic Properties of Perovskite La ₃ Co ₂ TaO ₉ Compound	97
		Bingzhi Jiang, Wen-Zhe Nan*, Kyeongsup Kim, Seong-Cho Yu	
SM10	Poster	Core-shell ZnFe ₂ O ₄ /ZnS composite synthesized by Hydrothermal method	99
		Pil-Sun Yoo*, D. Amaranatha Reddy, Deok-Hyun Kim, Min-Young Lee, Han-Yeol Jo, Bo-wha Lee, Chunli Liu	

○ Session SA[Sensors and applications]

SA01	Poster	수중운동체에 적용된 능동형 자기센서의 출력 향상에 관한 연구	101
		정현주*, 양창섭, 정우진	
SA02	Poster	빌딩 에너지관리 시스템용 자기유도 방식을 이용한 전류센서에 관한 연구	103
		김희민*, 이유기, 박관수	
SA03	Poster	Detection of the thickness loss in the ferromagnetic steel pipe covered with insulation using Pulsed Eddy Current	105
		M.B. Kishore*, Duck-Gun Park [†]	
SA04	Poster	NEXTSat-1용 TAM 제작에 관한 연구	106
		김은애*, 조영훈, 손대락	
SA05	Poster	NEXTSat-1용 EMTB 제작에 관한 연구	108
		김은애*, 정다혜, 손대락	
SA06	Poster	Tendon의 Villari효과 특성 측정에 관한 연구	110
		강선주*, 조창빈, 이정우, 손대락	

○ Session ST[Spintronics]

ST01	Poster	CoFeB/MgO와 [Pt/Co] _n 사이에 삽입된 M/Ru/Ta(M=Ta, Cu) 공간층에 의한 층간 교환 결합	112
		윤석진*, 임상호, 이성래	

ST02	Poster	Pt/Co/Pt 수직 자기이방성 박막에서 위아래 Pt층 두께에 따른 Dzyaloshinskii-Moriya Interactions(DMI) 크기 변화 113 김덕호*, 제송근, 유상철, 김대연, 민병철, 이경진, 최석봉
ST03	Poster	Tailoring the direction of current-driven domain-wall motion in Pd/Co/Pd films with insertion of thin Pt layer at the Pd/Co interface 115 Sang-Cheol Yoo*, Duck-Ho Kim, Soong-Geun Je, Byoung-Chul Min and Sug-Bong Choe
ST04	Poster	Electrical detection of Dresselhaus term in an InAs quantum well structure 116 Youn Ho Park*, Hyung-jun Kim, Joonyeon Chang, Suk Hee Han, Jonghwa Eom, Heon-Jin Choi, Hyun Cheol Koo
ST05	Poster	The <i>g</i> -factor of conduction electron in Rashba system 117 W. Y. Choi*, J. Chang, J. H. Lee and H. C. Koo
ST06	Poster	Magnetoresistance induced by the Rashba effect in the LaAlO ₃ /SrTiO ₃ interface 118 Taeyueb Kim*, Shin-Ik Kim, Seung-Hyub Baek, Jinki Hong, Hyun Cheol Koo
ST07	Poster	Composite underlayer/CoFeB/MgO structures with interfacial perpendicular magnetic anisotropy 119 Chul-Hyun Moon*, Byoung-Chul Min, Kyung-Jin Lee and Kyung-Ho Shin
ST08	Poster	Energy barrier of nanomagnet with perpendicular magnetic anisotropy 120 Kyungmi Song*, Kyung-Jin Lee
ST09	Poster	Spin Hall Magnetoresistance in W/CoFeB/MgO structure 122 SOONHA CHO*, Y. W. Oho, K. D. Lee, B. G. Park
ST10	Poster	Spin Injection Properties in MoS ₂ Lateral Spin Valves 125 전병선*, 황찬용
ST11	Poster	Effect of activated electron beam on FCC to FCT phase transformation of FePt films 127 S.Y. KIM*, H.N. LEE, Y.K. KIM, T.W. KIM

○ Session MT[Magnetic theory and calculations]

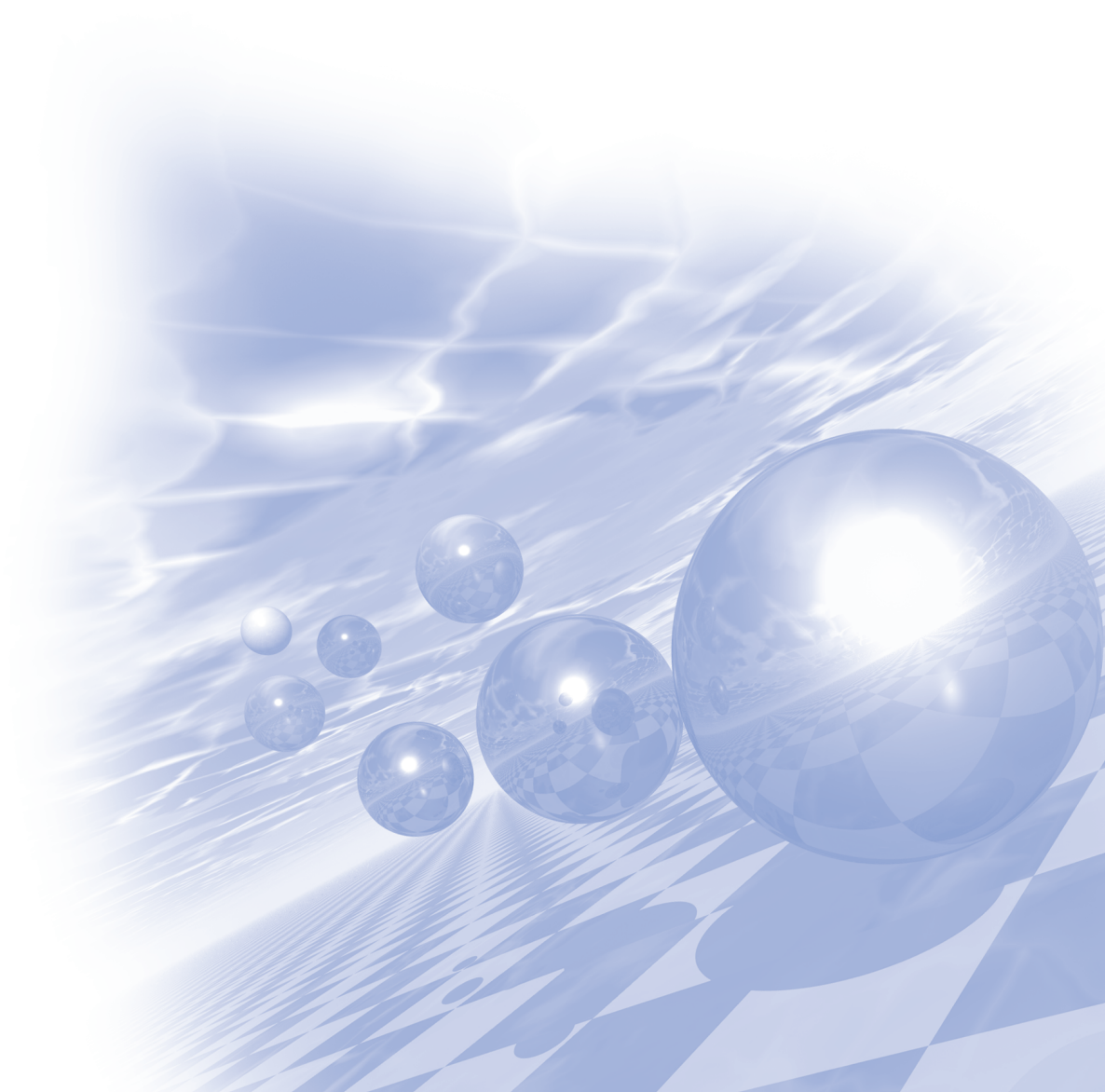
MT01	Poster	두께에 따른 연료전지 공기극 Pt(111) 촉매 반응성과 자성: 제일원리계산 128 권오룡*, 홍순철
MT02	Poster	A first principles study of electric field effect on magnetization and magnetocrystalline anisotropy: FeCo and FeCo/MgO 129 Purev Taivansaikhan*, Dorj Odkhue, Oryong Kwon and Soon Cheol Hong [†]
MT03	Poster	Magnetic Anisotropy of Boron Doped FeCo Alloy: First principles study 130 Khan Imran*, Jicheol Son, Jisang Hong
MT04	Poster	Strain induced Magnetocrystalline Anisotropy in double perovskite Sr ₂ FeMoO ₆ 131 Jicheol Son*, Jisang Hong
MT05	Poster	강자성체의 효율적인 탈자 기법 연구 132 주혜선*, 정현주, 박관수

MT06	Poster	Phase diagrams of the stable skyrmion with Dzyaloshinskii-Moriya interaction 134 Jae-Woong Yoo*, Seung-Jae Lee, Jung-Hwan Moon and Kyung-Jin Lee	134
MT07	Poster	Effect of damping and external field on current-induced skyrmion dynamics in a nanowire 136 Seung-Jae Lee*, Jung-Hwan Moon and Kyung-Jin Lee	136
MT08	Poster	공명기에서 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과의 비가역적인 거동 138 김상일*, 서민수, 박승영	138
MT09	Poster	Strain effects on magnetocrystalline anisotropy of bulk CoFe and its (011) films: A density functional study 140 Soyoung Jekal*, Oryong Kwon, Soon Cheol Hong	140
MT10	Poster	Vortex-state nanoparticles as building blocks of magnetic particle assemblies .. 141 Min-Kwan Kim*, Ha-Youn Lee, Kyoungsuk Jin, Prasanta Dhak, Jae-Hyeok Lee, Myoung-Woo Yoo, Jehyun Lee, Arim Chu, Miyoung Kim, KiTae Nam and Sang-Koog Kim [†]	141
MT11	Poster	Vortex quasi-crystal formation in dynamic transient states in soft magnetic nano-disks 143 Junhoe Kim*, Dong-Soo Han, Myoung-Woo Yoo, Sang-Koog Kim [†]	143
MT12	Poster	Magnonic dynamics of one-dimensional vortex-antivortex lattice arrays 144 Hanbyeol Jeong*, Dong-Soo Han, Sang-Koog Kim [†]	144
MT13	Poster	Coupled vortex-gyration modes in one-dimensional arrays of vortex-state disks 146 Dong-Soo Han*, Andreas Vogel, Hyunsung Jung, Ki-Suk Lee, Markus Weigand, Hermann Stoll, Gisela Schütz, Peter Fischer, Guido Meier and Sang-Koog Kim [†]	146
○ Session NM[Nanostructured materials]			
NM01	Poster	Facile Synthesis of high moment α -Fe/oxide and FeCo/oxide core/shell nanoparticles using modified polyol route 148 Mohamed Abbas* and CheolGi Kim	148
NM02	Poster	초상자성 나노입자의 강자성 공명 선풍 분석 149 김동영*, 윤석수	149
NM03	Poster	계면에 의해 유도된 Fe ₃ O ₄ 박막의 결정성과 자기적 특성에 대한 연구 151 국지현*, 배유정, 이년중, 김태희	151
○ Session OT[Others]			
OT01	Poster	Er-Co-Al 박막 합금의 자기 열량 효과 152 김미리*, 임상호	152
OT02	Poster	금속 강자성/비자성 이중층 구조에서 국소 레이저 유도 자화열전의 선풍 의존성 ... 153 Kyeong-Dong Lee*, Dong-Jun Kim, Byong-Guk Park, Seung-Hyun Kim, Jong-Hyun Lee, Jong-Ryul Jeong, Ki-Suk Lee, Hyon-Seok Song, Jeong-Woo Sohn and Sung-Chul Shin	153



KMS 2014 Summer Conference

총회 특별초청강연



희토류(Nd)소결자석 양산설비 소개

백충렬 대표이사(공학박사)*

한국알박주식회사

1. 유도가열식 진공용해로
2. 수소처리로
3. 소결로, 시효로
4. Magrise

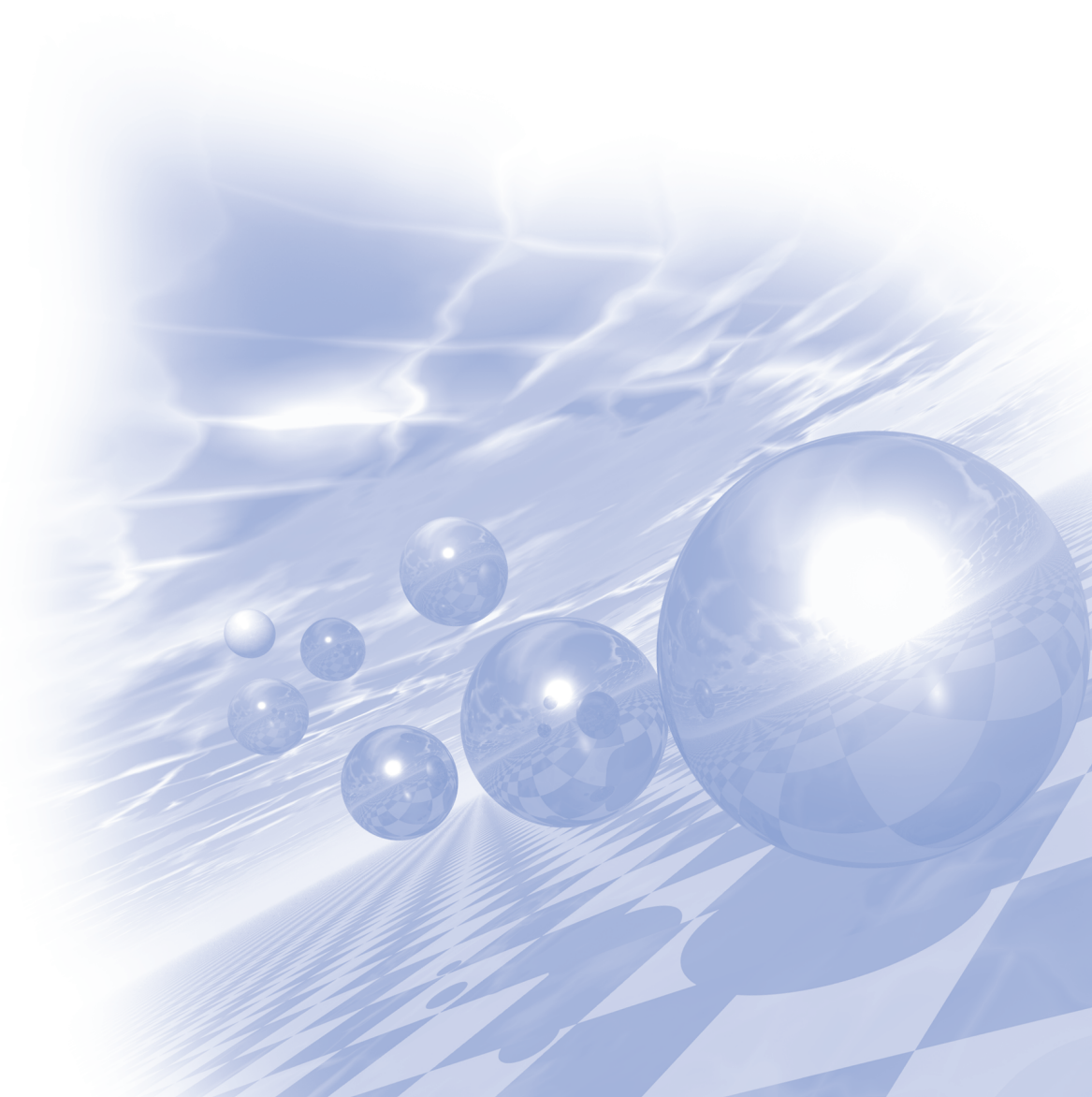
오랫동안 ULVAC Group은 중국을 포함한 희토류소결자석을 양산하고 있는 나라에 많은 설비를제공 해 왔다.

최근에는 진공용해로부터 소결로, 시효로까지 일관공정용 양산설비를 제공하며 또한 Dy사용량을 현저하게 줄인 고성능 소결자석 제조설비인 Magrise설비를 개발했다.



KMS 2014 Summer Conference

강습회 프로그램



자기센서의 원리와 응용

손대락*

한남대학교 광.센서공학과, 대전광역시 대덕구 한남로 70

센서는 대부분 피 측정 물리·화학적량을 전기적 신호로 변화시키는 기능으로 정밀측정, 생산자동화, 국방 분야의 무인기술 등에 다양하게 사용되고 있으며, 오늘날 고부가가치의 산업중 하나이다.

센서는 원리적 측면에서의 분류와, 센서의 기능적 측면으로 분류방법이 있다[1]. 센서 관련 학문적 연구면에서 보면 센서의 원리적 측면에서의 접근이 용이하며 센서를 사용하는 산업체나 사용자의 입장에서는 센서의 기능적 측면 즉 피측정 물리·화학적량의 종류에 따른 분류가 편리하다.

자기 센서는 원리적 측면에서의 분류로 산업체에서 분류할 때의 자기센서는 주로 자기장측정용 센서의 의미를 포함하고 있으나, 학문적 입장에서의 자기센서는 “자기적 현상을 이용한 센서”로 포괄적으로 취급하는 것이 바람직하다[2].

또한 최근의 자기센서개발동향은 GMI 및 GMR과 같은 새로운 원리의 센서개발과, 센서의 저전력화, 소형화 및 센서출력이 microcomputer와 쉽게 interface가 가능한 smart 센서의 개발이다[3].

또한 자기센서의 경우 중요한 장점이 우수한 재현성과 신뢰성이기 때문에 센서의 사용 환경조건이 나쁜 공장의 생산자동화용, 자동차용 및 항공·우주분야등에 널리 사용되고 있다.

참고 문헌

- [1] KSTPT 센서 분류표.
- [2] R. Boll and K. Overshott, Sensors Vol. 5, VCH 1989
- [3] R. Frank, “Understanding smart sensor”, Aartech House Londen, 1996.

Future R&D strategies of magnetic MEMS/NEMS sensors

CheolGi Kim^{*}

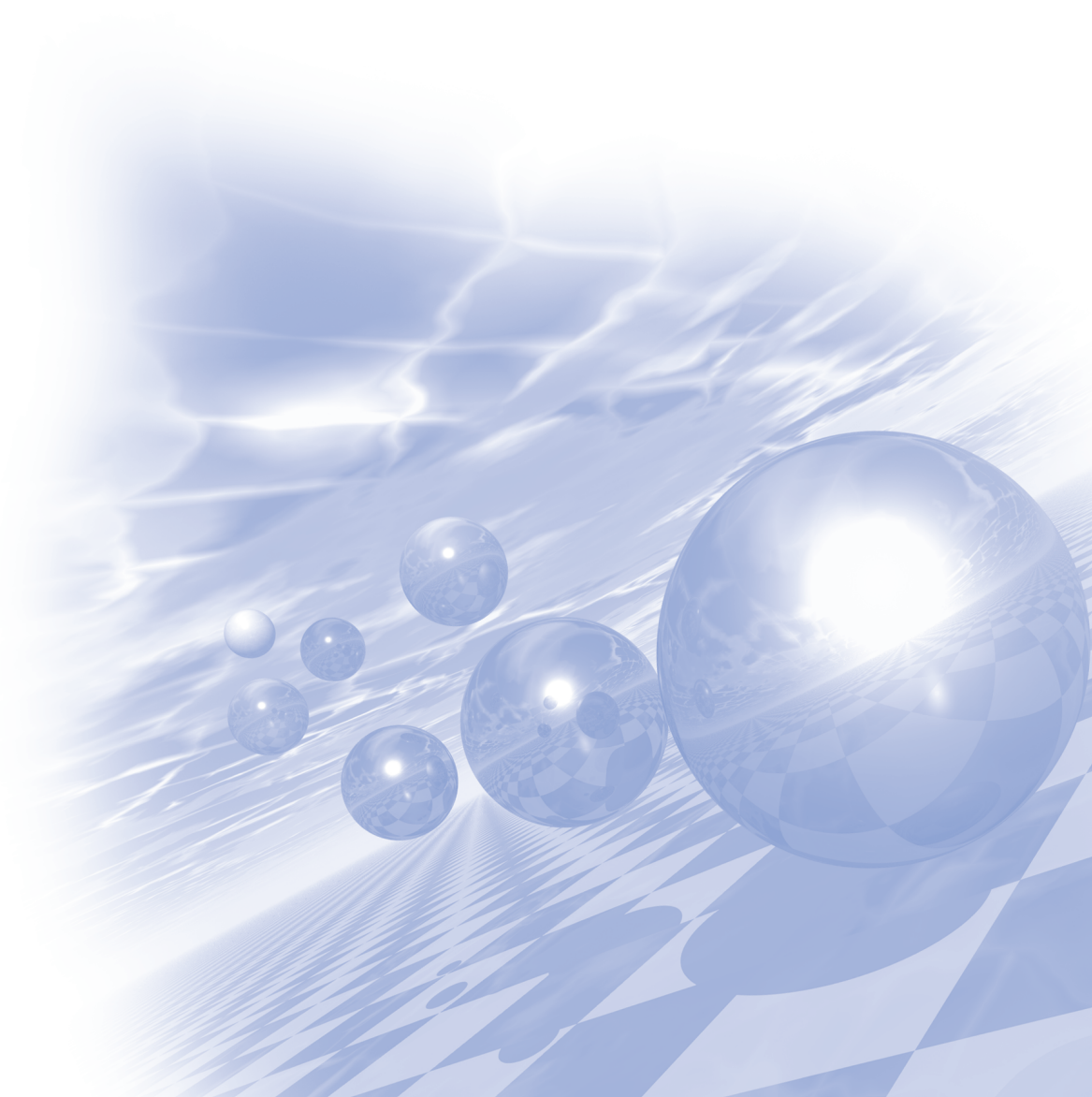
Emerging Materials Science, DGIST, Hyeonpung, Dalseong, Daegu, 711-873, Korea

Magnetoresistance (MR) effects in magnetic multilayers are opening a new era not only in industrial applications especially related with information science and technology (HDD, E-compass), but also in bioassays. In this talk, firstly, I will overview the commercialized electronic compasses and their functions (Asahi Kasei, Yamaha, NVE etc.), and then would like briefly to introduce the industrial applications of MEMS/NEMS (GMR, AMR, PHR, TMR) sensors. Thirdly I will introduce the performance of GMR/PHR sensors and their novel applications like as biochips and magnetometry etc. Finally I will look up the future R&D strategies for new technological era of mobile and wearable devices.



KMS 2014 Summer Conference

초청강연 I



스마트폰 속의 자기센서

윤석수*, 김동영
안동대학교 물리학과

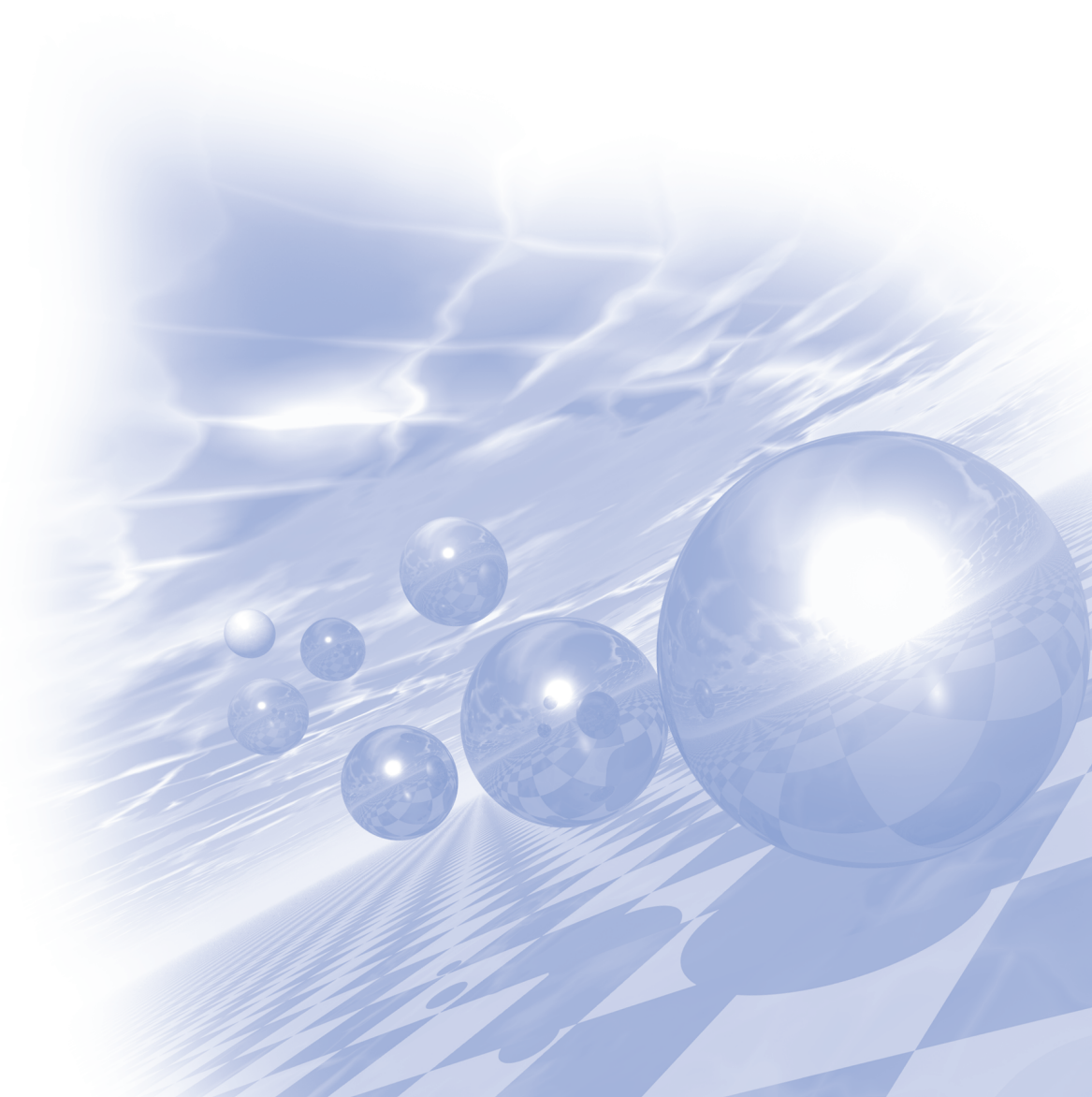
스마트폰 속에는 자기센서가 들어있다. 본 발표에서는 스마트폰 속에 어떤 자기센서들이 들어있으며 어떤 목적으로 사용되는지를 소개하고자 한다. 그리고 현재 스마트폰 속에 사용되는 자기센서 제품들의 센싱 방식과 스펙 및 성능도 비교하며 향후 스마트폰용 자기센서의 개발방향도 제시하고자 한다.

아울러 스마트폰 속에 들어 있는 가속도 센서, 자이로 센서 등의 여러 센서들이 어떤 원리로 어떤 물리량을 측정하는지 소개하며 이 센서들을 이용하여 물리실험을 수행한 예를 소개하고자 한다.



KMS 2014 Summer Conference

구두발표 (I)



반 호이슬러 구조 화합물 $\text{CCsBa}(001)$ 표면의 전자구조와 반쪽금속성

이재일^{1*}, Beata Bialek¹, 장영록²

¹인하대학교 물리학과, 인천 남구 인하로 100, 인천 402-751

²인천대학교 물리학과, 인천 연수구 아카데미로 119, 인천 406-772

I. 연구동기

최근 들어, 전자구조 계산을 통해 전이금속을 포함하지 않으면서 반쪽금속성을 나타내는 화합물, 즉 sp-반쪽금속이 소개되고 있다. 이러한 화합물 중 섬아연광 (zinc-blende; ZB) 구조나 암염 (rocksalt; RS) 구조를 가지는 물질들이 2007년 이후로 다양하게 제시되어 왔다 [1, 2]. 근년 들어, 최초로 발견된 반쪽금속인 NiMnSb 와 같이 반 호이슬러 (half-Heusler) 구조를 가지는 sp-반쪽금속이 제시되고 있다. 이 중 Lakdja 등 [3]은 밀도범함수 전자구조 계산을 통해 반 호이슬러 구조의 XCsBa ($X=\text{C, Si, Ge}$) 화합물이 반쪽금속성을 가짐을 보였다. 이들의 계산 결과를 보면, 이들 화합물의 단위세포 당 자기모멘트는 $1.00 \mu_B$ 으로 반쪽금속의 특징인 정수의 자기모멘트를 가졌으며, 주로 자성에 기여하는 것은 X 원자의 p-전자들이었다. 본 연구에서는 이 중 CCsBa 화합물에서 (001) 표면에 대한 전자구조 계산을 통해 표면에서의 반쪽금속성 유지 여부를 고찰하고자 한다.

II. 연구방법 및 모형

XYZ 의 세가지 원소로 이루어진 반 호이슬러 구조의 (001) 표면은 두 가지 절단면으로 구분되는데, 하나는 X 원소로만 이루어진 표면이고 다른 하나는 Y 와 Z 의 두 가지 원소로 이루어진 표면이다. 즉, 고찰 대상인 CCsBa 의 경우, C 원소로만 이루어진 (001) 표면과 Cs 와 Ba 원소로 이루어진 (001) 표면이 있다. 이들 두 가지 표면의 전자구조 계산을 위해 각기 13층으로 이루어진 얇은 판 모형을 채택하였다. 이들 표면계의 대한 전자구조 계산을 위해 FLAPW(Full-potential Linarized Augmented Plane Wave) 방법[4]을 이용하였다.

III. 결과 및 논의

먼저 각기 13층으로 이루어진 두 표면 계, 즉 C 원소만으로 이루어진 표면계와 Cs 와 Ba 원소로 이루어진 표면계에 대해 계산된 총 자기모멘트 값을 보면, 전자의 경우는 $10.00 \mu_B$ 이고 후자의 경우는 $6.41 \mu_B$ 로서, 전자의 경우 즉 C 원소만으로 이루어진 (001) 표면계가 반쪽금속성을 유지함을 알 수 있다. C 원소만으로 이루어진 (001) 표면계에서 가운데 층의 C 원소, 즉 $C(C)$ 원자의 자기모멘트는 $0.82 \mu_B$ 로 덩치 상태에 대한 계산 결과와 일치하였으며, 표면 $C(S)$ 원자의 자기모멘트는 $0.85 \mu_B$ 으로 덩치 값에 비해 다소 증가하였다. 이러한 결과는 Fig. 1(a)에 주어진 층별 C 원자의 상태 밀도의 모양에도 부합한다고 할 수 있는데, 표면 $C(S)$ 원자의 상태밀도를 보면 가운데 층에 비해 스핀분리가 증가함을 알 수 있다. Cs 와 Ba 로 이루어진 표면계에서도 가운데 층에 가까운 $C(S-5)$ 원자의 자기모멘트는 $0.83 \mu_B$ 으로 덩치 상태의 경우와 비슷하나 표면 바로 밑층의 $C(S-1)$ 원자의 자기모멘트는 $0.39 \mu_B$ 으로 상당히 감소하였으며 이러한 결과는 Fig. 1(b)에 보여준 상태밀도 그림과도 부합한다.

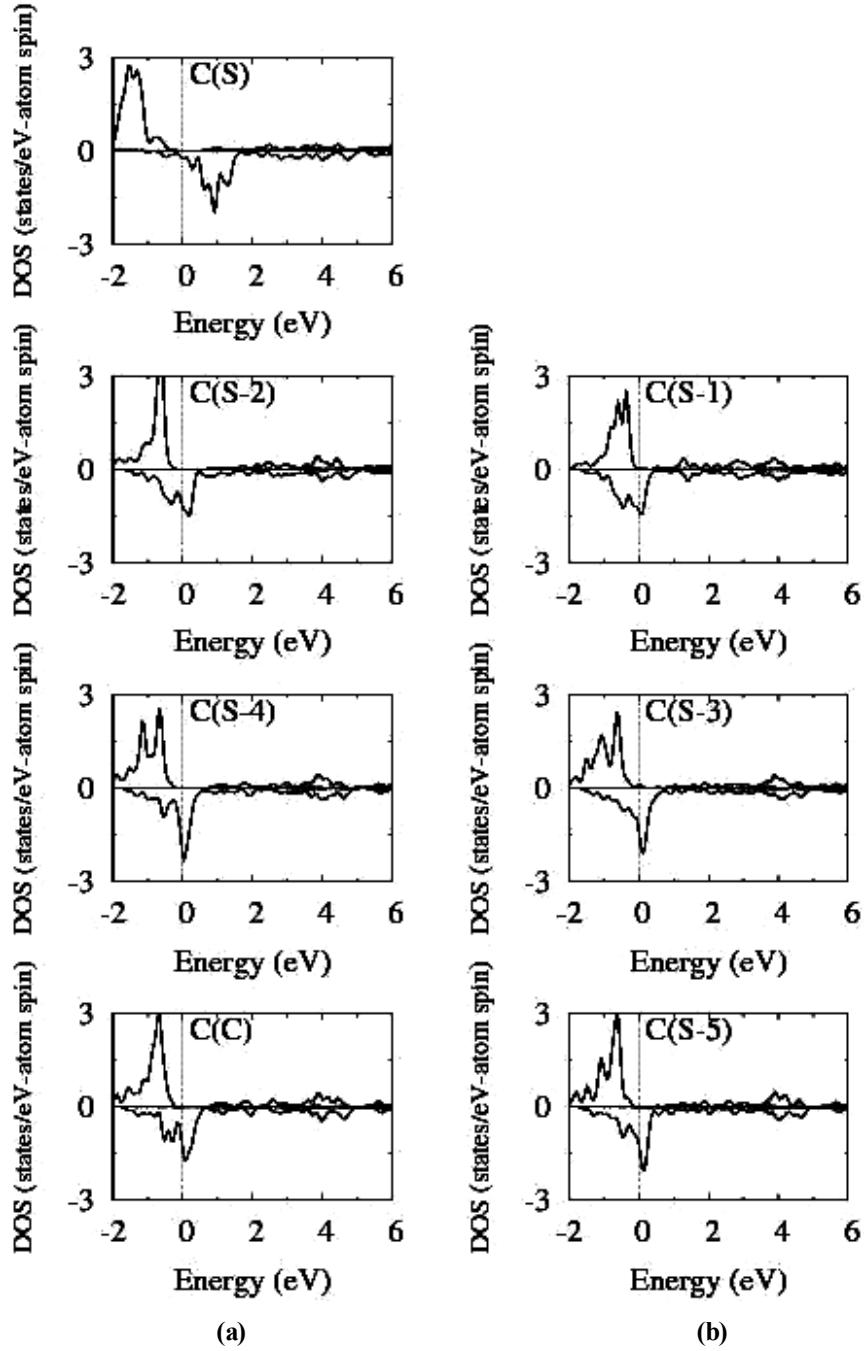


Fig 1. Atom-projected density of states of C atoms in C-terminated (001) surface (a) and CsBa-terminated (001) surface (b) of half-Heusler CCsBa compound.

- [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] A. Lakdja, H. Rozale, A. Chahed, abd O. Benhelal, J. Alloy. Compd. **564**, 8 (2013).
- [4] E. Wimmer, H. Krakauer, M. Weinert, A. J. Freeman, Phys. Rev. B **24**, 864 (1981).

Size-specific dynamic properties of magnetic nano-spheres with a three-dimensional magnetic vortex

Myoung-Woo Yoo^{*}, Jehyun Lee, Dong-Soo Han, Hayoun Lee, and Sang-Koog Kim[†]

National Creative Research Initiative Center for Spin Dynamics and Spin-Wave Devices,
and Research Institute of Advanced Materials, Department of Materials Science and Engineering,
Seoul National University, Seoul 151-744, Republic of Korea

[†]Corresponding author: sangkoog@snu.ac.kr

1. Introduction

Magnetic resonant excitation of nano- and micron-sized magnetic particles has become a focus of attention in nanomagnetism and spintronics owing to its potential implementations in information processing devices [1], wireless power transfer in electric devices [2], and medical applications such as hyperthermia [3] and drug delivery [4]. Soft magnetic particles of spherical shape show different static spin configurations according to their size. For example, permalloy spheres, the radius of which is slightly larger than single-domain size and smaller than multi-domain size, form a stable three-dimensional magnetic vortex [5]. Notwithstanding the many studies on magnetic nano- and submicron-sized magnetic particles, reports on their dynamic features have been rare.

2. Results and Conclusion

Here, on the basis of finite-element micromagnetic numerical simulations of permalloy spheres of different radii (range: 10 - 75 nm), we report a novel dynamic behavior of size-dependent magnetic resonant excitations. We found that a single three-dimensional vortex precesses around a static magnetic field H_{DC} at a specific frequency. This precessional frequency, we discovered, varies with the size of the sphere when the vortex structure is retained, because the net magnetization of a given sphere projected in the direction of the vortex core $\langle m_r \rangle$ varies with its size, as expressed by a simple analytical form of $f = |g| \langle m_r \rangle H_{DC}$ (where $|g|$ is the gyromagnetic ratio, 2.80 MHz/Oe). The value of $\langle m_r \rangle$ is determined by the interplay of the constituent magnetic material's parameters and dimensions, since the vortex structure is the result of competition between the short-range exchange and long-range dipolar interactions. The simulation results obtained are in perfect agreement with the analytical form derived using Thiele's equation [6] of motion for a single three-dimensional vortex core in a sphere. The characteristic behavior observed implies the capability of application to selective activation of three-dimensional vortex precession. This simple but novel dynamic feature would open a new horizon in the field of high-frequency magnetic-nanoparticle applications.

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (grant no. 2013003460).

3. Reference

- [1] C. Thirion, W. Wernsdorfer and D. Mailly, *Nat Mater* **2** (8), 524-527 (2003).
- [2] A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher and M. Soljačić, *Science* **317** (5834), 83-86 (2007).

- [3] J. F. R. Kerr, C. M. Winterford and B. V. Harmon, *Cancer* **73** (8), 2013-2026 (1994).
- [4] E. Amstad, J. Kohlbrecher, E. Müller, T. Schweizer, M. Textor and E. Reimhult, *Nano Letters* **11** (4), 1664-1670 (2011).
- [5] R. P. Boardman, J. Zimmermann, H. Fangohr, A. A. Zhukov and P. A. J. de Groot, *J Appl Phys* **97** (10), 10E305-303 (2005).
- [6] A. A. Thiele, *Phys Rev Lett* **30** (6), 230-233 (1973).
- [7] J. Lee, M.-W. Yoo, D.-S. Han and S.-K. Kim, e-print arXiv:cond-mat/1311.0346.

Magnetic properties of Gadolinium doped Bismuth Tellurides: First-principles calculation

Tran Van Quang^{1,2*} and Miyoung Kim^{3†}

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

²Dept of Physics, Ajou University

³Dept of Nano Physics, Sookmyung Women's University

[†]Corresponding author: kimmy@sm.ac.kr

Due to the strong localized f states of the rare-earth elements, the Bi₂Te₃based alloys with rare-earth dopings have been found to show various magnetic and transport phases and interesting phase transitions [1]. In this report, we studied the magnetic and electronic structures of the gadolinium doped Bi₂Te₃ with different doping sites in order to investigate the magnetic phase stability and its dependence on the doping site by first-principles calculation within DFT, employing the precise full-potential linearized augmented plane-wave (FLAPW) method [2]. The spin-orbit coupling interaction and the strong correlation effect are included by the second variational method and +U corrections, respectively. The total energy comparison for the uniform and the clustering type distributions for various magnetic phases and their band structures will be discussed. Also the formation energy calculations will reveal the preference Gd substitution sites into the tellurides.

[1] T. V. Quang and M. Kim, J. Appl. Phys. **113**,17A934(2013)andreferencetherein

[2] E. Wimmer, H. Krakauer, M. Weinert, and A. J. Freeman, Phys. Rev. B **24**,864(1981).

Half metallic g-C₄N₃ on BN layer

Hashmi Arqum^{*}, Jicheol Son, Jisang Hong

Department of Physics, Pukyong National University, Busan 608-737, South Korea

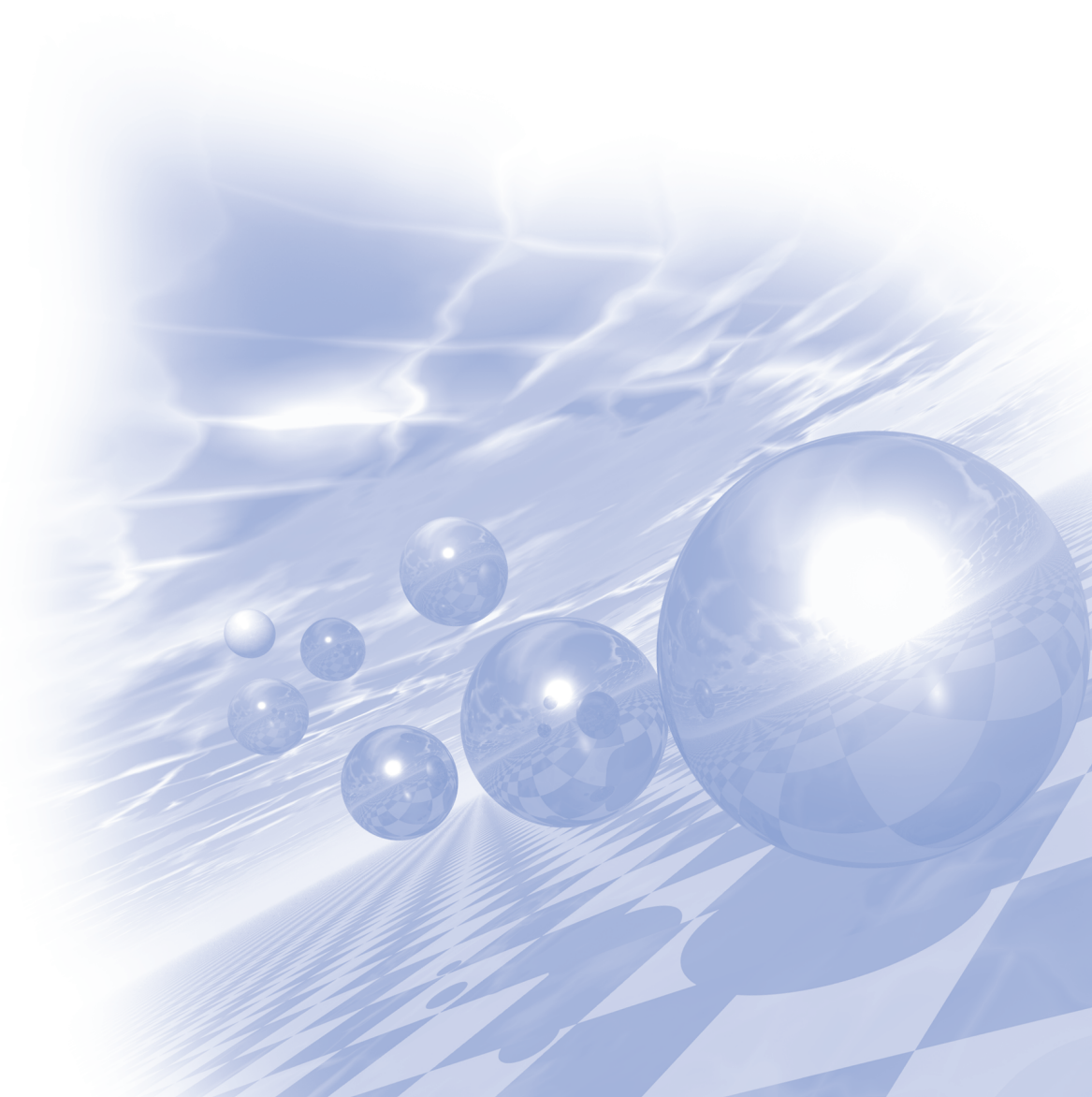
Half metallicity without any external factor in 2p materials may provide a new physics in spintronics. We have investigated structural, adsorptive, and magnetic properties of metal free graphitic carbon nitride (g-C₄N₃) layer on hexagonal BN layer (h-BN) using the van der Waals density functional theory. It is found that g-C₄N₃ layer can be adsorbed on BN layer due to the change of lattice constant of the hybridized system. Interestingly, we have found that metal free half metallic behavior in g-C₄N₃ can be preserved even on BN layer and the half metallicity originates mainly from the 2p_{xy} planar orbitals of N atoms in g-C₄N₃ layer. Characters of spin polarized planar orbitals suggest that our theoretical prediction can be verified using normal incidence of K-edge X-ray magnetic circular dichroism (XMCD) measurement.

(This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (No. 2013R1A1A2006071) and Converging Research Center Program through the Ministry of Education, Science and Technology (No. 2012K001312))



KMS 2014 Summer Conference

구두발표 (II)



Control of skyrmion magnetic bubble gyration

Kyoung-Woong Moon^{1*}, Byong Sun Chun¹, Wondong Kim¹, Z. Q. Qiu², and Chanyoung Hwang¹

¹Center for Nanometrology, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Republic of Korea

²Physics Department, University of California at Berkeley, Berkeley, California 94720, U.S.A.

The skyrmion magnetic bubble in a ferromagnetic disk exhibits hypocycloidal gyrations contrary to the vortex gyration showing a simple circular trajectory [1]. To describe the hypocycloidal bubble gyration, a mass term is needed in Thiele's equation [2]. In this study, we analytically derived both mass and spring constant term, which are crucial parameters for describing the bubble gyration. Values obtained by these analytic expressions were consistent with those obtained by simulations. We could find the dependences of these two terms on several external parameters including the bubble radius. Especially, using the radius's dependence, we could obtain regular polygon-like trajectories such as a square and a triangle confirmed by the numerical simulations [3]. Based on this effective method to control the bubble gyration, the regular polygon-like trajectories of this skyrmion magnetic bubble make it possible to study the bubble gyration without time-resolved experiments.

Reference

- [1] C. Moutafis, S. Komineas, and J. A. C. Bland, Phys. Rev. B **79**, 224429 (2009).
- [2] I. Makhfudz, B. Krüger, and O. Tchernyshyov, Phys. Rev. Lett. **109**, 217201 (2012).
- [3] K.-W. Moon, B. S. Chun, W. Kim, Z. Q. Qiu, and C. Hwang, Phys. Rev. B **89**, 064413 (2014).

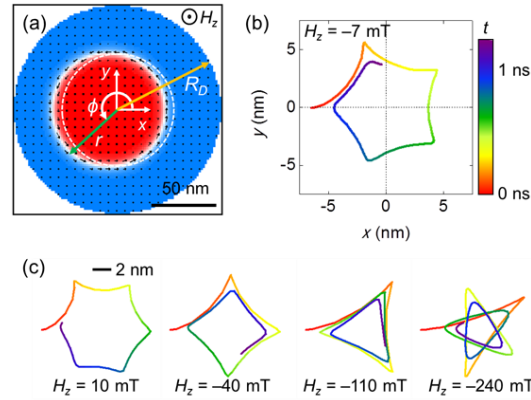


Fig. 1 (a) A magnetic bubble domain state in a perpendicular magnetic anisotropy disk. (b) A regular pentagon-like trajectory of the bubble domain gyration with the external field $H_z = -7$ mT. (c) Several examples of regular polygon-like trajectory with respect to the external field. The time scale is the same as in (b).

Magnetism of atomically thin NiO films

J.-S. Kim^{*}

Dept. of Physics, Sook-Myung Women's University

As the film becomes atomically thin, the on-site Coulomb interaction energy between two 3p holes of the NiO films on Ag(001) U (Ni 3p) significantly decreases as revealed by both X-ray photoelectron and Auger electron spectroscopies. The reduction of U (Ni 3p) for the ultrathin films is well accounted for by varied image potentials and polarization energies in the films from their bulk values.

Those reduced charge fluctuation energies enhances the coupling constant of the superexchange according to Anderson, which in turn would lead to the increase of the Neel temperature. We estimated the Neel temperature of 3ML-thick NiO in the mean field approximation, which is compatible with the recent experimental observation.

Perpendicular magnetic anisotropy induced by spin direction of antiferromagnet layers in a ferromagnetic-antiferromagnetic bi-layer system

Wondong Kim^{1*}, Gwang-Eun Yang¹, Kyoung-Woog Moon¹, Byung Sun Chun¹,
Chanyong Hwang¹, Han-Ku Lee² and Jae-Young Kim²

¹Center for Nanometrology, Division of Industrial Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science.

²Industrial Technology Convergence Center, Pohang Light Source II, Pohang Accelerator Laboratory

We investigated the influence of spin direction of an antiferromagnetic (AFM) layer on the perpendicular magnetic anisotropy (PMA) of a ferromagnetic (FM) layer in a FM-AFM bilayer system by using X-ray magnetic dichroism.

We grew single crystalline NiO wedge layers on two different substrate, MgO(001) and Ag(001), where NiO layers have two different spin directions, perpendicular and parallel to the surface, respectively. Then we grew FePd multilayers on NiO wedge layers and capped the whole layers with Pd for protection against oxidation. The magnetic properties of the samples were examined carefully in the magnetic spectroscopy beamline in the Pohang Light Source (PLS II), by using X-ray magnetic circular dichroism (XMCD) measurement at Fe L_2 edge and X-ray magnetic linear dichroism (XMLD) measurement at Ni L_3 edge. The hysteresis loops and XMCD asymmetry data clearly show the enhanced PMA for the FePd/NiO/Ag(001) sample with on-set of AFM ordering of underlying NiO layers, whereas for the FePd/NiO/MgO(001) sample no enhancement of PMA was observed. Considering XMLD signal of NiO, we temporarily conclude that the origin of the enhancement of PMA in FePd/NiO/Ag(001) is the 90-degree coupling between Fe magnetic moments of FePd layers and spins of NiO layers, similar to the spin coupling in Fe/NiO system.[1]

[1] Wondong Kim, E. Jin, J. Wu, J. Park, E. Arenholz, A. Scholl, Chanyong Hwang, and Z. Q. Qiu, Phys. Rev. B 81, 174416 (2010).

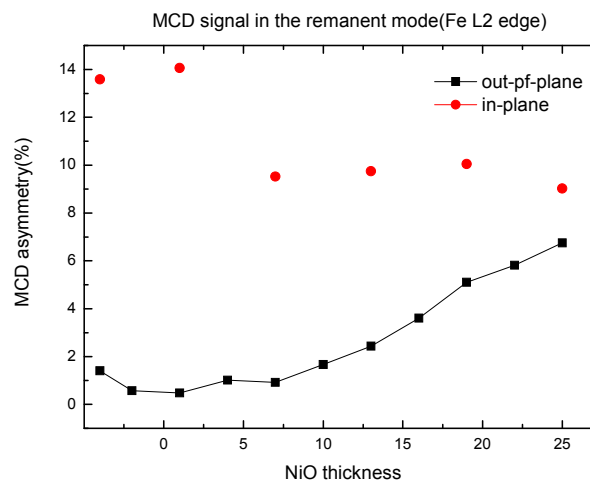


Fig 1. XMCD asymmetry measured at Fe L_2 absorption edge for FePd/NiO/Ag(001)

Low Noise 및 Wide Supply Voltage Range 3-axis Flux-gate Magnetometer 제작에 관한 연구

김은애, 전해진, 손대락*

한남대학교 광.전자물리학과 대전광역시 대덕구 한남로 70

Flux-gate magnetometer는 1930년대에 개발되어 오늘날까지 널리 활용되고 있는 저자기장 측정기술로 저 전력이면서 고 분해능이 가능하여 항공우주분야 및 국방 분야에 널리 이용되고 있다[1-3]. 본 연구에서 개발하려는 flux-gate magnetometer는 먼 거리에서 자기장의 변화를 관측하는 목적으로 사용되는 마그네토미터의 경우 전력공급을 위한 전선의 전기에너지 소모에 대한 효과를 최소화하기 위하여 전선에 의한 손실을 줄이기 위하여 높은 전원 전압으로 구동되고, 입력 전원의 전압 폭이 커도 마그네토미터의 구동이 가능한 것이 바람직하다.

이를 위하여 본 연구에서는 입력 전압의 폭이 18~72 V에서 전력 소비가 1 Watt 미만이면서 측정된 자기장 값을 원거리에서 전송하기 위하여 차동형 직렬통신방식인 RS-422 로 데이터를 전송하게 하였다.

제작된 마그네토미터는 24 bit $\sigma-\delta$ ADC를 사용, 마그네토미터의 아날로그 출력을 디지털로 전송하게 하였다. 그림1은 3-축의 Helmholtz 코일을 사용하여 마그네토미터의 선형도를 측정한 결과로 측정범위 $\pm 60 \mu\text{T}$ 에서 선형도가 1×10^{-4} 이하였다. 또한 마그네토미터의 노이즈 측정은 마그네토미터를 자기차폐장치에 넣고 15 Hz의 속도로 마그네토미터의 출력을 750개 측정하여 이를 FFT 분석을 한 결과로 마그네토미터의 노이즈가 $6 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 Hz로 측정되었다.

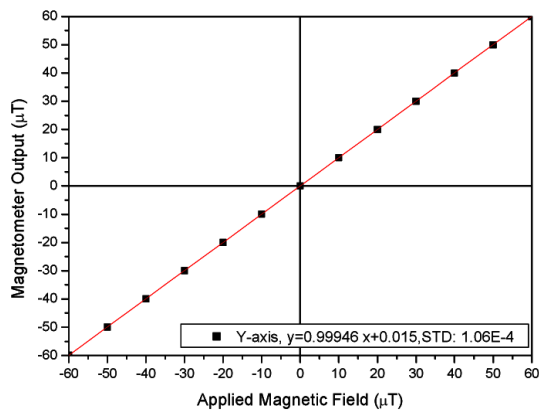


그림 1. 마그네토미터의 선형도.

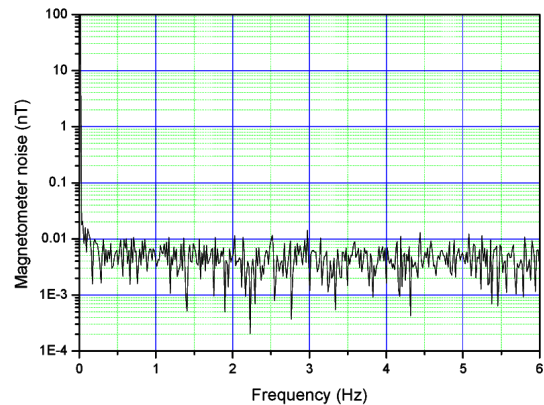


그림 2. 마그네토미터의 노이즈 스펙트럼.

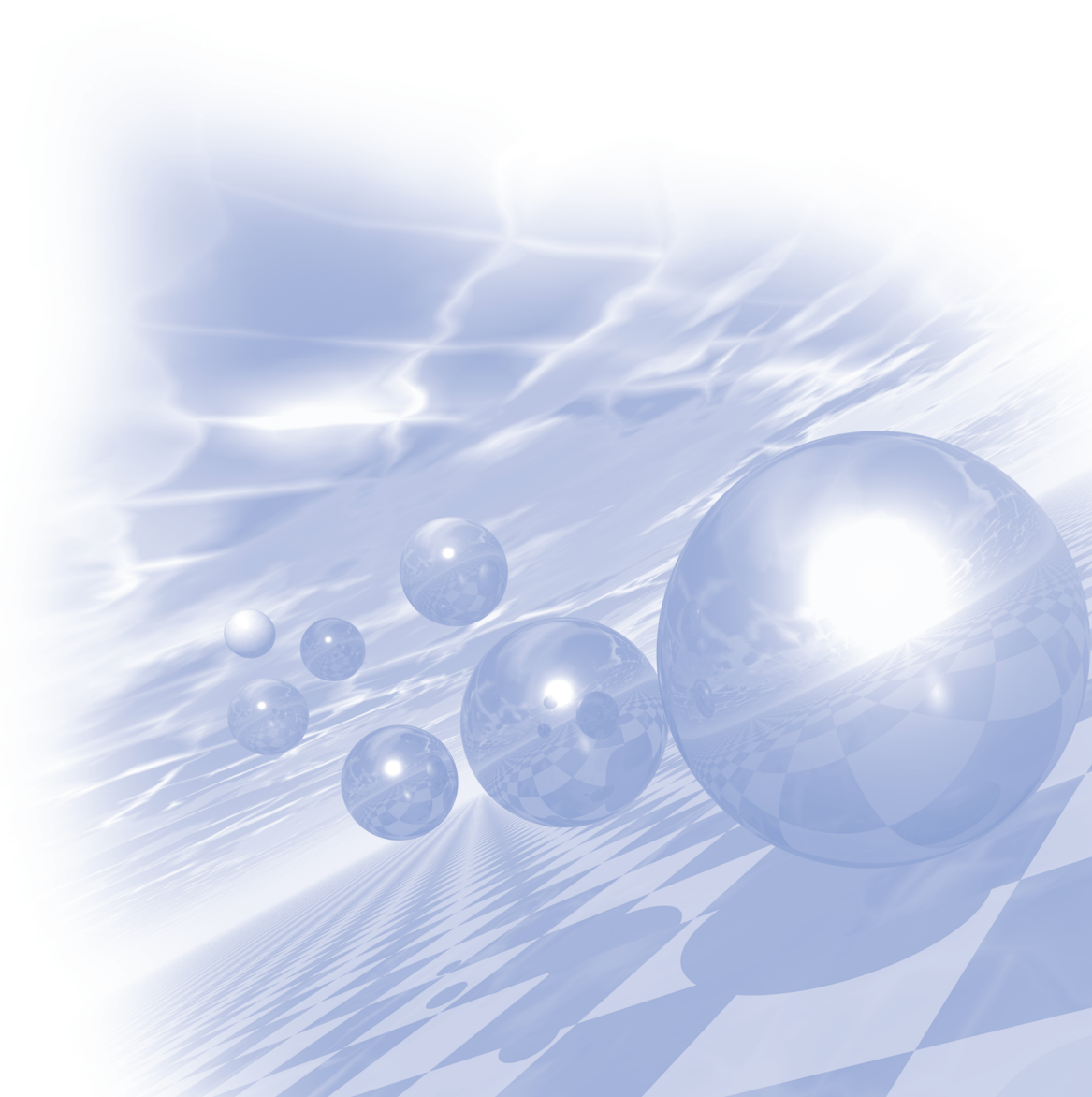
참고문헌

- [1] W.Geopel.et al., Sensors. vol.5 Magnetic sensors, VCH weinhelm (1989) pp. 154-203
- [2] P.Ripka, Magnetic sensors and magnetometers artech house, Boston.London (2001)
- [3] 손대락 “피드백형 플럭스 게이트 마그네토미터 제작”, 한국자기학회지 vol.16. No2, 45 (2012)



KMS 2014 Summer Conference

구두발표 (III)



HoN 나노입자 합성 및 자기열량 효과 연구

김동수^{1*}, 안종빈^{1,2}, 정국채¹, 최철진¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소

²부산대학교 재료공학과

The magnetic refrigeration involves an intrinsically small irreversibility and may provide refrigeration systems of good energy efficiencies especially at cryogenic temperatures. It is, therefore, encouraged to apply the magnetic refrigeration system to the hydrogen liquefaction process, which would be an essential part of infrastructure of the near future society driven by the hydrogen energy. For hydrogen energy system, liquefied hydrogen is suitable for storage and transportation, because it provides the highest hydrogen densities with respect to both mass and volume. In order to establish this refrigeration technology, it is necessary to obtain the efficient and reliable magnetic refrigerant that possesses a large magnetocaloric effect (MCE) around and above the boiling point of hydrogen.

Plasma arc discharge (PAD) with self-constructed equipment was performed to prepare rare-earth nitride nanoparticles. Holmium (Ho) was purchased from Kojundo Chemicals Co. (Japan) in granular type with average size of 3 mm. After removing oil on the surface of Ho granules, they were placed on Copper hearth as an anode. Tungsten needle was used as a cathode.

In order to synthesize nitride nanoparticles, N₂ was added to Ar atmosphere in different ratios from 30 to 70% considering partial pressure. As the partial pressure of N₂ was increased, HoN peaks became dominant and peaks from Holmium Oxide (Ho₂O₃) as impurity was dramatically decreased. Finally, when the partial pressure of mixed gas with 28000 Pa for N₂ and 12000 Pa for Ar was reached, typical X-ray diffraction pattern of HoN was obtained. Series of six sharp peaks exactly corresponded to each planes of crystallographic structure of bulk HoN. From TEM observation, HoN nanoparticles were agglomerated in spherical shape in Ar atmosphere. However, as the partial pressure of N₂ was increased, the morphology was changed to cubic in shape and mean size of nanoparticles was increased.

Data set of the magnetization measurements indicates field dependence of magnetizations at different temperatures. Magnetizations increased linearly with applied fields in the higher temperature region and magnetizations were almost saturated at 5 T. Magnetic entropy change (ΔS) of HoN nanoparticles showed the highest value of 25.2 JK⁻¹kg⁻¹ at 16 K which is comparable with that of intermetallic compounds having a transition temperature around 20 K such as DyNi₂, HoAl₂ and Gd_{0.1}Dy_{0.9}Ni₂. It implied that HoN nanoparticles are promising magnetic refrigerant materials for hydrogen liquefaction system.

Strain effect on magnetic properties in $\text{SrRu}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ thin films

Kirstie Raquel Natalia Toreh^{*}, Octolia Togibasa Tambunan, and Chang Uk Jung[†]

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

[†]Email: cu-jung@hufs.ac.kr

SRO have been used widely as electrodes in oxide heterostructures due to their good conductivity and good lattice match with most popular single-crystalline perovskite oxide substrates such as SrTiO_3 . Doping in polycrystalline SRO has been used to control magnetic properties such as T_c and magnetic coercive fields.

In this paper, epitaxial films of $\text{SrRu}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ have been grown by pulsed laser deposition onto both $\text{SrTiO}_3(001)$ and $\text{SrTiO}_3(110)$ substrates. It has been found that Fe-doped SRO can be stabilized by using epitaxial strain during film growth. We observed magnetic anisotropy and differences in T_c and saturated magnetic moment between $\text{SrRu}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3/\text{SrTiO}_3(001)$ film and $\text{SrRu}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3/\text{SrTiO}_3(110)$ film. The correlation between magnetic behavior differences with Ru-Ru nearest neighbor distance in different substrate direction will be discussed.

Electronic structure change due to migration of oxygen vacancies in Ca-doped BiFeO₃

Ji Soo Lim^{1*}, A. Ikeda-Ohno^{2,3}, T. Ohkochi⁴, M. Kotsugi^{4,5},
T. Nakamura⁴, J. Seidel⁶, Chan-Ho Yang^{1,7}

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

²School of Civil and Environmental Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

³Institute for Environmental Research, Australian Nuclear Science and Technology Organisation,

⁴Japan Synchrotron Radiation Research Institute, SPring-8, Sayo, Hyogo 679-5198, Japan

⁵CREST-JST, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan

⁶School of Materials Science and Engineering, The University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

⁷Institute for the NanoCentury, KAIST, Daejeon 305-701, Republic of Korea

Doped correlated oxide systems would have shown exotic electronic conduction phenomena such as metal-insulator transition, superconductor and magnetoresistance. Bismuth ferrite (BiFeO₃), one of popular multiferroic materials, has a large ferroelectric polarization and an antiferromagnetic order. Due to a stable oxidation number of Fe ions, the divalent ion (Ca²⁺) doping on BiFeO₃ cannot produce hole carriers due to formation of oxygen vacancies. In order to explore the electronic conduction of doped BiFeO₃ compounds, we fabricated a coplanar electrode structure and applied an electric field across the electrodes at a high temperature. As a result, we can make relatively oxygen-vacancy-deficient areas in between, thereby producing a p-type doped region. In this talk, we will present our recent observations of electronic transport properties. In addition, we introduce its electronic structure which was characterized by x-ray absorption spectroscopy (XAS) and photoelectron emission microscopy (PEEM) in a beamline (BL25SU) of synchrotron SPring-8. Remarkably we have observed doping-driven occurrence of a new peak 2 eV below the t_{2g} peak in oxygen K-edge spectra. Interesting interplay between doping ratio. Furthermore, spatially-resolved x-ray circular dichroism (XMCD) enables us to study the local spin and orbital angular momenta varying depending on the hole carrier doping.

Electric field control of magnetic easy axis using phase competition in tensile strained BiFeO₃ thin films

Jin Hong Lee^{1*}, Kanghyun Chu¹, Ahmet A. Ünal², Sergio Valencia²,
Florian Kronast², Stefan Kowarik³, Jan Seidel⁴, and Chan-Ho Yang^{1,5}

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

²Helmholtz Zentrum Berlin, Elektronenspeicherring BESSY II, Albert-Einstein-Strasse 15, Berlin 12489, Germany

³Institut für Physik, Humboldt-Universität zu Berlin, Newtonstrasse 15, Berlin D-12489, Germany

⁴School of Materials Science and Engineering, University of New South Wales, Sydney,
New South Wales 2052, Australia

⁵KAIST Institute for the NanoCentury, KAIST, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Republic of Korea

Multiferroic BiFeO₃ (BFO) has been intensively studied since it displays both ferroelectric and antiferromagnetic order at room temperature. Recently, phase competition between tetragonal-like BFO and rhombohedral-like BFO in the regime of compressive strain has been discovered [1], and its intriguing properties have been addressed in a strain-driven morphotropic phase boundary [2-5]. Nevertheless, phase competition between rhombohedral-like BFO (R-BFO) and orthorhombic BFO (O-BFO) in the regime of tensile strain has not been reported in-depth [6-8].

In this presentation, we report on phase separation and electric field switching between R-BFO and O-BFO phases in tensile-strain-induced BiFeO₃ thin films. We analyze the strain state, ferroelectric domain structure, and magnetic easy axis of tensile strained R-BFO and O-BFO through x-ray reciprocal space mapping, piezoresponse force microscopy, and Fe L-edge x-ray absorption spectromicroscopy, respectively. We propose a new route toward magnetoelectric application of BFO thin films by controlling the spatial distribution of R-BFO and O-BFO with a voltage-biased conductive AFM tip [9].

- [1] R. J. Zeches *et al.*, Science **326**, 977 (2009).
- [2] J. X. Zhang *et al.*, Nature Nanotechnol. **6**, 98 (2011).
- [3] A. R. Damodaran *et al.*, Adv. Mater. **23**, 3170 (2011).
- [4] Q. He *et al.*, Nature Commun. **2**, 225 (2011).
- [5] K.-E. Kim *et al.*, NPG Asia Mater. **6**, e81 (2014).
- [6] B. Dupé *et al.*, Phys. Rev. Lett. **106**, 237601 (2011).
- [7] Y. Yang *et al.*, Phys. Rev. Lett. **109**, 057602 (2012).
- [8] I. C. Infante *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 057601 (2010).
- [9] J. H. Lee *et al.*, Phys. Rev. B (to be published).

등방성 나노결정립 Nd-Fe-B계 자성분말의 저온치밀화에 따른 미세조직과 자기특성 변화

차희령^{1,2*}, 유지훈¹, 김양도², 권해웅³, 이정구¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소

²부산대학교

³부경대학교

1. 서론

희토류 영구자석 중에서도 자기적 특성이 가장 우수한 Nd계 영구자석은 친환경자동차와 신재생에너지 분야에서의 사용 확대에 향후 그 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 한편, 취약한 내열 안정성 때문에 약 100℃ 이상의 고온 환경에서 사용하기 위해 현재 Dy와 같은 중희토류 금속을 첨가하고 있다. 하지만, 중희토류 금속의 수급불균형 문제 때문에 향후 중희토류 금속을 첨가하지 않고도 고온에서 사용 가능한 고보자력 영구자석 제조기술 개발이 시급하다. 중희토류 금속을 사용하지 않고 높은 보자력을 확보하는 방법으로 결정립 미세화, 결정립 계면제어와 같은 미세조직 정밀제어가 매우 중요하다. 결정립을 미세화하는 방법으로 젯밀법, HDDR법, melt spinning법과 같은 다양한 방법이 적용될 수 있다. 이 중에서 melt spinning법으로 제조된 분말의 경우 수십 나노 크기의 결정립을 가지게 되므로 20 kOe 이상의 고보자력 분말 제조가 가능하다. 하지만, 결정립의 방향이 무질서한 등방성 분말이기 때문에 상대적으로 낮은 잔류자화값을 나타낸다. 이에 최근 melt-spun 등방성 분말을 hot-deformation법으로 치밀화하여 이방성 나노결정립 벌크 자석을 제조하는 기술에 대한 연구가 주목받고 있다. 지금까지 많은 연구에도 불구하고 hot-deformation 과정의 미세조직 변화기구와 자기특성과의 연관성에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 hot-deformation법으로 제조된 Dy-free Nd계 영구자석 미세조직과 자기특성에 미치는 공정변수를 체계적으로 살펴보았다.

2. 실험방법

본 연구에서는, 먼저 수십 나노크기의 결정립을 가지는 melt-spun ribbon ($\text{Nd}_{13.6}\text{Fe}_{73.6}\text{Co}_{6.6}\text{Ga}_{0.6}\text{B}_{5.6}$)을 hot-pressing 공정에 의해 등방성 벌크자석으로 제조하였다. 실험은 10^{-5} torr 이하의 진공 분위기에서 실시하였으며 이때 공정온도는 700~900℃, 압력은 40~90 MPa로 달리하여 3분간 가압하였다. 제조된 등방성 벌크자석은 공정온도 및 압력 변화에 따른 미세구조 및 자기특성 변화를 분석하였으며, 이렇게 제조된 등방성 자석은 다시 진공 분위기에서 700℃까지 승온한 후 소성변형시켜 결정립 이방화를 유도하였다. 변형 시 0.05 s^{-1} 의 속도로 약 70% (시료높이감소율) 변형을 실시하였으며 제조된 자석의 미세구조 및 자기특성은 FE-SEM 및 VSM을 통하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Hot pressing 온도와 압력변화에 의해 자석의 미세구조 및 자기특성이 크게 달라짐을 확인하였다. 특히, melt-spun ribbon 계면 영역에서 결정립 성장 및 Nd-rich phase 분포 변화 등의 미세구조 변화가 두드러지게 나타나는 것을 관찰하였다(그림 1). 이러한 계면 영역의 결정립 조대화는 hot-pressed 벌크자석의 보자력을 저하시키는 원인이 되며 die-upset 공정 시에도 결정립 이방화를 저해하여 자기특성을 저하시키게 된다. 그리고 750℃에서 90 MPa의 압력하에서 치밀화된 자석(그림 1(b))을 die-upset 하였을 때 보자력은 19.6 kOe에서 11.7 kOe로 감소하였지만 잔류자화값의 경우 7.7 kG에서 12.3kG로 크게 증가함을 확인하였다(그림 2). 하지

만, hot pressed 벌크자석의 계면영역의 결정립성장을 최대한 억제한 후 die-upset 한 결과, 자기특성은 더욱 향상되어 보자력, 잔류자화값 및 최대자기에너지적이 각각 13.7kOe, 13.3kG, 40MGOe 인 이방성 자석을 제조할 수 있었다.

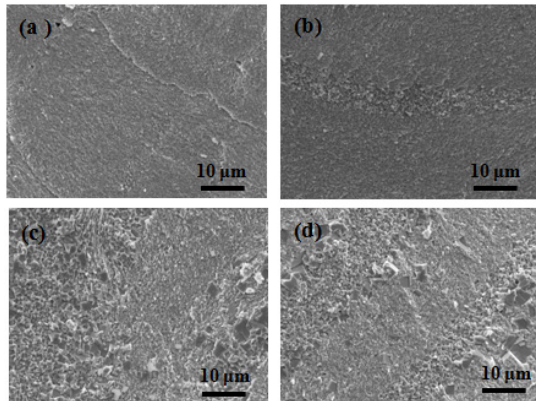


그림 1 Hot pressing 온도 및 압력에 따른 미세구조 변화. 750 °C에서 (a) 40 MPa (b) 90 MPa, 900 °C에서 (c) 40 MPa (d) 90 MPa

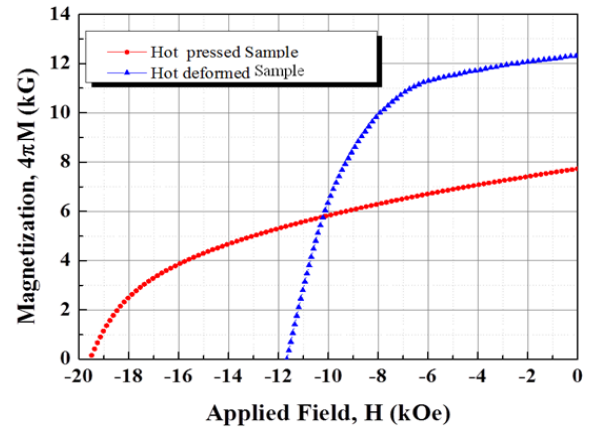


그림 2 Hot-pressing 과 die-upset을 통해 제조된 벌크자석의 자기특성

4. 참고문헌

- [1] D. N. Brown et al., J. Phys. : Condens. Matter. 26 (2014) 064202.
- [2] S. Sawatzki et al., J. Magn. Magn. Mater. 358-359 (2014) 163.
- [3] I. Dirba et al., J. Alloy Compd. 589 (2014) 301

A New 8-Pole Alignment Ring-Shaped Nd-Fe-B Sintered Magnet for High Power Motor

Hyo-Jun Kim^{1*}, Sun-Tae Kim¹, Sang-Hyup Lee¹, Sang-Myun Kim¹, and Tae-Suk Jang²

¹R&D Center, Jahwa Electronics Co. Ltd.

²Department of Hybrid Engineering, Sunmoon University

In the design of Brushless DC motor, permanent magnets (PMs) with high energy density, such as Nd-Fe-B, are essential to have high power to volume ratio. Among the Nd-Fe-B PMs, plastic PMs, made by injection molding process of the mixture of Nd-Fe-B powder and binders, are widely being used mainly for low power applications. However, for higher power applications, sintered Nd-Fe-B PMs having higher energy density than the plastic ones, are more attractive. In the viewpoint of the motor design, the polar anisotropic sintered Nd-Fe-B PM is expected to give stronger magnetic field, and therefore a PM motor with higher powder density is expected to be designed. However, the polar anisotropic sintered R-Fe-B PM, where R represents rare-earth metals, as well as Nd-Fe-B sintered PM, is often noted but rarely studied because of their difficulties of the powder aligning system construction. etc.

In order to apply strong static magnetic field to the anisotropic Nd-Fe-B magnetic powders, a powder-aligning-fixture is designed employing a pulse current electromagnetic system.

In this paper, the magnetic properties under various aligning fields are experimentally measured and a powder-aligning-fixture for a 8-pole alignment ring-shaped Nd-Fe-B sintered PM is optimally designed. Finally, an anisotropic Nd-Fe-B PM is realized by using the optimally designed powder-aligning-fixture.

Acknowledgment

This work was supported by the Strategic Core Material Technology Development Program (No. 10043780) funded by the Ministry of Knowledge Economy (MKE, Korea).

자성유체 적용에 따른 보이스코일의 방열 특성에 관한 실험적 연구

김대완¹, 김형진^{1*}, 이무연²

¹동아대학교 기계공학과 대학원, 부산시 사하구 낙동대로 550-37

²동아대학교 기계공학과, 부산시 사하구 낙동대로 550-37

1. 서론

소리를 입력받아 전기적 신호로 변환하고 기구를 이용하여 진동으로 바꿔 입력받은 소리를 증폭하는 역할을 하는 스피커는 용도와 종류에 따라 다양하게 연구되고 있다. 인간의 삶의 질이 향상되면서 스피커의 관한 연구는 고출력 및 고음질의 스피커 성능 개선을 위한 연구가 진행되고 있다. 스피커의 음역, 음질 및 출력은 스피커의 품질과 가격을 결정하는 중요한 요소이며, 이를 위하여 다양한 음역대를 재현할 수 있는 스피커에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 스피커는 사용 목적에 따라 저음을 출력하는 우퍼(Woofer), 고음을 출력하는 트위터(Tweeter) 그리고 중간음을 내는 미드레인지(Mid Range)로 구성된다. 스피커의 기본 원리는 소리를 입력받아 전기 신호로 변환하고 이것을 다시 보이스코일(Voice-coil)의 운동에너지로 변환하여 최종적으로 진동에너지로 통하여 소리로 들을 수 있게 된다. 이러한 과정에서 스피커는 일반적으로 3%내외의 효율로 전기에너지에서 진동에너지로 변환되고 나머지 97%는 거의 대부분이 열에너지로 변환되어 방출되며, 이러한 스피커의 낮은 효율은 소비전력 상승 및 스피커 성능 저하로 이어져 스피커의 신뢰성 확보를 어렵게 한다. 따라서 스피커에서 전기적 신호를 운동에너지로 변환시키는 보이스코일에서 발생하는 열을 효과적으로 방열하기 위하여 스피커용 자성유체를 적용한 스피커에 관한 수치적 연구가 진행되었다[1]. 본 연구에서는 우퍼 스피커의 보이스코일에서 발생하는 열을 효과적으로 방열하기 위하여 열전달 물질로 스피커용 자성유체를 선정하고 적용하여 출력 주파수에 따른 보이스코일 및 영구자석(Magnet)의 온도 변화를 실험적으로 연구하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구를 수행하기 위하여 실험에 사용된 스피커는 소리에서 저음 영역을 담당하는 200 W급의 우퍼 스피커이다. 자성유체가 적용되지 않은 일반 우퍼 스피커와 자성유체가 적용된 스피커에 1500 Hz 및 3000 Hz의 일정한 주파수를 3시간 동안 인가하였으며, 주위 환경을 일정하게 유지하기 위하여 소형 챔버에서 동일한 온도 조건에서 실험을 진행하였다. 스피커용 자성유체가 적용된 스피커는 보이스코일과 탑 플레이트(Top plate) 사이에 일반적으로 많이 사용되고 있는 마그네타이트 농도 3.6%인 자성유체를 주입하고 실험을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 스피커에서 가장 중요한 부품인 보이스코일과 영구자석의 온도변화를 열전대를 이용하여 1초 단위로 측정하고 Data Logger를 이용하여 기록하였다. 일반 우퍼 스피커의 경우 1500 Hz와 3000 Hz 모두 보이스코일의 온도가 영구자석의 온도 보다 항상 높은 것을 확인하였고, 자성유체가 적용된 우퍼 스피커는 주파수 인가 후 1500 Hz는 2500 sec, 3000 Hz는 5000 sec에서 보이스코일의 온도가 영구자석의 온도 보다 낮아지는 것을 확인하였다. 그리고 일반 우퍼 스피커와 자성유체가 적용된 우퍼 스피커 모두 1500 Hz 보다 3000 Hz에서 보이스코일의 온도와 영구자석의 온도가 낮은 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구를 통하여 우퍼 스피커에서 인가되는 주파수가 낮을수록 보이스코일과 영구자석의 온도가 낮은 것을 알 수 있었고, 자성유체가 적용된 우퍼 스피커는 보이스코일에서 발생하는 열이 주변 부품으로 효과적으로 전달되어 결과적으로 보이스코일의 온도 상승을 억제하는 효과를 확인할 수 있었다.

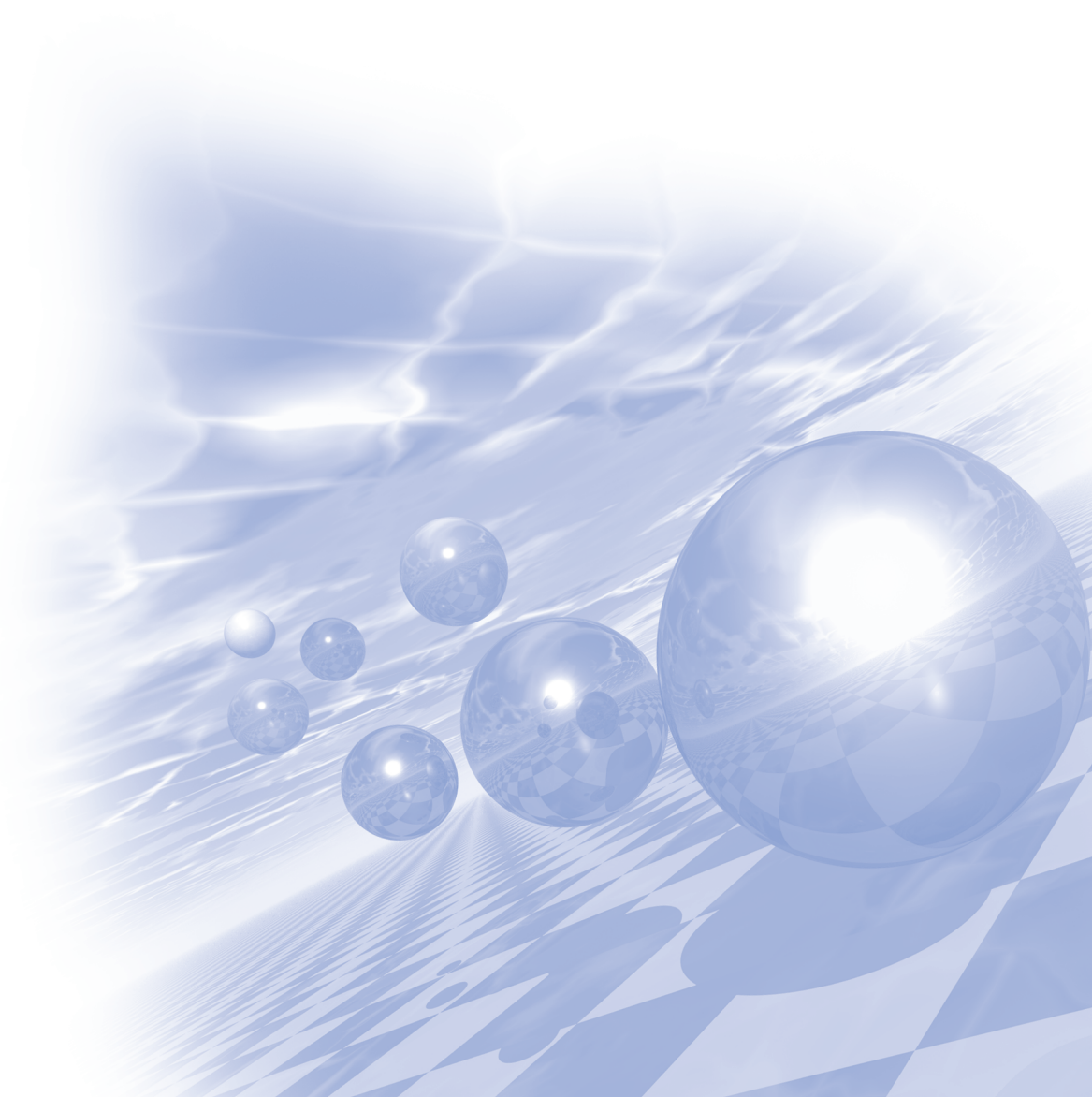
5. 참고문헌

- [1] M. Y. Lee, H. J. Kim and W. Y. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **23**, 5 (2013).



KMS 2014 Summer Conference

구두발표 (IV)



Relative strength of perpendicular magnetic anisotropies at bottom and top interfaces in [Pt/Co/Pt] trilayers

Young Chan Won^{1*}, Tae Young Lee¹, Dong Su Son², Sang Ho Lim^{1,2*}, and Seong-Rae Lee²

¹Department of Nano Semiconductor Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

²Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

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

The relative strength of perpendicular magnetic anisotropies (PMA) at bottom and top interfaces in [Pt (3.0 nm)/Co (t_{Co})/Pt (t_{Pt})] trilayers (where t_{Co} and t_{Pt} denote the thickness of the Co and Pt layers) have been investigated. An asymmetry in the magnetic anisotropies of Pt/Co and Co/Pt interfaces was observed in [Pt/Co/Pt] trilayers. The PMA properties are sensitive to t_{Pt} and they are significantly better at $t_{\text{Pt}} = 0.2$ nm than at $t_{\text{Pt}} = 3.0$ nm. The present results are agreement with the previous observation showing that inverted [Pt/Co] multilayers with a very thin Pt layer of 0.2 nm exhibit a strong PMA and high-post annealing stability. Both interfaces of Pt/Co and Co/Pt in the [Pt/Co/Pt] trilayers are responsible the observed PMA properties. However, it is reasonable to consider that the Co/Pt interface is responsible for the change in the PMA strength as a function of t_{Pt} . The reason for this responsibility is the quality of Co/Pt interface significantly depends on t_{Pt} . This information is of great importance in understanding PMA properties in multilayers and furthermore developing new PMA structures with improved properties.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (2011-0028163).

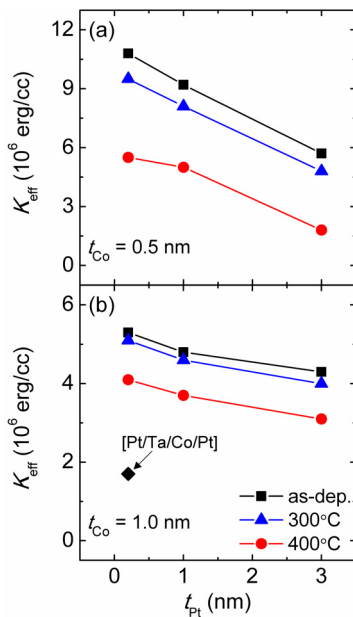


Fig 1. Observed K_{eff} values plotted as a function of the top Pt layer thickness (t_{Pt}) for the two different samples of (a) [Pt (3.0 nm)/Co (0.5 nm)/Pt (t_{Pt} nm)] and (b) [Pt (3.0 nm)/Co (1.0 nm)/Pt (t_{Pt} nm)] at various annealing temperatures as well as in the as-deposited state. Note that K_{eff} value for the sample of [Pt (3.0 nm)/Ta (5.0 nm)/Co (1.0 nm)/Pt (0.2 nm)] in the as-deposited state is also presented by diamond symbol.

Formation of a CoFe(001) texture in FeZr-inserted multilayer-based stacks with perpendicular magnetic anisotropy

Young Chan Won^{1*}, Tae Young Lee¹, Sang Ho Lim^{1,2}, and Seong-Rae Lee²

¹Department of Nano Semiconductor Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

²Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

[NM/Co]_n multilayers (NM and n denote a non-magnetic material and the number of iteration), where strong perpendicular magnetic anisotropy (PMA) is originated from the interface effects, have some distinct advantages, over L1₀ materials, of an easy fabrication due to a close-packed growth plane and a simple stack design allowing for many different types of material systems. However, [NM/Co]_n multilayers have the two main problems of a low post-annealing stability and a difficulty of forming a CoFe(001) texture essential for high tunneling magnetoresistance. The authors recently reported new [Pt/Co] multilayers with an inverted structure that exhibit strong PMA and a high post-annealing stability up to 500°C [1, 2], thus providing an important step of relieving, if not solving, the first problem. This study deals with the second problem by inserting an amorphous FeZr layer with a high crystallization temperature between the [Pt/Co] multilayers and CoFeB/MgO layers. The PMA stack consisted of the following: Si substrate (wet-oxidized)/Ta (5)/Pt (10)/Ru (30)/[Pt (0.25)/Co (0.5)]₆/FeZr (1)/CoFeB (1)/MgO (3)/Ru (3) (all thicknesses are in nm). Because Ta was previously used for a similar purpose [3, 4], the stack with Ta, instead of FeZr, was also considered for comparison. The stacks were fabricated by using a UHV sputter. The alloy targets with compositions of Co₂₀Fe₆₀B₂₀ and Fe₅₀Zr₅₀ (in at.%) were used to deposit the CoFeB and FeZr layers, respectively.

Preliminary experiments using thick FeZr thin films (10 or 100 nm) indicate that FeZr has a crystallization temperature higher than 500°C and is magnetic with a very small saturation magnetization of 35 emu/cc. Figure 1 shows x-ray diffraction patterns for the FeZr-free (upper panel) and FeZr-inserted (lower panel) stacks after annealing at 400°C. In order to amplify the x-ray signal, the thicknesses of CoFeB and MgO were increased to 10 nm. In both samples, CoFeB is amorphous in the as-deposited state, indicated by no obvious crystalline peaks related to CoFe (data not shown). After annealing, crystalline peaks related to CoFe are clearly visible in both samples but their locations are different. A strong close-packed CoFe(110) peak is seen in the FeZr-free sample, with two additional weak peaks related to CoFe(111) and CoFe(210), indicating that the crystallization initiated from the [Pt/Co]₆/CoFeB interface. In the FeZr-inserted sample, however, a single peak related to CoFe(001) is only observed, indicating the template effect from MgO(001). These results clearly demonstrate that the FeZr layer with its high crystallization temperature is effective in suppressing the crystallization from the close-packed multilayers side and thus promoting the formation of the desirable CoFe(001) texture. Furthermore, the PMA properties are only slightly affected by the insertion of FeZr both in the as-deposited state and after annealing (data not shown). This is in a significant contrast with the results observed for the Ta-inserted stacks where the PMA properties greatly deteriorate with the insertion of Ta layer. Recently, Cuchet *et al.* reported the appearance of an in-plane anisotropy component in their PMA stack at Ta thicknesses as low as 0.5~0.6 nm due to the magnetic decoupling between multilayers and CoFeB across the Ta layer [3]. A similar result was also obtained

in this study. Obviously, the observed PMA properties in the FeZr-inserted stack result from the fact that FeZr is magnetic, thus allowing for almost a complete magnetic coupling between $[\text{Pt}/\text{Co}]_6$ and CoFeB.

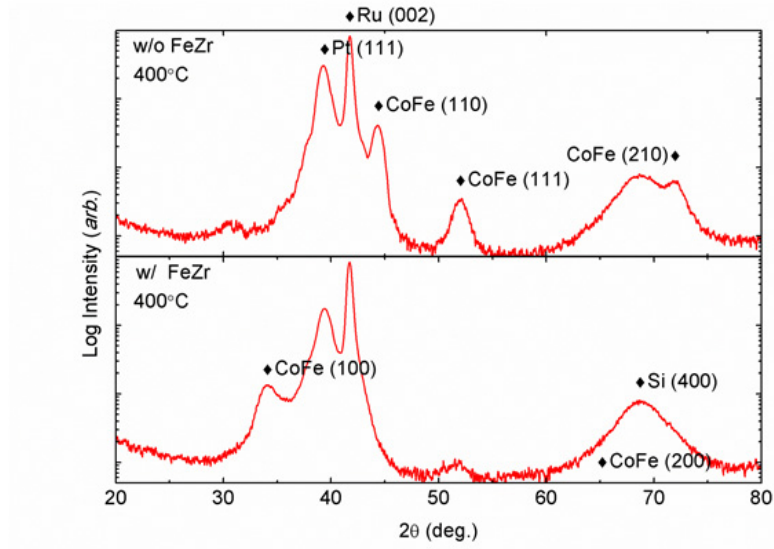


Fig 1. X-ray diffraction patterns for the FeZr-free (upper panel) and FeZr-inserted (lower panel) stacks after annealing at 400°C.

References

- [1] T. Y. Lee, D. S. Son, S. H. Lim, and S.-R. Lee, J. Appl. Phys. 113, 216102 (2013).
- [2] T. Y. Lee, Y. C. Won, D. S. Son, S. H. Lim, and S.-R. Lee, J. Appl. Phys. 114, 173909 (2013).
- [3] L. Cuchet, B. Rodmacq, S. Auffret, R. C. Sousa, C. Ducruet, and B. Dieny, Appl. Phys. Lett. 103, 052402 (2013).
- [4] G. Hu, T. Topuria, P. M. Rice, J. J.-Sweet, and D. C. Worledge, IEEE Mag. Lett. 4, 3000104 (2013).

Pt/Co/Pt 박막에서 자기 비등방성 에너지 조절을 통한 자구벽 속도 제어

김덕호¹, 유상철^{1,2}, 김대연^{1*}, 문경웅^{1,3}, 제송근¹, 조정구¹, 민병철², 최석봉¹

¹서울대학교, 물리천문학과

²한국과학기술연구원

³한국표준과학연구원

1. 서론

자구벽 이동이 차세대 저장 장치의 중요 기술로 제시됨 [1]에 따라 자구벽의 이동에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 소자로의 응용을 위해서는 높은 자구벽 이동 속도가 필요하며, 최근 자성층의 두께가 얇은 자성 박막일수록 자구벽의 속도가 빠르다는 결과가 보고되었다 [2]. 자성층 두께를 조절하지 않고, 더 빠른 자구벽 속도를 얻기 위해 본 연구에서는 Pt/Co/Pt 박막에서 비자성층인 양 Pt 층의 두께에 따른 자구벽 속도 변화를 살펴보았다.

2. 실험방법

본 연구를 위해 Si/SiO₂/Ta(5 nm)/Pt(2-x nm)/Co(0.3 nm)/Pt(2+x nm) 구조에서 Pt 층의 두께 변화량 x 를 0.5 nm 간격으로 -1 nm에서 +0.5 nm까지 변화시킨 수직자기 비등방성 박막을 제작하였다. 광자기 Kerr (Magneto-optical Kerr effect) 현미경을 이용해, 수직 방향의 자기장을 인가하여 자구벽 속도를 측정하였다. 속도 측정 결과, 각 Pt 두께에 따라 자구벽 속도가 크게 변화하였다. 따라서 각 시료에 따른 자구벽 속도 변화의 원인을 살펴보기 위해 vibrating sample magnetometer를 이용해 포화 자기화량 (saturated magnetization)을 측정하였고, extraordinary Hall effect [2]를 응용해 비등방성 자기장 (magnetic anisotropy field)을 측정하였다. 측정 한 포화 자기화량과 비등방성 자기장으로부터 수직자기 비등방성 에너지를 얻었다.

3. 실험결과

Pt/Co/Pt 박막에서, 같은 크기의 수직 방향 자기장을 인가하였을 때, 아래 Pt 층의 두께가 얇고 위 Pt 층의 두께가 두꺼울 경우 자구벽의 속도가 빨라지는 경향을 보였다. 각 시료에 대해 측정한 수직자기 비등방성 에너지도 속도 변화와 유사한 경향성을 가지고 있었다.

4. 고찰 & 결론

위 Pt 층이 두껍고, 아래 Pt 층이 얇은 박막의 자구벽 속도가 컸으며, 이러한 자구벽 속도가 큰 박막의 경우 수직자기 비등방성 에너지가 작게 측정되었다. 이는 Arrhenius creep scaling law를 통해 정량적으로 분석한 결과, 자구벽의 속도를 결정하는 요인 중 하나인 creep scaling 상수 a 가 수직자기 비등방성 에너지에 의존하기 때문이었다. 비자성층의 두께 조절을 통해서 자구벽의 이동 속도를 제어할 수 있다는 본 연구의 결과는, 빠른 속도의 자구벽 운동을 가지는 시료를 최적화 시키는데 도움이 될 것으로 예상된다. 정략적인 분석은 추후 논의할 예정이다.

5. 참고문헌

- [1] S. S. P. Parkin, M. Hayashi, and L. Thomas, Science **320**, 190 (2008).
- [2] P. J. Metaxas *et al.*, Phys. Rev. Lett. **99**, 217208 (2007).
- [3] K.-W. Moon *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **80**, 113904 (2009).

양성자 조사에 의해 환원된 Co/Pd superlattice의 비정상 pseudomorphism과 그에 따른 계면에서의 스핀-궤도 결합의 강화

김상훈^{1*}, 이수길¹, 이현휘², 박성훈³, 박재훈³, 이한구², 홍종일¹

¹연세대학교 신소재 공학과, 서울시 신촌동, 120-749

²포항가속기연구소, 포항시, 790-784

³포항공과대학교 물리학과, 포항시, 790-784

1. 서론

강자성체/귀금속 구조의 계면에서 발생하는 스핀-궤도 상호작용은 수직자기 이방성을 비롯하여 최근 실험적으로 관측되고 있는 스핀-궤도 토크 현상이나 Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI)과 같은 다양한 물리적 현상의 근원이 되고 있다[1,2]. 최근 스핀-토크 현상을 이용한 전류 구동형 스핀트로닉스 소자들의 자화방향을 $\sim 10^6$ A/cm² 이하의 낮은 전류 밀도를 이용하여 효과적으로 제어하는데 이들 현상이 중요한 역할을 하는 것으로 확인되면서 집중적인 연구가 이루어지고 있다. 스핀 궤도 결합은 1 nm이하의 얇은 강자성체 박막과 높은 전자밀도를 갖는 귀금속 박막이 이루는 계면의 상태에 매우 민감한 것으로 알려져 있다. 그러나 스핀-궤도 결합의 극대화를 위한 인위적인 계면 제어에 관한 연구는 부족한 상황이다. 본 연구는 기존에 보고한 양성자 조사법에 의한 Co₃O₄/Pd superlattice의 환원 현상을 이용하여 계면에서의 스핀-궤도 결합을 극대화 할 수 있음을 보고한다. 이는 열처리가 아닌 상온에서의 효과적인 계면 제어를 통해 스핀-궤도 결합을 극대화 할 수 있음을 보여주는 중요한 결과이다.

2. 실험방법

[Co₃O₄ t nm (t=0.2, 0.6, 0.8, 1.0, 1.4, 1.7)/Pd 1.0 nm]₁₀ 및 [Co t nm (t=0.2, 0.4, 0.5, 0.7, 0.8, 1.0)/Pd 1.0 nm]₁₀ 인공격자는 초고진공 DC 마그네트론 스퍼터를 이용하여 4.0×10^{-9} torr 이하의 진공에서 증착되었다. 양성자 플라즈마는 2.5 GHz의 microwave power로 형성되었고, 300 eV의 가속전압을 이용하여 산화 인공격자에 조사되었다. X-ray magnetic circular dichroism (XMCD)과 in-plane incidence x-ray diffraction (GIXRD) 실험은 포항 가속기 연구소의 2A 와 5A 빔라인에서 진행하였다.

3. 실험결과

우리는 상자성을 갖고 있는 Co₃O₄/Pd superlattice에 양성자를 가속시키면 결합 없이 강자성을 띤 Co/Pd superlattice로 상변화 시킬 수 있음을 보고한 바 있다[3]. 특히 환원된 Co/Pd superlattice의 경우 기존 Co/Pd superlattice보다 더 강한 수직자기이방성을 갖고 있음이 실험적으로 확인되었다. 본 연구에서는 강화된 수직자기이방성이 환원된 Co 층과 Pd 층이 이루고 있는 계면의 강한 스핀-궤도 상호작용에 의한 것임을 실험적으로 증명하고자 한다. 투과 전자 현미경의 Fourier filtered image (FFI)의 분석 결과는 환원된 Co 가 5 Å의 두께에서 Pd과 pseudomorphism을 갖고 있음을 보여주었다. Co와 Pd의 격자상수가 다른 것을 비추어 볼 때, 이 결과는 Co와 Pd층의 격자 변형이 형성되어 있음을 의미한다. Superlattice가 갖는 격자 변형은 GIXRD를 통해 정량적으로 계산되었다. 환원된 Co 층은 수직자기이방성이 가장 강하게 나타나는 5 Å의 두께에서 Pd 층으로부터 인장응력(tensile stress)을 받아 약 9%의 격자변형을 보이고 있으며 이 값은 Co와 Pd의 격자상수차이와 동일하다. 기존의 Co/Pd superlattice는 Pd 층 역시 Co 층에 의해 영향을 받아 압축 응력(compressive stress)으로 인해 격자

변형이 생겨 두 원소의 격자상수차이보다 적은 격자변형을 갖게 된다. 즉, 환원된 Co/Pd superlattice의 Co 층은 일반적인 Co/Pd superlattice의 그것에 비해 더 큰 응력을 받고 있음을 의미한다. 또한, 격자변형의 두께 의존성 분석을 통해 계면에서의 격자변형이 갖는 균일성(coherency)이 사라지는 임계 두께가 환원된 Co/Pd superlattice에서 일반적인 Co/Pd superlattice보다 약 35% 더 두꺼운 것을 확인하였다. 계면에서의 극대화된 격자변형은 superlattice가 $\sim 10^6$ erg/cc 크기를 갖는 자기탄성이방성을 갖게 하므로 환원된 Co/Pd superlattice의 수직자기이방성이 DC 스퍼터링이나 thermal evaporation 증착법으로 제작된 일반적인 경우보다 상대적으로 큰 것으로 해석된다. 이에 더하여, 자기이방성의 두께의존성 분석을 통해 계면자기이방성을 정량적으로 계산할 수 있었으며 계면에서의 자기탄성이방성과 더불어 계면이 갖는 특성 중의 하나인 격자의 비대칭성으로 인한 Néel anisotropy 역시 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이는 환원된 Co/Pd superlattice가 깨끗한 계면을 갖고 있음을 확인한 본 연구팀의 기존 결과와 일맥상통한다. 계면에서 발생하는 위와 같은 차이로 인해 환원된 Co/Pd superlattice는 일반적인 경우보다 약 30% 증가된 스핀-궤도 결합을 갖는 다는 것을 XMCD 측정을 통해 확인할 수 있었다.

4. 고찰

이러한 비정상적인 pseudomorphism은 간단한 재배열 모델에 의해 설명될 수 있다. 환원이 되면서 Co 원자들은 산소의 빈자리(vacancy)를 채우게 되는데 이 과정에서 Co₃O₄의 스핀넬(spinel)구조로 인해 Pd 층을 씨앗층 삼아 pseudomorphism을 갖게끔 재배열 되는 것으로 해석할 수 있다. 이때의 Pd층이 갖는 표면의 단위 구조(unit mesh) 크기가 Co₃O₄와 거의 비슷하기 때문에 Pd층은 superlattice안에서 압축 응력을 거의 받지 않은 상태이므로 환원 과정 중에 재배열 된 Co 원자들은 마치 견고한 Pd substrate에서 성장한 것과 같은 효과를 보이게 되는 것이다.

5. 결론

우리는 양성자 조사에 의한 환원법이 자성 다층박막의 계면에서 발생하는 스핀-궤도 결합을 인위적으로 제어시킬 수 있는 새로운 방법이 될 수 있음을 보였다. 우리의 연구결과는 앞서 설명한 스핀-궤도 결합에 의한 스핀-궤도 토크 현상이나 skyrmion과 같은 계면에서의 독특한 스핀구조에 대한 연구에 접목될 수 있음을 의미하며, 이 같은 현상들을 이용한 새로운 스핀트로닉스 소자 개발에의 응용이 기대된다.

6. 참고문헌

- [1] I. M. Miron, *et al.* Nature Mater. 10, 419 (2011).
- [2] J. Sampaio, V. Cros, S. Rohart, A. Thiaville and A. Fert, *Nature Nanotech.* 8, 839 (2013).
- [3] S. Kim, S. Lee, J. Ko, J. Son, M. Kim, S. Kang and J. Hong, *Nature Nanotech.* 7, 567 (2012).

Magnetic Domain wall motion in [CoSiB/Pt]_N thin films with perpendicular magnetic anisotropy

Youngha Choi¹, Kyujoon Lee¹, Jungbum Yoon², Jaehun Cho²,
Chun-Yeol You², Taewan Kim³, and Myung-Hwa Jung^{1,*}

¹Department of Physics, Sogang University, Korea

²Department of Physics, Inha University, Korea

³Department of Advanced Materials Engineering, Sejong University, Korea

Amorphous CoSiB/Pt multilayer is a perpendicular magnetic anisotropy (PMA) material to achieve high squareness, low coercivity, strong anisotropy, and smooth domain wall (DW) motion, because of the smoother interface compared with crystalline multilayers. For [CoSiB(6 Å)/Pt (14 Å)]_N multilayers with N = 3, 6, and 9, we studied the field-induced DW dynamics. The results suggest that the amorphous [CoSiB/Pt]_N multilayers are inherently homogeneous compared to crystalline multilayers. For N ≤ 6, the pinning site density ρ_{pin} is less than 1000/μm², which is about 1 pinning site per the typical device junction size of 30 × 30 nm². Also, the exchange stiffness constant A_{ex} is obtained to be 0.48×10^{-6} erg/cm, and the domain wall width is expected to be much smaller than other crystalline PMA systems. These results may be applicable for spin-transfer-torque magnetic random access memory (STT-MRAM) and DW logic device applications.

DMI 측정법: DMI에 의한 비대칭적 자구벽 운동 및 스핀-오비탈 토크에 의한 자구벽 운동

제송근^{1*}, 김덕호¹, 유상철^{1,2}, 김주성¹, 민병철², 이경진^{3,4}, 최석봉¹

¹CSO and Department of Physics, Seoul National University

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

³Department of Materials Science and Engineering, Korea University

⁴KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University

1. 서론

최근 수직자기이방성을 가지는 물질에서의 전류방향으로 움직이는 자구벽운동 (스핀 전달 토크와 반대)을 설명하기 위해 스핀 오비탈 토크와 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction (DMI)에 의한 Néel 자구벽이 도입되었다 [1-3]. 그러나 DMI는 독립적으로 그 크기와 방향이 측정되지 않아 SOT가 전류 방향 자구벽 운동에 주는 영향이 불확실한 상황이다. 이에 본 연구진은 스핀 전달 토크, 스핀 오비탈 토크의 영향 없이 DMI를 독립적으로 측정하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

DMI는 자구벽에 내부 자기장처럼 작용하므로 외부에서 수평방향 자기장을 가함으로써 DMI에 의한 자기장을 상쇄시킬 수 있다. 수직, 수평 방향 전자석이 결합된 커-자기광학 현미경(MOKE microscope)을 이용하여 수평방향 자기장의 크기와 방향에 따른 자구벽 속도를 수직자기이방성을 가지는 Pt/Co/Pt 박막에서 측정하였다.

3. 실험결과

수평 자기장이 없는 경우 자구는 수직방향 자기장에 의해 등방성을 가지고 확장한다. 하지만 수평 자기장이 가해지면 자구는 더 이상 등방적, 대칭적 확장을 하지않고 특정 방향으로 빨리 움직이는 비대칭적 확장을 보인다. 이것은 물리적으로 수평 방향에 대해 대칭성이 깨어지는 현상으로 그 동안 알려진 바가 없다.

4. 고찰

Structural inversion asymmetry (SIA)가지고 스핀 오비탈 작용이 강한 물질에서는 DMI라는 현상이 존재함이 알려져있는데, Pt/Co/Pt 자구에 작용함으로써 원형 자구의 모든 자구벽의 모든 부분에서 동일한 chirality를 가지도록 만든다.(방사상의 대칭성) 이때 수평 자기장이 걸리게 되면 방사상의 대칭성이 깨어지게 되고 원형 자구의 모든 부분에서 자구벽의 형태가 달라지게 된다. 이런 자구벽 형태의 차이가 자구벽 운동에도 영향을 주어 비대칭적 자구벽 확장이 일어난다. 수평 자기장 크기가 DMI에 의한 내부 자기장과 같은 크기가 되어 상쇄되면 자구벽은 Bolch 형태의 자구벽을 띄게 되며 이 점을 기준으로 수평 자기장에 대한 대칭적인 속도를 가지고 되는데 우리는 이를 통해 자구벽에 작용하는 DMI의 크기와 방향에 대해 쉽게 알 수 있다. 아울러 이를 통해 스핀 오비탈 토크와 스핀 전달 토크를 구분하는 것도 가능해졌다 [4].

5. 결론

수평자기장하에서의 비대칭적 자구벽 운동 분석을 통해 DMI를 쉽고 정확하게 측정하는 방법을 개발했고,

이로써 스핀 오비탈 토크에 대한 더욱 정확한 분석이 가능해졌다.

6. 참고문헌

- [1] A. Thiaville et al., Europhys. Lett. 110, 022405 (2012).
- [2] S. Emori et al., Nat. Mater. 12, 611 (2013).
- [3] K.-S. Ryu et al., Nat. Nanotechnol. 8, 527 (2013).
- [4] S.-G. Je et al., Phys. Rev. B. 88, 214401 (2013).

Graphene as an effective tunnel barrier for spin injection into n-Ge

백승헌^{1*}, 서유진¹, 오중건¹, 박민규¹, 봉재훈¹, 윤성준¹, 서민수², 박승영², 박병국³, 이석희¹

¹Department of Electrical Engineering, KAIST, Daejeon, 305-701, Korea

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

³Department of Materials Science and Engineering, KAIST, Daejeon, 305-701, Korea

1. 서론

1990년대에 S. Datta와 B. Das가 외부전기장을 이용해 동작할 수 있는 spin FET[1]을 제시한 이후 스핀트로닉스 소자는 미래지향적 소자로서 큰 각광을 받게 되었다. 이는 현행 CMOS 소자의 동작과 매우 유사하면서도 multi-functionality, 비휘발성, 저전력과 같은 특성을 갖기 때문에 beyond CMOS 기술로서 큰 가능성을 가지고 있는 소자라고 할 수 있다. 최근 들어 germanium (Ge) 반도체를 이용하여 spin FET를 만드는 것이 큰 관심을 받고 있는데 이는 Ge의 inversion symmetry 결정구조에서 오는 긴 spin diffusion length와 높은 캐리어 이동도 때문이다[2]. 하지만 n-type Ge은 금속과의 접합부분에서 fermi-level pinning (FLP) 영향 때문에 높은 쇼트키 장벽이 형성된다. 이러한 쇼트키 장벽을 낮추면서 스핀 주입 및 검출을 시도하려는 연구가 많이 진행되었는데 이 중에서도 MgO와 Al₂O₃와 같은 oxide 계열의 터널막을 이용한 연구가 많이 진행되었다[3,4]. 이와 더불어 최근 실리콘에 그래핀을 터널막으로 사용하여 효과적으로 스핀을 주입하고 검출한 연구가 발표되었다[5]. 그래핀의 경우 oxide 계열의 터널막과는 다르게 매우 얇으면서도 defect가 없는 film을 형성한다. 또한 수직방향으로의 전도도는 매우 낮기 때문에 이상적인 터널막으로 동작할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 앞선 연구들을 조금 더 발전시켜 그래핀 터널막을 이용하여 효과적으로 FLP을 완화시키고 스핀 주입 및 검출이 가능한 최적화 된 조건을 찾는 것을 목표로 한다.

2. 실험방법

본 실험에서는 Cu film 위에서 CVD를 이용해 성장시킨 monolayer 그래핀을 사용하였다. 본 소자는 n-Ge(001)/Graphene/Co(5)/Au(100)nm 와 같다. 일반적으로 그래핀은 edge 부분에 conduction path가 생기기 때문에 터널링 이외의 다른 current transport 방식으로 전류가 흐를 가능성이 있다. 이를 방지하기 위해 그래핀의 edge 부분은 Al₂O₃를 사이에 존재하게 하여 Ge과 Co 모두와의 접촉을 방지했다. 그래핀 터널막의 두께를 바꾸기 위해서 여러 장의 그래핀 (0~3장)을 transfer 하여 터널막을 형성했다.

본 소자는 상온에서부터 시작하여 저온에서까지 IV 측정을 하였고, 쇼트키 다이오드의 current transport 모델을 이용하여 쇼트키장벽, ideality factor 등 관련 값들을 추출해 낼 수 있었다.

3. 실험결과 및 고찰

Ge의 FLP현상에 대한 근본적인 원인은 아직 확립되어 있지 않지만, 일반적으로 2가지 이론으로 설명하고 있다. 하나는 metal-induced gap state (MIGS)에 의한 효과이고 다른 하나는 interfacial state (IS)의 효과로 현상을 설명하고 있다. 본 실험에서는 결과에 보이는 것처럼 그래핀 층수에 따라 FLP이 완화되는 정도가 큰 영향을 받았기 때문에 MIGS에 의한 효과가 더 dominant 하다고 할 수 있다.

그림1(a)를 보면 터널막에 사용된 monolayer 그래핀의 층수가 증가함에 따라 reverse current가 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 그래핀 층수가 3층 이상으로 증가하면 터널링 저항의 증가로 인해 forward bias current

와 reverse bias current 모두 감소하는 것을 볼 수 있다. 그래핀이 없는 소자의 경우 일반적인 쇼트키 특성을 보인다. 이와 같은 현상은 그래핀 층수가 증가 할수록 MIGS에 의한 파동함수를 효과적으로 차단하여 FLP가 완화되고 이로 인해 쇼트키 장벽이 줄어드는 것이다.

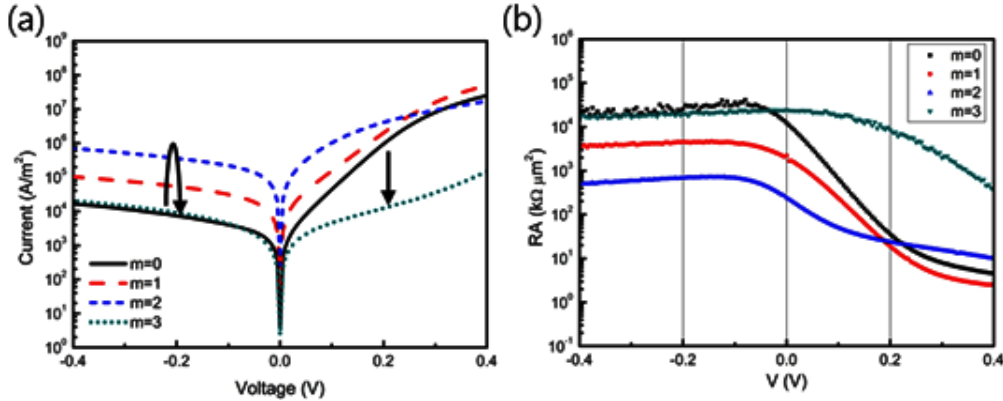


Fig 1. (a) 그래핀 층수에 따른 IV 특성 (b) 그래핀 층수에 따른 RA product

5. 결론

Ge은 차세대 반도체로서 각광받고 있는 물질 중 하나이다. 또한 spin relaxation time과 spin diffusion length 등이 실리콘 보다 더 길기 때문에 스핀트로닉스 소자로서는 실리콘보다 더 월등한 특성을 가지고 있다고 판단 된다. 본 연구에서는 n-type Ge의 FLP 문제를 그래핀을 이용하여 효과적으로 완화시키고 oxide계열 터널막의 한계 (roughness, interfacial state, thickness control etc...) 역시 동시에 해결하였다. 이번 결과를 통해서 그래핀 2층이 가장 낮은 쇼트키 장벽을 형성한다는 것을 보여 주었고 이를 통해, 그래핀이 효과적인 터널막으로서 동작 가능하다는 것을 보여주었다. 이로 인해 Ge 기반의 spin FET의 효과적인 스핀 주입 및 검출을 기대해 볼 수 있게 되었다.

6. 참고문헌

- [1] S. Datta, and B. Das, Appl. Phys. Lett. **56**, 665 (1990)
- [2] M. I. Dyakonov, Spin Physics in Semiconductors, (Spinger, Berlin, 2008)
- [3] K. Jeon *et al.*, Appl. Phys. Lett. **99**, 162106 (2011)
- [4] A. Jain *et al.*, Appl. Phys. Lett. **99**, 162102 (2011)
- [5] O. M. J. van't Erve *et al.*, Nature Nanotech. **7**, 737 (2012)
- [6] J. Tersoff, Phys. Rev. Lett. **52**, 465 (1984)
- [7] R. T. Tung, Phys. Rev. B **64**, 205310 (2001)

광자기 Kerr 효과를 이용한 스핀 궤도 돌림힘 측정

윤상준^{1*}, 문준¹, 황현석¹, 최석봉¹

¹서울대학교 물리천문학과

1. 서론

최근 전류에 의해 자성 물질이 운동하는 원인으로 스핀 전달 돌림힘 뿐만 아니라 스핀 궤도 돌림힘이 존재한다는 것이 밝혀져 활발한 연구가 이루어지고 있다[1, 2]. 스핀 홀 또는 Rashba 효과에 의해 발생하는 스핀 궤도 돌림힘은 자성층을 기준으로 비대칭성이 있을 때 나타나는데, 자화와 전류의 방향에 평행하거나 수직인 성분의 유효 자기장으로 나누어 생각할 수 있다. 기존의 전기적 방법[3-5]을 통한 스핀 궤도 돌림힘 측정은 복잡한 홀 효과에 의해 분석에 어려움이 있어서 이를 극복하기 위해 광학적 방법을 통해 스핀 궤도 돌림힘을 정량화 하였다.

2. 실험방법

DC 마그네트론 스퍼터링을 통해 서로 다른 두께를 가진 Pd/Co/Pt 구조의 수직 자성 박막들을 증착하였다. 구조적 비대칭성에 의해 Rashba 효과가 있을 것으로 예상되고, 위 아래 층의 두께에 따라 스핀 홀 효과도 달라질 것으로 기대하였다. 10 μm 너비를 가진 마이크로 와이어에 전류를 걸어주면서 스핀 궤도 돌림힘 효과를 발생시켰고, 광자기 Kerr 효과를 이용하여 자화의 수직 성분을 관측함으로써 스핀 궤도 돌림힘의 크기를 얻어 내었다.

3. 실험결과

파형 발생기를 통해 주파수 ω 의 사인파 전류를 시료에 주입하였을 때 측정되는 파형은 ω 성분 뿐 아니라 2ω 성분 또한 포함하고 있다. Pd 층이 두꺼운 시료에서는 수직 이방 자기장의 크기에 비해 스핀 궤도 돌림힘의 크기가 작아서 효과가 거의 보이지 않는데 비해 Pd 층이 얇은 시료에서는 이방 자기장의 크기가 작아 스핀 궤도 돌림힘 효과가 크게 나타났다.

4. 고찰 및 결론

Pd의 두께가 바뀌면서 수직 이방 자기장의 크기가 달라져 서로 다른 ω , 2ω 파형이 나타났다. 수직 이방 자기장이 작은 시료에서는 자화의 수직 성분이 바뀌에 따라 ω 파형이 달라지는 것을 확인할 수 있었고, 스핀 궤도 돌림힘 효과가 자화의 역전을 일으킬 만큼 크다는 사실도 발견하였다. 반면 같은 자기장 하에서 수직 이방 자기장이 큰 시료의 경우에는 외부 자기장에 의해 자화의 각도가 크게 바뀌지 않아서 항상 비슷한 크기의 2ω 파형을 보여주는데, 스핀 궤도 돌림힘 외에 영향을 주는 요인에 대한 분석이 필요하다.

5. 참고문헌

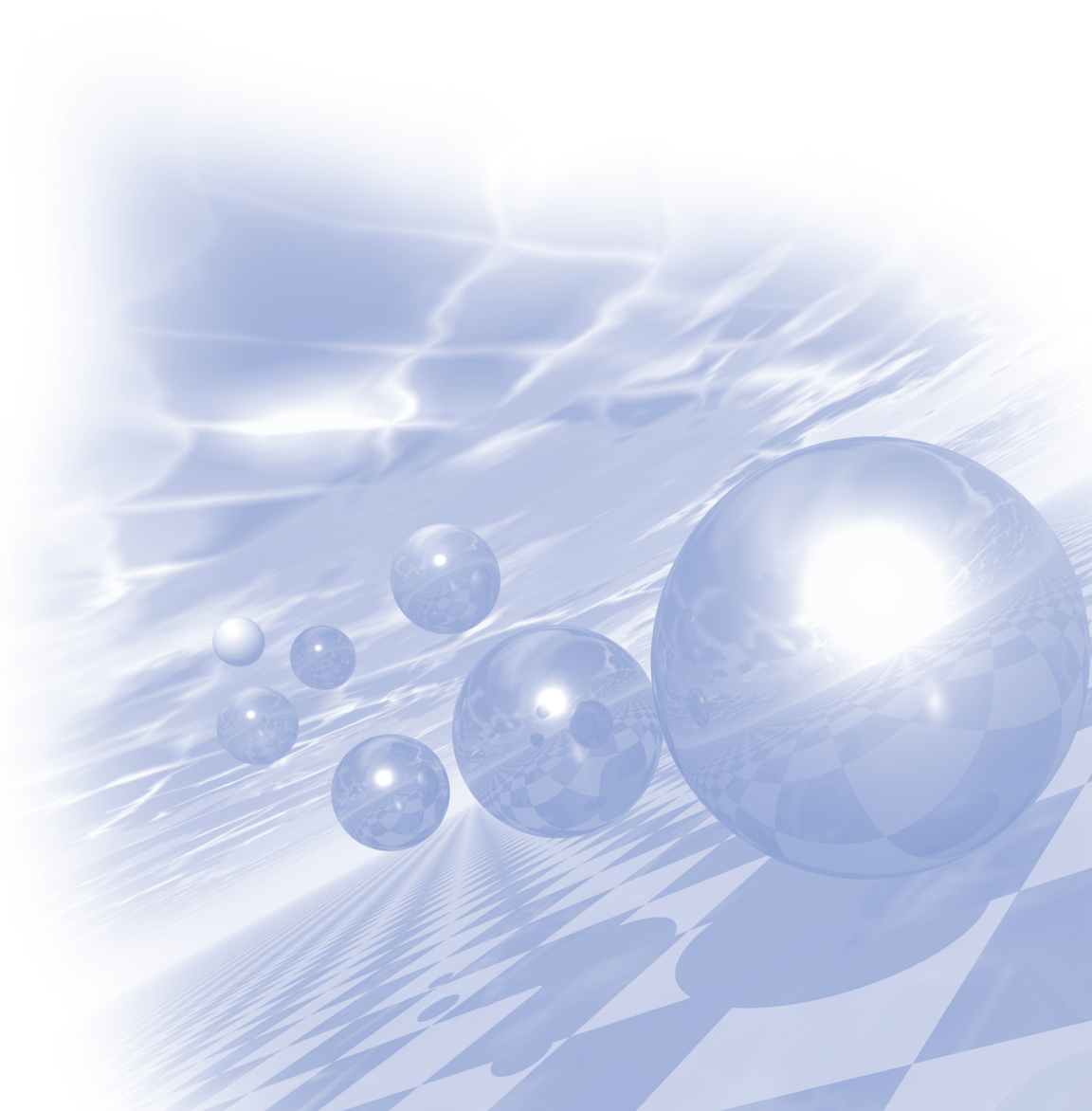
- [1] I. Miron, et al. Nature Mater. **9**, 230 (2010)
- [2] L. Liu, et al. Science **336**, 555 (2012)
- [3] U. H. Pi, et al. Appl. Phys. Lett. **97**, 162507 (2010)
- [4] J. Kim, et al. Nature Mater. **12**, 240 (2012)
- [5] X. Fan, et al. Nat. Commun. **4**, 1799 (2013)



KMS 2014 Summer Conference

Special Session I

“ 미래 Magnet 연구회 ”



Rare-Earth-Free Permanent Magnets as a Next-Generation Magnet: MnBi-Based Alloys

Wooyoung Lee*

Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul, Korea

E-mail: wooyoung@yonsei.ac.kr

For the last three decades, rare-earth (RE)-based magnets have dominated permanent magnetic applications. Although numerous studies have been done to find a new candidate as a next-generation magnet owing to the rare-earth metal crisis, the solution still remains elusive. Also, there are two important obstacles in the RE-based magnets to be used in high efficiency sustainable energy applications, *i.e.*, operating temperature and unstable price of the RE elements. Very recently, Y.K Hong, *et.al* have been developing new iron- and manganese-based composite materials for use in the electric motors of electric vehicles and renewable power generators. Their First-principles calculations for MnBi-Co and MnBi-Co-Fe have demonstrated magnetic properties superior to today's best rare-earth-based magnets. MnBi in its low-temperature phase (LTP) shows attractive hard magnetic properties; high uniaxial magnetocrystalline anisotropy and an unusual positive temperature coefficient of coercivity. In fact, it is difficult by conventional synthesis techniques such as arc-melting, rapid solidification and sintering to make single phase MnBi. This is because it forms through peritectic reaction at a relatively low temperature. A comprehensive review on the MnBi-based alloys is introduced at the viewpoints of theory and experiment.

[1] Y.K Hong, *et.al*, AIP ADVANCES 3, 052137 (2013)

Magnetically induced variations in phonon frequencies

Joo-Hyoung Lee^{*}

School of Materials Science and Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology

1. 서론

The fundamental physics of metallic magnetism has not been satisfactorily understood as yet and continues to be a highly active field of research both theoretically and experimentally. On the theoretical side, recent efforts have been focused on the correct description of observed quantities

such as Curie temperature and magnon spectra, while experimental studies show the large variety and complexity of materials whose magnetic properties can be investigated with today's techniques. Manganites, ruthenates, and even high T_C superconductors are a few examples. However, all these studies are mainly focused on the electronic and charge degrees of freedom; although an important constituent of solids, the phononic one has not been seriously taken into account in magnetism research.

2. 계산방법

In this work, we present results of a systematic first-principles study of the phonon dispersions of fcc Ni with variation of its magnetic moment. To this end, we used a combined density-functional perturbation theory (DFPT) as implemented with full-potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method and fixed spin moment (FSM) approach. Nickel is selected because it is one of the ferromagnetic elements with a simple lattice and electronic structure, which alleviates the computational workload in phonon calculations and simplifies the interpretation of the results obtained.

3. 계산결과 및 고찰

Our first-principles calculations reveal that due to the interplay between the electronic screening and the magnetostriction, the phonon frequencies of Ni show an appreciable change as its magnetic moment varies: the frequencies increase with the magnetic moment near the Brillouin zone center, whereas the situation becomes reversed near the zone boundary.

4. 결론

We note that just as the magnetization affects the phonon frequency, the magnetization can be affected by phononic contributions as derived by Kim, which implies that the phonons and magnetization need to be determined in a self-consistent way. Thus, the present work is expected to stimulate more investigations in these directions as well.

5. 참고문헌

- [1] J.-H. Lee, Phys. Rev. B **73**, 172405 (2006).
- [2] D. J. Kim, J. Phys. Soc. Jpn. **40**, 1244, (1976); **40**, 1250 (1976).
- [3] E. Wimmer et al., Phys. Rev B **24**, 864 (1981).
- [4] S. Baroni et al., Rev. Mod. Phys. **73**, 515 (2001).

Applications of Metallic Glass utilizing Soft Magnetic Properties

Haein Yim^{*}

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

In this talk I will be concerned with the soft magnetic properties of metallic glass. The term soft refers to the fact that the response of the magnetization to an applied field is large. This large response of the magnetization is desirable in applications as transformers and inductors. Metallic glass has excellent soft magnetic properties such as low coercivity H_c , modest anisotropy constant K_u , and almost zero magnetostriction λ . The source of "soft" magnetic properties of metallic glass will be discussed in aspect to magnetic domain theory.

Another application utilizing soft magnetic properties of metallic glass is Magnetic Tunnel Junctions (MTJs). MTJs have to possess a low switching field (H_{sw}) down to submicrometer size keeping a large tunneling magnetoresistance (TMR) without degrading switching characteristics. Amorphous ferromagnetic $\text{Co}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ were introduced as the free layer for MTJs and compared to MTJs with polycrystalline CoFe and NiFe free layers. The details of various perpendicular magnetic anisotropy parameters dependence of H_c , K_u , and M_s will be discussed

Keywords: metallic glass, Magnetic tunnel junctions (MTJs), soft magnetic materials

일본의 원소전략프로젝트에서의 자석재료 연구동향

최판규*
(주)MTI

일본의 문부과학성의 “원소전략Project”는 물질과 재료를 구성하고 그 기능과 특성을 결정하는 원소의 역할과 성격을 연구하고, 물질과 재료의 기능과 특성의 발현기구를 명확히 규명함으로써, 희소원소나 유해원소를 사용하지 않는 고기능을 가진 물질과 재료를 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.

풍부하고 무해한 원소에 의한 대체재료의 연구, 전략원소의 유효기능의 고활용용, 원소유효이용을 위한 실용재료설계기술 등 3가지 제안으로 연구테마를 2012년 2월에 공모하여, 2012년 6월 “원소전략Project” 연구영역과 연구거점 4군대를 채택하였다.

1. Dy, Nd 등을 대체할 목적의 자성재료영역 : (독) 물질재료연구기구 (NIMS)
2. In, Ta 등을 대체할 목적의 전자재료영역 : 동경공업대학
3. Pt, Rh / Li, Co 등을 대체할 목적의 촉매/전지재료영역 : 교토대학
4. Nb, Mo 등을 대체할 목적의 구조재료영역 : 교토대학

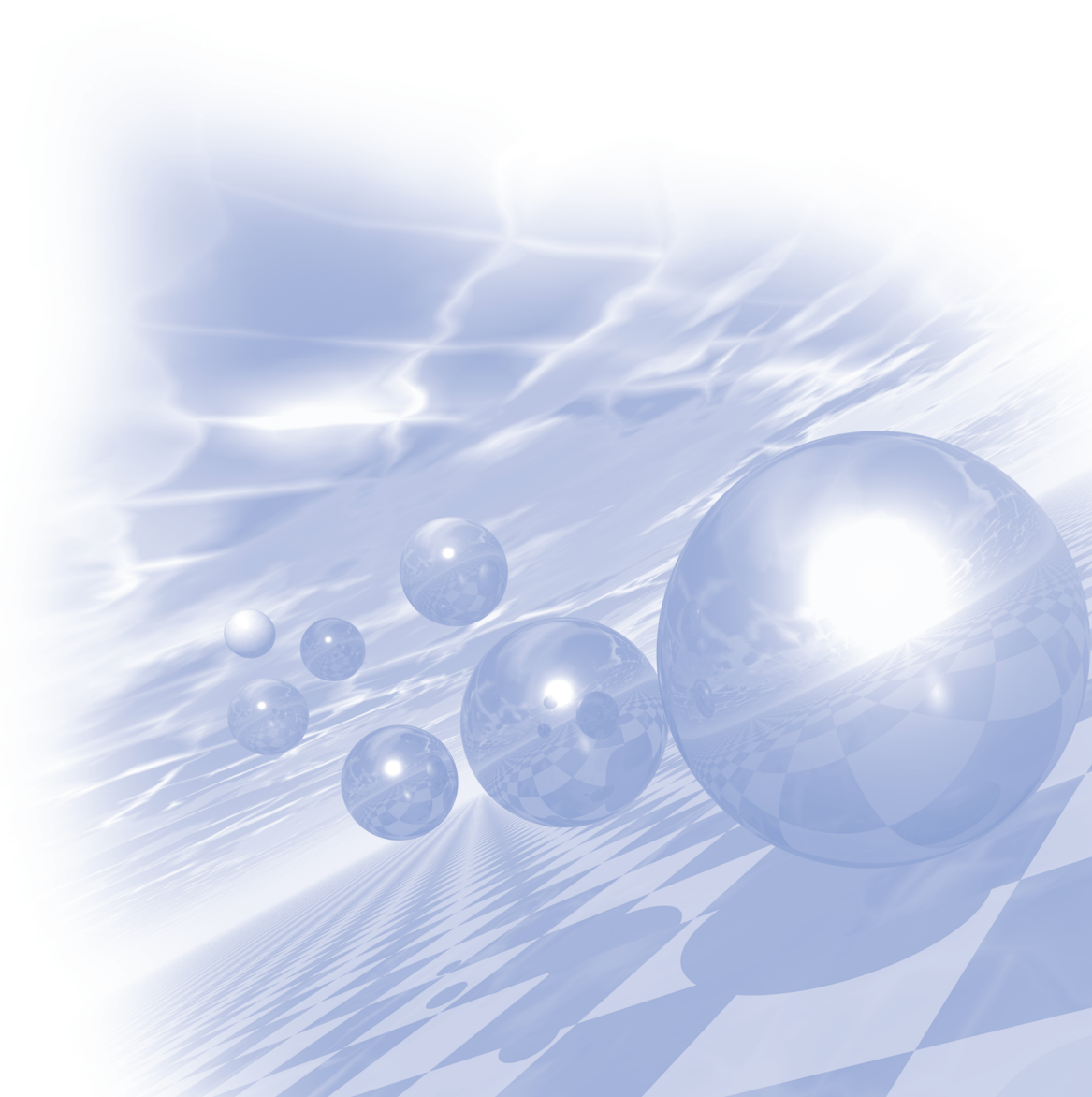
본 학술대회에서는 상기 원소전략 Project의 4영역중에서 자성재료영역의 연구동향과 올해 7월에 650여개의 기본특허가 만료되는 Nd-Fe-B 특허현황에 대해서 보고할 예정이다.



KMS 2014 Summer Conference

Special Session II

“의과학 자기 연구회”



The effect of source to image-receptor distance(SID) on radiation dose for digital chest x-ray examination

권순무^{1*}, 조재환², 박철수³

¹대구보건대학교 방사선과, ²한림국제대학원대학교 방사선학과

³한림성심대학교 방사선과

1. 서론

UNSCEAR의 2000년 보고서에서 방사선검사 횟수가 현저히 증가되고 있으며 유럽연합(EC)이나 OECD 국가의 경우 동일한 영상의학 검사를 시행 하더라도 환자가 받는 선량은 의료기관에 따라 10~100배의 큰 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다¹⁾. 진단 의료영역에서 방사선의 사용증가는 환자의 피폭선량 증가로 이어지고 있어 ICRP publication 103에서도 의료영상을 목적으로 수행하는 방사선 검사에 대해서, 환자방어의 최적화를 위해 DRL(Diagnostic Reference Level)을 적용하도록 권고하고 있다²⁾. X선량의 강도는 거리 역자승에 비례하므로 SID(source to image receptor distance)를 증가시키는 것이 방사선량을 감소시킬 수 있는 방법이다. 부적절한 SID 설정은 skin dose를 높이고 결정론적영향의 위험을 높이고 확률론적 방사선 위험에도 유의미한 영향을 끼친다. 대부분의 X선 검사는 흉부촬영을 제외하고 100 cm에 가까운 거리에서 시행되어지고 있으나 2 m의 긴 FFD에서 임상에 적합한 높은 해상도의 영상을 얻을 수 있다는 보고도 있다³⁾. 따라서 본 연구에서는 흉부방사선 촬영에서 SID 증가에 따른 방사선량과 화질의 변화를 알아보았다.

2. 실험방법

본 연구에 사용한 방사선 영상장치는 Cesium iodide-amorphous silicon flat-panel detector, x-ray tube (2P364DK-85, Shimadzu), high-voltage generator(UD150B-40)로 구성되어 있다. Source-phantom-image receptor를 직선상에 배치시키고 SID를 180 cm에서 340 cm까지 20 cm 단위로 증가시키며 방사선량과 화질의 변화를 측정하였다. 방사선량 측정은 Multi function tester(RaySafe Xi, Sweden), Ion chamber(Model 773027, FLUKE Biomedical), Whole body phantom PBU-60 trunk(Kyoto Kagaku)를 사용하여 HVL(half value layer), ESD(entrance surface dose)를 측정하였다. 영상의 화질 변화는 SNR(signal to noise ratio), FOM(figure of merit), CTR(cardio-thoracic ratio), 정성적인 평가로 “European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images”에 따라 “Visual grading analysis”를 실시하였다⁴⁾. 흉부영상의 pixel value는 “Image J”(1.46r/National Institutes of Health, USA)를 이용하였으며 ANOVA test를 위해 SPSS 16.0(SPSS Inc, Chicago, USA)를 사용하였다.

3. 실험결과

HVL은 SID증가에 비례하여 계속 증가함을 관찰할 수 있었으며 이는 air-filter effect에 의해 x-ray beam이 hard해 지고 있음을 보여준다. ESD는 SID 180 cm에서 0.121 mGy, 340 cm에서 0.113 mGy로 6.31%의 감소가 관찰되었다. SID가 증가할수록 x-ray beam이 경화되어 투과력이 증대되므로 피부입사선량은 감소하는 것으로 판단된다. SNR은 SID 180 cm에서 2.16, 280 cm에서 2.24로 작은 변화를 보였으나 300 cm에서 1.98, 340 cm에서 1.12로 급격히 감소되고 있음이 관찰되었다. SID 증가에 따라 x-ray beam이 경화되어 투과력은 증가하나 300 cm 이상의 거리에서는 투과력이 강한 hard x-ray 또한 제거되어 검출에 도달하는 광자수가 감소하고 상대적으로 noise가 증가되어 SNR이 감소되는 것으로 보여진다. FOM 또한 SNR의 변화와 동일한 양상으로 감소되었다.

CTR은 SID 증가에 따라 심장뿐만 아니라 폐의 확대도 같이 감소했기 때문에 변화가 없는 것으로 관찰되었

다. 흉부영상에 대한 VGA 결과, SID 변화에 따른 영상의 질 변화는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($F=1.153$, $p=0.338$).

4. 고찰

X선 노출의 중요한 인자로는 관전압(kV), 관전류(mA), 노출시간(s) 및 SID(cm)가 있다. 그 중 본 연구에서는 SID를 증가시켜 가며 phantom의 흉부영상을 획득하고 선량과 화질의 변화를 알아보았다. SID가 증가에 따라 ESD의 감소를 확인할 수 있었다. J Robinson 등은 SID의 증가에 따른 선량과 화질을 평가하여 SID의 증가가 선량을 감소시킬 수 있는 중요한 요소라고 하였으며 knee 촬영에서 SID를 100 cm에서 176 cm로 증가시킨 결과 ESD는 13.4% 감소가 있었다고 하였다⁵⁾. 영상의 질 평가에서 SNR은 SID 280 cm까지 작은 감소를 보였으나 300 cm 이상에서는 감소의 폭이 증가하였다. 이는 X선량의 감소로 인한 상대적인 noise의 증가를 의미한다. Herrmann 등의 연구에서도 X선을 이용한 진단 영상에서 X-선량이 증가하면 SNR이 개선되며 AEC를 적용하지 않는 검사에서 선량 증가경향이 발생할 수 있다고 하였다⁶⁾. VGA 결과, SID 증가에 따라 다소 감소하였으나 영상의 질 변화는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. Maria 등은 두부 영상에서 SID를 조절하여 유효선량은 19.2%에서 23.9%로 유의하게 감소하였으며, VGA score는 진단적으로 충분한 가치가 있었다고 보고하였다⁷⁾. 본 연구의 제한점으로 흉곽 내 각 장기에 대한 유효선량 측정이 추가된다면 SID 증가에 따른 피폭 선량에 대한 정확한 측정이 가능할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 임상에서 일반적으로 행해지고 있는 흉부 방사선촬영에서 SID 증가에 따른 화질과 선량의 변화를 알아보려고 하였다. 흉부촬영에서 SID 증가에 비례하여 ESD가 감소되었으며 SNR, FOM 측정에서 SID 300cm까지는 180 cm의 영상과 큰 차이를 보이지 않았다. SID가 증가함에 따라 CTR의 변화는 없었으며 주관적인 평가인 VGA에서도 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 흉부방사선 촬영에 있어서 공간적인 제약이 없다면 현재 국내에서 권고하고 있는 180 cm의 SID를 300 cm 범위까지 증가시켜도 화질의 저하없이 환자선량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되어진다.

6. 참고문헌

- [1] UNSCEAR 2000 Report Vol. I Sources and Effects of Ionization Radiation, Annex D Medical radiation exposure, UNSCEAR(2000)
- [2] ICRP: 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 103, Annals of the ICRP Vol. 137, No. 2-4, Pergamon Press, Oxford(2007)
- [3] Hirose M, Ikeda M, Ito K, Ishigaki T, Sakuma S. Considerations for standard chest radiography: the long film-focus distance technique. Nagoya J Med Sci 1993. 55(1-4):33-9
- [4] De Crop, An, et al. "Correlation of contrast-detail analysis and clinical image quality assessment in chest radiography with a human cadaver study." Radiology 262.1 (2012): 298-304.
- [5] Robinson J, McLean D. Extended focal-film distance: an analysis of the factors in dose reduction for the AP knee radiograph. Radiog, 7:165-170, 2001
- [6] Herrmann, C., Sund, P., Tingberg, A., Keddache, S., Mansson, L. G., Almen, A., & Mattsson, S. (2000, April). Comparison of two methods for evaluating image quality of chest radiographs. In Medical Imaging 2000 (pp. 251-258). International Society for Optics and Photonics.
- [7] Maria Joyce, Mark McEntee, Patrick C Brennan, Desiree O'Leary. Reducing dose for digital cranial radiography: The increased source to the image-receptor distance approach. J. Medical Imaging and Radiation Sciences, 2013;44(4):180-187

The clinical usefulness about the fat saturation method which is effective in 3.0T MRI

Man-Seok Han^{1*}, In-Mo Yang², Jae-Hwan Cho³, Cheol-Soo Park⁴, Jeong-Min Seo⁵

¹Dept. of Radiological Science, Kangwon National University

²Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School, Chungnam National University

³Department of International Radiological Science, Hallym University of International Graduate

⁴Department of Radiological Science, Hanlym College

⁵Department of Radiotechnology, Daewon University College

1. Purpose

The sign of the water and fat affects the influence that it is abundant in the MRI examination among the component of the human body. Obtaining the phantom image make by ourselves and trying to analyze the signal intensity and homogeneity that present the way for the optimum fat saturation.

2. Materials and methods

It measure the signal intensity of the ROI set up and calculate the average, the standard deviation, the maximum, the minimum, the range of the clinical image and phantom image with the CHESS, SPAIR, STIR, Dixon sequence.

3. Results

SPAIR was analyzed to be the finest in fat saturation, CHESS>Dixon>STIR>SPAIR, in the Signal Intensity of the Phantom image. CHESS was remarkable reduced the more became far of the central part of image in the fat removal. Dixon was to be the fines in the coefficient of variation, CHESS>SPAIR>STIR>Dixon, in homogeneity of the whole image. STIR was fine in the fat saturation and Dixon was the fine in the homogeneity in brain image. Both STIR and Dixon were fine in the fat saturation and homogeneity for C-spine. Both SPAIR and CHESS were fine in the fat saturation and both Dixon and STIR were in homogeneity for L-spine.

4. Conclusion

Both SPAIR and STIR were the most excellent of the fat saturation in the phantom image and Dixon was analyzed to be the finest of the homogeneity in the image. STIR was fine of the fat saturation for brain, Dixon was fine of the homogeneity in the clinical examination aimed at patients. Both STIR and Dixon were fine of the fat saturation and homogeneity for C-spine, SPAIR and CHESS were for L-spine, Dixon and STIR were for homogeneity.

방사선치료분야의 전자기기술 적용사례연구

서정민^{1*}, 박철수², 장현철³, 권순무⁴, 황도근⁵

¹대원대학교 방사선학과

²한림성심대학교 방사선학과

³수성대학교 방사선학과

⁴대구보건대학교 방사선학과

⁵상지대학교 한방의료공학과

1. 서론

의료 및 생명과학 분야에서 전자기 기술은 다양하게 적용되고 있다. 본 논문에서는 의과학 분야 중 종양의 치료를 위한 방사선치료기술에서 하전입자를 조절하는 방사선의 정확한 수송 및 조사와 같은 핵심기술에 적용된 전자기기술에 대한 사례를 살펴보고 미래 의과학 분야에 대한 발전을 도모하고자 한다.

2. 적용사례

가. 선형가속기의 전자선 휨 자석(bending magnet)

방사선치료를 위한 선형가속기에서 에너지가 6 MeV 이상의 전자선을 사용하는 경우, 가속 도파관의 방향을 치료용 빔의 중심축과 같은 방향으로 배열하여 제작할 수 없으므로, 엑스선 타깃 또는 전자선 창으로 전자선의 경로를 굽히기 위하여 휨 자석 시스템이 사용된다.

- 90° bending : 단일 에너지 전자선에서는 영구자석을 사용하는 경우도 있으나, 다양한 에너지의 전자선에 적용하기 위하여 전자석을 사용하여 전자선의 경로를 90° 회전하여 변환한다.
- 270° bending : 전자선 에너지의 크기에 영향을 받지 않고 엑스선 타깃 또는 동일한 위치의 전자선 창을 정확하게 지나갈 수 있도록 270°로 회전하여 경로를 변환한다.
- 112.5° bending : 세 섹터의 전자석이 전자선의 에너지에 따라 휨의 정도를 조절하여 결국 정확한 위치로 조사되도록 함으로써 90° 휨과 270° 휨의 단점을 보완하였다.

나. 양성자선 치료를 위한 빔 수송 및 조사에 적용된 전자기 기술

- 양성자선의 수송 : 사이클로트론 또는 싱크로트론에서 가속된 양성자를 치료용 갠트리까지 수송하기 위하여 여러 개의 4극 자석들이 배열되어 빔의 경로를 형성하며, 갠트리에서도 2극 자석 또는 4극 자석이 사용되어 치료를 위한 방향을 형성하게 된다.
- 능동적 조사(active scanning) 기법 : 가느다란 형태의 양성자선을 산란시켜 큰 조사면을 형성하는 수동적 분산법(passive scattering)과 다르게 가느다란 형태를 그대로 사용하는 능동적 조사법은 양성자선의 주사 방향을 스위퍼(sweeper) 자석으로 조절하며, 키퍼(kicker) 자석으로 빔을 정지시키는 방법을 적용한다.

다. 방사선치료를 위한 가속장치

- 엑스선과 전자선을 이용한 치료를 위하여 전자를 가속시키는 가속기들이 사용되고, 양성자를 가속시키는 가속기는 양성자선 치료 및 중성자선 치료에 사용된다. 다양한 원형 가속기들은 전자기 기술이 적용되어 방사선치료에 적용되고 있다.

3. 결론

국내외 여러 방사선치료 분야에 적용된 전자기기술의 사례와 같이 미래의 방사선치료 및 의생명 과학 분야에서는 더욱 정밀하고 발전된 치료를 위한 전자기기술의 소요가 증대될 것으로 사료된다.

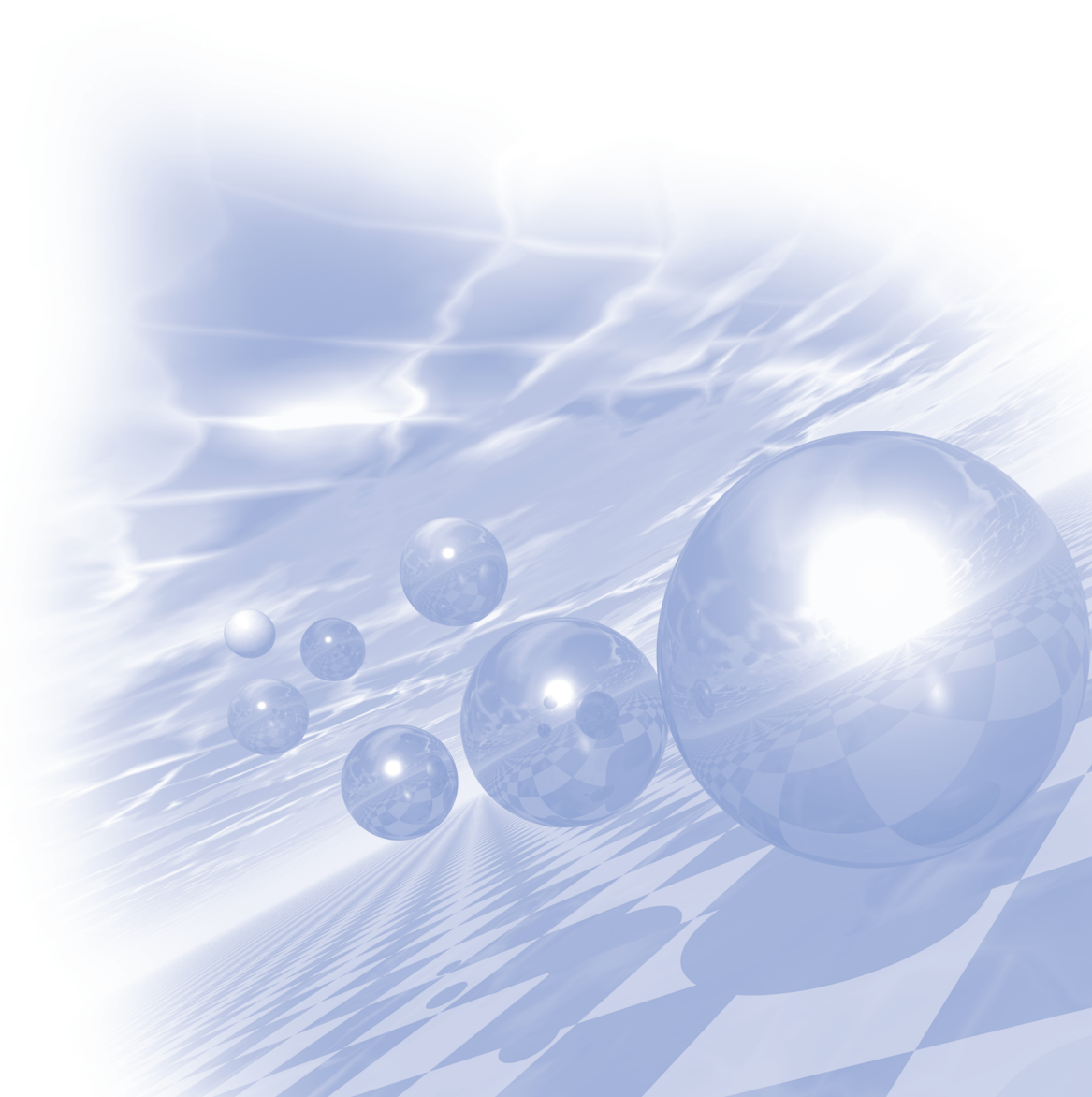
4. 참고문헌

- [1] David Greene, Peter C W, Linear Accelerators for Radiation Therapy
- [2] Peter M, Thomas K, Peter H, The Physics of Radiotherapy X-Rays from Linear Accelerators
- [3] Wioletta W, Waldemar H S, Proton Radiotherapy Accelerators



KMS 2014 Summer Conference

초청강연 II



Switching Current Density Reduction in Spin Transfer Torque Magnetic Tunneling Junction

유천열*

인하대학교 물리학과

공개 micromagnetics 시뮬레이션 프로그램인 OOMMF (Object Oriented Micro Magnetic Framwork)에서 스핀 전달 토크 항을 추가하여 사용할 수 있는 extension module을 개발하였다. 개발된 extension module을 이용하여, 스핀전달 토크 비휘발성 자기 메모리 소자에서의 스위칭 전류밀도를 감소시킬 수 있는 여러가지 방법에 대하여서 연구하였다. 스핀 메모리 소자의 동작원리와, 스위칭 전류밀도를 결정하는 인자들에 대한 해석적 해와 전산모사를 통한 해를 비교하였다. 해석적인 해에서는 무시되었던 소자의 크기, exchange stiffness constant, polarizer층과의 non-collinearity, 소자의 모양의 대칭성의 깨짐 등의 다양한 종류의 인자들이 스위칭 전류밀도에 큰 영향을 줄 수 있음을 발견하였고, 이를 통해서 소자의 특성 향상을 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

Spin-torque nano-oscillators for wireless communication

Byoung-Chul Min^{*}

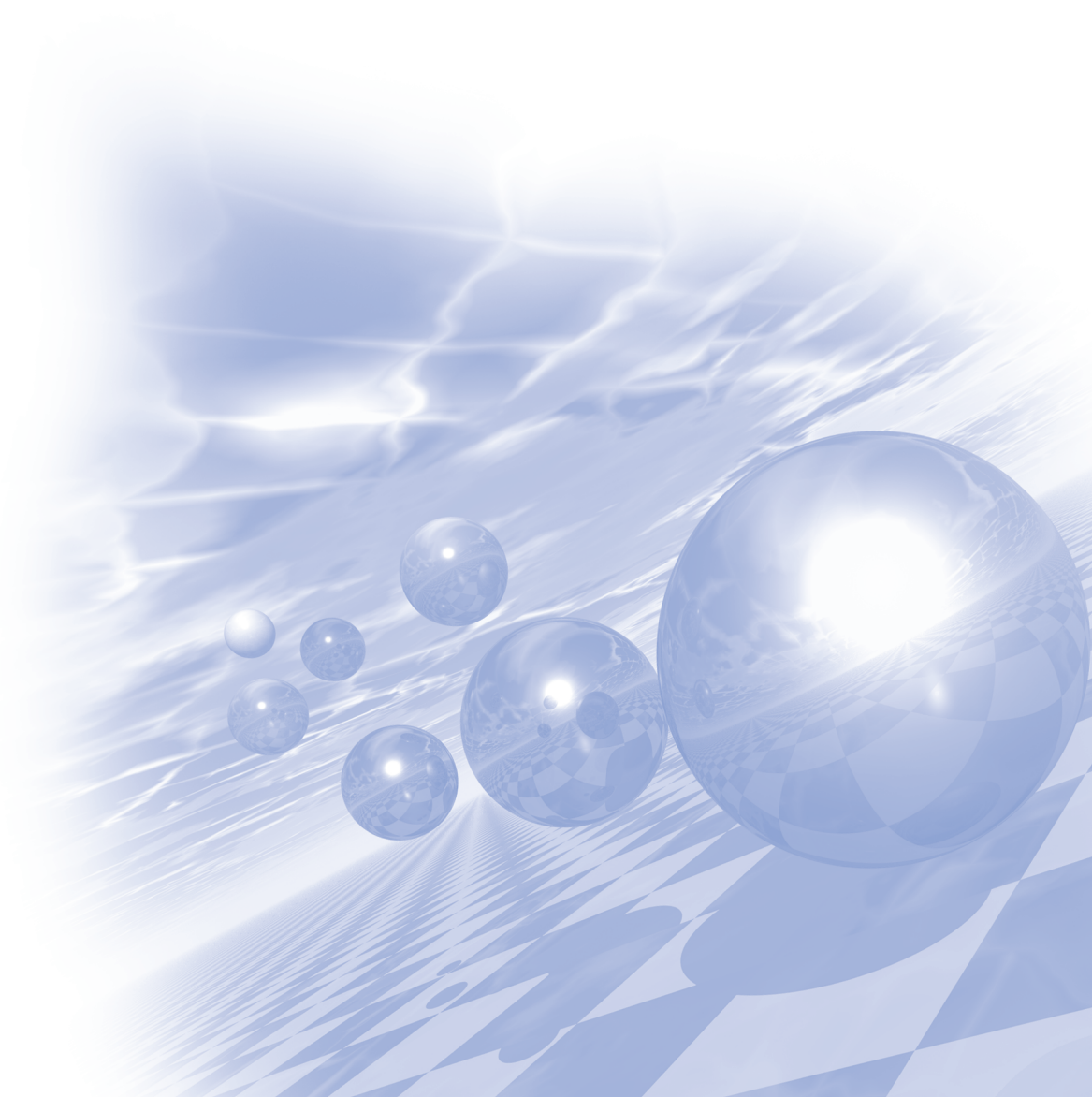
Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

Spin-polarized current can excite magnetization precession by spin-transfer torque in magnetic nanostructures, leading to spin-torque nano-oscillators (STNOs). The STNOs raise prospects for the application in RF transceivers, but should overcome critical challenges such as weak output power, broad spectral line width, and necessity of external magnetic fields. The STNOs have been realized with nano-magnetic elements such as, for instance, nano-pillars and nano-contacts having single magnetic domain or vortex structure. Here we employ a novel magnetic entity in STNOs, which can provide unique properties resolving major challenges. It is shown that, in a properly-tailored magnetic nano structure, the perpendicular spin current gives rise to microwave oscillation with a strong spectral intensity and narrow linewidth; and, more importantly, the microwave oscillation is observed even without applying external magnetic fields. This nano-tailoring of magnetic elements opens a new venue to engineer the properties of STNOs, and thereby sheds light on their real applications.



KMS 2014 Summer Conference

포스터 발표



자기영동회로를 이용한 디지털 세포제어

임병화^{1*}, 후싱하오¹, 이시홍¹, 김철기¹

¹대구경북과학기술원

1. 서론

개별 세포간 유전정보 차이 및 정보 변화는 아직 밝혀지지 않은 부분이 많은 영역이며 이를 연구하기 위하여 시도되고 있는 세포 제어 기술은 아직 수백 개 이하의 세포만을 제어할 수 있다. 앞으로 개별세포 연구를 위하여 10,000 개 이상의 개별 세포의 제어, 포집 및 성장, 분석이 가능한 3세대 단일 세포 어레이 칩 기술이 필요하다. 본 논문에서는 자기영동회로와 이를 이용한 디지털 세포 제어에 대해서 논하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 자기영동회로는 NiFe 박막의 미세패턴으로 구성되었으며 미세패턴은 (5 ~ 20 μm) 포토리소그래피와 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용한 lift-off 방식으로 제작하였다. 실리콘 기판위에 포토레지스터 (AZ 5214E)를 도포하여 3500 rpm으로 스핀코팅 한 뒤 120 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1분간 soft baking하고 마스크를 기판 위에 정렬한 뒤 자외선에 노광, 현상액(AZ 500MIF)를 사용하여 포토레지스터 패턴을 형성 하였다. 이후, 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 NiFe 박막을 증착하고 stripper(Acetone)을 이용하여 PR을 제거하여 패턴을 만들었다. 이 패턴은 형태에 따라 전기회로의 소자와 같이 여러 종류의 소자로 구분을 하였으며 가장기본적인 형태인 도체부터, 다이오드 및 커패시터 등의 수동 소자와 트랜지스터, AND/OR 게이트 등의 능동 소자 구성이 가능하였다.

세포 이송은 x-축 및 y-축으로 각각 코사인 및 사인 파형의 자기장을 인가하여 x-y 평면상에서 회전하는 자기장을 발생시켜 세포가 움직이게 하였다. 이 경우 세포 표면에 부착된 초상자성 나노입자와의 상호 작용에 의해 자기장 회전 방향과 소자의 구성에 따라서 원하는 방향으로 세포를 이송 및 포집할 수 있었다.

실험에 사용된 세포는 쥐의 림프구 세포로 세포 분리에는 negative MACS가 이용되었다. 쥐의 비장을 적출하여 cell strainer에 넣고 강하게 눌러 세포현탁액으로 만든 후 BSA-PBS (0.5% BSA and 0.2 mM EDTA in PBS)에서 두 번 세척하고 항체와 결합한 비오틴과 함께 4 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10분간 배양한 후 항체와 결합한 자성비드와 함께 4 $^{\circ}\text{C}$ 에서 15분간 배양한 후 두 번 세척하였다. 이후 LS MACS column에 midi-MACS magnet을 이용하여 표지된 세포를 잡고 9 ml의 BSA-PBS용액으로 column으로부터 비표지 세포를 씻어낸 후 나노입자를 결합시켰다.

3. 실험결과

자기영동회로 소자는 형태가 가지는 비대칭 특성에 의해 방향제어가 가능하였다. 또한 세포와 결합된 초상자성 나노입자와 소자의 상호작용에 의한 구동력은 세포 위치한 곳의 자기장 세기와 구배에 의해 결정되며, 또한 세포의 부피와 부피당 평균 자화율, 자기장 방향에 따른 세포의 상대적 위치에 의해 제어 되었다.

각각의 소자는 수동형 능동형으로 구분된다. 수동형 소자는 자기장의 회전방향에 따라 동작하며 도체, 다이오드, 커패시터로 나눌 수 있다. 도체소자는 자기장의 회전 방향에 따라 세포를 방향을 바꾸며 이송하여 다이오드 소자는 한쪽 방향으로만 세포를 전달하여 자기장 제어에 따라 세포의 분리와 같은 기능을 하였다. 커패시터 소자에 진입한 세포는 자기장 방향과 무관하게 소자외부로 빠져나갈 수 없어 세포를 포집 혹은 배치하는 기능을 하였다.

4. 고찰

도체소자를 통해 이송된 세포는 다이오드 소자를 통해 분리되고 지정된 장소에 설치된 커패시터 소자를 통해서 각 세포를 지정된 장소에 포집할 수 있었다. 반원형의 미세패턴으로 둘러싸인 공간에 들어간 세포는 외부 회전 자기장의 방향에 상관없이 그 곳에서 빠져나오지 못 한다 (세포 커패시터). 따라서 단일 세포를 자성 구조 배열에 따라 배치할 수 있으며, 이 방법을 이용하면 서로 다른 세포를 각각 원하는 방에 저장할 수 있을 뿐만 아니라 필요에 따라 z-축 자기장 또는 미세선 전류를 이용하여 세포를 뺄 수 있다. 즉, 이러한 기술은 도체, 다이오드, 커패시터 및 트랜지스터를 이용하는 전자회로에서와 유사하게 세포를 개별 제어할 수 있다.

5. 결론

전기회로와 같이 도체, 소자 개념을 가지는 자기영동회로 기술을 통하여 대량의 세포를 개별제어 할 수 있는 방법을 개발 하였다.

6. 참고문헌

- [1] Prakash, M. & Gershenfeld, N. Microfluidic bubble logic. *Science* 315, 832-835 (2007).
- [2] Unger, M. A., Chou, H.-P., Thorsen, T., Scherer, A. & Quake, S. R. Monolithic Microfabricated Valves and Pumps by Multilayer Soft Lithography. *Science* 288, 113-116, (2000).
- [3] Love, K. R., Bagh, S., Choi, J. & Love, J. C. Microtools for single-cell analysis in biopharmaceutical development and manufacturing. *Trends Biotechnol* 31, 280-286 (2013).
- [4] Yin, H. B. & Marshall, D. Microfluidics for single cell analysis. *Curr Opin. Biotechnol.*, 110-119 (2012).
- [5] Lindstrom, S. & Andersson-Svahn, H. Overview of single-cell analyses: microdevices and applications. *Lab on a Chip* 10, 3363-3372 (2010).
- [6] Skelley, A. M., Kirak, O., Suh, H. Y., Jaenisch, R. & Voldman, J. Microfluidic control of cell pairing and fusion. *Nature Methods* 6, 147-152 (2009).
- [7] Di Carlo, D., Irimia, D., Tompkins, R. G. & Toner, M. Continuous inertial focusing, ordering, and separation of particles in microchannels. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 18892-18897 (2007).
- [8] Kuntaegowdanahalli, S. S., Bhagat, A. A. S., Kumar, G. & Papautsky, I. Inertial microfluidics for continuous particle separation in spiral microchannels. *Lab on a Chip* 9, 2973-2980 (2009).
- [9] Herzenberg, L. A. et al. The history and future of the fluorescence activated cell sorter and flow cytometry: A view from Stanford. *Clinical Chemistry* 48, 1819-1827 (2002).
- [10] Ashkin, A. Optical trapping and manipulation of neutral particles using lasers. *PNAS* 94, 4853-4860 (1997).

Dy-X ($X=F$ 또는 H) 분말 첨가와 입계 확산을 동시 처리한 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성 최적화 연구

김태훈^{1*}, 이성래¹, 김효준², 이민우³, 장태석³

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

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

³선문대학교 신소재공학과, 충남 아산시 탕정면 선문대학교, 336-708

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 함량을 저감하고 자기적 특성을 향상시키기 위해서는, 소결자석 내에 Dy 원자가 효율적으로 분포하도록 미세구조적 설계가 요구된다 [1, 2]. Dy-X ($X=F$ 또는 H) 화합물을 이용한 분말 첨가 및 입계 확산 공정을 통해서 Nd-Fe-B 소결자석 내의 Dy 분포를 효율적으로 제어 할 수 있는데, DyF_3 와 DyH_2 화합물의 Dy 확산거동은 상이하기 때문에, 각각의 화합물이 분말 첨가 또는 입계 확산 공정에서 소결자석의 미세구조 및 자기적 특성에 미치는 영향 또한 매우 다르다 [1, 2]. DyH_2 의 Dy은 입계 확산을 통해 주상으로 확산 되지만, DyF_3 의 Dy은 격자 확산을 통한 확산이 지배적으로 일어난다 [1, 2]. 따라서, 소결자석의 보자력을 향상 시키는데 있어서 분말 첨가 공정에서는 DyF_3 화합물이 유리하지만, 입계 확산 공정에서는 DyH_2 화합물이 더 유리하다. 또한, DyF_3 화합물이 소결자석 내에 존재 할 경우, Dy이 불필요하게 응집되어 있는 Nd 산화물 (RE-rich 상, Dy-Nd-O) 의 형성이 억제되는데 [1, 2], 이러한 산화물의 형성은 입계 확산 공정 동안의 Dy의 확산을 방해하는 주된 요소가 될 수 있다. 본 연구에서는 Dy-X 분말 첨가 공정과 Dy-X 용액을 이용한 입계 확산 공정을 Nd-Fe-B 소결자석에 동시에 처리하여 Dy-X 화합물 첨가의 장점을 극대화시켜 Dy 저감 효과를 최대로 이끌어 내기 위한 목적으로 연구하였다.

2. 실험방법

조성이 $Nd_{32}Fe_{bal}B_{1.0}M_{2.4}$ (wt.%, $M = Cu, Al, Co$, 그리고 Nb)인 분말에 DyF_3 또는 DyH_2 화합물 분말을 첨가하여 $Nd_{27}Dy_xFe_{bal}B_{1.0}M_{2.4}$ ($x = 0.5 \sim 3.0$ wt.%) 조성의 분말을 준비한 후, 1060 °C에서 4시간동안 소결을 진행하였다. 준비된 소결자석의 표면을 DyF_3 또는 DyH_2 용액을 이용하여 코팅 한 후, 입계확산을 위해 900°C에서 2시간동안 열처리 하였다. 이후에, Nd-rich 상의 미세구조 개선을 위해서 500 °C에서 2시간 동안 열처리 하였다. 각 시편의 미세구조 변화는 주사전자현미경 (JXA-8500F)과 투과전자현미경 (FEI TecnaiF20)을 이용하여 관찰 하였으며, EPMA (JXA-8500F Electron Probe Micro Analyzer), SADP (FEI TecnaiF20)를 이용 하여 상변화 및 상분포를 관찰 하였다.

3. 결과 및 고찰

Nd-Fe-B 소결자석 내의 DyF_3 는 Dy의 격자 확산을 유도하지만, DyH_2 는 Dy의 입계 확산을 유도한다 [1]. 따라서, 입계 확산 공정 동안에 DyH_2 용액을 이용하여 입계확산 처리한 자석의 보자력이 DyF_3 용액을 이용한 자석의 보자력보다 항상 우수하다. 따라서 DyF_3 분말 첨가 자석과 DyH_2 분말 첨가 자석에 DyH_2 용액을 이용하여 입계 확산 처리 했을 때의 미세구조 및 자기적 특성 변화를 중점적으로 분석 하였다. 미세구조 분석 결과, DyF_3 분말을 첨가하고 입계확산 처리한 소결자석의 경우, 자석 표면으로부터의 Dy 확산 깊이가 약 600 μm 로 매우 높았다. 입계확산 처리 전에 DyH_2 분말을 첨가한 소결자석의 경우에는 Dy의 확산 깊이가 약 200 μm 이었다. DyF_3 분말을 첨가 하고 입계 확산 처리한 자석의 경우 RE-rich 상의 형성이 억제 되었지만, DyH_2 분말을 첨가하고 입계 확산 처리한 자석의 경우에는 RE-rich 상의 형성이 관찰되었다. 주목 할 만 한 점은, 자석 표면으로부터 확산되는 Dy이

확산 도중에 RE-rich 상과 반응하면, RE-rich 상에 흡수되어 더 이상 입계 확산 되지 않고 손실되어 버린다. 다시 말해서, 입계 확산 공정 이전에 DyF_3 분말을 첨가하여 RE-rich 상의 형성이 억제됨으로써, 입계 확산 공정 동안의 Dy의 확산 깊이가 매우 향상 되었다. 또한, DyF_3 분말이 첨가되면 소결자석의 밀도는 소폭 감소하는데 [1], 이 또한 DyF_3 분말을 첨가하고 입계 확산 처리한 소결자석의 Dy 확산 깊이 향상의 원인이 된다. 그림 1은 DyF_3 또는 DyH_2 화합물 분말을 첨가하고 DyH_2 화합물 용액을 이용하여 입계확산 처리한 Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 함량에 따른 자기적 특성의 변화를 나타낸다. 예상대로, DyF_3 분말 첨가 후 DyH_2 용액을 이용하여 입계확산 처리한 소결자석의 보자력이 가장 우수하였다. 하지만, 그림 1에서 보는 바와 같이 DyF_3 분말 첨가 공정과 DyH_2 입계 확산 공정을 동시에 처리한 자석의 Dy 함량이 1.5 wt.% 이상이면 잔류자화가 급격하게 감소하였다. 앞서 언급했듯이, DyF_3 분말 첨가의 최대 단점이 잔류자화의 손실이기 때문에, 미량의 DyF_3 분말 첨가만이 허용된다 [1]. 따라서, 그림 1에서 보듯이 입계 확산 공정 효과를 극대화 할 수 있는 DyF_3 첨가 자석의 Dy 함량은 0.5 또는 1.0 wt.% 가 적합하다. 이때의 보자력은 각각 19.72와 21.1 kOe로써, 화합물 분말을 첨가하지 않고 DyH_2 용액을 이용하여 입계확산 처리한 소결자석의 보자력보다 각각 9.9 %, 11.1 % 높은 수치이며, 이는 3.5 wt.%, 4.0 wt.%의 Dy를 첨가한 일반 소결자석의 보자력에 해당 한다. 결론적으로, DyF_3 분말을 첨가하고 DyH_2 용액을 이용하여 입계확산 처리한 소결자석은 잔류자화의 감소 없이 보자력이 매우 향상 되어 약 3.0 wt.%의 Dy 저감 효과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

DyF_3 또는 DyH_2 화합물 분말을 첨가하고 DyH_2 화합물 용액을 이용하여 입계확산 처리한 Nd-Fe-B 소결자석의 자기적 특성 및 미세구조를 관찰 하였다. DyF_3 분말 첨가 공정과 DyH_2 입계 확산 공정을 동시에 적용한 경우, 분말 첨가 없이 입계 확산 처리한 자석과 비교하여 Dy의 확산 깊이가 200% 향상 되었다. 또한, 입계 확산 처리 전 DyF_3 첨가 자석의 Dy 함량이 1.0 wt.% 일 때 잔류자화의 감소 없이 보자력이 11.1 % 향상 되었다. 입계 확산 공정 이전에 소량의 DyF_3 분말 첨가를 통해 입계 확산 공정 효과를 극대화 함으로써 약 3.0 wt.%의 Dy 저감 효과를 얻을 수 있다.

5. 참고문헌

- [1] Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Hyo-Jun Kim, Min-Woo Lee, and Tae-Suk Jang, J. Appl. Phys. 115, 17A763 (2014).
- [2] Kyoung-Hoon Bae, Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Hyo-Jun Kim, Min-Woo Lee, and Tae-Suk Jang, J. Appl. Phys.112, 093912 (2012).

6. 감사의 글

본 연구는 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2011-0007200)과 지식경제부 지원의 기술 혁신사업(No.10043780)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

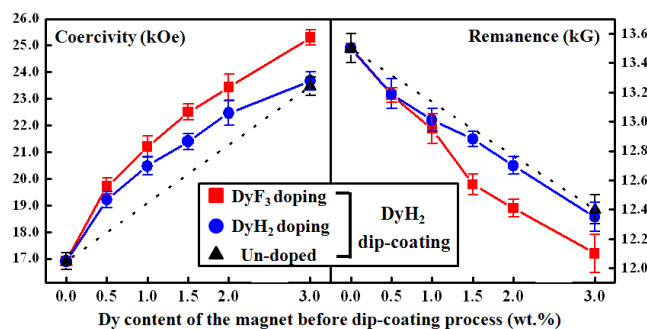


그림 1. DyF_3 또는 DyH_2 화합물 분말을 첨가하고 DyH_2 화합물 용액을 이용하여 입계확산 처리한 Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 함량에 따른 보자력의 변화.

Nd-Fe-B 소결자석의 표면에칭 조건에 따른 DyH₂ 코팅층의 입계확산 향상에 관한 연구

공주영^{1*}, 김태훈¹, 이성래¹, 김효준², 이민우³, 장태석³

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

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

³선문대학교 신소재 공학과, 충남 아산시 탕정면 선문대학교, 336-708

1. 서론

Dy의 함량을 최소화 시키면서 Nd-Fe-B 소결자석의 자기적 특성을 효과적으로 향상시키기 위한 방법으로 우수한 (Nd,Dy)₂Fe₁₄B ; core-shell 구조를 형성시켜야 한다 [1]. 이를 위한 효과적인 방법으로 DyH₂ 화합물을 이용한 입계확산공정이 있다 [2]. 하지만, 자석의 두께가 증가함에 따라 Dy 확산 깊이는 제한된다 [3]. 따라서, 자석 두께 증가에 따른 Dy 확산을 향상시킬 수 있는 공정이 필요하다. 표면 에칭 공정은 Nd-Fe-B 소결자석 표면에 존재하는 산화물 및 이물질을 최소화시키고 DyH₂ 코팅층과 의 입계흡착을 증가시킴으로써 자석내부로 의 Dy 입계 확산효과를 극대화 시킬 수 있다. [4]. 본 연구에서는, 입계 확산 공정을 위한 Nd-Fe-B 소결자석의 표면 상태 최적화를 위해서, 다양한 에칭조건을 실시한 후, DyH₂ 화합물을 사용하여 입계확산공정을 실시하였다. 특히, 최적의 에칭 조건에 따른 Dy 입계 확산 거동과 확산 깊이를 관찰하였으며, 자기적 특성과의 상관관계를 규명하였다.

2. 실험방법

조성이 Nd_{32.0}Fe_{bal.}B_{1.0}M_{2.4}(wt.%, M=Cu, Al, Co, and Nb)인 분말을 준비하여 자장성형 후 1060°C에서 4시간 동안 소결하였다. 10×10×5 mm³크기로 가공한 소결자석을 KOH 용액을 이용하여 탈지처리 하였다. 이후에 1, 2, 3 wt.%의 HNO₃ 용액을 이용하여 자석의 표면을 에칭 하였다. 에칭 시간은 10~60초로 달리 하였다. 각각의 표면 처리된 시편을 DyH₂ 용액에 담근 후, 진공 분위기에서 ultrasonic을 이용하여 자석표면에 균질하게 코팅되도록 유도하였다. Dy의 확산을 위한 1차 열처리 900°C에서 2시간, 미세구조 개선을 위해 2차 열처리를 500°C에서 2시간 동안 진행하였다. 자기적 특성과 미세구조 분석은 BH loop tracer (Permagraph C-300, Magnet-Physik), SEM (Hitachi S-4300), EPMA, Line profile (JXA-8500F), HRTEM (FEI Tecnai F20) 을 이용하여 미세구조 변화 및 자기적 특성 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1 은 DyH₂ 화합물을 이용한 입계확산 공정에서 최적의 에칭공정 유/무 에 따른 Nd-Fe-B 자석 표면부분(~10μm)의 미세구조 및 Dy 확산 거동을 나타내는 SEM 및 EDS line-profile 이미지이다. 에칭공정을 실시하지 않은 자석 표면 상태에서 DyH₂ 화합물을 입계 확산 시킨 시편의 (Nd,Dy)₂Fe₁₄B 구조를 나타내며 (a), shell 부분의 Dy 두께는 약 0.5 ~ 2 μm 을 나타낸다 (b). 이와 대조적으로, HNO₃ 1 wt.% 50초 에칭공정 후 입계확산 공정을 실시한 시편의 Dy 확산거동은 상대적으로 core-shell 외곽부분에 존재하고 있으며 (c), 그 두께는 약 0.2 ~ 1 μm 의 거동을 보인다 (d). 표면 에칭처리하지 않은 시편에서 Dy 의 거동은 입계 확산 보다는 Nd₂Fe₁₄B 입내로의 확산이 발생하였으며, Dy와 Fe의 anti-ferromagnetic 성질로 인하여 잔류자화 값은 약 0.6 % 감소하였다. 특히, EPMA Dy mapping 이미지를 토대로, 자석 표면에 응집된 Dy 거동으로 인하여 자석 내부로의 Dy 확산 표면으로부터 약 350 μm 까지 확산되었다. 반면에, 최적의 에칭조건 ; HNO₃ 1 wt.% 50초 실시 후 DyH₂

입계 확산시킨 시편은 입계로의 Dy 의 입계확산을 도모하고, 표면부분의 응집된 Dy shell 부분을 감소시킴에 따라 자석 내부로의 Dy 확산 깊이가 약 450 μm 로 향상되었으며, 표면처리하지 않은 시편과 비교하면 약 26.6 % 증가하였다. 이러한 이유는, 효과적인 표면 에칭 공정으로 인하여 자석표면의 산소함량을 7.97 \rightarrow 1.63 wt.% 로 감소시켰으며, 입계로의 균질한 에칭으로 인하여 Dy의 입계확산을 도와주는 역할을 하였기 때문이다. 따라서, 최적의 자석표면 상태에서 입계확산공정을 실시하였을 때, Dy의 확산거동 향상으로 인하여 보자력은 약 4.6 % 증가하였다.

4. 결론

입계확산 공정 효과의 극대화를 위해서, 에칭 용액의 농도와 유지시간 변화에 따른 자석 내부로의 Dy 확산 깊이 및 자기적 특성의 변화를 관찰 하였다. 최적의 에칭 조건은 1 wt.% HNO_3 50초 이며, 자석 표면의 산소 함량을 효과적으로 감소시켰다 (7.69 \rightarrow 1.36 wt.%). 더불어, 자석 표면부분 ($\sim 10\mu\text{m}$)의 $(\text{Nd,Dy})_2\text{Fe}_{14}\text{B}$; core-shell 의 Dy 두께를 약 50 % 감소시킴으로 소모되는 Dy 함량을 최소화 하였다. 따라서, Dy 입계확산을 도모함으로써 자석 표면으로부터 약 450 μm 까지 확산되었으며, 표면처리하지 않은 시편과 비교하였을 때, 약 28.6 % 증가폭을 나타내었다. 최적의 조건 하에서 표면 에칭을 하고 입계확산 처리 함으로써 Nd-Fe-B 소결 자석의 보자력을 4.6 % 증가 시켰다.

5. 참고문헌

- [1] M. Sagawa, S. Hirosawa, H. Yamamoto, S. Fujimura, and Y. Matsuura, Jpn. J. Appl. Phys., 26, 785-800 (1987).
- [2] B. Kyoung-Hoone, K. Tae-Hoon, L. Seong-Rae, NK. Seok, and J. Tae-Suk, IEEE. Tran. Magn., 49, 3251 (2013).
- [3] N. Oono, M. Sagawa, R. Kasada, H. Matsui, A. Kimura, J. Magn., 323, 297-300 (2011).
- [4] H. Nagata, T. Nomura, T. Minowa, United States Patent : 7,985,303 B2 (2011).
- [5] S. Hirosawa, K. Tokuhara and M. Sagawa, Jpn. J. Appl. Phys., 26, L1359-1361 (1987)

6. 감사의 글

본 연구는 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2011-0007200)과 지식경제부 지원의 기술 혁신사업(No.10043780)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

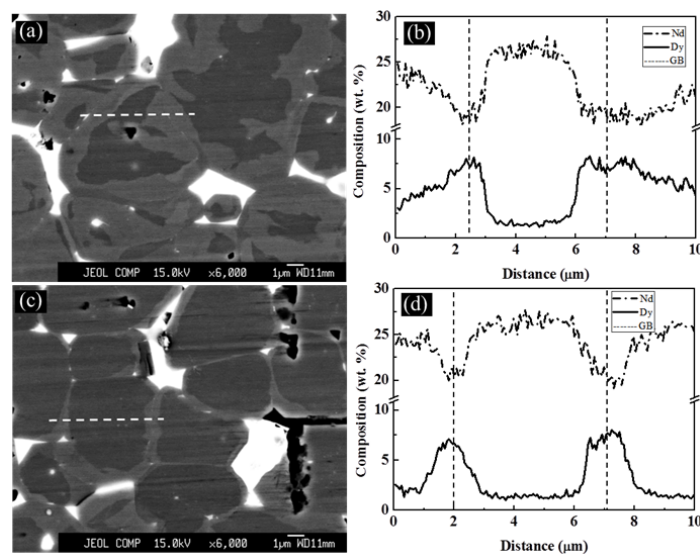


Fig. 1(a) DyH₂ 입계확산공정 후 미세구조 및 (b) line profile. (c) HNO₃ 1wt.% 50초 및 DyH₂ 입계확산 공정 후 미세구조 및 (d) line profile.

DyH₂ 용액을 코팅한 저산소 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성과의 상관관계 연구

배경훈^{1*}, 이성래¹, 김효준², 이민우³, 장태석³

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

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

³선문대학교 신소재공학과, 충남 아산시 탕정면 선문대학교, 336-708

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석의 Dy함량을 저감하기 위해서는, core-shell 미세구조를 구현해야 한다 [1]. Nd-Fe-B 소결자석에 입계 확산 공정 처리 하면, 가장 효율적으로 core-shell 미세구조를 구현 할 수 있다 [2, 3]. 입계 확산 공정을 통해서 보자력을 향상시키기 위해서는 Dy의 확산 깊이를 향상 시켜야 하는데, 산소 함량이 높은 소결자석의 경우, Dy가 불필요하게 응집된 Nd 산화물 (RE-rich, Nd-Dy-O)의 형성이 증가하여 자석 표면으로부터 내부로의 Dy의 입계 확산이 억제 된다. 따라서, Nd-Fe-B 소결 자석의 입계 확산 공정 효과를 극대화하기 위해서는 자석 내의 산소 함량을 감소하여 불필요한 산화물의 형성을 억제하고 Dy의 확산 깊이를 향상 시켜야 한다. 본 연구에서는, 소결자석의 산소 함량 변화에 따른 입계 확산 공정 효과의 변화를 분석 하였다.

2. 실험방법

분말 크기가 3과 5 μ m로 각기 다른 Nd_{30.0}Dy_{2.0}Fe_{bal.}B_{1.0}M_{2.4}(wt.%, M=Cu, Al, Co, and Nb) 분말을 일반 공정과 저산소 공정을 통하여 소결하였다. 일반 공정은 1070°C에서 4시간 동안 소결하였고, 저산소 공정은 1050°C에서 4시간 동안 소결 하였다. 10×10×5 mm³크기로 가공한 소결자석을 KOH 용액을 이용하여 탈지처리 하였다. 이후에 1 wt.%의 HNO₃ 용액을 이용하여 자석의 표면을 50초 동안 에칭 하였다. 표면 처리된 시편을 DyH₂ 용액에 담근 후, 진공분위기에서 총 3분동안 ultrasonic을 이용하여 자석표면에 균질하게 코팅되도록 유도하였다. Dy의 확산을 위한 1차 열처리하는 900°C에서 2시간, 미세구조 개선을 위해 2차 열처리를 500°C에서 2시간 동안 진행하였다. 미세구조와 자기적 특성 분석은 EPMA, Line profile (JXA-8500F) (Electron Probe Micro Analyzer), BH loop tracer를 이용하여 미세구조 변화 및 자기적 특성 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Nd-Fe-B 소결자석의 산소함량을 분석 한 결과, 저산소 공정을 통해 소결자석을 제조함으로써 자석내의 산소 함량이 ~3000에서 ~1000 ppm으로 매우 감소하였다. Fig.1은 분말 크기와 공정에 따른 입계확산 처리된 Nd-Fe-B 소결자석의 보자력 변화를 보여 주고 있다. 3 μ m 분말 크기의 저산소 공정을 이용한 DyH₂-표면확산공정 자석의 보자력은 23.7 kOe으로 가장 높은 보자력을 나타내었다. 일반 공정과 비교하여 보자력 증가율은 13.1에서 23.7%로 10%이상 증가 하였다. 잔류자화는 13.4에서 13.2로 크게 변화 하지 않았다. 5 μ m 분말 크기 자석 또한 저산소 공정을 이용한 DyH₂-표면확산공정 자석이 14.5에서 22.1%로 증가 하였다. 공정 차이에 따른, 미세구조 비교하여 보면, 저산소 공정 자석이 일반 공정 자석 보다, 자석 표면에서부터 결정립계를 따라 내부로 Dy 확산 깊이가 증가되었다. 산소 함량에 따른, Dy 확산영역에서의 RE-rich상 부피 분율 분석결과, 저산소 공정으로 제조된 자석이 일반 공정 자석보다 효과적으로 감소되었다. 사전 연구 결과, RE-rich 상은 표면 에너지가 매우 크다. 따라서 입계 확산 공정 동안에 자석 내부로 확산 되는 Dy이 RE-rich 상을 만나면 RE-rich 상과 손쉽게 반응하여 흡수 되어 버린다. 또한, RE-rich 상은 산소 친화도가 매우 높아 안정한 h-Nd₂O₃ 상으로 변태

되기 때문에 [4], 흡수된 Dy가 다시 입계 확산을 통하여 자석 내부로 확산되기 힘들다. 결국, 저산소 공정을 통해, 낮은 산소 함량을 가지고 있는 자석은 RE-rich 상의 형성을 억제 시키면서, Dy의 확산을 향상을 도와 준 것이다. 입자 크기에 따른, 표면처리 된 자석의 미세구조 비교결과, 3 μ m 분말로 제조한 DyH₂-표면확산공정 자석이 5 μ m 분말로 제조한 DyH₂-표면확산공정 보다 Dy의 확산이 향상 되었다. 입자 크기 분석결과, 분말 크기가 작은 3 μ m 자석이 5 μ m 자석보다 입자 크기가 감소되었다. 입자 크기의 감소는 core-shell 구조로 입계를 따라, 표면에서부터 내부로 확산되는 Dy의 확산을 향상 시켰다. 따라서, 3 μ m 분말 크기로 저산소 공정을 이용한 Nd-Fe-B 소결자석은 표면처리공정 시 RE-rich 상 형성 억제와 함께, 작은 입자 성장으로 Dy 확산을 향상 시킬 수 있는 최적의 조건이다.

4. 결론

3 μ m 분말크기로 저산소 공정을 이용한 Nd-Fe-B 소결자석은, DyH₂ 용액을 이용한 표면처리 공정 시, 잔류 자화 감소 없이 23.7 kOe로 최대 보자력을 나타 내었다. 3 μ m 분말크기로 저산소 공정으로 DyH₂-표면확산공정 이용에 따른 미세구조 개선은 다음과 같이 요약 할 수 있다. 첫째, 최적화된 Dy 내부 확산 깊이, 둘째, 낮은 산소 함량으로 인해, 효과적인 RE-rich 상 억제 그리고 셋째, 입자크기의 감소로 인한 보자력 향상이다.

5. 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 Guo, R J Chen, Y Ding, G H Yan, D Lee and A R Yan. Journal of Physics : Conference Series 266 (2011) 012030.
- [4] Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Seok Namkung, and Tae-Suk Jang, J. Alloy. Comp. 537, 261(2012).

6. 감사의 글

본 연구는 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2011-0007200)과 지식경제부 지원의 기술 혁신사업(No.10043780)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

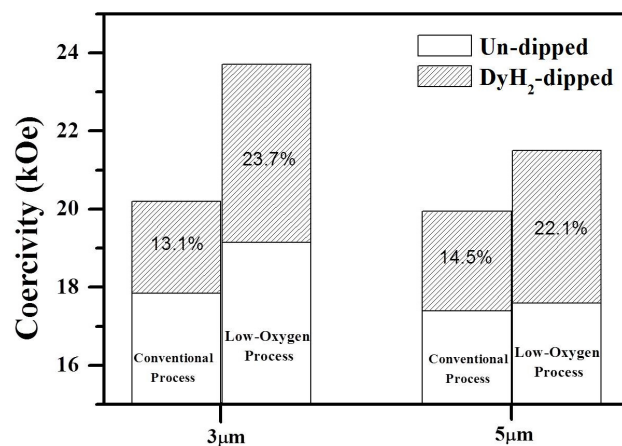


Fig. 1 분말 크기와 공정 차이에 따른 DyH₂-표면코팅확산 공정을 이용한 Nd-Fe-B 소결자석의 보자력 변화.

Coercivity of hot-pressed compacts of Nd-Fe-B- type HDDR-treated powder

K. M. Kim^{1*}, Md. A. Matin¹, H. W. Kwon¹, J. G. Lee², and J. H. Yu²

¹Department of Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Busan, South Korea

²Korea Institute of Materials Science (KIMS), Changwon, Gyeongnam, South Korea

1. INTRODUCTION

The key feature of Nd-Fe-B-type HDDR (hydrogenation, disproportionation, desorption and recombination)-treated powder is the unique microstructure consisting of ultra-fine $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ grains (~300 nm for $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). This fine grain structure can be exploited for high coercivity in permanent magnet. The HDDR-treated material is generally in powder form, and it would be desirable if the material can be consolidated into a high density bulk magnet keeping the fine grain structure. Our previous work revealed that Nd-Fe-B-type HDDR material lost the coercivity radically when the material was consolidated by hot-pressing. In the present study, the cause of radical coercivity reduction was investigated.

2. EXPERIMENTAL WORK

$\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ HDDR-treated powder ($iH_c = 13.5$ kOe) was used as a starting material. The hot-pressing was performed using different die configurations (closed- or open-type). Magnetic characterization of the hot-pressed compacts was undertaken by means of vibrating sample magnetometer (VSM) with a maximum field of 12 kOe. Microstructure of the compact prepared in the closed-type die was observed by SEM. Differential thermal analysis (DTA) was also carried out to investigate the phase change in the material during heating. X-ray diffraction (XRD) ($\text{Cu-K}\alpha$ radiation) was used for studying the crystallographic lattice parameter change in the $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -type phase in the compact caused by the desorption of residual hydrogen.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The coercivity in the compacts was influenced by evacuation system of dies and heating rate. In spite of identical hot-pressing temperature and heating rate, coercivity was radically reduced above 600 °C in the compacts prepared in the closed-type die compared to the compacts prepared in the open-type die. The coercivity in the compact prepared in the same die decreased with increasing the heating rate and the value further increased when high heating rate was employed. The HDDR-treated powder contained significant amount of residual hydrogen (approx. 1500 ppm) in the form of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ hydride. The radical coercivity reduction in the compact is believed to be attributed to the disproportionation of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ hydride. Having considerable coercivity in the compacts prepared by the open-die is due largely to the effective desorption of hydrogen or suppressing hydrogen-related disproportionation on hot-pressing.

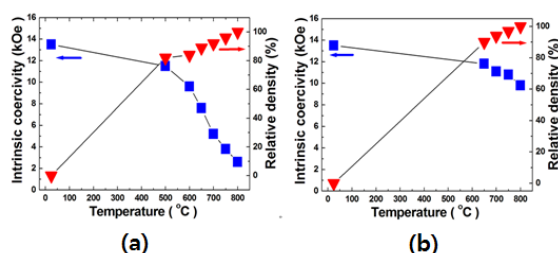


Fig. 1. Comparison of the coercivity and relative density of the hot-pressed compact of $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ HDDR-treated powder prepared in the (a) closed- or (b) open-type die.

Coercivity change after grain boundary diffusion treatment of Nd-Fe-B sintered magnet using DyF₃ mixed with low melting elements Cu and Al

Dhani Ram Dhakal^{1*}, Min-Woo Lee¹, Taesuk Jang^{1†}, Tae-Hoon Kim²,
Seong-Rae Lee², and Hyo-Jun Kim³

¹Dept. of Materials and Metallurgical Engineering, Sunmoon University, Asan, Korea

²Dept. of Material Science and Engineering, Korea University, Seoul, Korea

³R & D Center of Jahwa Electronics Co. Ltd, Cheongwon, Korea

[†]tsjang@sunmoon.ac.kr

1. Introduction

Grain boundary diffusion treatment has been a method to save heavy rare-earth (HRE) elements in a NdFeB sintered magnet, where HRE atoms are allowed to diffuse in the magnet through grain boundary [1, 2]{Hirota, 2006 #7}. However, optimization of such diffusion treatment to maximize the improving effect on magnetic properties is still a challenge. Among many candidates for the diffusion treatment, Cu and Al could be beneficial for the diffusion of HRE atoms by improving wettability of Nd-rich grain boundary phase. The solubility of Cu to Nd₂Fe₁₄B is almost negligible, whereas Al has small solubility to the Nd₂Fe₁₄B phase [3, 4]. In this study, we investigated the effect of Cu and Al on the diffusion behavior of Dy in grain boundary by using a mixture of Cu or Al with DyF₃ for the grain boundary diffusion treatment and corresponding effect in magnetic and microstructural properties.

2. Material and Experiment

Powders of 32.0Nd-Bal.Fe-1.0B-2.4M (wt. %, M= Cu, Al, Co and Nb) having average particle size of 5 μ m were used. The magnet samples were prepared through the powder metallurgical route and sintered at 1060 °C for 4 hours. The sintered bulk magnet samples were cut into pieces of 10 mm \times 10 mm \times 5 mm size and polished to remove the oxidized surface layer. Further, the polished samples were dipped in the solution prepared from the powders of DyF₃, Cu or Al, and absolute ethanol. Three kinds of solutions; Cu + DyF₃, Al + DyF₃ and DyF₃ were prepared as the Dy supplier for diffusion treatment. Ultrasonic vibration was provided to make uniform coating layer of Dy-source on the magnet surface. Then the coated magnet samples were annealed in two stages; first stage annealing was performed at temperature of X °C (where, X = 790, 820, 850, 880, and 910 °C) and second stage at 500 °C for 2 hours each in vacuum ($\sim 10^{-5}$ Torr). Magnetic properties of the magnet samples were measured using a BH-hysteresis loop tracer. Microstructural investigation was carried out using SEM and EPMA.

3. Results and Discussion

The Dy-source prepared by mixing of DyF₃ with Cu or Al was found to be effective to some extent for the coercivity enhancement. These elements may act as the carrier of Dy atoms so that large number of Dy atoms diffused into the magnet interior from Dy-source coated at a magnet surface. Fig. 1 shows the variation of coercivity of magnets coated with three kinds of Dy-sources; Cu + DyF₃, Al + DyF₃, and only DyF₃ with respect to heat treatment temperatures. The coercivity of all diffusion-treated magnets was increased with increasing heat-treatment

temperature except for the one coated with Cu + DyF₃ and then heat treated at 910°C. Moreover, at 880°C, the coercivity of those magnets which were coated with Cu or Al mixed DyF₃ was increased by 2.5 kOe. Cu and Al had almost similar effect on coercivity improvement particularly in the temperature range of 790°C to 880°C. The diffusivity and diffusion depth of Dy was increased in those magnets which were treated with the Dy-source prepared by mixing of Cu or Al with DyF₃, mainly due to comparatively easy diffusion path provided by Cu and Al because of their solubility to Nd-rich grain boundary phase. The Cu/Al-rich grain boundary phase might have enhanced the diffusivity of Dy-atoms. Moreover, it seems that relatively a large number of Dy atoms were reached at the interface of Nd₂Fe₁₄B and grain boundary phases covering Nd₂Fe₁₄B grains so that the core-shell type structures were developed. The formation of high anisotropic (Nd, Dy)₂Fe₁₄B phase layer, which acted as the shell in the core-shell type structure, was the cause of enhancing the coercivity of diffusion treated Nd-Fe-B magnets.

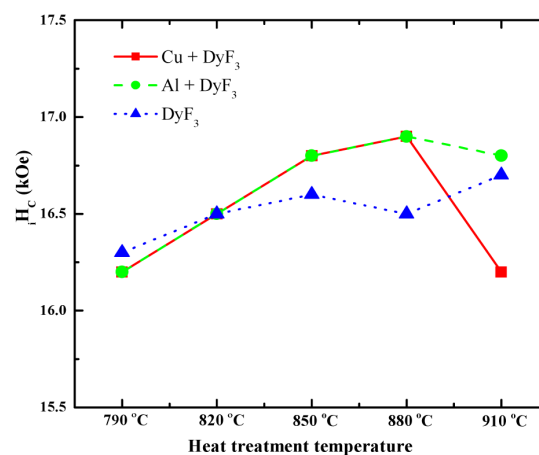


Fig.1. Coercivity of NdFeB magnets treated with three different Dy-source solutions at various heat treatment temperatures.

4. Conclusion

The coercivity of diffusion processed magnet could be enhanced with the aid of low temperature melting elements such as Cu and Al after being mixed with Dy-source. These elements particularly enhance the diffusion depth and diffusivity that are realized as the important aspects of grain boundary diffusion treatment for increasing anisotropy and so as to improve the coercivity.

5. Acknowledgement

This work is supported by the Strategic Core Material Technology Development Program (No. 10043780) funded by the ministry of Trade, Industry and Energy (Korea) and the New and Renewable Energy of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) funded by the Ministry of Knowledge Economy, Republic of Korea (No. 2011T100200304).

6. References

- [1] K. Hirota, H. Nakamura, T. Minowa, and M. Honshima., IEEE Trans Magn 42 (2006) 2909-2911.
- [2] H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, and K. Hono, J. Appl. Phys. 107, 09A745 (2010).
- [3] O.M. Ragg, and I.R. Harris, Journal of Alloys and Compounds 256 (1997) 252-257.
- [4] J.J. Ni, T.Y. Ma, Y.R. Wu, and M. Yan, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 322 (2010) 3710-3713.

YFe_{0.6}Mn_{0.4}O₃의 뢰스바우어 분광 연구

임정태^{1*}, 이상준¹, 최영재², 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

¹연세대학교 물리학과

1. 서 론

최근 강유전성 성질과 자기적 성질이 동시에 발현되는 다중강체 물질은 센서와 메모리 등의 응용 분야에 적용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, Mn 이온이 치환 된 YFeO₃ 물질은 스핀 전이 부근에서 magnetodielectric 효과가 발생된다고 보고 되어졌다. 따라서, 본 연구에서는 직접합성법으로 제조 된 YFe_{0.6}Mn_{0.4}O₃ 시료의 결정학적 및 자기적 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

직접합성법(solld-state reaction method)를 통해 YFe_{0.6}Mn_{0.4}O₃ 조성의 다결정 분말 시료를 제조하였다. Y₂O₃, Fe₂O₃, 그리고 Mn₂O₃를 출발 물질로 사용 하였고, 이를 혼합, 분쇄하였다. 최종적으로 1300 °C에서 소결하여 다결정의 YFe_{0.6}Mn_{0.4}O₃ 분말 시료를 제조하였다. 시료의 결정학적 특성을 Cu-K α 선에 이용한 x-선 회절 실험(XRD)을 통해 측정하였고, Rietveld 정련법을 이용한 full prof 프로그램을 통해 분석하였다. 진동 시료 자화율(VSM) 실험을 이용하여 온도에 따른 자화율 변화를 측정하였다. 또한 미시적인 자기적 특성을 측정하기 위해 4.2부터 400 K까지 뢰스바우어 분광 실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

직접합성법으로 제조된 YFe_{0.6}Mn_{0.4}O₃ 다결정 분말 시료의 XRD 분석 결과, 분석구조 인자(R_B)와 Bragg 인자(R_F)은 5 % 미만으로 단일상임을 확인하였다. 거시적인 자기적 특성을 측정하기 위해 VSM 실험을 실시하였다. 1000 Oe 외부자기장을 인가하여 온도에 따른 자화율 변화를 측정한 결과, 311 K 부근에서 스핀전이 (T_{SR})가 발생하였고, 395 K를 닐온도 (T_N)로 결정하였다. 시료의 초미세 상호작용을 확인 하기 위해. 4.2부터 400 K까지 뢰스바우어 분광 실험을 실시하였다. 닐온도 이하에서는 sextet의 스펙트럼이 측정 되었으며, doublet의 스펙트럼이 측정 된 395 K를 닐온도로 결정하였다. 이를 분포 함수식에 통해 닐온도 이하에서는 4 sextets의 스펙트럼으로 분석하였으며, 스핀전이 구간에서 이성질체 이동치와 전기 사중극자 분열치가 급격하게 변화를 가졌다.

참고문헌

[1] P. Mandal, et. al., Phys. Rev. Lett. **107**, 137202 (2011).

Magnetic hysteresis loop investigated by terahertz magnetic resonance in canted antiferromagnetic YFeO₃

KIM Tae-heon^{1*}, KANG Chul², KEE Chul-Sik², TOKUNAGA Yusuke³,
TOKURA Yoshinori^{3,4}, LEE Jong Seok¹

¹Department of Physics and Photon Science, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST),
Gwangju 500-712, Republic of Korea

²Advanced Photonics Research Institute (APRI), Gwangju 500-712, Republic of Korea

³RIKEN Center for Emergent Matter Science (CEMS), Wako 351-0198, Japan

⁴Department of Applied Physics, University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan

We investigate a free induction decay (FID) process for the canted antiferromagnetic YFeO₃ single crystal after the resonant excitation of a ferromagnetic mode located at about 0.3 THz. Employing terahertz time-domain spectroscopy (THz TDS), we used two wire-grid polarizers with polarization of +45 or -45 degree from y-axis of the c-cut parallel crystal plate, and could obtain the FID signals excluding a strong contribution of the transmitted THz wave. By varying the magnetic field strength applied along the c-axis of the sample, we could observe the hysteresis behavior of FID signals which are in good agreement with the results obtained by other conventional techniques, such as a magneto-optic Kerr effect measurement and vibrating sample magnetometry. By examining the FID process in detail, we discuss the spin dynamics which are possibly contributed to by a domain distribution, particularly by magnetic domain walls.

Keywords :canted antiferromagnet, free induction decay, YFeO₃, hysteresis

Influence of Co content on the magnetic and transport properties of $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ thin films grown on $\text{MgO}(100)$ substrate using MBE

Quang Van Nguyen^{1*}, Duong Anh Tuan¹, Yooleemi Shin¹, Christian Meny², and Sunglae Cho¹

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

²Institute of Physics and Chemistry for Materials of Strasbourg, UMR 7504 UDS-CNRS, Strasbourg, 67034, France

Giant magnetoresistance(GMR), tunneling magnetoresistance(TMR), and magnetic random-access memory (MRAM) are currently active areas of research. Magnetite, Fe_3O_4 , is predicted to possess as half-metallic nature, $\sim 100\%$ spin polarization(P), and has a high Curie temperature($T_C \sim 850$ K). On the other hand, Spinel ferrite CoFe_2O_4 has been widely studied for various applications such as magnetostrictive sensors, microwave devices, biomolecular drug delivery, and electronic devices, due to its large magnetocrystalline anisotropy, chemical stability, and unique nonlinear spin-wave properties. It has been reported that ions such as Mn^{2+} and Zn^{2+} have a preference to occupy the A sites, while Ni^{2+} and Co^{2+} ions tend to occupy the octahedral B sites in the inverse spinel structure. Here we report the transport and magnetic properties of $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ thin films. XRD patterns confirmed the inverse spinel structure of films. Temperature dependent resistivity curves showed the Verwey transition (1st order metal-insulator transition) temperature in un-doped Fe_3O_4 film, which was disappeared in Co-doped films. The resistivity of films increased with the increasing x up to $1.6 \, \Omega\text{-cm}$ for $x=1$. Semiconducting behavior was observed in Co-doped films. A transition at above room temperature for the sample $x=1$ indicates a ferromagnetic to antiferromagnetic phase transition. Magnetic properties of the doped films are sensitive to the Co-doping concentration. The magnetization curves showed a drastic increase in coercivity and decrease in saturation magnetization with Co concentration. Out of plane magnetoresistance(MR) curves at 250 K show a negative MR values with butterfly effect but was disappeared with $x=1$.

Dynamic parameters of superparamagnetic carrier on nano-bio-interfaces

XingHaoHu^{*}, ByeongHwa Lim, T. S. Ramulu, CheolGi Kim[†]

Department of Emerging Materials Science, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST),
Daegu, 711-873, Republic of Korea.

[†]Corresponding author: cgkim@dgist.ac.kr

Dynamic parameters of superparamagnetic carrier on the substrate coated by DNA are studied with an joint experimental/numerical approach. The acting magnetic forces on the superparamagnetic carriers are provided by micro-magnets under an applied in-plane rotating magnetic field, and obtained numerically using the finite element method (FEM) simulation depending on the measured magnetic performances of the superparamagnetic carriers and the micro-magnets. In order to acquire a maximum control ability on the carriers, the optimized scale ratio between the carrier size and the diameter of micro-magnets is demonstrated by the experiments and simulations. Moreover, the maximum rotational force on the carriers is given at the phase angle of $\pi/4$ based on the direction of the applied field, and at the optimum ratio of that the radius of micro-magnets is around 2 times of the carrier diameter, depending on the magnetization of the micro-magnets under an applied field. Additionally, the retarding forces of the carriers on the DNA substrate are estimated numerically, sticking force, viscous force and friction force.

Investigation of site distribution on iron in spinel FeGa_2O_4 with Mössbauer spectroscopy

Bo Ra Myoung*, and Chul Sung Kim

Department of Physics, Kookmin University, Seoul, Republic of Korea;

1. INTRODUCTION

Spinel structures AB_2O_4 (A, B = transition metal) have attracted much attention, because of the unprecedented magnetic properties such as spin-glass, colossal magnetoresistance (CMR) effect, metal-insulator transition at low temperature.[1,2] Recently, it has been reported that the cubic spinel FeGa_2O_4 is antiferromagnet with spin glass behavior with disordered spin, atomic short-range-order, incommensurate spin structure at low temperature. Furthermore, FeGa_2O_4 is concurrent with clusters and ferromagnetic spin-ordering below $T_f = 12\text{K}$, as superparamagnetic behavior[3,4]. Especially, J. Ghose[5,6] has shown that FeGa_2O_4 is purely inverse $[\text{Fe}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}]^A[\text{Fe}_{0.95}\text{Ga}_{1.05}]^B\text{O}_4$, whereas FeGa_2O_4 is normal spinel $[\text{Fe}]^A[\text{Ga}_2]^B\text{O}_4$ from Mössbauer measurements[5]. Then, microscopic magnetic properties are as yet unsolved problems with dependent site distribution of iron. In this paper, we have researched magnetic properties of FeGa_2O_4 , arising from magnetic structure-transition, spin-relocation, and site distribution of iron on dependent temperature.

2. EXPERIMENT PROCEDURES

Synthesis of FeGa_2O_4 sample was done by a standard solid-state reaction method in evacuated 10^{-7} torr quartz ampoules. In order to obtain homogeneous materials, it was necessary to grind the mixed powders of Fe (99.99%), Fe_2O_3 (99.995%), and Ga_2O_3 (99.99%) and press the powder into pellet before annealing process in evacuated quartz ampoules. A single phase of FeGa_2O_4 was obtained by annealing at 1000°C with nitrogen gas in evacuated quartz ampoules for 4 days. The crystal structure of sample of FeGa_2O_4 was analyzed by using Philips X'Pert diffractometer with Cu $K\alpha$ radiation source. Their magnetic properties were characterized by superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer. The Mössbauer spectra were recorded using a conventional spectrometer of the electromechanical type with a ^{57}Co source in a rhodium matrix. The obtained Mössbauer spectra were analyzed by a least-squares fitting program.

3. EXPERIMENT RESULTS

The X-ray powder diffraction experiment on FeGa_2O_4 was performed at room temperature. The diffraction patterns analyzed showed a single-phased material without any impurities. The crystal structure of FeGa_2O_4 is determined to be an inverse spinel.

4. DISCUSSION

We conclude that spin-redistribution by distribution of Fe-cations depends on A and B-site with increasing temperature.

5. RESULTS

The crystal structure of FeGa_2O_4 is determined to be an inverse spinel, with Fe atoms occupying both tetrahedral (*A*: 43.16 %) and octahedral (*B*: 56.88 %) site from Mössbauer analysis at room temperature. It agrees with the refined XRD analysis result. From temperature dependence of zero-field-cooled (ZFC) and field-cooled (FC) magnetization curves under 100, 400, and 1000 Oe from 4.2 to 300 K, the slopes all of the curves changes depends on temperature. The temperature of change in slope is 25 and 190 K. Then, after each other slopes is connected, the meeting temperature is 38 K. It is coincide with the curves electric quadrupole splitting ΔE_Q from Mössbauer analysis. It comes from charge re-distribution due to spin-relocation at 25, 38, and 190 K. Also, each other areas of the Mössbauer spectrum changes with increasing temperature, as area ratio is 53 and 47 % of at 25K, 50, and 50 % at 38 K, and 30 and 70 % at 190 K on A and B site of FeGa_2O_4 .

6. REFERENCE

- [1] M. Hagiwara, N. Narita, and I. Yamada, Phys. Rev. B **55**, 5615(1997).
- [2] R. Fichtl, V. Tsurkan, P. Lunkenheimer, J. Hamberger, V.Fritsch, H.-A. Krug von Nidda, E.-W. Scheidt, and A. Loidl, Phys. Rev. Lett. **94**, 027601-1(2005).
- [3] C. A. M. Mulder, A. J. Duynveldt, and J. A. Mydosh, "Susceptibility of the Cu Mn spin-glass: Frequency and field dependences", Phys. Rev. B **23**, 1384(1981).
- [4] S. Süllo, G. J. Nieuwenhuys, A. A. Menovsky, and J. A. Mydosh, Phys. Rev. Lett. **78**, 354(1997).
- [5] J. Ghose, G. C. Hallam and D. A. Read, J. Phys. C: Solid State Phys. **10**, 1051(1977).
- [6] J. Ghose, J. Solid State Chem. **79**, 189(1989).

BaCoZnFe₁₆O₂₇의 뢰스바우어 분광 연구

김현규*, 김철성
국민대학교 물리학과

1. 서 론

고주파수 영역에서 안테나 소재로 사용 가능한 hexaferrite 중 W-type은 흡수체로서 뛰어난 특성을 가진다. BaCo₂Fe₁₆O₂₇ (; Co₂W)물질의 Co 자리에 비자성 이온인 Zn 이온이 치환이되면 이의 자기적 특성을 향상시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 직접합성법으로 제조 된 BaCoZnFe₁₆O₂₇ 시료의 결정학적 및 자기적 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

BaCoZnFe₁₆O₂₇ 조성을 갖는 W-type hexaferrite 분말 시료를 직접합성법으로 제조하였다. Fe₂O₃ (99.42%), BaCO₃ (98%), ZnO (99.8%), and Co₃O₄ (99%)을 출발 물질로 사용 하여, 이를 혼합, 볼밀을 이용 습식 분쇄하였다. 12750 °C를 최종 하소온도로 하여 BaCoZnFe₁₆O₂₇ 시료를 제조하였다. Cu-K α 선을 이용하는 x-선 회절 실험 (XRD)을 통하여 시료의 결정학적 특성을 측정하였고, Rietveld 정련법을 이용한 full prof 프로그램을 통해 격자 상수를 분석하였다. 진동 시료 자화율 (VSM) 실험을 통하여 상온에서의 거시적 자화 특성을 측정하였다. 또한 뢰스바우어 분광 실험을 이용, Zn가 Co자리에 1 몰 치환된 Co₂W의 미시적인 자기적 특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

직접합성법으로 제조된 BaCoZnFe₁₆O₂₇ 시료의 XRD 분석 결과 단일상임을 확인하였다. 거시적인 자기적 특성을 측정하기 위해 VSM 실험을 실시하여 자기이력 곡선을 얻었고, 이의 포화 자화와 보자력 값을 얻었다. 시료의 초미세 상호작용을 확인하기 위해 뢰스바우어 분광 실험을 실시하였다. 7 개의 Fe 결정학적 격자는 5개의 자기적 격자(4f_{VI}, 6g+4f_{VI}, 4e_{IV}+4f_{IV}, 12k_{VI}, 2d_V)로 결정될 수 있으며, 이를 통해 뢰스바우어 분광 스펙트럼은 5개의 sextet 으로 분석되었다. 분석 결과 Zn가 치환되면서 Fe down-site인 tetrahedral site의 면적비가 감소하였고, 이로 인해 포화 자화 값의 증가를 가져오는 것으로 연구되었다.

참고문헌

- [1] G. Albanese, E. Calabrese, A. Deriu, hyperfine Interaction, **28**, 487 - 489, (1986)

Co_xNi_{1-x}O/Ni_{0.8}Fe_{0.2} 이층 구조 박막에서의 이방성 자기저항을 통한 교환 바이어스 효과 연구

유우석^{1*}, 추성민¹, 이규준¹, 홍정일², 유천열³, 정명화¹

¹서강대학교

²DGIST

³인하대학교

강자성 물질과 반강자성 물질의 접합에서 기인하는 교환 바이어스 효과(Exchange Bias Effect)는 1956년 Meiklejohn과 Bean에 의해 발견된 이래로 스핀트로닉스(spintronics)에서의 중요성과 자성 메모리 소자로서의 응용가능성으로 인하여 지속적인 연구가 수행되고 있다. 하지만 교환 바이어스 효과의 근본적인 원리와 메커니즘에 대해서는 아직 정확한 이해가 이루어지지 않고 있다. 특히 교환 바이어스 효과에 대한 정량적인 분석에 있어서는 이를 명확히 설명할 수 있는 모델이 부재한다. 본 연구에서는 반강자성 물질로 Co_xNi_{1-x}O를, 강자성 물질로 Ni_{0.8}Fe_{0.2}를 선택하여 이층 박막을 스퍼터링(sputtering)을 이용하여 증착하였다. 반강자성인 Co_xNi_{1-x}O의 조성이 x=0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7인 시료들에 대한 이방성 자기저항(AMR) 측정을 통해 교환 바이어스 효과를 연구하였다. 외부 자기장과 field cooling 방향 사이의 각도 변화에 따른 교환 바이어스 효과의 변화를 AMR로 측정하였으며, 이를 온도의 변화에 따라서도 동일하게 수행하였다. 이를 통해 교환 바이어스 효과가 반강자성 물질의 조성, 온도, 외부 자기장의 방위각에 대해 어떠한 의존성을 가지는가를 분석하였다.

Ni 박막에서 two magnon scattering 특성 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

강자성 공명 신호의 선폭(ΔH_{pp})은 자성 재료의 자기 이완 특성을 내포하고 있으며, 자화가 균일한 자성 재료의 경우에는 재료 고유의 이완 특성인 Gilbert 감쇠 상수 α 와 관련된다. 그러나 자화가 비균일한 경우에는 자성 박막의 두께에 따라서 두 가지 특성으로 구분된다. 자성 박막의 두께가 임계두께 이하에서는 자성재료의 국부적인 자화 각도 변화 및 자성 박막의 표면에 존재하는 자화량 변화가 주요한 원인으로 작용한다. 한편, 자성 박막의 두께가 임계 두께 이상으로 증가하면 스핀파가 생성되어 진행하게 되며, 이들 스핀파는 재료 내에 존재하는 결함들에서 산란을 일으켜 선폭을 증가 시키게 된다[1-4]. 이러한 스핀파 산란 특성은 two magnon scattering (TMS)으로 설명되고 있으며, 두꺼운 박막 재료에 대한 자기 이완 특성을 결정하는 요인으로 작용한다. 따라서 약 10 nm의 두께를 갖는 자성 박막의 경우 10 GHz대역의 마이크로파를 사용하여 선폭을 측정할 경우 TMS 현상을 구분하기 어려울 뿐만 아니라 연구결과가 미미하다.

본 연구에서는 전기 도금법으로 240 nm의 두께를 갖는 Ni 박막을 제작하였으며, 9.8 GHz의 마이크로파를 사용하여 자기장 각도에 따른 강자성 공명 신호를 측정하였다. 자기장 각도에 따른 강자성공명 자기장(H_{res})에 대한 이론적인 분석 결과를 토대로 선폭 변화(ΔH_{pp})에 영향을 주는 균일한 특성과 비균일한 특성을 구분하여 분석하였으며, 비균일한 선폭의 특성 분석을 위하여 TMS에 의한 영향을 고려하였다.

2. 실험방법

240 nm의 두께를 갖는 Ni 박막은 실리콘 웨이퍼에 Au를 스퍼터링하여 working electrode (WE)를 형성한 후 전기 도금법으로 제작하였다. 전기도금법으로 제작된 박막의 구조는 FE-SEM을 이용하여 관찰하였으며, EDX를 사용하여 박막의 성분이 Ni임을 확인하였다. Ni 박막의 자화 곡선은 VSM을 이용하여 측정하였으며, 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호(FMR signal)는 FMR 측정 장치인 Bruker Xepr를 사용하여 9.89 GHz의 주파수에서 측정하였다. Ni 박막의 각도에 따른 공명 자기장 (H_{res}) 및 선폭 (ΔH_{pp}) 특성을 분석하기 위하여 수직면으로부터 측정한 자기장 방향의 각도에 따라 강자성 공명 신호를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 자기장 각도에 따른 비균질한 선폭(ΔH_{inhomo}) 변화 특성을 보인다. 비균질한 선폭은 자기장의 각도가 $\theta_H=90^\circ$ 에의 선폭이 $\theta_H=0^\circ$ 에서의 선폭 보다 크며, 약 $\theta_H=30^\circ$ 에서 최대가 되며, $-15^\circ<\theta_H<15^\circ$ 에서는 무시될 정도로 작은 값을 보인다. 이러한 비균일한 선폭 특성은 박막 재료의 국부적인 비균일 특성 및 스핀파의 산란에 기인한다.

자성 박막에서 스핀파의 산란은 스핀파가 진행할 수 있는 임계 두께(t_c) 이상에서 나타나며 자화 각도가 $\theta_M<45^\circ$ 에서 나타난다. Ni의 경우 마이크로파 주파수가 10 GHz에서 t_c 는 약 50 nm이므로 240 nm의 두께를 갖는 박막에서는 스핀파의 산란 특성이 나타날 수 있다. 따라서 240 nm의 두께를 갖는 Ni 박막의 비균일한 선폭 변화를 분석하기 위하여 스핀파의 산란에 의한 TMS 해석법을 (ΔH^{TMS}) 사용 하였다.

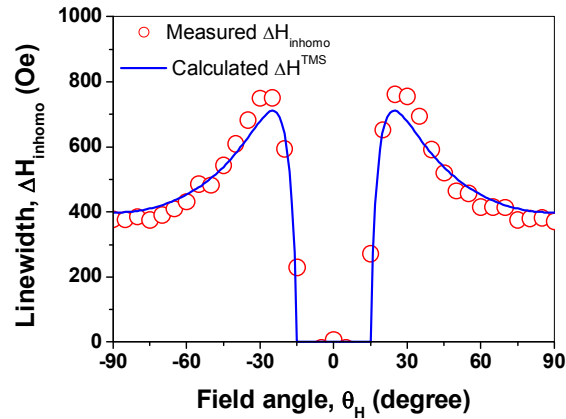


Fig. 1. Angular dependence of ΔH_{inhomo} in Ni thin film.
The solid line is fitted by two magnon scattering (ΔH^{TMS})

본 연구에서는 재료의 내부 결함들에서 산란하는 스핀파들의 영향을 고려한 two magnon scattering (TMS) 해석법을 사용하여 비균일한 선폭 특성을 분석하였으며 실험 결과와 계산결과가 거의 일치함을 확인하였다. 따라서 전기 도금법으로 제작한 Ni 박막(240 nm)의 자기이완 특성을 분석하기 위해서는 Gilbert 감쇠 특성뿐만 아니라 내부 결함에 의한 스핀파의 산란특성을 동시에 고려하여 함을 보인다.

4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF2010-0008282).

5. 참고문헌

- [1] J. Linder, et. al, Phys. Rev. B **80**, 224421 (2009).
- [2] P. Landeros, et. al, Phys. Rev. B **77**, 214405 (2008).
- [3] P. K. Krivosik, et. al, J. Appl. Phys. **101**, 083901 (2007).
- [4] K. Lenz, et. al, Phys. Rev. B **73**, 144424 (2006).

전기도금된 NiFe/Cu 복합 와이어에서의 자기완화

조성언*, 서수교, 김동영, 윤석수

안동대학교 물리학과

약 100 마이크로미터 직경의 Cu와이어 위에 NiFe를 전기도금하여 내부에는 높은 전기전도도의 금속 심이 있으며 외부에는 연자성 껍질이 있는 복합와이어를 제작하였다. 제작된 복합와이어의 임피던스 스펙트럼을 1 kHz에서 10 MHz 주파수 범위에서 측정하였으며 Maxwell equation들로부터 구한 이론식을 이용하여 임피던스 스펙트럼으로부터 복합와이어의 원주방향 복소투자율 스펙트럼을 뽑아내었다. 복소투자율 스펙트럼은 전형적인 자기완화형 분산을 보였으며 단일 완화주파수를 가진 Debye 식을 잘 만족하였다. 본 발표에서는 측정된 자기완화형 분산이 자화회전에 기인한다는 것을 전기도금 과정동안에 가한 비틀림 스트레스 영향으로부터 규명하고자 한다. 이로부터 자기임피던스 효과가 비틀림 스트레스에 따라 증가하는 현상을 설명하고자 한다.

Si분말을 첨가한 Fe-Si 합금코어의 자기적 특성

최재정*, 장평우
청주대학교 물리학과

1. 서론

연자성 코어는 변압기, 전동기 등에서 전기에너지, 자기에너지, 기계에너지를 서로 상호변환시킬 때 중요한 역할을 하는 자성부품이다. Fe-Si계 합금분말은 높은 비저항, 낮은 결정이방성과 자기변형상수를 가지고 특히 Si의 함량을 약 6.5wt.% 첨가하면 결정자기이방성 K 가 낮아지고, 자기변형상수 λ 가 0이 되는 아주 우수한 자기적 특성을 보이나 Si의 함량이 2.5wt.%이상이 되면 가공성이 급격히 악화되어 Si의 함량이 3wt.% 이하로 제한된다 [1]. 본 실험에서는 Fe-Si분말과 Si분말을 혼합 성형하여 열처리하는 과정을 통해 Si분말에 의한 절연층 생성과 분말의 확산효과를 기대함으로써 Si함량 변화에 따른 코어손실의 변화를 측정하여 손실을 줄일 수 있는지 알아보고자 한다.

2. 실험방법

106 μm 이하로 채질된 Fe-4.5wt.%Si분말을 900 $^{\circ}\text{C}$, H_2 분위기에서 1시간 열처리를 한 후, 1-5 μm 크기의 Si분말의 함량을 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6wt.%로 첨가하여 코어를 제작하였다. 성형된 코어를 900 $^{\circ}\text{C}$, H_2 분위기에서 2시간 열처리를 실시한 후 SEM을 이용하여 절연층의 생성과 Si분말의 확산여부를 분석하고, 코어손실, 투자율 등의 자기특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Si이 첨가되지 않았을때의 밀도는 6.83 g/cm^3 인데 Si의 함량이 증가할수록 밀도는 1.6wt.%에서 6.57 g/cm^3 까지 감소한다. 투자율 역시 Si이 첨가되지 않았을 때 76이지만 Si함량이 증가할수록 감소하며 1.6wt.%에서 33까지 감소한다.

코어손실은 0wt.%에서 591 mW/cm^3 의 값을 가지며 0.8wt.%에서 542 mW/cm^3 으로 최소값을 나타내고, 그 이상의 함량이 첨가되면 손실이 증가한다. 이력손실은 0wt.%에서 180 mW/cm^3 의 값을 가지며 1.2wt.%에서 137 mW/cm^3 으로 최소값을 가진다. 와전류손실은 코어손실에서 이력손실을 차감해서 얻었으며, 0wt.%에서 410 mW/cm^3 값을 가지고, 0.8wt.%에서 389 mW/cm^3 으로 최소값을 가진다.

Si의 함량이 증가할수록 코어손실이 작아진다는 것은 절연층이 생성되었다고 예상이 가능하나 확산여부에 대해서는 확인이 불가해 SEM분석을 준비 중에 있다.

기계화합금법으로 보론이 주입된 Fe-Si-Cr-B 자성분말과 자성시트의 자기특성

장평우, 문수진*

1. 서론

Fe-Si 합금에서 자기특성이 가장 우수한 조성이 6.5wt.%임에도 이보다 실리콘을 약 5 wt.% 더 첨가한 것은 사용되는 주파수가 13.56 MHz로 금속 자성체에 인가되는 주파수로는 매우 높아 소위 표피두께가 매우 얇아지고 와전류 손실이 커지기 때문이다. 자성체의 비저항이 $100 \mu\Omega\text{cm}$ 이고, 사용주파수가 13.56 MHz라면 표피깊이는 약 20 μm 이므로 분말을 편상화 할 때 편상판의 두께가 이보다 훨씬 얇아야 하며 다른 어떤 자기특성보다 비저항이 중요할 것으로 판단되므로 가능한 한 편상판의 비저항이 커야 한다.

벌크재료와는 달리 분무한 분말의 경우 냉각속도가 매우 크므로 분무한 입자에 규칙상이 있을 가능성은 없고 또 이 분말을 편상화를 시킬 때 큰 열에너지만 주여지지 않았으면 규칙상이 생성되지 않았거나 생성되었더라도 매우 미세하게 분포할 것으로 예상된다. 실리콘 함량이 11 wt.%이상으로 첨가되어도 편상화 공정에서 이러한 경향이 계속될 것으로 예상되기 때문에 일반적인 벌크재료와는 달리 실리콘을 11 wt.%이상 첨가한 편상판은 높은 투자율을 나타낼 것이다.

보론이 철계합금에 첨가되면 비정질형성능이 높아져 비정질이나 나노합금을 형성할 수 있어 비저항이 높아져 고주파에서 투자율을 높일 수 있는 것은 잘 알려져 있다. 본 연구에서는 Fe-Si-Cr 분무분을 편상화시킬 때 보론분말을 첨가하여 기계화합금법으로 보론을 첨가시킨 Fe-Si-Cr-B의 합금분말을 제작하여 열처리에 따른 자성분말과 자성시트의 변화를 연구하였다.

2. 실험방법

기계분무법으로 제작된 Fe-Si-Cr분말에 35 μm 이하의 보론분말 첨가하여 상온에서 볼밀링한 후 150-650°C의 질소분위기에서 한 시간 열처리 하였다. 열처리된 분말을 수지와 혼합하여 doctor blade법으로 두께 0.2mm의 자성시트를 제작하여 직류특성은 VSM으로, 교류특성은 Agilent 16454와 4294A 정밀 임피던스 분석기로 120 MHz까지 투자율을 측정하였고, 미세구조의 변화는 XRD로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림1은 보론이 첨가되지 않은 Fe-Si-Cr 자성시트의 주파수에 따른 투자율의 변화로, 자성시트의 밀도는 $3.67\text{-}3.82 \text{ g/cm}^3$ 였으며, 350°C에서 열처리된 분말로 제작한 시트의 투자율이 가장 높았다. 학회장에서 보론이 첨가된 Fe-S-Cr-B의 자성시트의 특성에 대해 발표할 예정이다.

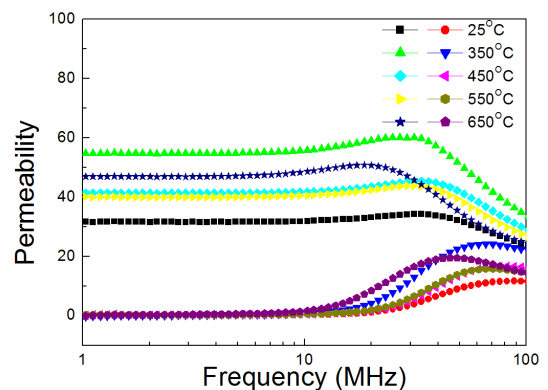


그림 1 Fe-Si-Cr자성시트의 주파수에
따른 투자율의 변화

Magnetic Properties of Perovskite $\text{La}_3\text{Co}_2\text{TaO}_9$ Compound

Bingzhi Jiang¹, Wen-Zhe Nan^{2*}, Kyeongsup Kim², Seong-Cho Yu²

¹Department of Physics, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, PR China

²Department of Physics, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

1. Introduction

Perovskites and double perovskites are very attractive because of the interest in applications and fundamental areas. The general formula of a simple perovskite is ABO_3 and is a highly flexible structure. The perovskites have historically proved themselves to be extremely robust structures that can accommodate a wide variety of cations on the A and B sites. Recently, Fuertes et al were prepared new type double perovskite of $\text{La}_3\text{Co}_2\text{MO}_9$ ($\text{M} = \text{Ta}, \text{Nb}, \text{Sb}$) and conclude that the $\text{M} = \text{Ta}, \text{Nb}$ have ferromagnetic and $\text{M} = \text{Sb}$ has a antiferromagnetic behavior. Therefore, it would be very interesting to study the magnetic properties of this kind of compound. In this paper we studied the magnetic behavior of $\text{La}_3\text{Co}_2\text{TaO}_9$ double perovskite.

2. Experiments

Polycrystalline samples are prepared by the solid state reaction method using stoichiometric mixture of high purity $\text{La}_2\text{O}_3(3\text{N})$, $\text{CoO}(3\text{N})$ and $\text{Ta}_2\text{O}_5(3\text{N})$. The mixture was heated in alumina crucibles in air atmosphere at temperature 900°C for 30 hours after cooling down to room temperature and sintering with 1320°C and 1400°C for 24 hours. Room temperature X-ray diffraction(XRD) data were collected using diffractometer with a step size of 0.02° and $\text{Cu K}\alpha$ radiation. The temperature dependence of DC magnetization data was measured by a vibrating sample magnetometer(VSM) from 10 to 300 K with 50 Oe applied magnetic field.

3. Results

Fig.1 shows the temperature dependence of magnetization and inverse susceptibility. This results are coincide with $\text{La}_3\text{Co}_2\text{SbO}_9$ which is magnetic frustrated antiferro-magnetism. The reciprocal susceptibility is linear fitted between 100 and 150 K temperature range with a Curie-Weiss law, $\chi = C/(T-\theta)$. The values obtained from the fit are: $\theta = 65 \text{ K}$ and $C_M = 3.131 \text{ emu K/mol Oe}$. The effective magnetic moment obtained from the C_M is $5 \mu_B$ by using $\mu_{\text{eff}} = [8C_M]^{1/2}$. This value is nearly same with experimental magnetic moment of $4.8 \mu_B$ for the Co^{2+} . The positive sign of θ is indicates the presence of ferrimagnetic interaction in this compound.

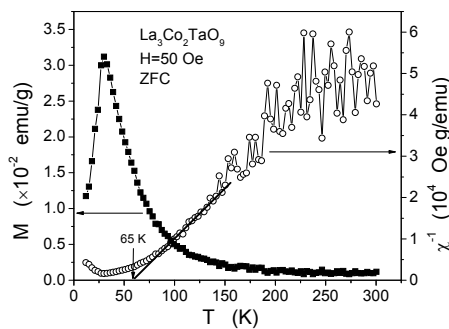


Fig.1 Magnetization and inverse susceptibility versus temperature

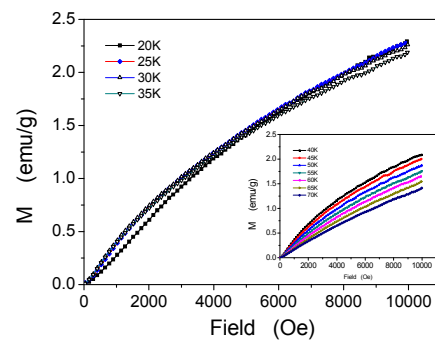


Fig. 2 magnetization vs. applied field with temperature

Fig. 2 shows the field dependence of magnetization of 20 K, 25 K, 30 K and 35 K. The values are nearly same at more than 5000 Oe applied field. As can be seen in insert figure 2, after Neel temperature (above 35 K) the high field magnetization is gradually decreased with temperature. This is one evidence this system have antiferromagnetic behavior. The coercivity force and residual magnetization as a function of temperature are dramatically decrease to Neel temperature of 30 K after that the coercivity force maintain almost constant and residual magnetization is gradually decrease. The hysteresis behavior at higher than Neel temperature and positive Curie-Weiss temperature imply this compound has ferrimagnetic behavior.

4. Conclusion

We have studied the magnetic properties of double Perovskite $\text{La}_3\text{Co}_2\text{TaO}_9$. The Neel temperature is 30 K and at high temperature obey Curie-Weiss law. The coercivity and residual magnetization are rapidly decrease in lower than Neel temperature and the coercivity is nearly constant and residual magnetization is gradually decrease in higher than Neel temperature. Our results that show that this system have antiferromagnetic with some ferrimagnetic interaction.

References

- [1] D. G. Franco, V. C. Fuertes, M. C. Blanco, M. T. Fernandez-Diaz, R. D. Sanchez, R. E. Carbonio, J. Solid State Chem., **194**, 385 (2012)
- [2] C. R. Wiebe, J. E. Greedan, G. M. Luke, J. S. Gardner, Phys. Rev. B., **65**, 144413 (2002)
- [3] V. C. Fuertes, M. C. Blanco, D. G. Franco, J. M. De Paoli, E. V. Pannunzio Miner, R. D. Sanchez, M. T. Fernandez-Diaz, R. E. Carbonio, Physica B, **404**, 2717 (2009)
- [4] V. C. Fuertes, M. C. Blanco, D. G. Franco, J. M. De Paoli, R. D. Sanchez, R. E. Carbonio, Mater. Res. Bull. **46**(2011),62
- [5] S. Aasland et al. Solid State Commun. **101**, 187 (1997)
- [6] J. Yang, Y. P. Lee, Y. Li, J. Appl. Phys, **102**, 033913 (2007)

Core-shell ZnFe₂O₄/ZnS composite synthesized by Hydrothermal method

Pil-Sun Yoo^{*}, D. Amaranatha Reddy, Deok-Hyun Kim, Min-Young Lee,
Han-Yeol Jo, Bo-wha Lee, Chunli Liu

Department of Physics, Hankuk University of Foreign Studies YongIn, Gyeonggi Do 449-791, South Korea

1. Introduction

ZnFe₂O₄ have several advantages with their high electromagnetic performance, excellent chemical stability, low coercivity and photoluminescence nature with a great potential in many applications including photocatalyst, magnetic data storage, drug delivery, white light emitting diodes, soft magnets and low-loss materials at high frequencies, etc¹⁾. ZnS is a wide band-gap semiconductor showing good emission in the blue and UV region, and ZnS nanostructures have found many applications for phosphors, solar cells, and IR window. We report here the preparation and characterization of core-shell ZnFe₂O₄/ZnS nanocomposites, aiming to use the advantages of both ZnFe₂O₄ and ZnS to realize a potential magnetically recyclable photocatalyst.

2. Experimental

The core-shell ZnFe₂O₄/ZnS composite was first synthesized by a hydrothermal method. The morphology and the average particle size were investigated using a scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscope (TEM). The phase determination of the as prepared powders was performed using an X-Ray diffractometer (XRD). Diffuse reflectance measurements (DRS) on dry powders were performed. Photoluminescence (PL) measurement was performed at room temperature. The magnetic properties were studied with vibrational sample magnetometer (VSM) by the applied magnetic field up to 1 T.

3. Results and Conclusion

The XRD of ZnFe₂O₄/ZnS composites clearly revealed the diffraction peaks from spinel ZnFe₂O₄ and cubic ZnS. The average nanocrystallite size (D) of ZnFe₂O₄ was around 29.72 nm by using the Debye - Scherrer formula $D = 0.89\lambda / \beta \cos\theta$. In addition to core, XRD result showed ZnS shell was 4nm thick. This result also agreed well with the SEM observation of morphology [Fig. 1]. The TEM images of ZnFe₂O₄/ZnS composite exhibit that ZnS was grown at the surface of ZnFe₂O₄ nanoplates of 40-80 nm in diameter and ~10 nm in thickness.

The comparison between the UV - Vis DRS spectra of the ZnFe₂O₄/ZnS composites and bare ZnFe₂O₄ nanoparticles showed that the optical absorption maximum increase remarkably after the deposition of ZnS on the surface of ZnFe₂O₄. The shift of the absorption probably originated from the hybridization and strong electronic coupling between ZnFe₂O₄ and ZnS nanoparticles. The band gap energy of ZnFe₂O₄/ZnS was calculated by plotting a graph between the square of the Kubelka - Munk function $F(R)^2$ and energy in electron volts. From the Kubelka - Munk plots the optical band gap of ZnFe₂O₄ and ZnFe₂O₄/ZnS are 2.0 and 2.2eV, respectively. Compared to the bare the band gap was increased for the composite material mainly due to the much larger band gap energy of ZnS (3.7 eV). Much enhanced photoluminescence was observed in the ZnFe₂O₄/ZnS composites

due to the good optical property of ZnS [Fig. 2]. The ZnFe₂O₄/ZnS composites showed lower saturation magnetization as compared to the bare ZnFe₂O₄ nanoparticles, presumably attributed to the coating of ZnS nanoparticles.

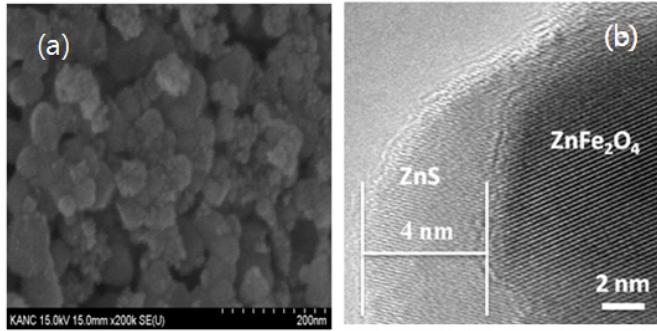


Fig. 1 (a) SEM image, and (b) high resolution TEM image of ZnFe₂O₄/ZnS composites.

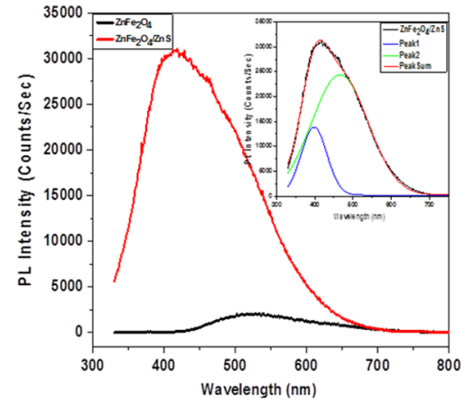


Fig. 2 The optical properties of ZnFe₂O₄/ZnS composites and bare ZnFe₂O₄ nanoparticles.

4. Reference

- [1] N. Ponpandian et al. J. Appl. Phys. 92. 2770. (2002)
- [2] Yuanyuan Sun et al. Mater. Lett. 98. 124 - 127 (2013)

수중운동체에 적용된 능동형 자기센서의 출력 향상에 관한 연구

정현주^{1*}, 양창섭¹, 정우진¹

¹국방과학연구소

1. 서론

현재까지 세계 각국의 수중유도무기에서 기폭 신관으로 활용되는 센서는 작동 원리에 따라 충격센서, 능/수동 음향센서 및 능/수동 자기센서 등이 있다. 이들 중에서 능동형 자기센서는 특정 주파수의 자기장을 발생시킨 후 표적 표면에서 발생하는 와전류(Eddy current)에 의한 2차 자기장을 탐지한다. 따라서 근거리에서 정확한 표적 탐지가 가능하지만 대상 표적 관점에서는 이러한 센서의 위협을 극복할 수 있는 마땅한 대책이 없기 때문에 미국, 독일, 일본 등 세계 각국의 수중유도무기에서는 능동형 자기센서를 기폭신관용 센서로 널리 사용하고 있다.

능동형 근접자기센서의 표적 탐지거리 증대와 소형 표적 탐지를 위해서는 능동형 자기센서를 구성하는 송신기의 송신출력 향상과 수신기의 수신감도를 향상시키는 것이 필요하며, 이를 위해서는 송/수신기를 구성하는 코어의 형상 설계가 매우 중요하다. 특히, 송신기는 수중유도무기 체계의 몸체 후부에 장착되는데 이 경우, 장착 공간 등이 매우 제한적이므로 허용된 공간내에서 최대 효율을 낼 수 있도록 송신기를 설계해야 한다. 일반적으로 송신기는 송신 효율 증대를 위해서 고투자율을 가지는 자성체(이하 송신코어)에 코일을 권선하는 형태로 제작된다. 이러한 송신코어는 그 형상에 따라서 코어 내부에 형성되는 반자장 특성이 다르고, 이는 송신 출력과 밀접한 연관성을 가진다. 그러므로 송신 출력 극대화를 위해서는 제한적인 장착 공간내에서 송신 코어의 형상을 최적화하는 것이 매우 중요하다[1-3].

따라서 본 논문에서는 수중유도무기에 적용되는 능동형 자기센서의 송신출력 향상을 위한 송신기 코어 형상 설계와 관련된 해석 및 시험결과 등을 기술하였다.

2. 실험방법 및 결과

수중운동체에 사용되는 능동형 자기센서의 송신기는 퍼멀로이(permalloy) 혹은 아몰퍼스(amorphous)와 같이 고 투자율을 가지는 재료의 송신코어 외부에 동선을 권선한 형태로 제작되며, 그림 1과 같이 수중운동체의 추진후부에 막대자석 형태로 장착된다. 따라서 본 논문에서는 표 1과 같이 수중운동체의 추진후부에 장착 가능한 송신기 4종을 대상으로 유한요소 해석을 통한 송신코어의 형상에 따른 출력 특성을 비교/분석하였다. 송신기별 상대적인 특성 비교를 위해서 코일 권선수는 300 턴, 코일 전류는 5 A_{pk}, 운용 주파수는 1 kHz, 코어의 상대투자율은 10,000으로 임의로 가정하여 모두 동일하게 적용하였다. 해석 결과를 살펴보면 표 1에서 알 수 있듯이 4번 송신기의 경우, 코어의 부피와 단면적은 다른 송신기 대비 가장 작지만, 자기다이폴모멘트 측면에서는 가장 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 반면 코어의 단면적 감소로 인하여 권선되는 코일의 길이도 1번 코어대비 대략 28 % 정도 감소되므로 이로 인하여 송신코일의 동손(copper loss)도 줄일 수 있다. 그리고 표 2는 유한요소해석 결과의 검증에 위한 목적으로 아몰퍼스(2605SA1) 재질을 이용하여 실제로 제작된 2종의 송신기를 대상으로 1.35 m 이격된 거리에서 송신기로부터 출력되는 자기장의 크기를 측정한 결과와 유한요소 해석 결과를 비교한 표이다. 표 2에서 알 수 있듯이 유한요소 해석결과와 실제 제작된 송신기를 대상으로 시험한 결과가 매우 유사하였고, 송신기 4번의 경우, 송신출력 세기 측면에서 송신기 1번 대비 대략 35% 우수하였다. 따라서 송신기 형상의 최적설계를 위한 목적으로 제작된 유한요소 해석 모델의 타당성은 실제 제작된 송신기를 대상으로 비교 시험을 통해서 검증되었고, 송신코어의 형상은 송신기의 출력 향상에 매우 중요한 설계 인자임을 알 수 있었다.

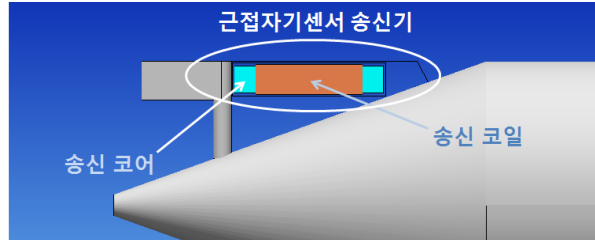


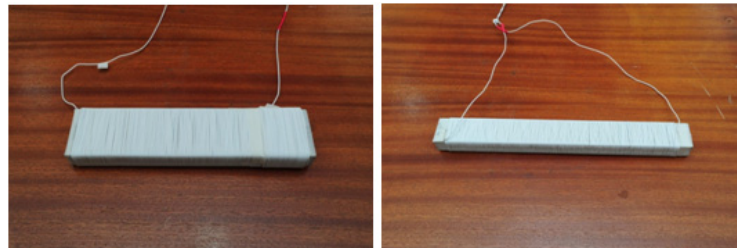
그림 1. 수중운동체 몸체에 장착된 능동형 자기센서 송신기

표 1. 유한요소 해석을 통한 송신기 출력 특성

송신기순번	코어제원(mm×mm×mm)	자기다이폴모멘트[Am ²]	코일길이[m]
1	220×48.8×19	38.8	40.7
2	250×40.0×19	47.0	35.4
3	270×34.4×19	51.2	32.0
4	280×30.0×19	51.9	29.4

표 2. 유한요소 해석결과와 측정 결과 비교

	코일턴수	인가전류 [A _{pk}]	자기장 [μ T _{pkpk}]	
			시험결과	해석결과
송신기 1	300	5	6.63	6.46
송신기 4	300	5	9.00	8.46



송신기1

송신기4

그림 2. 실제로 제작된 송신기

3. 결 론

본 논문에서는 수중운동체에 적용되는 능동형 자기센서의 송신 출력 향상을 위한 송신 코어의 형상 최적화와 관련된 유한요소 해석 및 시험결과 등을 기술하였다. 그 결과 송신코어의 형상은 송신 출력 향상에 매우 중요한 인자임을 확인하였고, 동일한 기자력 조건에서 송신기 4번의 경우 송신기 1번 대비 송신 출력이 대략 36% 수준까지 증대시킬 수 있음을 유한요소 해석과 실 시험을 통해서 확인하였다.

4. 참고문헌

- [1] Official Website of the UNITED STATES NAVY <<http://www.navy.mil>>.
- [2] 김종호, 손대락, 한국자기학회지 **20**, 178 (2010).
- [3] Dieter G. Lukoschus, IEEE Trans. on Geoscience Electronics **17**, 56 (1979).]

빌딩 에너지관리 시스템용 자기유도 방식을 이용한 전류센서에 관한 연구

김희민^{1*}, 이유기¹, 박관수¹

¹부산대학교 전기공학과

1. 서론

국내 산업의 여러 부문 가운데서 건물 부문 에너지 사용량은 우리나라 전체 에너지 소비량의 1/3이상을 차지하고 있으며 주로 대규모 산업건물, 아파트 주거 밀집공간, 정부 및 기업사무용 공공 건물에서 대부분 발생한다. BEMS(Building Energy Management System) 기술은 배전반 및 전원아울렛 등에 전류센서를 설치하여 실시간 전력량을 측정하고, 측정한 정보를 무선 통신을 통해 서버로 전송하며, 이를 냉난방 공조시스템과 연동하여 에너지를 절감하는 것이다. 즉, 기기 별 전력 소비량을 실시간 파악하여 에너지 소비 패턴을 예측 및 분석하고, 에너지 절약조치를 강구하여 건물의 최상의 에너지 효율을 유지시키기 위한 기술이다. 그러나 기존의 BEMS용 전류센서는 크기가 크고 외부전원이 필요하며 전류 노드와 접촉식 형태로 설치되어 효율적인 무선 통신 시스템 구축이 어렵다. 효율적인 BEMS 구축을 위해서는 전류센서를 소형, 경량으로 제작하는 동시에 노드와 비접촉형 설치를 통하여 계통회로의 임피던스 변화를 최소화할 필요가 있다. 또한 전류센서는 자체 동작과 저전력 무선 통신을 위해 자가전원을 갖추고 노드 내부의 전원 상태 및 통신모듈의 상태와 관계없이 정밀한 전류 측정이 가능해야 한다. 본 논문에서는 자기유도형 자가전원을 이용하여 배터리 없이 동작하고 정밀한 전류측정이 가능한 BEMS용 전류센서의 구현 방법을 제안하였다.

2. 실험방법

본 논문에서 제안한 배전반 및 전원아울렛에 설치되는 전류센서 시스템의 구조를 그림 1에 나타내었다. 전류센서는 자기유도형 자가발전 전원으로부터 전력을 공급받는 동시에 정밀한 전류를 측정할 수 있는 구조로 구성된다. 자가 전원은 연자성체 재료인 링 타입의 페라이트 코어로 구성되며 코어에 코일을 권선한다. 페리테 이 법칙과 암페어 주회법칙에 의하여 코어 중앙으로 시변 전류가 흐르면 코어 내부에는 균일한 시변 자기장이 발생하고, 시변 자기장으로부터 코일에는 권선수에 비례하는 유도기전력이 발생한다. 이때 코어 중앙을 통과하는 전류의 크기가 증가하면 코어 내부에 발생하는 자속밀도가 선형적으로 증가하는 연자성체 재료의 특성을 활용하고, 권선에 유겨된 전압의 크기를 측정함으로써 이에 선형적으로 비례하는 전류값을 추정할 수 있다. 그림 2는 연자성체 코어의 B-H곡선과 이를 활용하는 방법을 나타낸다.

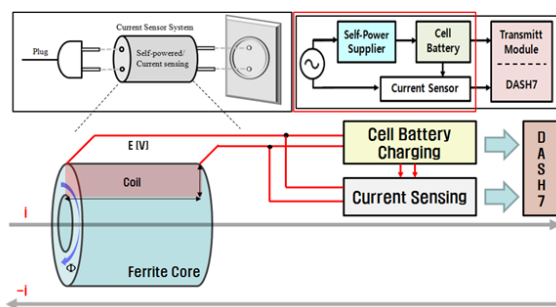


그림 1. BEMS용 전류센서의 구조

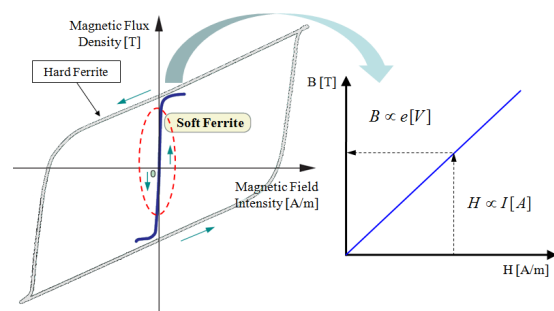


그림 2. 연자성체 코어의 BH 곡선

3. 실험결과

그림 4,5는 코어 중심을 통과하는 정현파 전류에 따른 코일 양단에 유도된 전압의 정현파 크기를 나타낸다. 전류의 크기가 증가할 때 코일에 유도되는 전압의 크기도 선형적으로 증가한다.

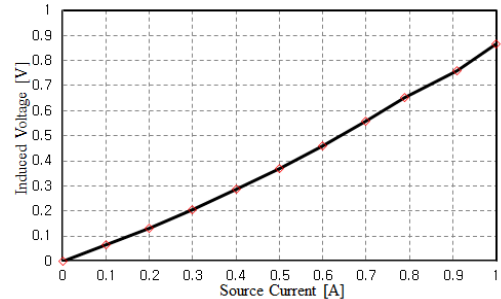
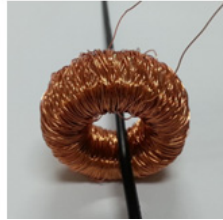
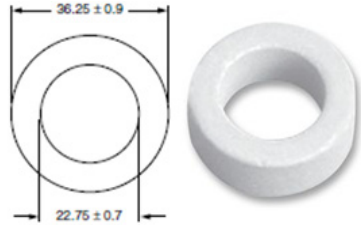
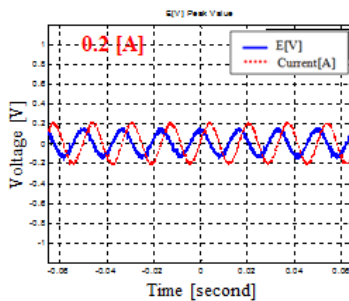
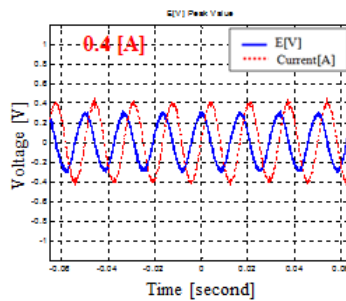


그림 3. 페라이트 코어 및 코일 권선

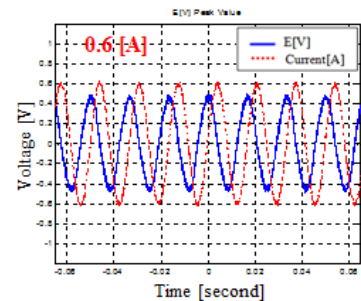
그림 4. 전류에 따른 유도기전력의 크기



(a) 0.2A



(b) 0.4A



(c) 0.6A

그림 5. 전류에 따른 코일 양단의 유도기전력의 크기 및 파형

4. 고찰

연자성체 재료의 페라이트 코어를 사용해 코일 양단에 유도되는 전압을 측정함으로써 소형, 경량, 자가발전 전원을 갖춘 전류센서의 구현이 가능하다.

5. 결론

본 논문은 효율적인 BEMS 구축을 위해 자기유도형 자가발전 전원을 갖춘 소형, 경량, 고정밀, 저가의 전류 센서의 개발 및 구현 방법에 관하여 제안하였다. 본론에서 제안한 자가발전 전원은 페라이트 코어로 구성하여 무선 통신을 위한 최소한의 전력을 공급함과 동시에 코일 양단에 전압을 발생시킨다. 따라서 코일 양단의 유도 전압을 측정하여 정밀한 전류값을 예측할 수 있다.

6. 참고문헌

- [1] Xiaohong Guan, Zhanbo Xu, and Qing-Shan, "Energy-Efficient Buidings Facilitated by Microgrid", IEEE Trans. Smart Grid, vol.1, no.3, pp.243-252, Dec. 2010.
- [2] Peng Zhao, Siddharth Suryanarayanan, and Mercelo Godoy Simoes, "An Energy Management System for Building Structures Using a Multi-Agent Decision-Making Control Methodology", IEEE Trans. Industry Applications, vol.49, no.1, pp.322-330, Feb. 2013.

Detection of the thickness loss in the ferromagnetic steel pipe covered with insulation using Pulsed Eddy Current

M.B. Kishore^{*}, Duck-Gun Park[†]

Nuclear Materials Development Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejeon, South Korea -305-353,

[†]Corresponding author: dgpark@kaeri.re.kr

The thickness loss by corrosion of pipeline during operation in the power and oil industry is important problem to threat the integrity of plants. Therefore, local wall thinning is a point of concern in almost all steel structures such as pipe lines, and pipelines are usually covered with a thermal insulator made up of materials with low thermal conductivity (fiberglass or mineral wool); hence, NDT methods that are capable of detecting the wall thinning and defects without removing the insulation are necessary. The pulsed eddy current (PEC) technique offers an alternative to these conventional techniques because of its potential advantages such as less susceptibility to interference and less power consumption owing to the use of short pulses, which are more desirable specifications in the development of portable instruments. In the present study, a PEC system to detect the wall thinning of a pipeline without removing the insulator is proposed. The PEC system consists of a pulse amplifier, a probe with a driving coil with a magnetic field detecting sensor (Hall-sensor), a sensitive differential amplifier with variable gain to amplify the output voltage from the Hall-sensor, a A/D converter, and a computer with signal processing software. The PEC probe characteristics are determined by a combination of measuring environments such as induced current, insulation thickness, and sample thickness. The excitation coil in the probe is driven by a bipolar rectangular current pulse; the time domain features of the detected pulse, such as 'peak value' and 'time to zero' were used to describe the wall thinning in the tested sample. A real-time LabVIEW program was developed for the data acquisition and for scanning the probe on the insulated sample. The scanning results were continuously displayed on the computer monitor. To simulate the wall thinning of a steel pipe, a mock-up of a wall thinned pipe was fabricated. The strength and duration of an induced pulse signal resembles the average wall thickness that can be measured. The duration of the eddy currents will have an effect on the transition period of the detected pulse. The system was applied in the mock-up sample with various thickness regions covered with a 95 mm thick insulator with galvanizing cladding. The system can distinguish a wall thickness of 2.5, 5, and 8 mm under 95 mm insulation covered with 0.4 mm of stainless cladding.

Keywords: steel pipe, wall thinning, pulsed eddy current, Hall-sensor

NEXTSat-1 용 TAM 제작에 관한 연구

김은애*, 조영훈, 손대락

한남대학교 광.전자물리학과 대전광역시 대덕구 한남로 70

1. 서론

본 연구에서는 인공위성의 자세 제어용으로 사용될 3-축 flux-gate magnetometer를 개발, 제작하였다. Flux-gate magnetometer는 2차 세계대전을 전후로 개발된 기술로 2차 세계대전 때는 군사적인 목적으로 대상 물체에 의한 지구자기장의 변화 관측하는데 사용되었다. 그 이후에는 인공위성의 자세제어용, 지구자기장의 관측 및 달의 자기장 관측 등에 널리 사용되고 있다. 오랜 역사를 가지고 있는 flux-gate magnetometer의 높은 신뢰성으로 온도, 압력, 방사능 등에 대하여 내성이 우수하기 때문이다. 또한 저 전력의 소형화가 가능하여 최근에는 PCB형이나 MEMS형으로 센서코어를 디자인하고 있다.

본 연구에서는 NEXTSat-1용 TAM의 자세제어용으로 사용하기 위한 소형화 및 경량화한 3-축의 flux-gate magnetometer를 개발하였다.

2. Flux-gate magnetometer의 제작

마그네토미터에 사용되는 코어는 Co계 비정질 리본을 폭이 3 mm 되게 슬리팅 한 후 300 °C에서 1시간 열처리한 코어를 사용하였다. 제작된 magnetometer의 개략도는 Fig.1과 같다.

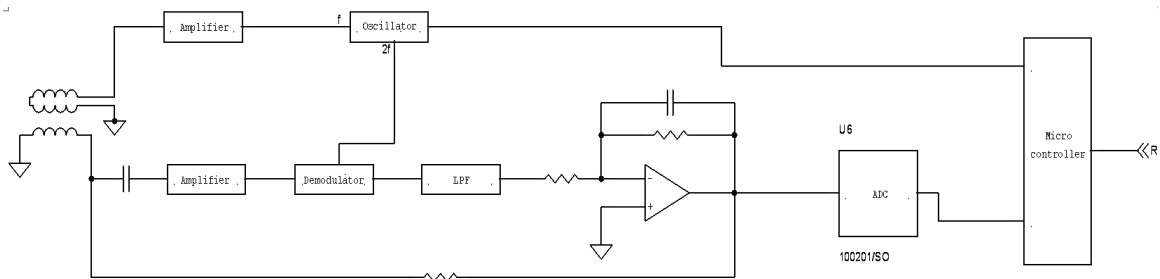


Fig.1 Schematic diagram of the magnetometer

AVR로부터 나오는 주파수 f 의 신호는 전력증폭기로 증폭을 하여 코어를 자화시키고, 주파수 $2f$ 의 신호는 이차 코일에 유도되는 교류 성분의 $2f$ 신호 성분만을 측정하기 위하여 사용하였다. 신호의 $2f$ 성분만을 측정하기 위하여 2차 코일에 유도되는 기전력은 축전기를 거친 후 CMOS switch와 demodulator를 사용한 후 10 Hz 대역의 저주파 대역 필터(LPF)를 사용하였다. LPF의 출력 전압은 feedback 증폭기를 거쳐 2차 코일에 입력되어 코어가 받는 실제 자기장이 0이 되게 하였다. 이 때 이차코일에 가해주는 전압이 피측정 자기장에 비례하기 때문에 이 기전력을 24 bit의 ADC를 사용하여 magnetometer의 출력을 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터와 RS422 serial 통신을 할 수 있게 하였다. ADC를 제어하고 PC와 통신을 하게 하는 마이크로컨트롤러는 Atmel사의 ATMEGA8을 사용하였다.

3. Magnetometer의 특성 측정

제작된 flux-gate magnetometer의 선형도의 결과는 Fig.2와 같으며 측정 범위 $\pm 60 \mu\text{T}$ 에서 선형도가 1.5

$\times 10^{-4}$ 이하였다. Magnetometer의 noise 특성 측정은 자기차폐 장치 안에 센서를 놓은 후 측정하였으며, noise 특성 측정의 결과는 Fig.3에 나타내었다. Noise는 $20 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 Hz였다.

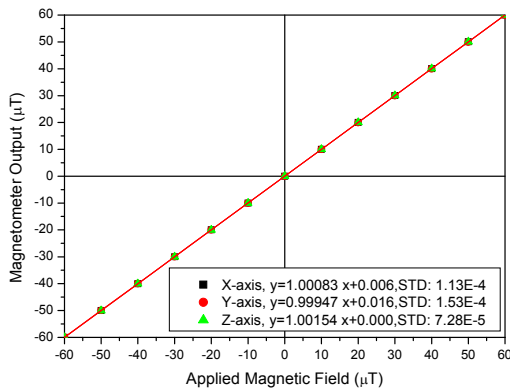


Fig.2 Linearity of the developed flux-gate magnetometer

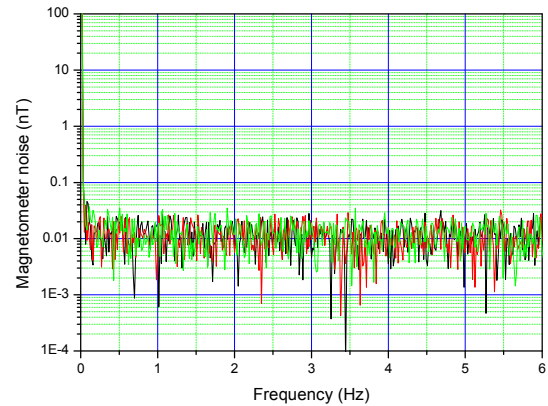


Fig.3 Noise spectrum of the developed flux-gate magnetometer

4. 결론

본 연구에서는 Co계 비정질 리본 코어를 사용하여 자기장 측정 범위가 $\pm 60 \mu\text{T}$ 인 3-축 flux-gate magnetometer를 제작하였다. 제작된 마그네토미터를 교정하기 위해서 비자성 실험실에 위치한 3-축의 Helmholtz 코일을 사용하였으며, noise 측정을 위해 μ -메탈로 제작된 자기차폐장치를 사용하였다.

개발된 magnetometer의 선형도는 $\pm 60 \mu\text{T}$ 에서 1.5×10^{-5} 이하였으며, noise는 $20 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 Hz였다.

앞으로 제작된 마그네토미터를 인공위성 환경에 맞는 실험으로 진동시험, 진공열사이클 시험 및 방사선 조사 시험을 수행할 계획이다.

5. 참고문헌

- [1] Y.-J.Kim, D.Son and D.-H.Son, J.Kor.Mag.Soc.11, 134 (2001)
- [2] W.Goepel, J.Hesse, and J.N.Zemel, Sensors Vol.5 Magnetic Sensors, VCH, Weinheim (1989)
- [3] 손대락, “피드백형 플럭스게이트 마그네토미터 제작”, 한국자기학회지, pp.45-48 (2012)

NEXTSat-1 용 EMTB 제작에 관한 연구

김은애*, 정다혜, 손대락

한남대학교 광.전자물리학과 대전광역시 대덕구 한남로 70

1. 서론

Electro Magnetic Torque Bar(EMTB)는 인공위성의 초기 자세제어를 위하여 사용되는 것으로, 지구 자기장 하에서 magnetic dipole moment가 받는 비틀림력을 이용하여 인공위성의 회전을 방지하고 특정 방향으로 인공위성의 자세를 안정하게 한다. Magnetic dipole moment(자기 쌍극자 모멘트: m)가 지구 자기장 B 에 있을 경우 토오크는 $\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B}$ 가 되며, 이 토오크를 이용하여 인공위성을 회전시키게 된다.

본 연구에서 개발한 EMTB는 질량이 0.5 kg 미만이고, Magnetic dipole moment의 선형도 범위가 $\pm 8 \text{ Am}^2$ 이다.

2. EMTB의 설계 및 제작

Magnetic dipole moment는 $m = AI \text{ Am}^2$ 로 정의되며, A 는 전류 loop의 단면적이고 I 는 이 loop에 흐르는 전류이다. 질량 대비 큰 값의 자기 쌍극자 모멘트를 발생시키기 위해서 자기 코어의 투자율을 이용하였다.

코어의 effective magnetic permeability가 μ_c 이고, 단면적이 A 인 코어를 사용하는 경우 자기 쌍극자 모멘트는 $m = \mu_c n A I$ 이며, 여기서 $\mu_c = \frac{\mu_r}{1 + N(\mu_r - 1)}$ 이다. μ_r 은 상대 투자율, N 은 코어의 demagnetizing factor이다. EMTB는 Fig.1과 같은 구조로 제작되었다.

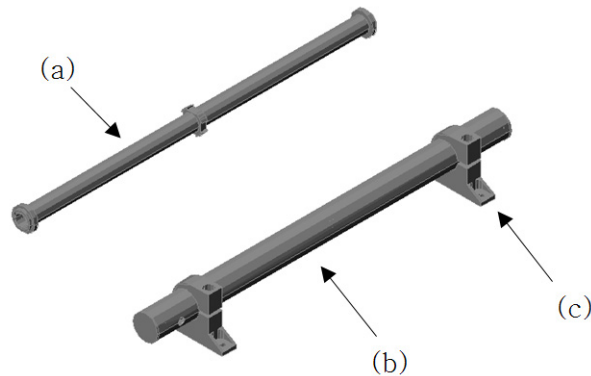


Fig.1 Structure of EMTB

(a) Coil former, (b) housing, (c) supporting arm

EMTB의 크기는 직경이 21 mm, 길이는 300 mm로 제작하였고, 두께가 0.35 mm, 폭이 8 mm, 길이가 290 mm인 방향성 전기강판을 코어로 사용하였다.

3. Magnetic dipole moment 측정

본 연구에서는 거리가 r 만큼 떨어져 있을 때 자기장을 측정하여 자기 쌍극자 모멘트를 계산하는 방법을 택하였으며, 자기장 B 와 m 의 관계는 다음과 같다.

$$B(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m}{r^3}$$

따라서 마그네토미터를 사용하여 B 를 측정하면 자기 쌍극자 모멘트 m 을 구할 수 있다. 본 실험에서는 140 mm 떨어진 거리에서 측정하였다. Fig.2는 EMTB의 전류에 따른 측정 결과를 보여준다. EMTB에 가해진 전류가 80 mA일 때 magnetic dipole moment 값은

8.7 Am^2 이며, 그 범위에서 선형도는 Fig.3에 보여주고 있으며, 선형도는 0.1% 이하였다.

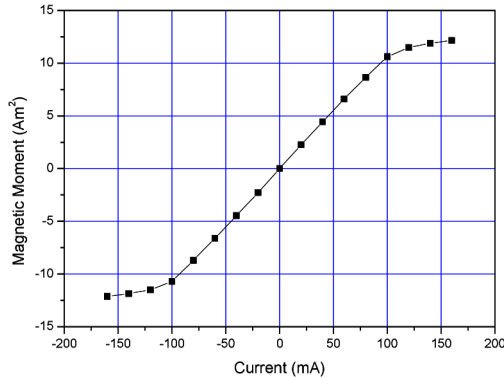


Fig.2 Magnetic dipole moment depending on the current of the EMTB

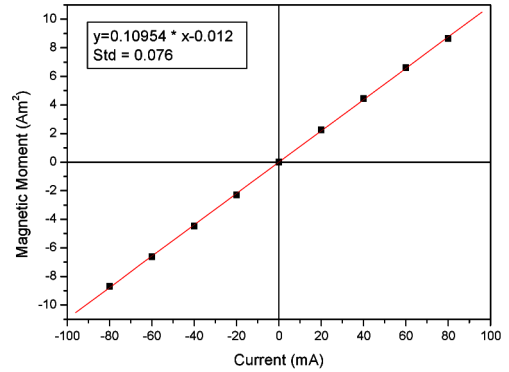


Fig.3 Linearity of the EMTB

4. 결론

본 연구에서는 NEXTSat-1용으로 질량이 0.5 kg미만이고, ± 80 mA에서 $\pm 8 \text{ Am}^2$ 인 EMTB를 개발하였다. 제작된 METB에 대하여 진동시험을 수행할 계획이다.

5. 참고문헌

- [1] F. Fiorillo “Measurement and Characterization of Magnetic Materials” (2004)
- [2] H.Krishnan, M. Reyhanoglu, and H. Mcclamroch, Automatica (1994)
- [3] 손대락 “인공위성 자세제어용 Magnetic Torquer 개발”, 한국자기학회지, pp.54-57 (2008)

Tendon의 Villari효과 특성 측정에 관한 연구

강선주^{1*}, 조창빈², 이정우², 손대락¹

¹한남대학교 광·센서공학과 대전광역시 대덕구 한남로 70

²한국건설기술연구원 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283

1. 서론

철은 지구에 존재하는 원소 중 가장 많이 함유되어 있는 원소이며, 기계적 특성이 우수하여 역사적으로 철기 문화를 일으켜 오늘날, 경제성이 가장 우수한 구조용 강으로 많이 사용하게 되었다. 구조용 강으로 사용되는 철강에 대한 비파괴 검사는 철강의 자기적 특성이 비선형의 자화곡선과 hysteresis(자기 이력)현상 등 복잡하기 때문에 전통적으로 음향을 이용한 방법이나 자분탐사 등을 사용하였다. 최근에 강자성체를 포화 시킨 후에 와전류 탐사를 하거나 누설자속을 탐지하는 등 자기적 특성을 활용하는 비파괴 탐상이 최근 10년 사이에 많이 연구 되고 있다.[1,2]

본 연구에서는 교량에 부착 되어 있는 텐던의 하중 특성을 비파괴로 측정하기 위한 기초 연구로 자기변형의 역현상인 Villari 효과를 이용하는 방법 즉, 변형력에 의한 텐던의 자기투자율의 변화를 이용하는 방법으로, 투자율을 측정하여 철 구조물의 하중상태를 검사하는 연구를 수행하려고 한다.

2. 실험방법

본 연구에서 PS 강연선, 철근 및 쉬스관의 자기적 특성을 측정하기 위하여 제작될 장치의 구성도는 그림1과 같다. 인장변형력에 따른 PS강연선의 자기적 특성을 측정하기 위해서는 7개의 strand를 사용한 PS강연선의 경우 직경이 15.5 mm에 최대 인장변형력을 1.5 GPa가하기 위한 힘이 $2.8 \times 10^5 \text{ N}$ 정도 된다. 따라서 측정 장치는 철골로 된 frame에 설치를 하여야 되며, 힘을 측정하기 위한 load cell은 30,000 kgf의 용량이 필요하고 유압장치 또한 30,000 kgf를 인가하는 장치가 필요하다. 본 연구에서는 시편에 인장변형력을 인가하는 방법으로 수동유압기를 사용할 계획이다. 일차 코일을 자화시키기 위한 삼각파형의 합성은 waveform synthesizer를 사용하며 PC에서 LabVIEW로 제작되는 S/W에 의하여 자화주파수와 진폭을 설정한다. 자화력 H 를 측정하기 위한 1차 코일의 전류는 shunt 저항 R_s 양단에 인가된 전압으로부터 계산을 하며 자속밀도 B 의 측정은 2차 코일에 유도된 기전력을 상호유도기를 거쳐서 공기자속을 보상한 다음에 자속계(fluxmeter)를 사용 적분을 하여 자속을 구한 다음 LabVIEW S/W에서 단면적과 코일 권선수를 나눈 후 B 를 계산한다. 온도에 따른 특성을 측정하기 위하여 시편에 non-inducting 히터를 부착하여 열을 가하고 시편에 부착된 열전대 온도계를 사용 시편의 온도를 측정 할 계획이다.

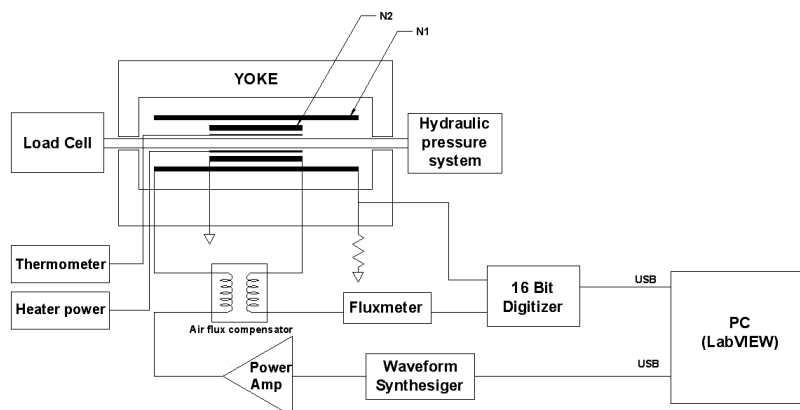


그림 1. 본 연구에서 수행 될 자기이력곡선 측정 장치의 계략도

3. 참고문헌

- [1] A.Jarosevic, "Magnetoelastic method of stress measurement in steel."
- [2] Fernandes, B., Wade J.D., Nims, D, K, and Devabhaktuni V.K., "A New Magnetic sensor Concept for Nondestructive Evaluation of Deteriorated Prestressing Strand", Research in Nondestructive Evaluation, Vol. 23, No 1, 2012.

CoFeB/MgO와 [Pt/Co]_n 사이에 삽입된 M/Ru/Ta(M=Ta, Cu) 공간층에 의한 층간 교환 결합

윤석진*, 임상호, 이성래

고려대학교 신소재공학과

최근 들어 고밀도 MRAM(Magnetic random access memory)을 실현하기 위한 강한 수직자기이방성 및 STT(Spin transfer torque) switching을 가지는 MTJ(Magnetic tunnel junction) 구조를 개발하기 위한 연구가 집중되고 있다[1]. 수직자기이방성을 가지는 MTJ 소자는 고밀도 메모리를 위한 향상된 열적 안정성에 매우 중요한 특성이다. 본 연구실에서는 이전의 연구를 통해 높은 수직자기이방성과 향상된 후열처리 안정성을 가지는 반전 Pt/Co 다층박막 구조를 설계하였다[2]. 다층박막을 기반으로 한 MTJ 구조가 높은 TMR(Tunneling magnetoresistance) ratio를 확보하기 위해서는 다층박막과 MgO 절연층 사이에 CoFeB 층을 삽입하여 스핀 분극을 향상시킬 필요가 있다. 때문에 많은 연구들이 다층박막과 CoFeB 층 사이에 Ta 공간층을 삽입하여 높은 TMR ratio를 만들어내었다. 본 연구에서는 Ta 공간층에 반평행 층간 교환 결합을 가지는 Ru 층이 삽입된 [Pt(0.2 nm)/Co(0.4 nm)]₆/M(*t_M* nm)/Ru(0.8 nm)/Ta(0.2 nm)/CoFeB(1 nm)/MgO(1 nm) (M=Ta, Cu) 합성형 페리자성체 구조의 자기적 특성 변화를 살펴보았다. 합성형 페리자성체 구조는 8×10^{-8} Torr 진공도의 초고진공 DC/RF 마그네트론 스퍼터링 장비를 통해 상온 증착하였으며 CoFeB의 결정화를 위해 증착 후 다양한 온도에서 1시간 동안 1×10^{-6} Torr에서 열처리 하였다. 만들어진 샘플들의 자기적 특성은 VSM(vibrating sample magnetometer)를 통해 측정되었다. 그림 1은 Ru(0.8 nm)/Ta(0.2 nm), Ta(0.2 nm)/Ru(0.8 nm)/Ta(0.2 nm), 그리고 Cu(0.2 nm)/Ru(0.8 nm)/Ta(0.2 nm) 공간층을 가진 합성형 자성체 구조의 자기이력곡선을 보여주고 있다. 층간 교환 결합은 Ru(0.8 nm)/Ta(0.2 nm)에서 가장 큰 값을 보였으며 Cu가 삽입된 경우 층간 교환 결합이 감소한 것을 확인 할 수 있었다. Ta이 삽입된 공간층에서는 매우 약한 평행 층간 교환 결합으로 바뀌는 것을 알 수 있다.

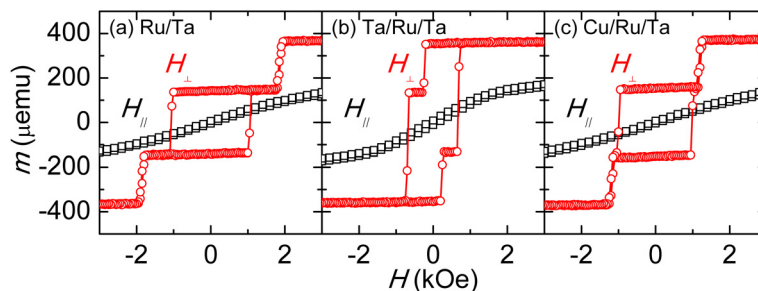


그림 1. [Pt/Co]₆/M(*t_M* nm)/Ru(0.8 nm)/Ta(0.2 nm)/CoFeB/MgO 합성형 자성체 구조의 수직/수평 자기 이력 곡선. M = (a) No insertion, (b) Ta(*t_{Ta}* = 0.2), (c) Cu(*t_{Cu}* = 0.0).

참고문헌

- [1] S. Ikeda *et al.*, SPIN 2, 1240003 (2012)
- [2] T. Y. Lee *et al.*, J. Appl. Phys. 113, 216102 (2013)

Pt/Co/Pt 수직 자기이방성 박막에서 위아래 Pt층 두께에 따른 Dzyaloshinskii-Moriya Interactions(DMI) 크기 변화

김덕호^{1*}, 제송근¹, 유상철^{1,2}, 김대연¹, 민병철², 이경진³, 최석봉¹

¹서울대학교, 물리천문학부

²한국과학기술연구원

³고려대학교, 재료공학부

1. 서론

차세대 메모리소자 응용 가능성과 더불어 흥미로운 물리적인 현상으로서 전류인가 자구벽 이동에 대한 많은 연구가 수행되어왔다[1-3]. 특히 전류인가 자구벽 운동의 방향성(전자 또는 전류 방향)과 빠른 속도의 자구벽 운동의 원인을 설명하기 위해 스핀홀 효과(또는 라쉬바 효과)가 제안되었다[4, 5]. 특히 스핀홀 효과에 의해 이 현상을 설명하기 위해서는 자구벽의 나선성 구조(chiral structure)가 필요하다[2, 3]. 최근 비대칭적 구조로 구성된 강자성 박막에서 Dzyaloshinskii-Moriya interactions(DMI)에 의해 자구벽의 나선성 구조가 형성됨을 이론적으로 실험적으로 보고되었고, 이 효과는 자구벽의 수직방향(평면상)으로 유효 자기장 역할을 한다[6, 7]. 최근 보고된 논문에 따르면[7], 평면상의 자기장 H_x 에 따른 자구벽 속도를 측정하여 DMI에 의한 유효 자기장 값 H_{DMI} 를 얻을 수 있다. 이 방법을 이용하여, 본 연구는 Pt/Co/Pt 수직자기 이방성 박막에서 비자성 물질인 위(또는 아래) Pt층 두께에 따른 DMI 크기 변화를 살펴보았다.

2. 실험방법

실험을 위해 Si/SiO₂/Ta(5 nm)/Pt(x)/Co(0.3 nm)/Pt(y) 수직 자기 이방성 박막을 제작하였다. 여기에서 x 를 1.5 nm부터 3.0 nm, y 를 1.0 nm에서 3.0 nm까지 0.5 nm 간격으로 변화시켰다. 광자기 Kerr(Magneto-optical Kerr effect) 현미경을 이용하여 수직방향 자기장 H_z 크기를 고정하고, 평면 방향의 자기장 H_x 크기를 변화시켜가며 자구벽 속도를 측정하였다.

3. 실험결과

실험 결과 DMI에 의해 발생된 유효 자기장의 영향으로, 음수 H_x 축을 기준으로 대칭적인 속도 분포가 관찰되었다. 앞에서 얻은 비대칭적인 속도 변화로부터, DMI에 의한 유효자기장 H_{DMI} 를 얻었다. 위층 Pt 두께를 고정시킨 경우에, 아래쪽 Pt층 두께가 두꺼워 질수록 H_{DMI} 값이 감소하였다. 그러나 아래쪽 Pt 두께가 고정시킨 경우, 위쪽 Pt 두께의 크기가 달라짐에도 불구하고 H_{DMI} 값이 변하지 않았다. 따라서 아래쪽 Pt 두께가 H_{DMI} 값에 큰 영향을 끼침을 확인하였다.

4. 고찰 & 결론

요약하면 H_{DMI} 는 아래 Pt층 두께가 두꺼워짐에 따라 민감하게 감소하였고, 반면 위 Pt층 두께 변화에는 크게 변하지 않았다. 이 결과는 DMI 크기가 아래 Pt층 결정성장에 의한 Pt/Co 경계면에 민감하게 영향을 받는다고 생각할 수 있다. 본 결과는 DMI 크기를 조절할 수 있는 하나의 방법으로서 유용하게 이용될 수 있을 것이다. 정량적인 분석은 추후 논의할 예정이다.

5. 참고문헌

- [1] I. M. Miron *et al.*, Nature Mater. **10**, 419 (2011).
- [2] K.-S. Ryu, L. Thomas, S.-H. Yang, and S. Parkin Nature Nanotechnol. **8**, 527 (2013).
- [3] S. Emori *et al.*, Nature Mater. **12**, 611 (2013).
- [4] P. P. J. Haazen, *et al.*, Nature Mater. **12**, 299 (2013).
- [5] K.-W. Kim, S.-M. Seo, J.-S. Ryu, K.-J. Lee, and H.-W. Lee, Phys. Rev. B **85**, 180404(R) (2012).
- [6] A. Thiaville, S. Rohart, É. Jué, V. Cros, and A. Fert, Europhys. Lett. **100**, 57002 (2012).
- [7] S.-G. Je *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 214401 (2013).

Tailoring the direction of current-driven domain-wall motion in Pd/Co/Pd films with insertion of thin Pt layer at the Pd/Co interface

Sang-Cheol Yoo^{1,2*}, Duck-Ho Kim¹, Soong-Geun Je¹, Byoung-Chul Min² and Sug-Bong Choe¹

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

²Center for Spintronics Research, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791

Current-induced domain-wall motion (CIDWM) in ferromagnetic nanowires has been predicted theoretically [1, 2] and demonstrated experimentally in recent years [3, 4]. However, in several materials such as Pt/Co/AlOx [3] and Pt/Co/Pt [4] thin films, the domain wall (DW) moves along the direction of the current that is opposite to the prediction of the spin transfer torque (STT) theory [1, 2]. To explain such peculiar behavior, several origins including the spin orbit torques (SOTs) combined with the Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) and a negative polarization (or nonadiabaticity) have been proposed [5, 6], but it is still under debate mainly due to the lack of experiments.

Here, we report that a series of the Pd/Pt/Co/Pd films exhibit an interesting behavior useful for this kind of experiments, since the DW-motion direction in this series samples is systematically reversed depending on the Pt layer thickness t_{Pt} . The DW moves along the electron in the films with $t_{Pt} < 1$ monolayer, whereas the DW moves along the current in the films with $t_{Pt} > 1$ monolayer. From a quantitative analysis on the DW speed [4], the effective magnetic field induced by the current is estimated to change gradually across zero (at $t_{Pt} \sim 1$ monolayer). To quantify the contributions of the STT and SOT in these series samples, the effective fields induced by the DMI and the SOT are measured from the asymmetric DW expansion under an in-plane magnetic field [7] and the shift of the out-of-plane hysteresis loop under current injection, respectively. From these measurement results, the magnitude of the pure STT is determined and the correlation with the DW-motion direction will be discussed.

References

- [1] L. Berger, Phys. Rev. B 54, 9353 (1996).
- [2] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater. 159, L1 (1996).
- [3] I. M. Miron, et. al, Nat. Mater. 10, 419 (2011).
- [4] J. C. Lee, et. al, Phys. Rev. Lett. 107, 067201 (2011).
- [5] S. Emori, et. al, Nat. Mater. 12, 611 (2013).
- [6] K. S. Ryu, et. al, Nat. Nanotechnol. 8, 527 (2013).
- [7] S. G. Je, et. al, Phys. Rev. B 88, 214401 (2013).

Electrical detection of Dresselhaus term in an InAs quantum well structure

Youn Ho Park^{1,2*}, Hyung-jun Kim¹, Joonyeon Chang¹, Suk Hee Han¹,
Jonghwa Eom³, Heon-Jin Choi², Hyun Cheol Koo^{1,4}

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

²Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Republic of Korea

³Department of Physics and Graphene Research Institute, Sejong University, Seoul 143-747, Republic of Korea

⁴KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University,
Seoul 136-701, Republic of Korea

The spin-orbit interaction (SOI) is one of the major concerns in the field of spin transistor devices because spin precession can be controlled by SOI parameter [1]. In a semiconductor channel SOI is divided into two terms, Rashba and Dresselhaus terms. The Rashba spin-orbit interaction (RSOI) is induced by the structural inversion symmetry and the Dresselhaus spin-orbit interaction (DSOI) is resulted from bulk inversion asymmetry. Detection and application of RSOI has been researched, however, DSOI has not because these two effects are phenomenologically inseparable so extraction of individual field is not simple. The Rashba field is always perpendicular to the wavevector but the orientation of the Dresselhaus field depends on the crystal orientation of channel [2]. Thus, for the various crystalline orientations we measured the Shubnikov-de Haas oscillations in an InAs quantum well system. Values for the Rashba parameter of 6.73×10^{12} eV \cdot m and for the Dresselhaus parameter of 0.57×10^{12} eV \cdot m were sequentially extracted and also the gate dependences of the two parameters were determined.

[1] H. C. Koo, J. H. Kwon, J. Eom, J. Chang, S. H. Han, and M. Johnson, *Science*, 325, 1515 (2009).

[2] Y. H. Park, H. -j. Kim, J. Chang, S. H. Han, J. Eom, H. -J Choi, and H. C. Koo, *Appl. Phys. Lett.* 103, 252407 (2013).

The g -factor of conduction electron in Rashba system

W. Y. Choi^{1,2*}, J. Chang¹, J. H. Lee¹, and H. C. Koo^{1,2}

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

²KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul, 136-701, Korea

In 2-dimensional electron system (2DES), the inversion asymmetry of structure induces Rashba effect, and this is the key factor of spin modulation in Datta-Das spin FET. On the one hand, since Rashba spin-orbit coupling (SOC) is able to be understood in terms of spin splitting energy (Δ_{SO}) and effective magnetic field (B_R), the g -factor of conduction electron which mediates electric and magnetic properties of carrier is closely related to Rashba SOC. In this research, we propose the method to obtain the g -factor of conduction electron in 2DES using Shubnikov-de Haas (SdH) oscillation, involved with Rashba SOC.

Generally, SdH oscillation is measured in perpendicular magnetic field, and affected by intrinsic Rashba SOC which makes beats in conductance oscillation. Then, Rashba parameter is determined with the period of the beats in oscillation, and obtained parameter is 6.41×10^{-12} eV-m. Rashba SOC, meanwhile, is able to be modified with in-plane magnetic field, so it changes the period of beats and Rashba parameter. To manipulate the Rashba SOC, we applied in-plane magnetic field in addition to perpendicular field. While perpendicular field induces the conductance oscillation, constant in-plane field modifies the Rashba SOC. Also we can write the relation between modified Rashba parameter (α) and total magnetic field as $\alpha = (g\mu_B/2k_F)(B_R + B_{in-plane})$. Consequently, g -factor is estimated from the equation, with the value of -13.

We observed the g -factor of conduction electron in 2DES by applying in-plane magnetic field in measurement of SdH oscillation. This experience gives the simple method to determine g -factor in strong Rashba SOC.

Magnetoresistance induced by the Rashba effect in the $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ interface

Taeyueb Kim^{1,3*}, Shin-Ik Kim², Seung-Hyub Baek², Jinki Hong³, Hyun Cheol Koo^{1,4}

¹Spin Convergence Research Center, KIST, Korea

²Electronic Materials Research Center, KIST, Korea

³Department of Display and Semiconductor Physics, Korea University, Korea

⁴KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Korea

In the field of spin-based devices, spin-orbit interaction is very fascinating mechanism, because spin and charge can be simultaneously modulated at the same time. Using a high mobility semiconductor channel, gate controlled spin precession has been reported [1]. Recently, the oxide based two-dimensional system has a great concern in the field of spin electronics because it shows interesting electronic and magnetic properties. $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ (LAO/STO) has an inherent space inversion asymmetry causing an internal electric field near the interface. The Rashba spin-orbit coupling arising from this structural characteristics has a considerable influence on spin transport. However, the detection of Rashba effect using the conventional Shubnikov-de Haas oscillation or weak antilocalization method is not simple due to the relatively low mobility. In this research, we detect Rashba effect induced mobility change in a LAO/STO interface using spin filtering effect [2, 3]. Due to the different barrier heights, the applied magnetic field produces two different conductivities for spin-up and -down electrons.

In order to observe the Rashba effect, transport measurement of the Hall bar is performed at 1.8 K. The channel consists of a 5nm LAO layer on the STO substrate. The bias current induces Rashba spin splitting which results in the different carrier concentrations for spin-up and -down electrons. When the magnetic field is applied parallel or antiparallel to the Rashba field, the magnetoresistance of the channel is measured.

In a LAO/STO interface, the Rashba field induced magnetoresistance change is observed which is dependent on the sign and magnitude of the field. Our systematic study revealed that these results come from spin dependent transport, by which we obtained quantitative strength of the Rashba coupling. This Rashba strength is highly dependent on temperature: it varies from 2.6×10^{-12} eVm to negligible value in the temperature range of 1.8 ~ 12 K.

[1] H. C. Koo *et al.*, Science, 325, 1515 (2009).

[2] M. J. Gilbert and J. P. Bird, Appl. Phys. Lett. 77,1050 (2000).

[3] G. Papp and F.M. Peeters, Appl. Phys. Lett. 78,2184 (2001).

Composite underlayer/CoFeB/MgO structures with interfacial perpendicular magnetic anisotropy

Chul-Hyun Moon^{1,2*}, Byoung-Chul Min¹, Kyung-Jin Lee^{1,2,3} and Kyung-Ho Shin¹

¹Korea Institute of Science and Technology, Seoul, South Korea

²Korea University, Seoul, South Koera

³KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Seoul, South Koera

Magnetic tunnel junctions (MTJs) with perpendicular magnetic anisotropy (PMA) are used to scale down the cell size of magnetoresistive random access memories (MRAMs), since magnetic layers with PMA can provide large enough thermal stability to avoid unwanted switching of nano-magnetic elements. The Ta/CoFeB/MgO structure is known to have a decent interfacial PMA, and perpendicular-MTJs based on these structures provide a high Tunnel magneto-resistance (TMR) of over 120% [1]. It has been recently reported that the PMA in Ta/CoFeB/ MgO structure can be improved by replacing Ta by Hf [2]. Here we have studied the effect of composite underlayers on the PMA in underlayer/CoFeB/Mg/MgO structures.

We have deposited samples using both DC and RF magnetron sputtering on the oxidized Si substrates, and annealed the samples at various temperatures. The magnetic properties were characterized by vibrating sample magnetometer (VSM), and the PMA and interface anisotropy energy are obtained using *M-H* curves.

The magnetic properties of composite underlayer/CoFeB/Mg/MgO structures depend significantly on the underlayer and annealing temperature. We found that the diffusion of boron as well as the underlayer material mainly contributes to the effective magnetic thickness, saturation magnetization, and interface PMA of underlayer/CoFeB/Mg/MgO structures. By selecting a proper combination of underlayer materials, it is possible to obtain a high interfacial PMA with annealing at a relatively high-temperature.

References

- [1] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, et al., Nature Materials 9, 721 (2010).
- [2] T. Liu, J. W. Cai, and L. Sun, AIP Advances 2, 032151 (2012).

Energy barrier of nanomagnet with perpendicular magnetic anisotropy

Kyungmi Song^{1*}, Kyung-Jin Lee^{1,2}

¹KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul 136-701, KOREA

²Dept. of Mater. Sci. and Eng., Korea University, Seoul 136-701, KOREA

1. Introduction

Examining the thermal stability of nano magnets with perpendicular magnetic anisotropy is important because the data retention time of magnetic random access memory(MRAM), the most promising next generation memory, is determined by the thermal stability.[1] In this work, based on the Nudged Elastic Band(NEB) method[2-5] we calculate the energy minimum state of the switching situation. [4, 5] Then we investigate the thermal stability of a non-uniform switching in these nanomagnet system for two type of cell geometry and various sizes.

We find that the energy barrier depends not only on the cell size but also on the shape of cell when the switching is governed by the domain wall nucleation. We will also show the field-dependence of the energy barrier for circular cell and then compare the energy barrier of the circular cell with that of square cell.

2. Modeling Scheme

Using the NEB method, we compute the energy barrier by tracing the energy minimum path that is obtained by minimizing the gradient of the energy [3]. We use the following parameters for NEB modeling: the perpendicular magnetic anisotropy density K_u is $7 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$, the saturation magnetization is 1000 emu/cm^3 , and the free-layer thickness t is 1.5 nm . We use the exchange stiffness constant A_{ex} of $1 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$. We also vary the shape and diameter L of the nanomagnet cell and applied external field. Commonly, STT-MRAM shows uniform single domain switching for a small cell and domain wall switching for a large cell. Figure 1(a) shows the NEB images of the domain wall switching (DWS) for $A_{ex} = 1 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$, and cell size = 40 nm for two types of the cell geometry. A rainbow color section in the middle is a domain wall formed during the magnetization switching.

3. Result and Discussion

Figure 1(b) shows the field dependence of energy barrier E_B at $A_{ex} = 1 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$ and various cell sizes for a circular cell. We find that the single domain switching occurs for the cell diameter smaller than 30 nm whereas the domain wall switching occurs otherwise. An interesting feature is that the critical field vanishing E_B depends strongly on the cell diameter.

We also compare the energy barrier for various cell size according to the cell geometries(see the Fig1(c)). When the cell size is small, the energy barrier for square shaped cell is larger than that for the circular cell. However, as the cell size increases, the energy barrier of the square and circle cells becomes similar. We attribute this phenomenon to domain wall formation. When the domain wall switching occurs, the energy barrier is crucially affected by domain wall energy and thus domain wall length that is determined by the cell diameter. Therefore, when the system undergoes domain wall switching, the energy barrier should be proportional to the cell diameter regardless of the shape.

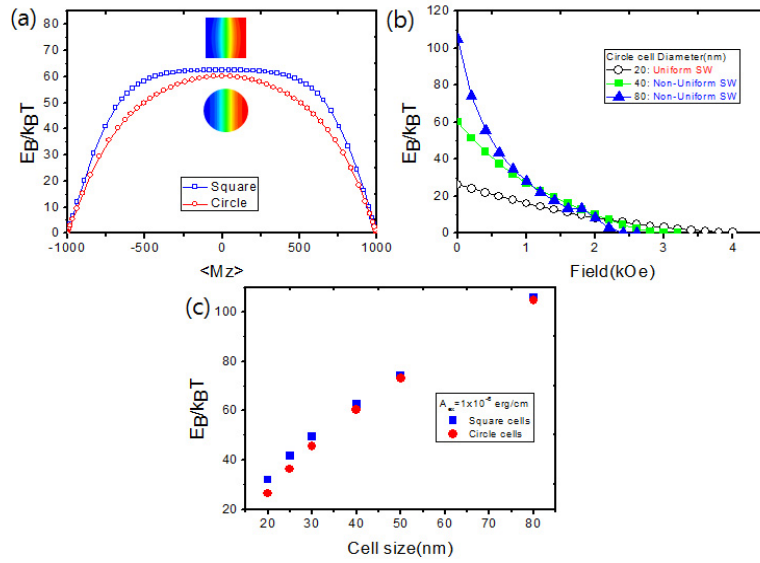


Fig 1 (a) NEB image of domain wall switching for $A_{ex}=10^{-6}$ erg/cm, cell size = 40nm for both of square and circular cell and external field is zero. (b) Field-dependence of energy barrier at various cell diameters for circular cell. (c) comparison of the energy barrier for square and circular cell when the cell size is 40nm.

4. Summary

We investigate the field-dependence of energy barrier for various cell diameters and two type of geometry through the NEB method. We find that the energy barrier can depend strongly on the cell size when the switching is governed by the domain wall motion. Moreover we also examine the cell size dependence of energy barrier for two type of cell geometry. In the presentation, we will discuss the effect of domain wall formation and more various cell size on the energy barrier in detail.

5. Acknowledgments

This work was supported by the KU-KIST School Joint Research Program.

6. References

- [1] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura and H. Ohno, "A perpendicular-anisotropy CoFeB - MgO magnetic tunnel junction," *Nature Materials.*, vol.9, 721 - 724 (2010)
- [2] G. Henkelman, B. P. Uberuaga, and H. Jónsson, "Improved tangent estimate in the NEB method for finding minimum energy paths," *J. Chem. Phys.*, vol. 113, p. 9901, 2000
- [3] H. Jónsson, G. Mills, K. W. Jacobsen, Nudged Elastic Band Method for Finding Minimum Energy Paths of Transitions, in *Classical and Quantum Dynamics in Condensed Phase Simulations*, Ed. B. J. Berne, G. Ciccotti and D. F. Coker, 385 (World Scientific, 1998).
- [4] A V Khalkovskiy et. al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* 46 074001 (2013).
- [5] G. D. Chaves-O'Flynn, E. Vanden-Eijnden, D. L. Stein and A.D. Kent. *J. Appl. Phys.* 113, 023912 (2013)

Spin Hall Magnetoresistance in W/CoFeB/MgO structure

SOONHA CHO^{1*}, Y. W. Oho¹, K. D. Lee¹, B. G. Park¹

¹Department of Materials Science and Engineering, KAIST, Daejeon, 305-701, Republic of Korea

1. Introduction

Heavy metal/CoFeB/MgO heterostructures with large perpendicular magnetic anisotropy(PMA) have been known to exhibit efficient current-induced magnetization switching by in-plane current injection[1]. The origin of magnetization switching by current is typically ascribed to the interfacial contribution of CoFeB/MgO and a large spin-orbit coupling(SOC) of a heavy metal underneath where both the Rashba[2] and the spin Hall effect[3] play an important role. We investigated magnetoresistance for such stack by utilizing tungsten(W) as a heavy metal layer because of the giant spin Hall effect of W due to large spin Hall angle compared to other heavy metal such as Ta and Pt[4].

2. Experiment

W and Co₃₂Fe₄₈B are sequentially sputtered on an oxidized silicon substrate by DC magnetron sputtering at 3 mTorr. On top, MgO layer is deposited by RF magnetron sputtering at 10 mTorr. Finally, 1nm Ta layer was deposited as capping layer to prevent MgO layer from being over-oxidized. After the sputtering processes, subsequent thermal annealing procedure was followed at 250 °C for 30 min.

The magnetic properties of the films were characterized by Vibrating Sample Magnetometer(VSM). For electrical measurement, 5μm Hall bar structure was patterned by the photo-lithography and etched by the ion milling. Subsequently, Ru top electrode was fabricated by sputtering and lift-off method. The anomalous Hall resistance(AHR) and the anisotropic magnetoresistance(AMR) were measured simultaneously by injecting ac current under in-plane magnetic fields tilted a few degree out of film plane(Fig. 2a).

3. Result and Discussion

First, a considerable PMA(~ 0.2 erg/cm²) was achieved in W(5)/CoFeB(0.8, 1.0, 1.2, 1.4)/MgO(1.6) structure by VSM(Fig. 1a); numbers in the parenthesis have nanometer unit. Such PMA is sufficient for high thermal stability and low critical current for magnetization switching[5].

For the sample with 1.2nm CoFeB thickness, the AHR was measured under in-plane magnetic fields in the direction of both x and y(Fig. 2b). However, the AMR was measured in the samples only under the magnetic field along y direction(Fig. 2c). Recently, this phenomenon, called spin Hall magnetoresistance(SMR), has been reported in thin films using YIG as ferromagnetic layer[6][7]. We measured much larger SMR for CoFeB than previous studies for YIG.

To clarify the results, W(5)/CoFeB(3.0)/MgO(1.6) sample with in-plane magnetic anisotropy along x direction was prepared(Fig. 2d). The planar Hall resistance(PHR) was measured due to in-plane magnetization(Fig. 2e), and SMR was also observed(Fig. 2f).

The same measurements were done for other samples possessing the PMA, and similar results were obtained(Fig. 3).

4. Conclusion

Effective magnetic fields induced by in-plane current injection in heavy metal/CoFeB/MgO heterostructures, causing current-induced magnetization switching or domain wall motion mostly, originate from the spin-Hall and the Rashba effect. Since the symmetry of effective fields arising from those two effects is the same, decoupling of each contribution is difficult. By employing tungsten as a bottom layer in such heterostructures, the contribution of spin Hall effect can be differentiated due to large spin Hall angle of tungsten.

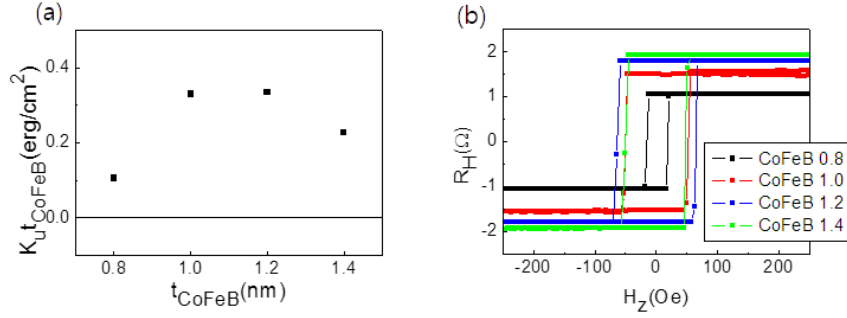


Fig 1. Characterization of magnetic properties.

(a) Perpendicular magnetic anisotropy energy, (b) Anomalous Hall resistance under magnetic field perpendicular to the film in W(5)/CoFeB(t)/MgO(1.6). $t=0.8, 1.0, 1.2, 1.4\text{nm}$.

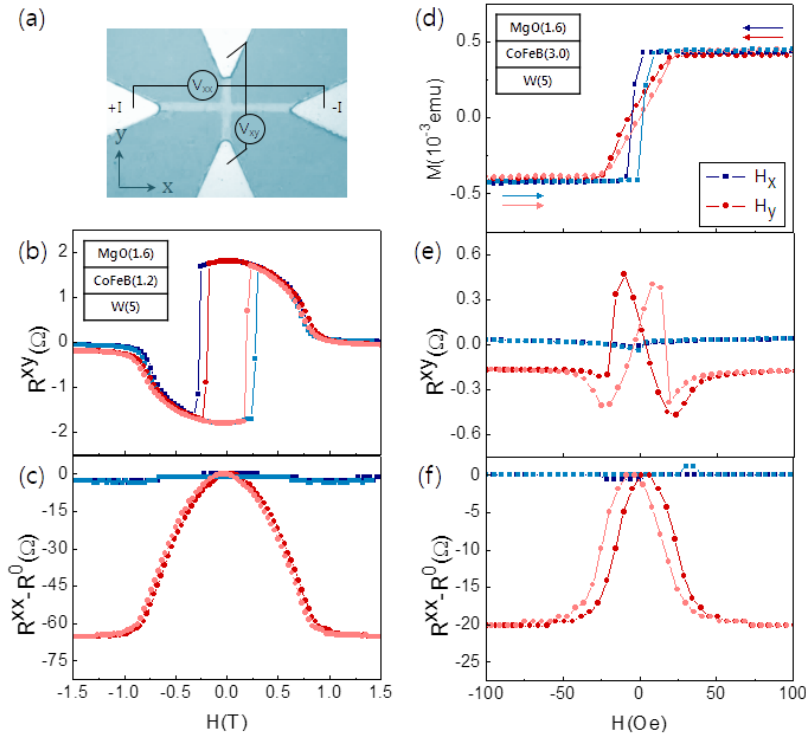


Fig 2. Device schematic and magnetoresistance measurement.

(a) Hall bar geometry. (b) Anomalous Hall resistance and (c) spin Hall magnetoresistance under in-plane magnetic fields along x or y direction for W(5)/CoFeB(1.2)/MgO(1.6) with PMA. (d) VSM measurement, (e) anomalous Hall resistance and (f) spin Hall magnetoresistance under in-plane magnetic fields along x or y direction for W(5)/CoFeB(3.0)/MgO(1.6) with in-plane anisotropy.

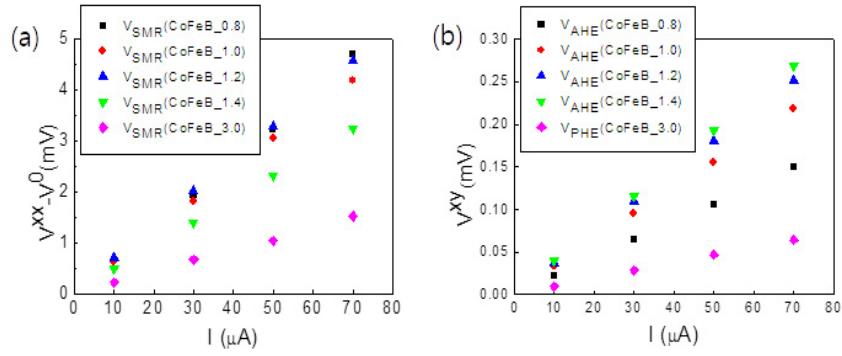


Fig 3. Magnetoresistance measurement for various ferromagnetic layer thicknesses and current levels.

(a) Spin Hall voltage under in-plane magnetic field along y direction.

(b) Anomalous or planar Hall voltage under in-plane magnetic field along y direction.

5. Reference

- [1] Junyeon, Kim *et al.* Layer thickness dependence of the current-induced effective field vector in Ta/CoFeB/MgO, *Nature Mater.* 12, 240 (2013).
- [2] Miron, I. M. *et al.* Current-driven spin torque induced by the Rashba effect in a ferromagnetic metal layer. *Nature Mater.* 9, 230 (2010).
- [3] L. Liu. *et al.* Spin-Torque switching with the giant spin Hall effect of tantalum, *Science* 336, 555 (2012).
- [4] Chi-Feng Pai *et al.* Spin transfer torque devices utilizing the giant spin Hall effect of tungsten, *Appl. Phys. Lett.* 101, 122404 (2012).
- [5] Ikeda, S. *et al.* A perpendicular-anisotropy CoFeB-MgO magnetic tunnel junction, *Nature Mater.* 9, 721 (2010).
- [6] H. Nakayama *et al.* Spin Hall magnetoresistance induced by a nonequilibrium proximity effect, *Phys. Rev. Lett.* 110, 206601 (2013).
- [7] N. Vlietstra *et al.* Exchange magnetic field torque in YIG/Pt bilayers observed by the spin-Hall magnetoresistance, *Appl. Phys. Lett.* 103, 032401 (2013).

Spin Injection Properties in MoS₂ Lateral Spin Valves

전병선^{1*}, 황찬용¹

¹한국표준과학연구원 나노측정센터

1. 서론

2D-layered transition metal dichalcogenides semiconductor molybdenum disulfide (MoS₂) has received significant attentions. The bulk MoS₂ is an indirect-gap semiconductor with a band gap of 1.29eV consisting of weak van der Waals bonded S-Mo-S units. With decreasing thickness, whereas, shift in the indirect gap from the bulk value to the direct gap with a band gap of 1.9eV at monolayer due to the quantum confinement. Because monolayer MoS₂ has a band gap completely block the current in the FET's off-state with carrier mobility of 200 cm²/Vs at roomtemperature.

Monolayer MoS₂ has strong spin orbit coupling originated from the d orbitals of the heavy metal atoms but induces large spin splitting of up to 456meV at the valance band due to a broken structure inversion symmetry of the bulk compounds in the monolayer case. This spin splitting suppresses the Dyakanov-Perel spin relaxation time and results, long spin diffusion length is expected regardless of the strong spin orbit coupling. On account of broken structure inversion symmetry, MoS₂ is a fascinating material for spintronics application.

2. 실험방법

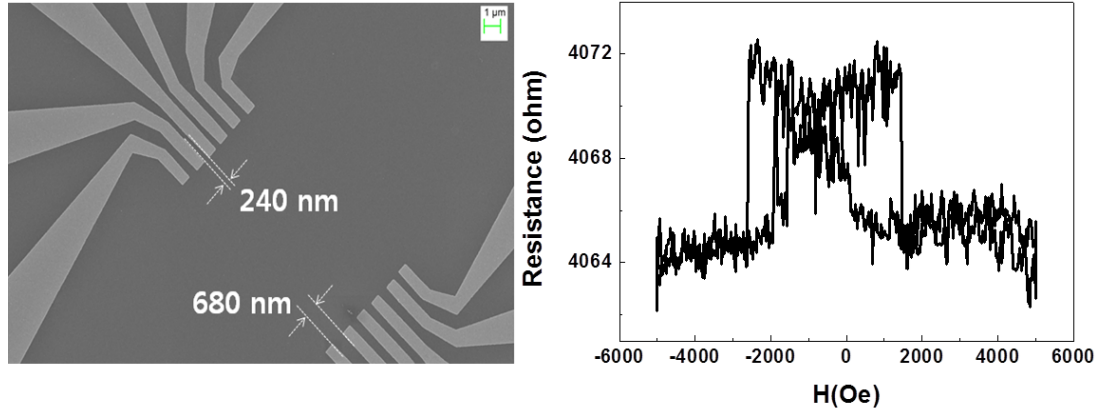
Mo thin film samples were prepared on 1x1 cm MgO (100) single crystalline substrates by molecular beam epitaxy (MBE). MoS₂ thin films were prepared by sulfurization of molybdenum layers based on a vapor phase growth technique. The Raman measurements with a 532nm laser wave length were performed using a Witecalpha 300R confocal Raman system. Device fabrication was carried out using e-beam lithography employing a negative-tone ma-N2403 resist and Ar⁺ ion etching. Subsequently, after removal of the resist, UV lithography patterning was performed to fabricate the macroscopic metal contacts. The magnetoresistance and I-V curves of MoS₂/CoFe lateral spin valve structure were characterized using a physical property measurement system (PPMS) by Quantum Design.

3. 실험결과

A schematic illustration of the device structure and a scanning electron microscopy (SEM) image are shown in Figure. A standard local geometry was used to measure the spin signal of the lateral spin valve (SV) structure. As shown in this figure, our lateral local SV structure is composed of ferromagnetic (FM) CoFe electrodes separated by a non-magnetic semiconductor MoS₂ layer. By applying a current between the two electrodes, spin polarized carriers are injected into a MoS₂ from a first CoFe electrode then detected by a second CoFe electrode that is placed within the spin diffusion length associated with the semiconductor materials. The local resistance is measured as the applied magnetic field swept from a positive to a negative value followed by an pposite sweep back to positive value both the field direction along in-plane and perpendicular to the sample axis. The difference in the CoFe electrodes shape is proposed to facilitate a magnetic configuration due to the shape anisotropy at which the magnetization in the pads switches so that a variation of coercivity can be obtained. In order to

analogize the spin diffusion length in the MoS₂, we fabricated different gap size between the CoFe electrodes from 240 nm to 680 nm.

The magnetoresistance (MR) ratio was measured to detect spin injection and transport in MoS₂ lateral SV by applying both in-plane and perpendicular magnetic field to the easy axis of sample from 300 K to 10 K. No measurable MR was observed for MoS₂ lateral SV above 120 K but clear MR is observed at below 120 K. This indicates electrical spin injection from CoFe then transport to MoS₂ layer. The magneto-transport curves show magnetization switching characteristics consistent with the coercivity(H_c) difference between the spin injector and spin detector CoFe electrodes due to the different shape anisotropy.



Effect of activated electron beam on FCC to FCT phase transformation of FePt films

S.Y. KIM*, H.N. LEE, Y.K. KIM, T.W. KIM

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

During the past several years, FePt films of face-centered tetragonal (FCT) structure have drawn remarkable attention because of its potential technologies for ultra-high density magnetic recording media and its large magneto-crystalline anisotropy energy density.

To make $L1_0$ structure from A1 structure in FePt films, we used a different method unlike general annealing process. General process of phase transformation in FePt films is post deposition annealing for over 2 hours in more than 400°C. But we designed the phase transformation from face-centered cubic (FCC) structure to face-centered tetragonal (FCT) structure at FePt films by using activated electron beam.

FePt films is used as alloy target which has a $Fe_{50}Pt_{50}$ proportion, and FePt 100nm deposited on SiO_2 substrate through the DC magnetron sputtering system. 400V voltage electron beam is powered into this experiment, and time range of exposed samples is from 30sec to 10min. Samples are fixed in 2×10^{-7} Torr Initial pressure and 3 mTorr working pressure, and energy is supplied to FePt films by using activated electron beam. In an X-ray diffraction (XRD) measurement of FePt films, perfect phase transformation occurs in about 10 min.

Consequently, exposed electron by using activated electron beam is shown a simple process of phase transformation in contrary with long-term annealing method.

두께에 따른 연료전지 공기극 Pt(111) 촉매 반응성과 자성: 제일원리 계산

권오룡*, 홍순철

울산대학교, 물리학과, 울산시 남구 무거동 대학로 93, 680-749

현재 운송수단에서 화석연료기관을 대체 할 동력기관으로 연구 되고 있는 PEM 연료전지는 공기극(cathode)과 연료극(anode)에서 Pt 을 촉매로 사용한다. 하지만 공기극에서 일어나는 O_2 환원반응은 하는 연료극에서 일어나는 H_2 의 산화반응에 비해 느려 공기극의 촉매 작용이 연료전지의 전체 효율을 결정한다. 또한 표면 피독 현상도 연료극에 비해 심하여 공기극의 촉매로 사용되는 Pt를 대체하거나 Pt 사용량을 줄이기 위한 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 Pt박막의 두께에 따른 촉매 반응성을 제일원리 계산방법으로 연구하여 전자구조와 자성이 촉매반응성에 미치는 영향을 알아보았다. 제일원리 계산방법으로 VASP(Vienna Ab-initio Simulation Package)을 이용하여 Pt박막에서 가장 촉매반응성이 높은 것으로 알려진 Pt(111) 표면의 1, 2, 3, 4, 5층 박막을 계로 설정하였다. 각 층간 거리는 힘과 총에너지 계산을 통해 완전히 이완시켰다. 모든 층수의 Pt(111) 박막에서 bridge 자리의 O_2 흡착이 가장 안정하였으며, O_2 분자가 해리 된 후 O 원자는 fcc 자리에 흡착하는 것이 가장 안정한 것으로 계산되었다. 이를 바탕으로 NUDGED ELASTIC BAND (NEB) 방법을 통하여 O_2 분자의 해리 경로를 계산하였다. 계산 결과 TSΔE는 1층, 2층, 3층, 4층의 Pt(111) 박막에서 TSΔE가 각각, 1.45 eV, 0.76 eV, 0.67 eV, 0.76 eV로 계산되었다. 촉매 반응성을 이론적으로 예측하는 방법으로 d-band center 이론으로 분석하는 것이 대표적인데 본 연구에서는 d-orbital을 $m=0$, $m=1$, $m=2$ 그리고 d orbital 전체로 분석하였으며, NEB 계산 결과와 비교하여 보면, $m=0$ 의 d-band center와 각 층 구조의 TSΔE가 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.

A first principles study of electric field effect on magnetization and magnetocrystalline anisotropy: FeCo and FeCo/MgO

Purev Taivansaikhan^{*}, Dorj Odkhuu, Oryong Kwon and Soon Cheol Hong[†]

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

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

The magnetic and electronic properties of bulk and thin films of FeCo and FeCo/MgO have been investigated using first-principles calculations. For the thin film FeCo, as number of layers increases from a monolayer (ML) to 5 MLs, surface magnetic moments of Fe are feasibly decreased from $3.19\mu_B$ to $2.97\mu_B$, whereas it is enhanced from 2.16 to 2.71 for Co case. Those magnetic moments at surface are much larger than that in bulk FeCo. However, in the presence of the substrate MgO, magnetic moments of interface Fe and Co are dramatically decreased caused by interaction with the MgO substrate. Additionally, the magnetocrystalline anisotropy (MCA) energies of FeCo/MgO film enhanced to +1.74 meV/cell in the 2ML, but it showed in-plane MCA in the 3ML to 5ML FeCo/MgO.

Furthermore, by applying electric field along z axis, magnetic moment of Fe atom in Fe/MgO is increased from $2.82\mu_B$ ($EF=0$ eV/Å) to $2.87\mu_B$ ($EF=1$ eV/Å). Additionally, MCA at the interface can be modified by an applied electric field. We will discuss in detail in the presentation the external electric field effect on MCA depending on thickness of FeCo films on MgO substrate.

Magnetic Anisotropy of Boron Doped FeCo Alloy: First principles study

Khan Imran^{*}, Jicheol Son, Jisang Hong

Department of Physics, Pukyong National University, Busan 608-737, South Korea

Using the full potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method, we have investigated the role of boron doping on the magnetic anisotropy of FeCo alloy. Furthermore the coercive field H_c and Maximum energy product $(BH)_{max}$ is investigated. With these studies, we have discussed on the potential application of rare earth free permanent magnet.

(This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (No. 2013R1A1A2006071) and Converging Research Center Program through the Ministry of Education, Science and Technology (No. 2012K001312))

Strain induced Magnetocrystalline Anisotropy in double perovskite $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$

Jicheol Son^{*}, Jisang Hong

Department of Physics, Pukyong National University, Busan 608-737, South Korea

Transition metal oxides with perovskite structure is an essential class of materials which posses a range of typical properties in magnetism. Herein, we have systematically investigated the electronic structure, magnetic and optical properties of the double perovskite oxides $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$ using first principles calculations. In particular, we have explored the strain effect on the magnetocrystalline anisotropy and optical property of $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$.

(This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (No. 2013R1A1A2006071) and Converging Research Center Program through the Ministry of Education, Science and Technology (No. 2012K001312))

강자성체의 효율적인 탈자 기법 연구

주혜선^{1*}, 정현주², 박관수¹

¹부산대학교

²국방과학연구소

1. 서론

강한 자기적 특성을 가지는 강자성체는 큰 보자력과 높은 투자율로 인해 전자전기 산업 전반에 응용되고 있다. 전기기기의 소형화 및 고성능화 추세에 따라 높은 자기특성을 지닌 희토류계 자석이 개발되었고 이러한 자성재료들이 영구자석 기기 및 HDD 등의 산업에 적용되기 위해서는 착자 및 탈자 시스템이 이루어져야 한다. 특히 탈자는 자성체에 외부 자기장이 제거된 이후에도 남아있는 강한 자기장 특성을 0으로 줄여야 하므로 세밀한 탈자 기법이 요구된다. 또한 최근 네오디뮴(NdFeB)과 사마륨코발트(SmCo)와 같은 큰 보자력과 각형비를 가지는 재료가 개발되어, 재료의 특성을 고려하지 않은 일반적인 탈자기법으로는 한계가 있다. 또한 국방 연구분야에서, 함정에서 발생하는 수중 자기장을 이용한 기뢰, 어뢰, 대잠 초계기 등의 무기들의 발달로 인하여 피탐지 되기위한 탈자 연구의 중요성이 부각되고 있다. 하지만 현재 탈자에 사용되는 기법으로는 Anhyseretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D Deperm이 있지만 이는 선진국에서의 실험과 경험에 의존한 기법들로, 탈자 대상체의 자기적 특성을 반영하지 못해 비효율인 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 Preisach 모델을 이용하여 강자성체의 자기적 특성을 표현하고, 2차원 유한요소해석을 수행하였다. 그리고 탈자기법의 구성요소에 따른 내부 자화량 분포 해석을 통해, 강자성체의 자기적 특성을 반영하는 탈자기법을 새롭게 제안하였다.

2. 실험방법

자기이방성이 강한 재료의 특성만을 고려한다는 가정하에 자화용이축 방향의 한 성분만을 취급하는 Scalar Preisach 모델을 사용하였다. 해석 프로그램은 Preisach 모델링 기법과 유한요소해석을 결합한 2D simulation tool로서 탈자 과정에 따라 변화하는 히스테리시스 특성을 반영한 전자기 해석을 수행한다. 탈자 기법에 따른 내부 자화량 분포 해석을 위한 탈자 해석 과정은 다음과 같다.

- 1) 탈자 모델을 구성하기 위해, 탈자 대상체인 강자성체 재질과 이에 수평방향 탈자 자기장 인가되기 위한 솔레노이드 X축 코일을 배치한다.
- 2) 강자성체의 재질 특성을 표현하기 위해, 아래와 같은 Gaussian 분포함수인 식을 이용하여 Preisach 평면도상의 보자력 밀도를 표현한다.
- 3) 강자성체의 착자를 위해, 솔레노이드에 착자 전류를 인가하고 2차원 유한요소 해석을 수행한 후 수평방향의 Mx값의 분포를 ColorMap으로 비교한다.
- 4) 탈자 기법을 구성하여 이를 솔레노이드에 인가되는 전류식으로 환산하여, 해석에 적용한다. 탈자 전류에 따른 교번 자기장이 탈자 대상체의 수평방향으로 인가되면, 탈자 전류의 증감에 따른 Preisach 평면도의 자기이력궤적이 남고 이를 적분하여 전체 Mx값을 계산한다.
- 5) 탈자 후 결과비교를 위해 수평방향의 Mx값의 분포를 ColorMap으로 비교한다. 또한 수치적인 비교를 위해 탈자 대상체의 중심부로부터 수직으로 16cm 이격된 x축 범위가 -1m~+1m인 거리 내에서의 수평 자기장 성분인 Bx와 수직 자기장 성분인 Bz의 Peak값을 비교한다.

3. 실험결과

탄소강 재질의 SM45C 재질을 이용한 탈자 해석을 통해 탈자 대상체의 내부 자화분포를 비교분석한다. 선형적인 전류 감소특성을 가지는 Anhyteresis Deperm과 지수함수의 전류 감소특성을 가지는 Deperm ME 프로토콜에 따른 탈자 해석 결과를 제시하였다. 강자성체의 히스테리시스 현상과 탈자 결과간의 상관관계를 유추하여 이를 반영한 효율적인 강자성체의 탈자기법 정립에 대한 연구를 수행하였다.

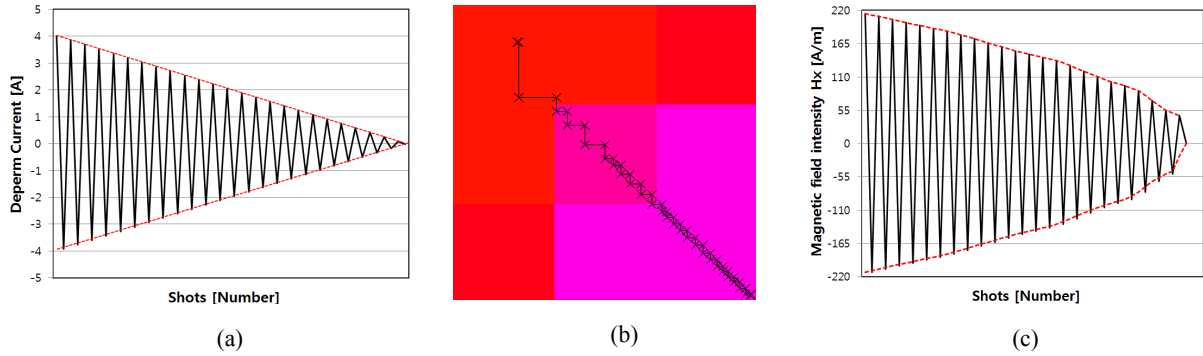


그림 1. Anhyteresis Deperm 탈자 전류 및 결과:

(a) 탈자 전류, (b) Preisach 평면의 자기이력궤적, (c) 탈자 대상체에 가해지는 전체 자기장

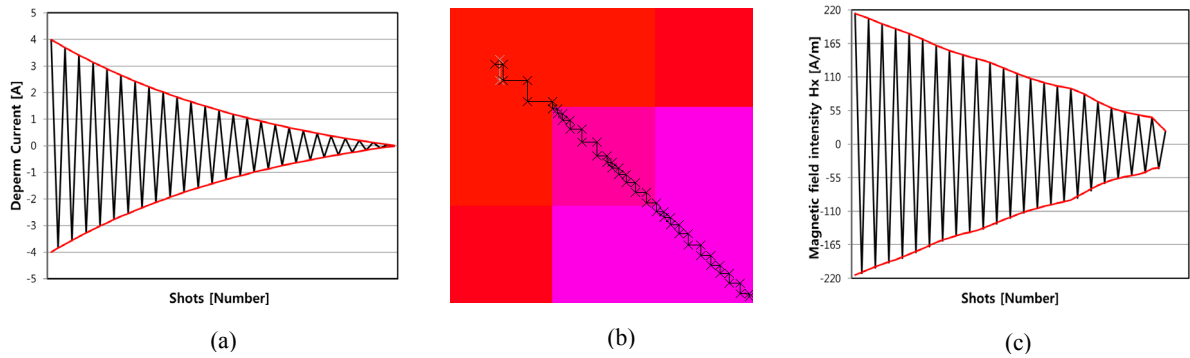


그림 2. Deperm-ME 탈자 전류 및 결과:

(a) 탈자 전류, (b) Preisach 평면의 자기이력궤적, (c) 탈자 대상체에 가해지는 전체 자기장

4. 결론 및 고찰

탈자 대상체로의 중심부로부터 수직으로 16cm 이격된 x축 범위가 -1m~+1m인 거리 내에서 탈자 후 자기장을 비교하면, Anhyteretic Deperm보다 Deperm-ME의 탈자 성능이 더 우수하였으며, 이는 반자장의 영향으로 탈자대상체에 인가되는 전체자기장의 선형성과 연관이 있다. Anhyteretic Deperm의 경우 선형적인 탈자 전류 및 인가 자기장의 특성과 달리 반자장의 영향으로 종 모양의 전체자기장 값을 가지게 되므로 Shots 초반에는 전류변화량이 작지만 점점 전류 변화량이 큰 특성을 가진다. 반면 지수함수의 감소특성을 가지는 Deperm-ME의 은 선형적으로 감소하며 Shots 후반에 Anhyteretic Deperm에 비해 탈자 전류의 감소량이 적다. 따라서 작은 전류 감소량으로 인해 자구의 개수가 많아져서 탈자 성능이 효율적임을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] H. Won, H. S. Ju, S. Park and G. S. Park, IEEE Trans. Magn. 49(5), 2045 (2013).
- [2] H. Won, Numerical Modeling of Hysteresis Phenomenon Based on the Mechanism of Magnetic Structures, Ph.D. Thesis, Pusan National University (2010).

Phase diagrams of the stable skyrmion with Dzyaloshinskii-Moriya interaction

Jae-Woong Yoo^{1*}, Seung-Jae Lee², Jung-Hwan Moon¹, and Kyung-Jin Lee^{1,2}

¹Department of Materials Science & Engineering, Korea University, Seoul 136-701, South Korea

²KU-KIST Graduate School of Converging Science & Technology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

1. Introduction

Magnetic skyrmions are topologically stable spin textures. Recently, a single magnetic skyrmion is of considerable interest because of its rich physics and potential for information carrier in storage devices [1, 2]. In this work, we study a single skyrmion generated by Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interaction [3, 4], and provide phase diagrams with various parameters. The DM interaction, the antisymmetric exchange interaction, is caused by the broken inversion symmetry with the spin-orbit coupling (SOC). We use the interfacial DM interaction that is present at the interface between a ferromagnet and a normal metal with strong SOC. Based on micromagnetic simulation, we find condition for the stable single skyrmion. Sampaio et al. [5] reported the phase diagram of an isolated skyrmion in nanodisks. However, the phase diagram of a single skyrmion in nanowires has been not reported yet. This work will be useful to design nanowires, for use of the single skyrmion.

2. Method

We solve Landau-Lifshitz-Gilbert equation, given as

$$d\mathbf{m}/dt = -\gamma \mathbf{m} \times \mathbf{H}_{\text{eff}} + \alpha \mathbf{m} \times d\mathbf{m}/dt, \quad (1)$$

where \mathbf{m} is the unit vector along the local magnetization, γ is the gyromagnetic ratio ($= 1.76 \times 10^7 \text{ Oe}^{-1} \text{ sec}^{-1}$), α is the damping constant ($= 0.3$), and \mathbf{H}_{eff} is the effective magnetic field including the exchange, anisotropy, magnetostatic, and DM fields.

To construct phase diagrams, we vary the DM constant D (0 to 9 erg/cm²), the perpendicular anisotropy energy density K_u (0.1 to $1.9 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$), the exchange stiffness constant A_{ex} ($= 1.5 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$), the saturation magnetization M_s ($= 580 \text{ emu/cm}^3$), the thickness ($= 0.4 \text{ nm}$), and the width ($= 40 \text{ nm}$) of nanowire. The cell size is $1 \times 1 \times 0.4 \text{ nm}^3$. We also construct phase diagram for nano squares. The width and length of the nano square are the same ($= 40 \text{ nm}$).

3. Result

We define several magnetic configurations as shown in Fig. 1.

Phase diagrams as functions of D and K_u for nanostructures are shown in Fig. 2 (a) and, (b). Here, we use A_{ex} of $1.5 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$, and M_s of 580 emu/cm^3 . We obtain several distinct regions; the uniformly magnetized state (stable FM) is stable (in blue), a single skyrmion is stable (in green), and distorted magnetized array is obtained (in yellow).

By comparing Fig. 2(a) and Fig. 2(b), one finds that a stable skyrmion region in nano square is much wider than in nanowire. We attribute this difference to the confinement effect due to the pattern shape. In nanowires,

the confinement exists only in the y-direction, but In nano squares, the confinement exists in both x- and y-directions.

4. Conclusion

Based on micromagnetic simulation, we investigate the phase diagram of a single skyrmion in nanowire and nanosquare. We find that the single skyrmion phase is obtained more easily for the case with higher perpendicular anisotropy, higher DM interaction.

Our result will be helpful in order to design materials and devices of a single skyrmion in a nanowire.

5. reference

- [1] A. Fert, V. Cros, and J. Sampaio, *Nat. Nanotech.* **8**, 152 (2013).
- [2] N. Nagaosa and Y. Tokura, *Nat. Nanotech.* **8**, 899 (2013).
- [3] I. Dzyaloshinskii, *J. Phys. Chem. Solids* **4**, 241–255 (1958).
- [4] T. Moriya, *Phys. Rev.* **120**, 91–98 (1960).
- [5] J. Sampaio, V. Cros, S. Rohart, A. Thiaville, and A. Fert, *Nat. Nanotech.* **8**, 839 (2013).

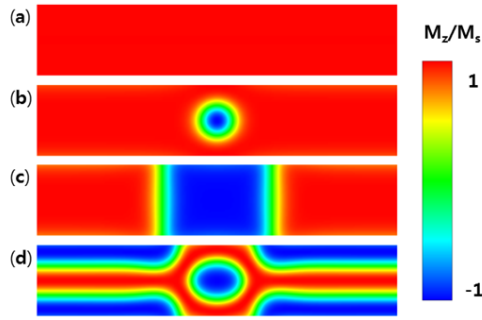


Fig. 1. Definition of each magnetic state. (a) is uniformly magnetized state, (b) is stable skyrmion state, (c) and (d) are distorted shape state.

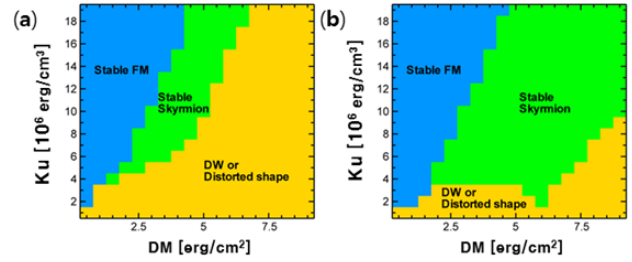


Fig. 2. D (DM interaction) - K_u (perpendicular anisotropy) phase diagrams of (a) nanowire and (b) nanosquare. Here we use A_{ex} of 1.5×10^{-6} erg/cm and M_s of 580 emu/cm³.

Effect of damping and external field on current-induced skyrmion dynamics in a nanowire

Seung-Jae Lee^{1*}, Jung-Hwan Moon², and Kyung-Jin Lee^{1,2}

¹KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul, Korea

²Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul, Korea

1. Introduction

When inversion asymmetry is present in magnetic system, the system has the antisymmetric exchange interaction called Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interaction [1,2].

The DM interaction can make nano-sized skyrmions which are topological spin textures. It has been predicted that such nano-sized magnetic skyrmions can be used for information unit in ultrahigh density storage and logic devices [3]. In this respect, it is important to understand current-induced skyrmion dynamics for various magnetic properties. In this work, we investigate effect of the damping constant and the magnitude/direction of external field on current-induced skyrmion motion in a nanowire, based on micromagnetic simulations.

2. Simulation Scheme

In Ref. [3,4], skyrmion velocity is expected to be proportional to skyrmion diameter, current density and inversely proportional to the damping constant. Skyrmion diameter changes with perpendicular external field. [4]

We investigate skyrmion velocity using Landau-Lifshitz-Gilbert equation with an spin hall spin transfer torque with current density, damping constant, and external field as variables. We assume following parameters; nanowire width is 40 nm, thickness is 1 nm, cell size is $1 \times 1 \times 1 \text{ nm}^3$, saturation magnetization is 800 emu/cm^3 , exchange stiffness constant is $1.2 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$, DM constant is -2 erg/cm^2 , spin hall angle is 0.4, perpendicular magnetocrystalline anisotropy K_u is $0.8 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$.

3. Result and Discussion

Figure 1 shows the velocity of skyrmion linearly increases with current density and $1/(\text{damping constant}) (=1/\alpha)$.

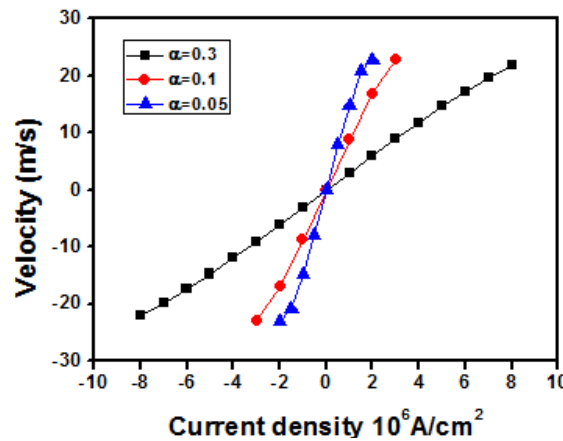


Fig. 1. Skyrmion velocity versus current density at the Gilbert damping constant of 0.3, 0.1 and 0.05.

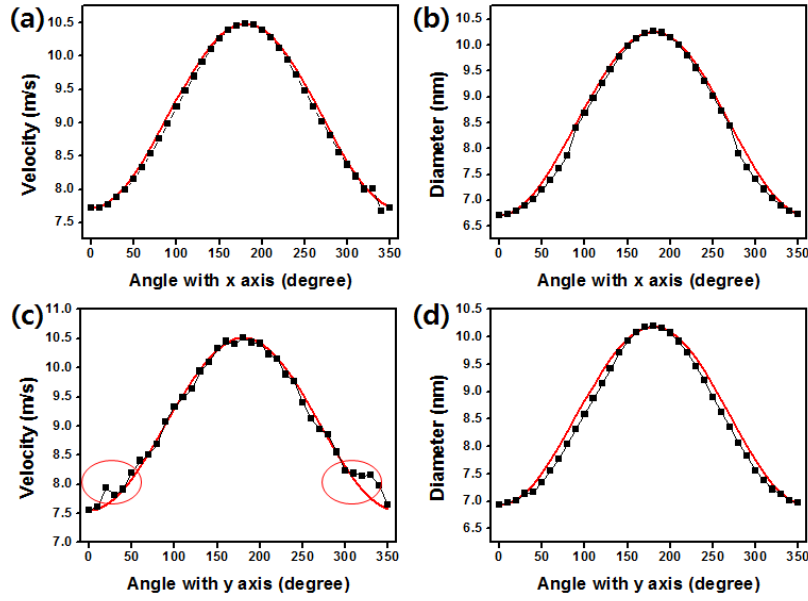


Fig. 2. Skyrmion diameter and velocity versus angle between \vec{H}_{ext} with x(Fig. 2 a), y axis. H_{ext} is 400 oe black squares are simulation result and red line is fitting curve using scaling sin function which indicate ratio of H_z to H_{ext}

Figure 2 shows the correlation between the skyrmion diameter and its velocity. Here the skyrmion diameter is modulated by applying an external field at a certain angle. We test two cases; the external field is in the x-z plane or in the y-z plane, where the x-axis, y-axis, and z-axis are collinear to the nanowire length, width, and thickness directions, respectively. The angle is measured from the z-axis. We find the skyrmion diameter is scaled with the z-component of the external field, that is, $\cos\theta$ (Fig. 2(a) and (c)). The skyrmion velocity is also scaled with the z-component of the external field (Fig. 2(b) and (d)), confirming the linear proportionality of the skyrmion velocity to the skyrmion diameter. We also find that this $\cos\theta$ - dependence of the skyrmion velocity is not obeyed strictly in some conditions (see circle in Fig. 2(c)). We attribute this discrepancy to the fact that the boundary effect becomes stronger when the external field is aligned along the width direction.

4. Reference

- [1] I. E. Dzyaloshinskii, Sov. Phys. JETP 5, 1259 (1957)
- [2] T. Moriya, Phys. Rev. 120, 91 (1960)
- [3] A. Fert, V. Cros & J. Sampaio, Nature Nanotechnology 8, 152 - 156 (2013)
- [4] M. E. Koonin, Jairo Sinova, and R. A. Duine, Phys. Rev. B 89, 064425 (2014)

공명기에서 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과의 비가역적인 거동

김상일*, 서민수, 박승영

물성과학연구부, 한국기초과학지원연구원, 대전 305-806, 대한민국

1. 서론

역 스핀 홀 효과를 이용한 스핀 전류의 생성과 측정은 응용 스핀트로닉스 소자의 연구에 중요한 기술로 대두 되고 있다. 최근에 역 스핀 홀 효과가 Py/Pt 샘플에서 스핀 펌핑 방법을 통해서 관측이 되었다[1]. 스핀 펌핑 방법은 강자성 공명 조건하에 세차 운동하는 자화로부터 스핀 전류가 생성되게 하는 방법이고, 역 스핀 홀 효과는 생성된 스핀 전류를 검출하는 방법이다. 이와 같이 검출하는 역 스핀 홀 효과는 TE₀₁₁와 TE₁₀₂ 공명기 내부의 정 중앙에 샘플을 놓고 측정 한다. 공명기의 정 중앙에서는 자기장은 최대가 되고, 전기장은 최소가 된다. 그러나 샘플의 위치가 공명기의 정 중앙으로부터 이탈하게 되면, 잔류 전기장이 샘플에 영향을 주게 된다. 따라서 잔류 전기장으로부터 생성된 이상 홀 효과가 역 스핀 홀 효과 측정을 방해 한다는 연구 결과가 발표 되었다[2]. 공명기 모드[3]와 샘플의 최적의 위치 선택은 역 스핀 홀 효과 성분의 순도 향상을 위해서 중요하다. 또한 이러한 순도 향상을 통해서 최근에 많이 논의가 되는 스핀 홀 각도 인자를 보다 정확하게 유추 할 수 있다[4].

2. 실험방법

강자성 공명 조건 하에 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과로부터 발생하는 직류 전압(V)을 자기장 (H) 주사 방향(H_{LH} : Low H to High H , H_{HL} : High H to Low H)에 따라 TE₀₁₁₍₁₀₂₎ 공명기 모드에서 CoFeB(5 nm)/Pt(10 nm) 샘플을 이용하여 측정 하였다. 그리고, 각각의 공명기 모드에서 얻어진 전압 결과를 분석식을 이용하여 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과를 분리한다. 최종적으로, 이상 홀 효과의 이력현상 분석을 통해 순수한 역 스핀 홀 효과에서 기인한 전압을 얻는다.

3. 실험결과

직류 전압을 측정하기 위해서 샘플의 위치는 각 공명기 내부의 전기장이 최소가 되는 정 중앙에 놓고 실험 하였다. 그림 1의 결과는 TE₁₀₂ 모드 공명기에서 측정된 V 의 결과를 간단한 수식($V=A_{SHE}+B_{AHE}$) [1,3]을 통해서 분석한 결과이다. 그림 2의 결과도 TE₀₁₁ 모드 공명기에서 측정된 V 의 결과를 수식을 통해서 분석한 결과를 보인 것이다. 여기에서, V 는 역 스핀 홀 효과와 이상 홀 효과가 합쳐진 총 전압 값이다. 그림 1(2)의 결과를 보면 H_{LH} 혹은 H_{HL} 로 H 을 가하면, 이력 현상이 관찰됨을 확인 할 수 있다. 기존에 스핀 펌핑을 이용한 V 측정 실험에서는 H_{LH} 의 조건 하에 실험 결과를 얻었지만, H 주사 방향을 달리 함에 따라 이상 홀 효과를 배제한 순수한 역 스핀 홀 효과에서 기인한 전압 값을 추출 할 수 있게 되었다.

4. 참고문헌

- [1] E. Saitoh et al., Appl. Phys. Lett., **88**, 182509 (2006).
- [2] K. Harii et al., J. Appl. Phys., **103**, 07F311 (2008).
- [3] S. Kim et al., J. Appl. Phys., **115**, 17C501 (2014).
- [4] H. Y. Hung et al., J. Appl. Phys., **113**, 17C507 (2013).

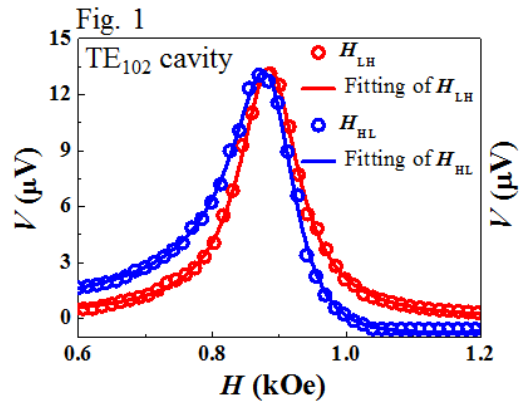


그림 1. TE₁₀₂ 모드 공명기에서 H_{LH} 혹은 H_{HL} 인가하면서 측정한 V 결과.

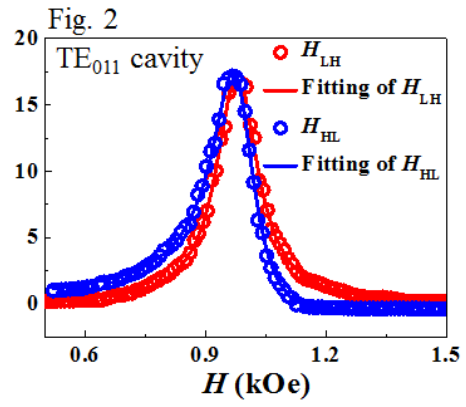


그림 2. TE₀₁₁ 모드 공명기에서 H_{LH} 혹은 H_{HL} 인가하면서 측정한 V 결과.

Strain effects on magnetocrystalline anisotropy of bulk CoFe and its (011) films: A density functional study

Soyoung Jekal*, Oryong Kwon, Soon Cheol Hong

¹Department of Physics and EHSRC, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

In this study, we carry out first principle calculations of strain effects on MCA energies of CoFe in bulk, using the VASP code. The strains are assumed to be forced on the (001) and (011) planes by adjusting 2-D lattice constants of the (001) and (011) planes. Exchange-correlation interaction is described in general gradient approximation. In the bulk system, MCA energy decreases from 1.1 to -0.5 erg/cm² for the (011) strain and from 0.3 to -0.3 erg/cm² for the (001) strain as the 2-D lattice increases from 2.62 Å to 3.00 Å, as shown in Fig. 1: The strain effect of the (011) plane is relatively significant.

For CoFe(011) thin films of the thickness of from 2-MLs to 7-MLs, their MCA energies are also investigated as functions of the 2-D strain of the (011) plane and compared to the MCA behavior in bulk. In the film systems, interestingly perpendicular MCA gets larger as the 2-D lattice constant decreases. For an enhanced 2-D lattice, the easy axis turns to be [0-11] and for a reduced 2-D lattice constant gets a perpendicular MCA. In particular, the film with a reduced 2-D lattice constant of 2.62 Å has a relatively large saturated perpendicular MCA energy of ~4.0 erg/cm² when the film becomes thicker than 5-ML.

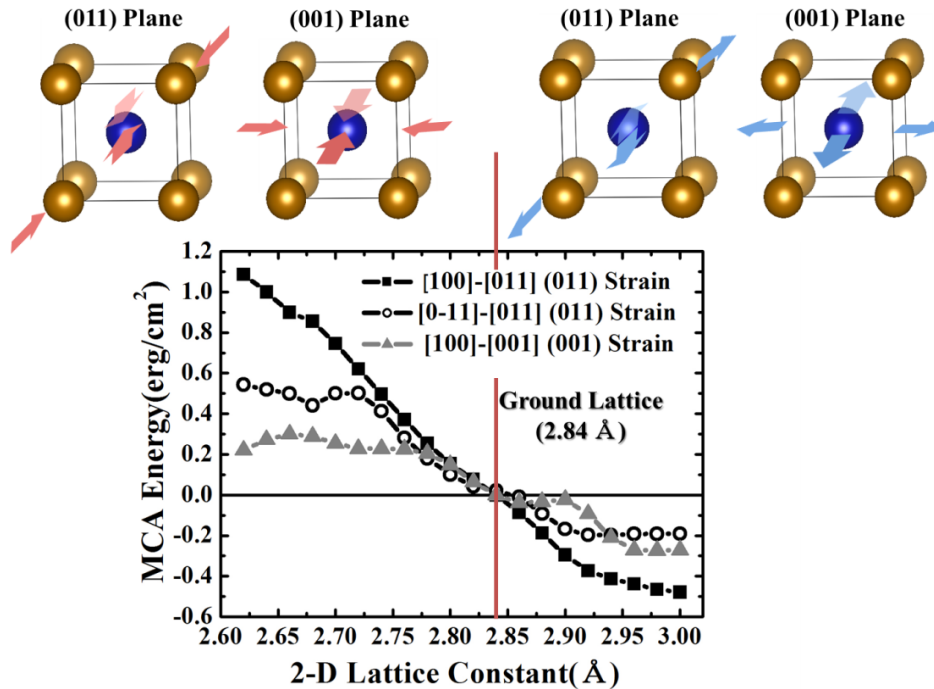


Fig 1. MCA energies as functions of 2-D lattice strains. Black lines are for the strain of the (011) plane and gray line the strain of the (001) plane. Squares represent MCA energy between [100] and [011] magnetic orientations and circles MCA energy between [0-11] and [011] orientations. The vertical red line indicates the lattice constant (2.84 Å) of the bulk CoFe in equilibrium.

Vortex-state nanoparticles as building blocks of magnetic particle assemblies

Min-Kwan Kim^{1*}, Ha-Youn Lee¹, Kyoungsuk Jin², Prasanta Dhak¹, Jae-Hyeok Lee¹,
Myoung-Woo Yoo¹, Jehyun Lee¹, Arim Chu², Miyoung Kim², KiTae Nam² and Sang-Koog Kim^{1†}

¹National Creative Research Initiative Center for Spin Dynamics and Spin-Wave Devices,
and Research Institute of Advanced Materials, Department of Materials Science and Engineering,
Seoul National University, Seoul 151-744, Republic of Korea

²Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Republic of Korea

[†] Corresponding author: sangkoog@snu.ac.kr

1. Introduction

Magnetic nanostructures such as patterned thin films and nanoparticles of different shapes are promising as bio applications and information-storage and -processing technologies [1-5]. Self-assembly of isolated or aggregated magnetic nanoparticles, one of the bottom-up approaches to making novel metastructures, requires controllability. Notwithstanding the recent insights into such self-assembly mechanisms, the formation of spherical-shape nanoparticles of a very specific spin configuration known as a three-dimensional (3D) vortex remains elusive. In the present study, we clarified the magnetic interaction of the permalloy (Py) nanoparticles of 3D vortices in the forms of isolated-single and aggregated-double, -triple, and -quadruple spheres of different geometrical configurations.

2. Experimental method

In our approach, Spherical permalloy 100nm nanoparticles have been prepared by the process known as polyol method. We performed TEM, SEM observation. We then carried out micromagnetic simulation to focus on the interaction between magnetic nanoparticles of the ensemble of intermediate assemblies in terms of the magnetic interaction energy. We used micromagnetic code FEMME (version 5.0.8) [11] to determine the equilibrium magnetic configuration and energy of assemblies. The Landau-Lifshitz-Gilbert equation was solved to calculate the magnetizations of individual nodes (mesh size 5nm) at zero temperature. The 3D nanoparticle sizes introduced for the simulations are deduced from the SEM images with the assumption that the permalloy nanoparticles are perfectly spherical spheres with diameter of 100nm.

3. Result and Conclusion

Using TEM and SEM, we found self-assembled building-block structures, secondary particles, consisting of between one and four primary nanoparticles in geometrically different configurations. With the help of micromagnetic simulations, we revealed spin configurations both in each secondary particle and in the respective interacting primary particles. We determined the stability or instability of the geometrical configurations of those Py nanoparticle assemblies in terms of the exchange and dipolar interacting energies. Our results indicate that there is a controllable means of assembling complex geometrical configurations of the nanoparticles of unique 3D-vortex spin configuration.

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (grant no. 2013003460).

4. Reference

- [1] N. Jones *et al.*, Nature **472**, 22-23 (2011).
- [2] S. Bedanta *et al.*, Phys. Rev. Lett. **98**, 176601 (2007).
- [3] K. Butter *et al.*, Nature Mater. **2**, 88-91(2003).
- [4] M. Varon *et al.*, Langmuir **26**, 109-1116(2010).
- [5] Y. Yang *et al.*, J.Nanosci.Nanotechnol. **12**(3), 2081-2088(2011).

Vortex quasi-crystal formation in dynamic transient states in soft magnetic nano-disks

Junhoe Kim^{*}, Dong-Soo Han, Myoung-Woo Yoo, Sang-Koog Kim[†]

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

[†]Corresponding author: sangkoog@snu.ac.kr

We report, based on micromagnetic numerical calculations, the discovery of vortex quasi-crystals in a variety of dynamic transient states in soft magnetic nano-disks. A simple method entailing the application of spin-polarized dc currents perpendicularly to the disk plane leads to many different vortex quasi-crystal transient states of a few tens of ps period, without consideration of the external bias magnetic field, magnetic anisotropy or Dzyaloshinskii-Moriya interaction. The below figure is a topological-density-based image of an example of vortex quasi-crystal states. What actualizes such novel spin textures in confined nano-magnets are intrinsic dipolar interaction and exchange coupling, as assisted by spin torque and the Zeeman field. This work provides a further, crucial step towards a fundamental understanding of vortex crystal formation and the interaction between topological solitons.

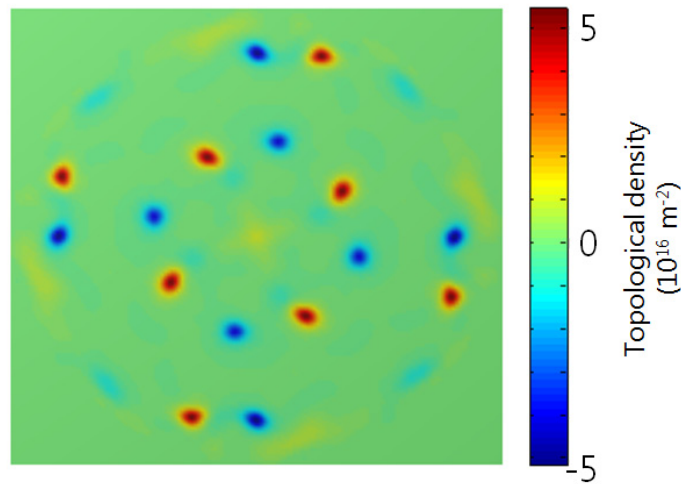


Fig: Plane-view image of topological-density in a vortex quasi-crystal state

Magnonic dynamics of one-dimensional vortex-antivortex lattice arrays

Hanbyeol Jeong^{*}, Dong-Soo Han, Sang-Koog Kim[†]

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

[†]Corresponding author: sangkoog@snu.ac.kr

1. Introduction

Magnetic vortices in confined geometries of ferromagnetic nano-dots have been studied owing to their potential applications in information storage [1] and microwave devices [2]. Magnetic antivortices, the topological counterpart of the vortex, have been investigated less intensively because of the difficulty to form stable antivortex states due to their own stray fields[3]. However, periodically arranged vortex-antivortex (V-AV) pairs can be formed stably as in crosstie domain walls that are typically found in thin films. Although several earlier studies focus on fundamentals and application of V-AV systems, it has still been lacking in a complete understanding of novel dynamic behaviors of V-AV lattice arrays.

2. Simulation Method

In the present simulations, we used V-AV lattice arrays that consist of 3 vortices and 2 antivortices in a connected triple-disk structure, which was defined by overlapping disks of 303 nm diameter, 20 nm thickness and the overlapped length of 60 nm between disks. We applied a static local field of + 200Oe along the + y axis in the left end disk of the connected triple-disk structure, in order to displace vortex core. After the field was turned off, we obtained the simulation result of dynamics for 200 ns. We conducted additional micromagnetic simulation for extended lattice arrays of alternating vortex and antivortex up to 13 vortices and 12 antivortices. Other simulation conditions were not changed except for the thickness of 40 nm.

3. Results and Discussion

The simulation results revealed the existence of several discrete modes of collective V-AV gyrations. Each mode has a characteristic distinct eigenfrequency that is related to the evolution of coupled effective magnetizations of individual vortices and antivortices. Spatial profiles of low frequency modes were described by a standing wave form, however, those of high frequency modes were described by two- branch standing wave forms.[5] These two types of collective V-AV oscillations were analogous to the “acoustic mode” and “optical mode” of the lattice vibrations of a diatomic system. In addition, dispersion curves obtained from the V-AV chains showed that two distinct low and high branches and curvature of the high branch are strongly influenced by the polarization ordering of the antivortices. This work provides a new mechanism of signal transfer via coupled V-AV gyrations and building blocks for further investigations of V-AV based magnonic crystals.

This research was supported by the Basic Science research program through the national Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (grant no. 2013003460).

4. References

- [1] S. Bohlens, et al., Appl. Phys. Lett. **93**, 142508 (2008).
- [2] V.S. Pribyl, et al., Nat. Phys. **3**, 498 (2007).
- [3] S. Glava, et al., J. Appl. Phys. 103, 07B115(2008).
- [4] See <http://math.nist.gov/oommf>
- [5] D.-S. Han, et al., Sci. Rep. **3**, 2262 (2013).

Coupled vortex-gyration modes in one-dimensional arrays of vortex-state disks

Dong-Soo Han^{1*}, Andreas Vogel², Hyunsung Jung¹, Ki-Suk Lee¹, Markus Weigand³, Hermann Stoll³, Gisela Schütz³, Peter Fischer⁴, Guido Meier² and Sang-Koog Kim^{1†}

¹National Creative Research Initiative Center for Spin Dynamics and Spin-Wave Devices, and Research Institute of Advanced Materials, Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Republic of Korea

²Institut für Angewandte Physik und Zentrum für Mikrostrukturforschung, Universität Hamburg, 20355 Hamburg, Germany

³Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, 70569 Stuttgart, Germany

⁴Center for X-ray Optics, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA 94720, USA

[†]Corresponding author: sangkoog@snu.ac.kr

Collective spin excitation in magnetic nanodots has attracted much attention owing to its various potential implementations in information processing devices. Although a lot of varieties of those excited modes are fundamentally understood, collective vortex-gyration modes in coupled vortex-state disks still remain elusive [1-6]. Here, we report on the first direct experimental demonstration, by means of a state-of-the-art time-resolved scanning transmission x-ray microscopy, of quantized (or discrete) wave modes of collective vortex gyrations excited in a one dimensional chain of physically separated but dipolar-coupled permalloy disks. Furthermore, we interpret the experimentally observed discrete modes and their dispersion relations with the help of numerical calculation, micromagnetic simulations, and analytical derivations. The results reveal that characteristic dispersions can be expressed simply in terms of the intrinsic angular eigenfrequency of isolated disks and their specific polarization (p) and chirality (C) ordering. The dynamic dipolar interaction determined by the specific p and C orderings governs the magnonic band structure of a given one dimensional array. Accordingly, and promisingly, the propagation property of collective vortex gyration and its dispersion can be manipulated by vortex-state ordering, the dimensions of each disk, and the nearest-neighbouring disks's interdistance [7]. This work constitutes a milestone towards the practical achievement of this new class of magnonic crystals.

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (grant no. 2013003460). We acknowledge the support of Michael Bechtel, Eberhard Göring, and BESSY II, Helmholtz-Zentrum Berlin. Financial support from the Deutsche Forschungsgemeinschaft via the Sonderforschungsbereich 668 and the Graduiertenkolleg 1286 is gratefully acknowledged. This work has been also supported by the excellence cluster 'The Hamburg Centre for Ultrafast Imaging - Structure, Dynamics, and Control of Matter at the Atomic Scale' of the Deutsche Forschungsgemeinschaft. P. F. acknowledges support from the Director, Office of Science, Office of Basic Energy Sciences, Materials Sciences and Engineering Division, U.S. Department of Energy (contract no. DE-AC02-05-CH11231).

[1] J. Shibata and Y. Otani, Phys. Rev. B 70, 012404 (2004).

[2] H. Jung et al., Appl. Phys. Lett. 97, 222502 (2010).

- [3] S. Sugimoto et al., Phys. Rev. Lett. 106, 197203 (2011).
- [4] A. Vogel et al., Phys. Rev. Lett. 106, 137201 (2011).
- [5] H. Jung et al., Sci. Rep. 1, 59 (2011).
- [6] K.-S. Lee et al., J. Appl. Phys. 110, 113903 (2011).
- [7] D.-S. Han et al., arXiv:1303.4170 (2013).

Facile Synthesis of high moment α -Fe/oxide and FeCo/oxide core/shell nanoparticles using modified polyol route

Mohamed Abbas^{1,2*} and CheolGi Kim¹

¹Department of Emerging Material Science, DaeguGyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST), Daegu, Korea

²Ceramics Department, National Research Centre, 12311Cairo, Egypt

*Corresponding author: cgkim@dgist.ac.kr

α -Fe/oxide and FeCo/oxide core/shell nanoparticles were synthesized by surfactantless polyol method followed by hydrogen reduction process. Iron oxide (Fe_3O_4) and (CoFe_2O_4) nanoparticles were first synthesized through modified Polyol process, followed by thermal annealing in presence of hydrogen (H_2) gas for 2 hours for reduction into Fe and FeCo nanoparticles. Polyethylene glycol (PEG) has played a key role as solvent and reducing agent simultaneously in this synthesis process. X-ray diffraction (XRD) confirmed that the nanoparticles were Fe_3O_4 and CoFe_2O_4 before reduction process and composed of Fe_3O_4 , CoFe_2O_4 and α -Fe, FeCo phases after reduction process. The structural and magnetic characterizations of the synthesized nanoparticles after oxidation by transmission electron microscope and vibration sample magnetometer measurements confirm the formation of core-shell Fe/oxide and FeCo/Oxide nanospheres. In view of the obtained high magnetic core Fe, FeCo and biocompatible oxide shell, these core-shell Fe/oxide and FeCo/oxide nanoparticles are expected to be promising materials for different bio-sensing applications.

Keywords: α -Fe/oxide, FeCo/oxide nanoparticles, Core/Shell nanostructures, polyol method, magnetic properties, immobilization.

초상자성 나노입자의 강자성 공명 선폭 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

자성 나노입자의 초상자성 특성은 자화 곡선 및 온도에 따른 투자율 측정으로 확인할 수 있다. 자화 곡선 측정에서는 보자력이 0이고 자화 곡선이 랑주뱅 (Langevin) 함수를 따른다. 강자성 공명 신호는 자성 나노입자 내부의 스핀들에 의한 영향을 반영하고 있으므로, 자성 나노입자의 자화량, 형상 및 결정 이방성 등의 자성 특성을 모두 포함한다. 따라서 강자성 공명 신호를 해석할 경우 자성 나노입자의 여러 가지 물성을 분석하는 것이 가능하다. Kliava 등은 자성 나노입자의 크기 및 크기의 분포에 따른 강자성 공명 신호를 계산을 통하여 분석하였으며[1], Biasi 등은 초상자성 자성 나노입자의 강자성 공명신호를 해석하여 결정 이방성 상수를 분석하였다[2]. 그러나 강자성 공명 신호를 해석하여 나노입자들의 자성 물성을 분석하기 위하여 동일한 특성을 갖는 균일한 크기의 나노입자들에 대한 특성 분석이 선행 되어야 하며 이러한 연구는 미비한 수준이다.

본 연구에서는 초상자성 특성을 갖는 크기가 균일한 산화철 나노입자를 제조하여 강자성 공명 신호를 측정하였으며, 계산을 통하여 초상자성 나노입자의 강자성 공명 신호를 해석하였다.

2. 실험방법

강자성 공명 신호 분석에 사용한 균일한 산화철 나노입자들은 Trioctylamine 용매에 Fe(OL)_3 전구체를 고르게 섞은 반응 원액을 사용하여 고온 열분해방법으로 제조하였다. 입자의 크기가 다른 산화철 나노 입자를 제조하기 위하여 나노 입자가 성장하는 과정에서 주사기를 이용하여 약 2.0 ml의 반응 원액을 시간에 따라서 순차적으로 추출하였다. 추출한 반응 원액의 1.0 ml는 에탄올에 희석시켜 잔류 유기 용매를 세척한 후 원심분리기를 이용하여 산화철 나노입자를 추출하였다. 추출한 산화철 나노입자를 초음파 세척기를 이용하여 핵산 용액에 균일하게 분산시킨 후 Cu-grid 위에 한 방울 떨어뜨려 TEM 시편을 제작하였다. 이들 시편은 나노 입자들의 크기 분포 특성을 분석하기 위하여 TEM 사진을 촬영하였다. 추출한 반응 원액의 나머지 1.0 ml는 유리 튜브에 담은 후 9.89 GHz의 주파수에서 작동하는 강자성 공명 측정 장치를 사용하여 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 산화철 나노입자의 크기에 따른 강자성 공명 신호의 측정결과와 계산 결과를 보인다. 산화철 나노입자의 직경 $D = 4.67 \text{ nm}$ 인 경우 선폭이 좁으며, 나노입자의 직경이 증가할수록 선폭이 증가하는 경향을 보인다. 강자성 공명 신호의 계산 과정에서 산화철 나노입자의 이방성 상수는 각각 0 , $1.4 \times 10^5 \text{ erg/cc}$ 및 $2.4 \times 10^5 \text{ erg/cc}$ 를 대입하여 구하였다. 이들 결과로부터 산화철 나노입자의 결정 이방성 상수는 양의 값을 보유하고 있으며, 산화철 나노 입자의 크기에 따라서 향상되고 있음을 알 수 있다. $D = 5.64 \text{ nm}$ 인 나노입자들에 대한 측정 결과와 계산 결과가 서로 상이한 모양을 보이며, 이러한 특성은 입자의 크기가 작을 때 나타나는 강자성 공명신호와 입자의 크기가 클 때 나타나는 강자성 공명 신호가 중첩된 형태로 나타난다.

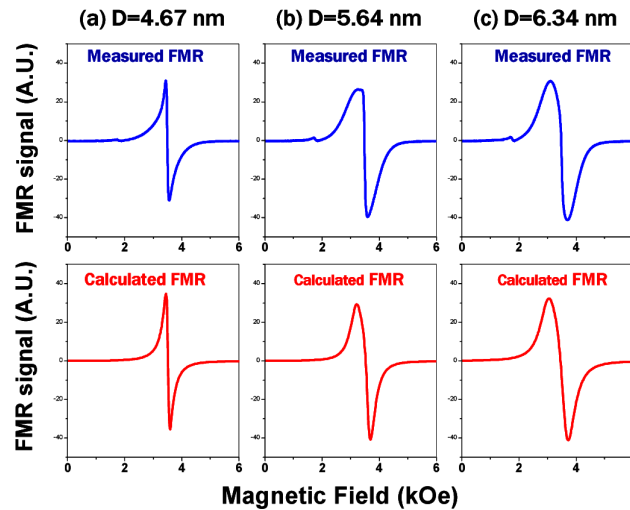


Fig. 1. Comparison with measured and calculated FMR signals of iron oxide nanoparticles with (a) $D = 4.67$ nm, (b) $D = 5.64$ nm and (c) $D = 6.34$ nm.

이들 결과로부터 결정화된 나노 입자에서 나타나는 강자성 공명 신호를 표면 효과와 나노입자 내부의 부피 효과로 구분할 수 있다. 입자가 작은 경우에는 표면 효과가 두드러지게 나타나며, 표면 효과에 의한 강자성 공명신호는 선폭이 좁다. 한편 나노입자 내부의 결정 구조에 의한 부피 효과는 나노입자의 크기가 증가할수록 두드러지게 나타나며 선폭이 넓게 나타남을 알 수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(NRF2010-0008282).

5. 참고문헌

- [1] J. Kliava, and R. Berger, J. Magn. Magn. Mater. **205**, 328 (1999).
- [2] E. De Baiasi, et. al, J. Magn. Magn. Mater. **262**, 235 (2003).

계면에 의해 유도된 Fe_3O_4 박막의 결정성과 자기적 특성에 대한 연구

국지현^{1*}, 배유정¹, 이년종¹, 김태희¹

높은 큐리 온도 (860 K)와 반금속(half-metallic) 특성을 갖는 마그네타이트 (Fe_3O_4)는 실온에서 높은 스핀 분극률이 기대되어 스핀트로닉스 소자로서 응용이 폭 넓게 연구되고 있는 물질이다.[1,2] 이러한 스핀소자 활용을 위해서 얇은 박막 형태로 제작하기 위해 그 성장조건과 자기적 그리고 스핀 수송에 대한 연구가 우선적으로 요청되고 있다. 그러나 아직 실온 (300 K)에서 예견된 높은 스핀분극률에 대한 실험적 검증은 아직 보고된 바 없다.

이 연구에서는 마그네타이트 박막의 소자로서의 용이성을 고려하여 SiO_2 산화박막이 제거된 또는 제거되지 않은 Si(001) 기판 위에 약 5-10 nm 두께의 Fe_3O_4 박막을 RF-마그네트론 스퍼터링(RF Magnetron Sputtering) 기법으로 실온에서 제작하였다. Si(001)/MgO(001)/ Fe_3O_4 /MgO와 Si(001)/ SiO_2 /Ta/ Fe_3O_4 /MgO다층박막의 저항의 온도의 존성을 측정하여 Fe_3O_4 의 독특한 Verway 상전이와 x-raydiffraction을 이용한 구조적 특성 규명에 대한 연구가 진행되었다. 일련의 후열처리 과정을 거쳐 MgO와 Ta의 기저층과 MgO 보호층의 계면구조의 영향을 극대화하여 Fe_3O_4 의 결정성의 효율적 제어 가능성을 논의하고자 한다.

[1] P. Seneor et al., Appl. Phys. Lett. **74**, 4017(1999).

[2] J.M. De Teresa et al., Microelectronic Engineering **84**,1660-1664 (2007)

Er-Co-Al 박막 합금의 자기 열량 효과

김미리^{1*}, 임상호¹

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

자기열량효과를 이용한 자기냉각 기술은 기체 응축에 의한 냉각방식 보다 환경 친화적이며 높은 효율을 가지는 장점 때문에 기존 냉각 방식을 대체할 기술로 주목 받고 있다.[1,2] 최근 상용화에 적합한 상온 자기 냉각 물질을 개발하는 연구뿐만 아니라, 기체 연료 액화에 적용 가능한 저온 자기 냉각 물질을 탐색하는 연구에 대한 중요성이 부각 되고 있다. 따라서 본 연구는 수소 액화 및 재액화에 응용 가능한 20 K 부근에서 높은 자기 열량 효과를 갖는 자기 열량 재료를 개발하는 데 그 목적이 있다. 박막 시료는 SiO₂ 기판 위에 Ta/Er-Co-Al/Ta 의 구조로 스퍼터를 이용하여 제작 하였으며, 조성은 ErCo₂ 타겟 위에 Co 와 Al chip을 올려 조절 하였다. 800℃에서 1시간 동안 열처리를 통해 Cubic Laves phase를 만들어 열처리 전후의 자기 열량 효과 변화를 관찰 하였다. Figure 1은 as-dep. 시료와 열처리 후 시료에 자기장을 5 T 까지 가하였을 때의 자기 엔트로피 변화를 나타낸 것으로, 자기 엔트로피 변화량이 클수록 자기 열량 효과가 큰 것을 의미한다. 20K 부근에서 가장 큰 자기 엔트로피 변화를 나타내는 것은 ErCo_{1.69}Al_{0.76} 조성의 As-dep. 시료로 보이며 열처리 후에는 세 조성의 온도에 따른 자기 엔트로피 변화 거동이 유사한 것을 관찰 할 수 있다.

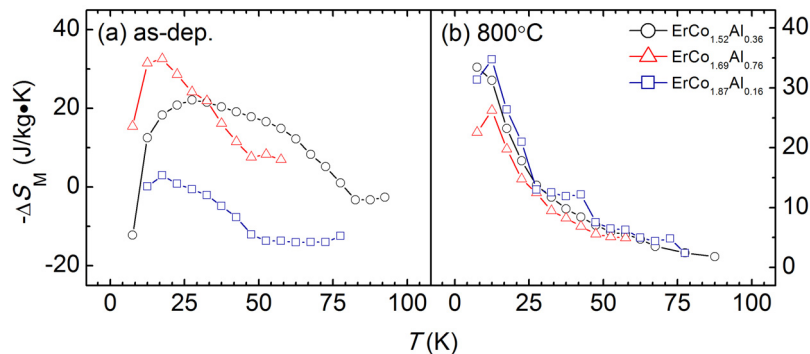


Fig 1. The magnetic entropy change of Er-Co-Al thin film as a function of temperature under the magnetic field change of 5 T.

참고 문헌

- [1] V.K. Pecharsky and K.A. Gschneidner, International Journal of Refrigeration, **29**, 1239, (2006)
- [2] Anders Smith, Christian R.H. Bahl, Rasmus Bjørk, Kurt Engelbrecht, Kaspar K. Nielsen, and Nini Pryds, Adv. Energy Mater. **2**, 1288, (2012)

금속 강자성/비자성 이중층 구조에서 국소 레이저 유도 자화열전의 선풍 의존성

Kyeong-Dong Lee^{1*}, Dong-Jun Kim¹, Byong-Guk Park¹, Seung-Hyun Kim², Jong-Hyun Lee²,
Jong-Ryul Jeong², Ki-Suk Lee³, Hyon-Seok Song^{4,5}, Jeong-Woo Sohn^{4,5}, and Sung-Chul Shin^{4,5}

¹Department of Materials Science and Engineering, KI for the Nanocentury, KAIST, Daejeon, 305-701, Korea

²Department of Materials Science and Engineering, Graduate School of Green Energy Technology,
Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

³School of Mechanical and Advanced Materials Engineering, UNIST, Ulsan, 689-798, Korea

⁴Department of Physics and CNSM, KAIST, Daejeon, 305-701, Korea

⁵Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu, 711-873, Korea

1. 서론

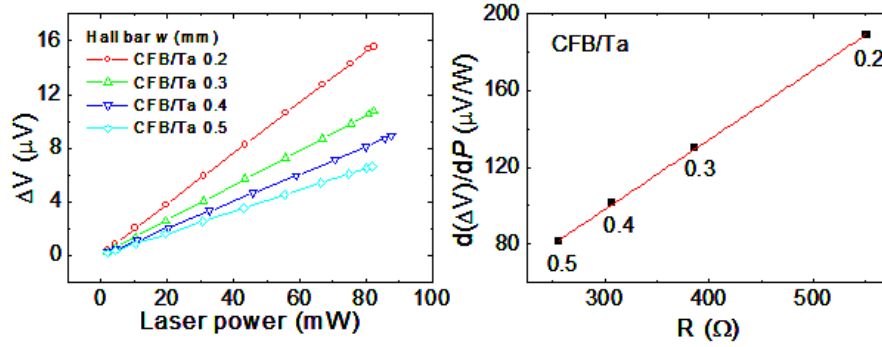
열전 현상을 이용한 에너지 수확 기술과 스핀전류를 활용한 스핀트로닉스 기술 개발에서 금속 강자성/비자성 이중층 구조에서의 자화열전 현상을 탐구하는 일은 흥미롭다. 이는 기존 연구가 비금속 강자성/비자성 이중층 구조에서 역스핀홀(inverse spin Hall) 현상등을 이용하여 순수 스핀전류를 활용한 저전력 기술에 초점을 맞춘 것이나 혹은 금속 강자성 단일층에서 anomalous Nernst 현상 (ANE)을 이용하여 열전신호 효율을 높이기 위해 연구한 것과는 다르게 두 현상이 혼재된 구조에서의 활용성을 탐구하는 일이기 때문이다. 이런 역스핀홀 현상 및 ANE가 혼재된 구조에서 여러 물질 및 stack 구조에서의 특성을 적절히 비교하는 방법이 필요하며 이를 체계적으로 접근하기 위해 선풍을 변화시키며 자화열전 현상을 탐구하였다.

2. 실험방법

0.2 - 0.5 mm의 선풍을 갖고 1.4 mm 길이를 갖는 CoFeB(15 nm)/Ta(15 nm) Hall-bar 구조를 제작하였다. 시료에 열을 가하기 위해 레이저를 Hall-bar 구조 중심에 가하였다. 레이저 빔 크기는 80 μm 이며 파워는 2-90 mW로 800 nm 중심파장을 갖는 티타늄 사파이어 레이저를 사용하였다. 레이저 인가 후 발생하는 열전 신호를 Hall-bar구조 전극에 연결된 나노볼트미터로 측정 하였다. 자기장을 sweep하면서 열전이력곡선의 반전 자장과 자기이력곡선의 자화반전 자장 크기가 매칭됨을 확인하였으며 Hall-bar 구조에서 인가 자장에 수직한 bar에서만 열전 신호가 관찰됨으로써 관찰된 신호가 역스핀홀 현상이나 ANE로 생각되는 자화열전 신호임을 확인하였다.

3. 실험결과

다음 그림은 CoFeB/Ta 시료의 선풍(w)에 대한 자화열전 신호(ΔV)를 측정한 결과이다. 좌측의 그림은 레이저 파워에 의해 신호가 선형으로 비례함을 보이면서 레이저 열에 의한 현상임을 시사하고 있다. 시료 선풍(전체 전기저항)에 대한 특성을 살펴보기 위해 신호 증가의 기울기를 구하여 우측 그림에 나타내었다. 이들 기울기는 시료의 전체 전기저항에 잘 비례함을 확인하였다.



4. 고찰

강자기 공명 스핀 펌핑 실험에서는 역스핀홀 현상이 선풍에 대해 일정한 자화열전 값을 보임이 보고되고 있다.¹ 최근 금속 강자성 단일층 구조에서 국소 레이저 유도에 의한 ANE 현상이 선풍에 반비례함을 보고하여 국소 여기의 경우 선풍에서의 shunting 효과가 존재함을 보였다.² 본 연구에서는 역스핀홀과 ANE가 혼재된 금속 강자성/비자성 이중층 구조에서도 선풍에 반비례하여 결과적으로 shunting 효과를 고려할 때 전체 전기저항으로 신호를 정규화 해야 함을 발견하였다.

5. 결론

금속 강자성/비자성 이중층 구조에서 국소 레이저 유도 자화열전 신호의 선풍 의존성을 조사하였다. 관찰된 열전 신호는 비자성 층에서의 역스핀홀 현상과 강자성 층에서의 ANE현상의 자화열전 특성을 보였으며 선풍의 국소 히팅에 의한 shunting 효과가 관찰 되었다. 이런 shunting 효과는 전체 전기저항에 선형 상관관계가 있음을 관찰하였다.

6. 참고문헌

- [1] H. Nakayama, K. Ando, K. Harii, T. Yoshino, R. Takahashi, Y. Kajiwara, K. Uchida, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, Phys. Rev. B **85**, 144408 (2012).
- [2] M. Weiler, M. Althammer, F. D. Czeschka, H. Huebl, M. S. Wagner, M. Opel, I. -M. Imort, G. Reiss, A. Thomas, R. Gross, and S. T. B. Goennenwein, Phys. Rev. Lett. **108**, 106602 (2012).

Author Index

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
A. Ikeda-Ohno	O-III-3	31	Florian Kronast	O-III-4	32
Ahmet A. Ünal	O-III-4	32	Gisela Schütz	MT13	146
Andreas Vogel	MT13	146	Guido Meier	MT13	146
Arim Chu	MT10	141	Gwang-Eun Yang	O- II -3	25
B. G. Park	ST09	122	H. C. Koo	ST05	117
Beata Bialek	O-I-1	15	H. W. Kwon	HM04	81
Bingzhi Jiang	SM09	97	H.N. LEE	ST11	127
Bo Ra Myoung	SM02	88	Haein Yim	초S-I-3	57
Bo-wha Lee	SM10	99	Hanbyeol Jeong	MT12	144
ByeongHwa Lim	SM01	87	Han-Ku Lee	O- II -3	25
Byong Sun Chun	O- II -1	23	Han-Yeol Jo	SM10	99
Byong-Guk Park	OT02	153	Hashmi Arqum	O-I-4	20
Byoung-Chul Min	초O- II -2	70	Ha-Youn Lee	MT10	141
Byoung-Chul Min	ST03	115	Hayoun Lee	O-I-2	17
Byoung-Chul Min	ST07	119	Heon-Jin Choi	ST04	116
Byung Sun Chun	O- II -3	25	Hermann Stoll	MT13	146
Chang Uk Jung	O-III-2	30	Hyo-Jun Kim	HM05	82
Chan-Ho Yang	O-III-3	31	Hyo-Jun Kim	O-III-6	35
Chan-Ho Yang	O-III-4	32	Hyon-Seok Song	OT02	153
Chanyong Hwang	O- II -3	25	Hyun Cheol Koo	ST04	116
Chanyoung Hwang	O- II -1	23	Hyun Cheol Koo	ST06	118
CheolGi Kim	NM01	148	Hyung-jun Kim	ST04	116
CheolGi Kim	SM01	87	Hyunsung Jung	MT13	146
CheolGi Kim	T-2	8	In-Mo Yang	초S- II -2	63
Cheol-Soo Park	초S- II -2	63	J. Chang	ST05	117
Christian Meny	MO03	86	J. G. Lee	HM04	81
Chul Sung Kim	SM02	88	J. H. Lee	ST05	117
Chul-Hyun Moon	ST07	119	J. H. Yu	HM04	81
Chunli Liu	SM10	99	J. Seidel	O-III-3	31
Chun-Yeol You	O-IV-5	47	J.-S. Kim	O- II -2	24
D. Amaranatha Reddy	SM10	99	Jaehun Cho	O-IV-5	47
Deok-Hyun Kim	SM10	99	Jae-Hwan Cho	초S- II -2	63
Dhani Ram Dhakal	HM05	82	Jae-Hyeok Lee	MT10	141
Dong Su Son	O-IV-1	41	Jae-Woong Yoo	MT06	134
Dong-Jun Kim	OT02	153	Jae-Young Kim	O- II -3	25
Dong-Soo Han	MT11	143	Jan Seidel	O-III-4	32
Dong-Soo Han	MT12	144	Jehyun Lee	MT10	141
Dong-Soo Han	MT13	146	Jehyun Lee	O-I-2	17
Dong-Soo Han	O-I-2	17	Jeong-Min Seo	초S- II -2	63
Dorj Odkhuu	MT02	129	Jeong-Woo Sohn	OT02	153
Duck-Gun Park	SA03	105	Ji Soo Lim	O-III-3	31
Duck-Ho Kim	ST03	115	Jicheol Son	MT03	130
Duong Anh Tuan	MO03	86	Jicheol Son	MT04	131

Name	Abstract ID	Page
Jicheol Son	O-I-4	20
Jin Hong Lee	O-III-4	32
Jinki Hong	ST06	118
Jisang Hong	MT03	130
Jisang Hong	MT04	131
Jisang Hong	O-I-4	20
Jonghwa Eom	ST04	116
Jong-Hyun Lee	OT02	153
Jong-Ryul Jeong	OT02	153
Joo-Hyoung Lee	초S-I-2	56
Joonyeon Chang	ST04	116
Jungbum Yoon	O-IV-5	47
Jung-Hwan Moon	MT06	134
Jung-Hwan Moon	MT07	136
Junhoe Kim	MT11	143
K. D. Lee	ST09	122
K. M. Kim	HM04	81
KANG Chul	MO02	85
Kanghyun Chu	O-III-4	32
KEE Chul-Sik	MO02	85
Khan Imran	MT03	130
KIM Tae-heon	MO02	85
Kirstie Raquel Natalia Toreh	O-III-2	30
Ki-Suk Lee	MT13	146
Ki-Suk Lee	OT02	153
KiTae Nam	MT10	141
Kyeong-Dong Lee	OT02	153
Kyeongsup Kim	SM09	97
Kyoungsuk Jin	MT10	141
Kyoung-Woog Moon	O- II -3	25
Kyoung-Woong Moon	O- II -1	23
Kyujoon Lee	O-IV-5	47
Kyung-Ho Shin	ST07	119
Kyung-Jin Lee	MT06	134
Kyung-Jin Lee	MT07	136
Kyung-Jin Lee	ST07	119
Kyung-Jin Lee	ST08	120
Kyungmi Song	ST08	120
LEE Jong Seok	MO02	85
M. Kotsugi	O-III-3	31
M.B. Kishore	SA03	105
Man-Seok Han	초S- II -2	63
Markus Weigand	MT13	146
Md. A. Matin	HM04	81
Min-Kwan Kim	MT10	141
Min-Woo Lee	HM05	82
Min-Young Lee	SM10	99
Miyoung Kim	MT10	141

Name	Abstract ID	Page
Miyoung Kim	O-I-3	19
Mohamed Abbas	NM01	148
Myoung-Woo Yoo	MT10	141
Myoung-Woo Yoo	MT11	143
Myoung-Woo Yoo	O-I-2	17
Myung-Hwa Jung	O-IV-5	47
Octolia Togibasa Tambunan	O-III-2	30
Oryong Kwon	MT02	129
Oryong Kwon	MT09	140
Peter Fischer	MT13	146
Pil-Sun Yoo	SM10	99
Prasanta Dhak	MT10	141
Purev Taivansaikhon	MT02	129
Quang Van Nguyen	MO03	86
S.Y. KIM	ST11	127
Sang Ho Lim	O-IV-1	41
Sang Ho Lim	O-IV-2	42
Sang-Cheol Yoo	ST03	115
Sang-Hyup Lee	O-III-6	35
Sang-Koog Kim	MT10	141
Sang-Koog Kim	MT11	143
Sang-Koog Kim	MT12	144
Sang-Koog Kim	MT13	146
Sang-Koog Kim	O-I-2	17
Sang-Myun Kim	O-III-6	35
Seong-Cho Yu	SM09	97
Seong-Rae Lee	HM05	82
Seong-Rae Lee	O-IV-1	41
Seong-Rae Lee	O-IV-2	42
Sergio Valencia	O-III-4	32
Seung-Hyub Baek	ST06	118
Seung-Hyun Kim	OT02	153
Seung-Jae Lee	MT06	134
Seung-Jae Lee	MT07	136
Shin-Ik Kim	ST06	118
Soon Cheol Hong	MT02	129
Soon Cheol Hong	MT09	140
Soong-Geun Je	ST03	115
SOONHA CHO	ST09	122
Soyoung Jekal	MT09	140
Stefan Kowarik	O-III-4	32
Sug-Bong Choe	ST03	115
Suk Hee Han	ST04	116
Sung-Chul Shin	OT02	153
Sunglae Cho	MO03	86
Sun-Tae Kim	O-III-6	35
T. Nakamura	O-III-3	31
T. Ohkochi	O-III-3	31

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
T. S. Ramulu	SM01	87	김은애	O- II -4	26
T.W. KIM	ST11	127	김은애	SA04	106
Tae Young Lee	O-IV-1	41	김은애	SA05	108
Tae Young Lee	O-IV-2	42	김주성	O-IV-6	48
Tae-Hoon Kim	HM05	82	김철기	BM01	73
Taesuk Jang	HM05	82	김철성	MO01	84
Tae-Suk Jang	O-III-6	35	김철성	SM03	90
Taewan Kim	O-IV-5	47	김태훈	HM01	75
Taeyueb Kim	ST06	118	김태훈	HM02	77
TOKUNAGA Yusuke	MO02	85	김태희	NM03	151
TOKURA Yoshinori	MO02	85	김현규	SM03	90
Tran Van Quang	O-I-3	19	김형진	O-III-7	36
W. Y. Choi	ST05	117	김효준	HM01	75
Wen-Zhe Nan	SM09	97	김효준	HM02	77
Wondong Kim	O- II -1	23	김효준	HM03	79
Wondong Kim	O- II -3	25	김희민	SA02	103
Wooyoung Lee	초S-I-1	55	문경웅	O-IV-3	44
XingHaoHu	SM01	87	문수진	SM08	96
Y. W. Oho	ST09	122	문준	O-IV-8	52
Y.K. KIM	ST11	127	민병철	O-IV-3	44
Yooleemi Shin	MO03	86	민병철	O-IV-6	48
Youn Ho Park	ST04	116	민병철	ST02	113
Young Chan Won	O-IV-1	41	박관수	MT05	132
Young Chan Won	O-IV-2	42	박관수	SA02	103
Youngha Choi	O-IV-5	47	박민규	O-IV-7	50
Z. Q. Qiu	O- II -1	23	박병국	O-IV-7	50
강선주	SA06	110	박성훈	O-IV-4	45
공주영	HM02	77	박승영	MT08	138
국지현	NM03	151	박승영	O-IV-7	50
권순무	초S- II -1	61	박재훈	O-IV-4	45
권순무	초S- II -3	64	박철수	초S- II -1	61
권오룡	MT01	128	박철수	초S- II -3	64
권해웅	O-III-5	33	배정훈	HM03	79
김대연	O-IV-3	44	배유정	NM03	151
김대연	ST02	113	백승현	O-IV-7	50
김대완	O-III-7	36	백충렬	총회초청	3
김덕호	O-IV-3	44	봉재훈	O-IV-7	50
김덕호	O-IV-6	48	서민수	MT08	138
김덕호	ST02	113	서민수	O-IV-7	50
김동수	O-III-1	29	서수교	SM06	94
김동영	초O-I-1	11	서유진	O-IV-7	50
김동영	NM02	149	서정민	초S- II -3	64
김동영	SM05	92	손대락	O- II -4	26
김동영	SM06	94	손대락	SA04	106
김미리	OT01	152	손대락	SA05	108
김상일	MT08	138	손대락	SA06	110
김상훈	O-IV-4	45	손대락	T-1	7
김양도	O-III-5	33	안종빈	O-III-1	29

Name	Abstract ID	Page
양창섭	SA01	101
오중건	O-IV-7	50
유상철	O-IV-3	44
유상철	O-IV-6	48
유상철	ST02	113
유우석	SM04	91
유지훈	O-III-5	33
유천열	초O-II-1	69
유천열	SM04	91
윤상준	O-IV-8	52
윤석수	초O-I-1	11
윤석수	NM02	149
윤석수	SM05	92
윤석수	SM06	94
윤석진	ST01	112
윤성준	O-IV-7	50
이경진	O-IV-6	48
이경진	ST02	113
이규준	SM04	91
이년종	NM03	151
이무연	O-III-7	36
이민우	HM01	75
이민우	HM02	77
이민우	HM03	79
이상준	MO01	84
이석희	O-IV-7	50
이성래	HM01	75
이성래	HM02	77
이성래	HM03	79
이성래	ST01	112
이수길	O-IV-4	45
이시홍	BM01	73
이유기	SA02	103
이재일	O-I-1	15
이정구	O-III-5	33
이정우	SA06	110
이한구	O-IV-4	45
이현휘	O-IV-4	45
임병화	BM01	73
임상호	OT01	152
임상호	ST01	112
임정태	MO01	84

Name	Abstract ID	Page
장영록	O-I-1	15
장태석	HM01	75
장태석	HM02	77
장태석	HM03	79
장평우	SM07	95
장평우	SM08	96
장현철	초S-II-3	64
전병선	ST10	125
전혜진	O-II-4	26
정국채	O-III-1	29
정다혜	SA05	108
정명화	SM04	91
정우진	SA01	101
정현주	MT05	132
정현주	SA01	101
제승근	O-IV-3	44
제승근	O-IV-6	48
제승근	ST02	113
조성언	SM06	94
조영훈	SA04	106
조재환	초S-II-1	61
조정구	O-IV-3	44
조창빈	SA06	110
주혜선	MT05	132
차희령	O-III-5	33
최석봉	O-IV-3	44
최석봉	O-IV-6	48
최석봉	O-IV-8	52
최석봉	ST02	113
최영재	MO01	84
최재정	SM07	95
최철진	O-III-1	29
최판규	초S-I-4	58
추성민	SM04	91
홍순철	MT01	128
홍정일	SM04	91
홍종일	O-IV-4	45
황도근	초S-II-3	64
황찬용	ST10	125
황현석	O-IV-8	52
후싱하오	BM01	73