

2013년도 한국자기학회 자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013

논문개요집



일시 2013. 12. 5(목) ~ 12. 7(토)

장소 휘닉스파크

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

사단법인 한국자기학회

2013년도 한국자기학회

자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013

논문개요집



일시 2013. 12. 5(목) ~ 12. 7(토)

장소 휘닉스파크

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

“이 발표논문집은 2013년도 정부재원으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음”

공지사항

1. 연구발표를 하시는 회원은 아래사항을 지켜주시기 바랍니다.

- 1) 포스터보드 크기는 한 분당 가로 80cm X 세로 140cm 사용할 수 있습니다.
- 2) 포스터 발표자는 발표시간 10분 전에 붙여주시기 바랍니다.

2. 일정

12월 5일(목)	12:00~	참가자 등록	
	13:00~14:30	강습회 프로그램 (불룸)	
	14:30~15:00	Coffee Break	
	15:00~16:00	Special Session I '자기학의 군사적 응용' (불룸)	
	16:00~16:10	Coffee Break	
	16:10~17:50	구두발표I (다이아몬드)	Special Session I '자기학의 군사적 응용'(불룸)
	17:50~19:00	Dinner	
	19:00~20:30	포스터발표I (로비)	
12월 6일(금)	08:30~	참가자 등록	
	09:00~12:00	구두발표II (다이아몬드)	Special Session II 'Current Research Trends in Magnetic Materials' (불룸)
	12:00~13:30	Lunch	
	13:30~16:40	Special Session II 'Current Research Trends in Magnetic Materials' (불룸)	
	16:40~17:20	총회 특별초청강연 (불룸) - 장준연(한국과학기술연구원)	
	17:20~18:00	한국자기학회 정기총회 (불룸)	
	18:00~20:00	Dinner (불룸)	
12월 7일(토)	08:30~	참가자 등록	
	08:30~10:00	포스터발표II (로비)	
	10:00~12:05	Special Session III 'Magnetism in oxide material' - 산화물 연구센터(한국외국어대) 주최 (불룸)	
	12:05~12:30	Best Poster 시상식 및 폐회 (불룸)	

3. 『Best Poster 시상』 이 12월 7일(토) 12시 05분에 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여바랍니다.
(단, 수상자(발표자)가 불참시에는 수상이 취소됩니다.)

12월 5일(목)

시간	프로그램		
12:00~	참가자 등록		
	강습회 프로그램(볼룸)		
	좌장: 조성래(울산대)		
13:00~14:30	T-1. What is electron?		
	김인기(포항공대 철강대학원)		
14:30~15:00	Coffee Break		
	Special Session I '자기학의 군사적 응용' (볼룸)		
	좌장: 손대락(한남대)		
15:00~15:20	초 S-I-1. 국방 자기분야 연구를 위한 국방과학연구소 자기시험시설 소개		
	양창섭(국방과학연구소)		
15:20~15:40	초 S-I-2. 해군 함정의 영구자기장 감소를 위한 탈자기법		
	김휘석(LIG 넥스원)		
15:40~16:00	초 S-I-3. 탄약분야에서의 전자기유도기술 적용사례연구		
	정규채((주)한화)		
16:00~16:10	Coffee Break		
	구두발표 I (다이아몬드)		Special Session I '자기학의 군사적 응용' (볼룸) 좌장: 양창섭(국방과학연구소)
	좌장: 이궁원(고려대)		
16:10~16:40	초 O-I-1. Giant Perpendicular Magnetic Anisotropy at a Fe(001) Interface: A Density Functional Study 홍순철(울산대)	16:10~16:30	초 S-I-4. 입자 군집 최적화를 이용한 함정 소자코일 교정인자 산출 이정우(LIG 넥스원)
16:40~17:00	O-I-2. Magnetic anisotropy of Fe thin films on vicinal Si(111) substrate 조정홍(고려대)	16:30~16:50	초 S-I-5. 지구자기장 하에서 함정 횡동요에 따른 전자기 신호 해석 정희준(가우스텍)
17:00~17:20	O-I-3. Perpendicular Magnetic Anisotropy and Low Saturation Magnetization in [Pt/(Co,Cu)] ₆ Multilayers 손동수(고려대)	16:50~17:10	초 S-I-6. 와전류 탐촉자를 이용한 총구 탄 속 측정에 관한 연구 신준구((주)한화)
17:20~17:40	O-I-4. Ideal structure for tunneling magnetoresistance and spin injection into semiconductors: Ni(111)/BN/Co(111) Arqum Hashmi(부경대)	17:10~17:30	초 S-I-7. Air Bursting Munition의 속도계산을 위한 탐지코일의 유도전압 해석 류관상(한국표준과학연구원)
		17:30~17:50	초 S-I-8. 함정 자기신호 측정용 3-축 디지털 자기센서 설계 기법 연구 손대락(한남대)
17:50~19:00	Dinner		
	포스터발표 I (로비)		
	좌장 : 김삼진(국민대) / 김미영(숙명여대)		
19:00~20:30	Session BM[Biomedical materials] Session HM[Hard magnetic] Session MO[Magnetic oxides and multiferroics] Session SM[Soft magnetic] Session SA[Sensors and applications]		



12월 6일(금)

시간	프로그램		
08:30~	참가자 등록		
	구두발표 II (다이아몬드) 좌장: 민병철(KIST) / 김상국(서울대)	Special Session II 'Current Research Trends in Magnetic Materials' (볼룸) 좌장: Jong Ryoul Kim(Hanyang University)	
09:00~09:30	초 O-II-1. One-dimensional magnonic crystals of dipolar coupled vortex lattice 김상국(서울대)	09:00~09:40	초 S-II-1. Novel process of rare-earth free magnet and thermochemical route for the fabrication of permanent magnet Chul-Jin Choi (KIMS)
09:30~09:50	O-II-2. 에피택셜 전사프린팅법으로 실리콘 기판 상에 전사된 InAs 고 전자이동도 트랜지스터 구조 내 스핀-궤도 결합의 게이트 의존성 신재균(한국과학기술연구원)		
09:50~10:10	O-II-3. 수직자기이방성을 갖는 MgO/Co/Pd 구조에서 스핀-궤도 결합에 대한 열처리 효과 연구 김민석(연세대)	09:40~10:20	초 S-II-2. POSCO's Research and Development works on rare earth reduced NdFeB magnets production process Jun-Han Yuh (POSCO)
10:10~10:30	O-II-4. Distinct Universality Classes of Domain Wall Roughness in Two-Dimensional Pt/Co/Pt Films 문경웅(한국표준과학연구원)	10:20~10:40	Coffee Break
10:30~10:40	Coffee Break		
10:40~11:10	초 O-II-5.Evaluation of the Usefulness of T2 map Images by using 3.0T MRI 조재환(한림국제대학원대학교)	10:40~11:20	초 S-II-3. Inter-lamellar nano-structure and magnetic properties of soft magnetic metals for high frequency applications Hak-Kwan Kim (SEMCO)
11:10~11:30	O-II-6. Reversal dynamics of single vortex core driven by azimuthal spin-wave-mode excitations in soft magnetic disk 유명우(서울대)		
11:30~11:50	O-II-7.The effect of diffusion coating process with Bi of HDDR processed Nd-Fe-B sintered magnet 리우슈(재료연구소)		
12:00~13:30	Lunch		
	Special Session II 'Current Research Trends in Magnetic Materials' (볼룸) 좌장: Tae Suk Jang(Sun Moon University)		
13:30~14:10	(Invited) S-II-4. R&D Trends of Rare Earth Permanents Magnets Aru Yan (Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, NIMTE)		
14:10~14:50	(Invited) S-II-5. Research and production of NdFeB magnets associated with Zhejiang University Mi Yan (Zhejiang University)		
14:50~15:30	(Invited) S-II-6. Progress in the development of Dy-free high coercivity Nd-Fe-B permanent magnets Kazuhiro Hono (National Institute for Materials Science, NIMS)		
15:30~15:50	Coffee Break		
15:50~16:40	(Invited) S-II-7. The development of Dy free MAGFINE and its applications to Motors Yoshinobu Honkura(Adviser of Aichi Steel)		
16:40~17:20	총회 특별초청강연 (볼룸) Magnetic field controlled InSb avalanche diodes for reconfigurable logic		좌장: 임혜인(숙명여대) 장준연(한국과학기술연구원)
17:20~18:00	한국자기학회 정기총회 (볼룸)		
18:00~20:00	Dinner (볼룸)		

12월 7일(토)

시간	프로그램
08:30~	참가자 등록
	포스터 발표 II (로비) 좌장: 김인기(포항공대 철강대학원) / 윤석수(안동대)
08:30~10:00	Session ST[Spintronics] Session MT[Magnetic theory and calculations] Session NM[Nanostructured materials] Session OT[Others]
	Special Session III 'Magnetism in oxide material' - 산화물 연구센터(한국외국어대) 주최 (볼룸) 좌장: 정창욱(한국외대)
10:00~10:25	초 S-III-1. Reversible electronic and magnetic structures in epitaxial strontium cobaltite thin films 최우석(성균관대)
10:25~10:50	초 S-III-2. 자성체 산화물 박막의 스트레인에 따른 전자구조 분석 장영준(서울시립대)
10:50~11:15	초 S-III-3. Coherent THz control of magnetization in orthoferrites 이종석(GIST)
11:15~11:40	초 S-III-4. Co 산화물 박막의 구조 및 전자기적 성질 정창욱(한국외대)
11:40~12:05	초 S-III-5. Concurrency control of the magnetic and ferroelectric transition in tetragonal-like BiFeO ₃ 장병권(KAIST)
12:05~12:30	Best Poster 시상식 및 폐회 (볼룸)

CONTENTS

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013

12월 6일(금) 16:40~17:20
Session : 총회 특별초청강연

볼륨

✿ 좌 장 : 임혜인(숙명여대)

- 총회초청 16:40 Magnetic field controlled InSb avalanche diodes for reconfigurable logic 3
JoonyeonChang*, SungjungJoo, TaeyuebKim, JinkiHong, JinDongSong,
Hyun-WooLee, KungwonRhie, SukHeeHan, Kyung-HoShin, MarkJohnson

12월 5일(목) 13:00~14:30
Session : 강습회 프로그램

볼륨

✿ 좌 장 : 조성래(울산대)

- T-1 13:00 What is electron? 7
In Gee Kim*

12월 5일(목) 15:00~17:50
Session : Special Session I '자기학의 군사적 응용'

볼륨

✿ 좌 장 : 손대락(한남대) / 양창섭(국방과학연구소)

- 초S-I-1 15:00 국방 자기분야 연구를 위한 국방과학연구소 자기시험시설 소개 11
양창섭*, 정현주, 전재진
- 초S-I-2 15:20 해군함정의 영구자기장 감소를 위한 탈자기법 13
김휘석*, 임선호, 도재원
- 초S-I-3 15:40 탄약분야에서의 전자기유도기술 적용사례연구 15
정규채*
- 초S-I-4 16:10 입자 군집 최적화를 이용한 함정 소자코일 교정인자 산출 17
이정우*, 임선호, 도재원
- 초S-I-5 16:30 지구자기장 하에서 함정 횡동요에 따른 전자기 신호 해석 20
정희준*, 윤진식
- 초S-I-6 16:50 와전류 탐촉자를 이용한 총구 탄속 측정에 관한 연구 21
신준구*, 정규채, 손대락

초S-I-7	17:10	Air Bursting Munition의 속도계산을 위한 탐지코일의 유도전압 해석	23
		류권상*, 손대락	
초S-I-8	17:30	함정 자기신호 측정용 3-축 디지털 자기센서 설계 기법 연구	25
		손대락*	

12월 5일(목) 16:10~17:40
Session : 구두발표

다이아몬드

❁ 좌 장 : 이금원(고려대)

초O-I-1	16:10	Giant Perpendicular Magnetic Anisotropy of a Fe(001) Surface: A Density Functional Study	29
		D. Odkhuu, S. H. Rhim, Won Seok Yun, and S. C. Hong*	
O-I-2	16:40	Magnetic anisotropy of Fe thin films on vicinal Si(111) substrate	30
		Jeong Hong Jo*, Hee Kyung Kang, Hyung-jun Kim, Joonyeon Chang, and Sang Ho Lim	
O-I-3	17:00	Perpendicular Magnetic Anisotropy and Low Saturation Magnetization in [Pt/(Co,Cu)] _n Multilayers	31
		Dong Su Son*, Tae Young Lee, Sang Ho Lim [†] , and Seong-Rae Lee	
O-I-4	17:20	Ideal structure for tunneling magnetoresistance and spin injection into semiconductors: Ni(111)/BN/Co(111)	32
		Hashmi Arqum*, Jicheol Son and Jisang Hong	

12월 5일(목) 19:00~20:30
Session : 포스터발표 I

로비

❁ 좌 장 : 김삼진(국민대) / 김미영(숙명여대)

○ Session BM[Biomedical materials]

BM01	Poster	Single Magnetic Bead Detection in a Microfluidic Chip Using Planar Hall Effect Sensor	35
		Venu Reddy*, Hyuntae Kim, Kun Woo Kim, Ilgyo Jeong, Xing Hao Hu and CheolGi Kim	
BM02	Poster	삼층박막 구조의 PHR 센서를 이용한 자기 박테리아 감지	37
		유상엽*, 임병화, 송인철, 오선종, 김철기	
BM03	Poster	단일세포 개별제어를 위한 디지털자기영동	39
		Xing Hao Hu*, 임병화, 김철기	
BM04	Poster	Magnetophoresis in nano-/micro-channel	41
		김혁준*, Pardi, 이보화, 박유근, 박상윤 [†]	

○ Session HM[Hard magnetic]

HM01	Poster	Mechanical-milling-induced coercivity degradation in fine Nd-Fe-B-type HDDR Particles and its recovery	42
		K. M. Kim*, H.W.Kwon, J. G. Lee, J.H.Yu	
HM02	Poster	Coercivity of hot-pressed compacts of Nd-Fe-B- type HDDR-treated powder	44
		Md. Abdul Matin*, Hae-Woong Kwon, Jung-Goo Lee, and Ji-Hun Yu	
HM03	Poster	Shape Optimization of a Powder Aligning System for a Four Pole Anisotropic Bonded Nd-Fe-B Ring Magnet	46
		Hyo-Jun Kim*, Sun-Tae Kim, Sang-Hyup Lee, Sang-Myun Kim, and Tae-Suk Jang	

○ Session MO[Magnetic oxides and multiferroics]

MO01	Poster	Structure and magnetic properties in Bi ₂ Fe ₄ O ₉ /Fe ₃ O ₄ nanocomposite thin film on LaAlO ₃ substrate	48
		Duong Anh Tuan*, Yooleemi Shin, Nguyen Van Quang, Jeongyong Choi, and Sunglae Cho [†]	
MO02	Poster	BaTi _{0.93} Fe _{0.07} O _{3-δ} 의 산소 결핍에 따른 강자기 특성 연구	49
		김덕현*, 이민영, 권윤미, 이보화	

○ Session SM[Soft magnetic]

SM01	Poster	희토류 금속 Dy을 치환한 Y-type hexaferrite의 자기적 특성 연구	50
		조광래*, 김면우, 황병석, 김준형, 모동진, 최지훈, 김철성	
SM02	Poster	Synthesis and Magnetic Properties of Strontium W-type Hexagonal Ferrite	52
		Jae-Hyoung You*, Hyo-Jin Kim, and Sang-Im Yoo [†]	
SM03	Poster	Fabrication of iron phosphate-coated Fe alloy powder	53
		Hui Eun Kim*, Hyo-jinKim, SungYongAn, and Sang-ImYoo	
SM04	Poster	Effect of Impregnation on Permalloy Powder Core	54
		Hyo-Jin Kim*, Jae-Hyoung You, Hyun-SikChoi, Gu-HyunKim, Gwang-BoChoi, Heung Nam Han, and Sang-Im Yoo	
SM05	Poster	Study on Perpendicular Magnetic anisotropic properties of Amorphous Ferromagnetic CoSiB/Pd Multilayer with Various thicknesses	55
		Sol Jung*, Haein Yim	
SM06	Poster	알루미나 입도에 따른 압분 코어의 자기특성 변화	57
		최재정*, 장평우	
SM07	Poster	Ni-Zn ferrite의 Co doping 효과	59
		권윤미*, 김덕현, 이민영, 유춘리, 이보화	
SM08	Poster	Ni-Au 다층 나노선의 합성 및 자기적, 광학적 성질	61
		서효원*, 안부현, 조문규, 박범철, 김영근	
SM09	Poster	크기 조절이 가능한 MnFe ₂ O ₄ 페라이트 나노클러스터	63
		최영수*, 윤하영, 이지성, 우준화, 김영근	

SM10	Poster	T-DMB 대역 자성안테나용 $\text{Ba}_3\text{Co}_{1.5}\text{Zn}_{0.4}\text{Cu}_{0.1}\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 물질의 고주파수 특성 연구 65 이찬혁*, 조광래, 김현규, 김삼진, 김철성
SM11	Poster	Sr이 치환된 Z-type hexaferrite의 고주파수 특성 연구 67 김현규*, 이찬혁, 조광래, 심인보, 김철성
SM12	Poster	수직자기이방성이 구현되는 복합자성박막 비교 및 분석 69 최준호*, 김기하, 김도균, 김영근
○ Session SA[Sensors and applications]		
SA01	Poster	거대자기저항-스핀밸브 박막의 자기이방성 영역분포에 관한 연구 71 카지드마, 이장로, 이상석*
SA02	Poster	자성측정 홀소자와 압력측정 반도체 소자 손목형 맥진기의 비교연구 73 박도영*, 김용진, 이남규, 홍유식, 이상석
SA03	Poster	홀소자를 이용한 집게형 맥진기 시뮬레이터 제작과 맥동의 변위에 따른 영구자석의 자기장 시뮬레이션 특성 75 박태영, 심성아, 최광현, 김용진, 이상석*
SA04	Poster	Efficacy Evaluation of Vacuous Pulse and Replete Pulse by using Clip-type Pulsimeter Equipped with a Magnetic Sensing Hall Device 77 Nam-Kyu Lee, Sei-Jin Chang, Jun-Sang Yu, Jin-Kyu Rhee, and Sang-Suk Lee*
SA05	Poster	비틀림 변형하에서 전기도금 된 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}$ 와이어의 자기 임피던스 효과 79 조성언*, 김민우, 서수교, 김동영, 윤석수
SA06	Poster	공진형 무선전력전송 시스템에 의한 인체유도전류밀도의 통계적 해석 81 신한수*, 송혜진, 성동규, 변진규
SA07	Poster	100kHz-10MHz 자기장 노출에서 인체 유도전기장 추정을 위한 등가 신체지수 도출 83 송혜진*, 변진규, 신한수, 성동규
SA08	Poster	MR 유체를 이용한 가변 인덕터의 EMI/EMC 해석 85 성동규*, 변진규, 신한수, 송혜진

12월 6일(금) 09:00~16:40

Session : Special Session II

'Current Research Trends in Magnetic Materials'

볼룸

❀ 좌 장 : 김종렬(한양대) / 장태석(선문대)

초S-II-1	09:00	Novel process of rare-earth free magnet and thermochemical route for the fabrication of permanent magnet 89 Chul-Jin Choi*
초S-II-2	09:40	POSCO's Research and Development works on rare earth reduced NdFeB magnets production process 90 Junhan Yuh*

초S-II-3	10:40	Inter-lamellar nano-structure and magnetic properties of soft magnetic metals for high frequency applications	91
		Hakkwan Kim*, Sangkyun Kwon, Sungjae Lee, Kang Ryong Choi, Jungwook Seo, and Sung Yong An	
Invited S-II-4	13:30	R&D Trends of Rare Earth Permanent Magnets	92
		Aru Yan*	
Invited S-II-5	14:10	Research and production of NdFeB magnets associated with Zhejiang University	93
		Mi Yan*	
Invited S-II-6	14:50	Progress in the development of Dy-free high coercivity Nd-Fe-B permanent magnets	94
		K. Hono*	
Invited S-II-7	15:50	The development of Dy free MAGFINE and its applications to Motors	95
		Yoshinobu Honkura*	

12월 6일(금) 09:00~11:50
Session : 구두발표 II

다이아몬드

✿ 좌 장 : 민병철(KIST) / 김상국(서울대)

초O-II-1	09:00	One-dimensional magnonic crystals of dipolar coupled vortex lattice	99
		Dong-Soo Han, Andreas Vogel, Hyunsung Jung, Ki-Suk Lee, Markus Weigand, Hermann Stoll, Gisela Schütz, Peter Fischer, Guido Meier and Sang-Koog Kim*	
O-II-2	09:30	에피택셜 전사프린팅법으로 실리콘 기판 상에 전사된 InAs 고 전자이동도 트랜지스터 구조 내 스핀-궤도 결합의 게이트 의존성	101
		신재균*, 김경호, 엄두승, 이호찬, 임성동, 장준연, 구현철, 오민욱, 고현협, 김형준	
O-II-3	09:50	수직자기이방성을 갖는 MgO/Co/Pd 구조에서 열처리에 의한 스핀-궤도 결합 변화에 대한 연구	103
		김민석*, 김상훈, 홍종일	
O-II-4	10:10	Distinct Universality Classes of Domain Wall Roughness in Two-Dimensional Pt/Co/Pt Films	105
		Kyoung-Woong Moon*, Duck-Ho Kim, Sang-Cheol Yoo, Cheong-Gu Cho, Sungmin Hwang, Byungnam Kahng, Byoung-Chul Min, Kyung-Ho Shin, and Sug-Bong Choe†	
초O-II-5	10:40	Evaluation of the Usefulness of T2 map Images by using 3.0T MRI	106
		Jae-Hwan Cho*, Cheol-Soo Park, Eng-Chan Kim, Man-Seok Han	
O-II-6	11:10	Reversal dynamics of single vortex core driven by azimuthal spin-wave-mode excitations in soft magnetic disk	108
		Myoung-Woo Yoo*, and Sang-Koog Kim†	
O-II-7	11:30	The effect of diffusion coating process with Bi of HDDR processed Nd-Fe-B sintered magnet Al	110
		ShuLiu*, Ji-Hun Yu, Nam-Hyun Kang, Hae-Woong Kwon, Jung-Goo Lee†	

✽ 좌 장 : 김인기(포항공대 철강대학원) / 윤석수(안동대)

○ Session ST[Spintronics]

ST01	Poster	Electric field effect on the magnetic anisotropy of CoFeB/MgO/CoFeB magnetic tunnel junctions 113
		Taufik Bonaedy*, Jun Woo Choi, Chaun Jang, Byoung-Chul Min
ST02	Poster	Growth and transport properties of FeGe film on GaAs (100) substrate 114
		Duong Anh Tuan*, Yooleemi Shin, NguyenVanQuang, and SunglaeCho [†]
ST03	Poster	Effect of cross-sectional vortex formation on magnetization reversal in rectangular shaped Permalloy nanowires 115
		Imran Khan*, Jisang Hong and Chanyong Hwang [†]
ST04	Poster	Vortex dynamics of coupled circular-shape tri-layer magnetic nanodisks 116
		Ahmad A. Awad* and Sang-Koog Kim [†]
ST05	Poster	Fe(001) \ MgO(001) \ CuPc 하이브리드 다층박막의 계면에 유도된 스핀 편극 현상 .. 118
		배유정*, 이년종, Andrew Pratt, Y. Yamauchi, 김태희 [†]
ST06	Poster	Bcc-Co 초박막형성에 대한 Ta/CoFeB 하지층의 의존성 연구 119
		이년종, Maria Mansurova*, Vladyslav Zbarsky, Johannes Christian Leutenantsmeyer, 배유정, Markus Münzenberg, 김태희
ST07	Poster	스핀주입 향상을 위한 GaAs(110)동종에피성장에서 발생된 두께 의존성을 갖는 표창결함에 관한 연구 120
		신재균*, 장준연, 안재평, 김형준
ST08	Poster	Spin injection enhancement by electric field effect in a ferromagnet-semiconductor hybrid structure 122
		Youn Ho Park*, Hyun Cheol Koo [†] , Hyung-jun Kim, Joonyeon Chang, Suk Hee Han, and Heon-Jin Choi
ST09	Poster	Tunneling magnetoresistance characteristics of CoFeB/MgO/Py magnetic tunnel junctions 123
		Kyoung-Min Lee*, Jun Woo Choi, Chaun Jang, Junghyun Sok, and Byoung-Chul Min
ST10	Poster	Determination of g-factor and Shubnikov-de Haas Oscillation 124
		W. Y. Choi*, J. Chang, J. H. Lee, and H. C. Koo
ST11	Poster	Effect of nonmagnetic layer on perpendicular magnetic anisotropy of X(X=Ta, Hf, and Yb)/CoFeB/Mg/MgO structures 125
		Chul-Hyun Moon*, Byoung-Chul Min, Kyung-Jin Lee, and Kyung-Ho Shin
ST12	Poster	Electrical spin injection and detection in GaAs with ferromagnetic metal/MgO junctions 126
		심성훈*, 김경호, 김형준, 이윤희, 장준연

ST13	Poster	Threshold current for switching of a perpendicular magnetic layer induced by spin Hall effect	128
		Ki-Seung Lee*, Seo-Won Lee, Byoung-Chul Min and Kyung-Jin Lee	
ST14	Poster	Measurement of spin-orbit torques in Pt/Co/AlO _x heterostructures depending on Pt thickness	129
		Young-Wan Oh*, Kyeong-Dong Lee, and Byong-Guk Park	
ST15	Poster	Analysis of Inverse Spin Hall Effect from Spin Pumping in CoFeB/non-magnetic structures	131
		김동준*, 김상일, 이경동, 박승영, 박병국	
ST16	Poster	Large Asymmetric Behavior of the Spin Pumping in High Resistive Materials	133
		김동준*, 이경동, 박병국, 김상일, 박승영	

○ Session MT[Magnetic theory and calculations]

MT01	Poster	Theoretical limit of $(BH)_{\max}$ for hexagonal strontium ferrite (SrFe ₁₂ O ₁₉) permanent magnet	135
		Jihoon Park*, Yang-Ki Hong, Jaejin Lee, Woncheol Lee, Kang-Heon Hur, and Sung-Yong An	
MT02	Poster	Magnetic vortex dynamics with interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction	136
		문정환*, 이경진	
MT03	Poster	Pt ₃ M(M=Co,Fe)표면에서 O ₂ 흡착과 자성의 상관관계: 밀도범함수 이론	138
		권오룡*, 홍순철	
MT04	Poster	Pinning potential of a perpendicular magnetic domain wall due to a point defect	139
		Kyungmi Song*, Kyung-Jin Lee	
MT05	Poster	Control of domain wall motion by interference of spin wave	141
		Kyoung-Woong Moon*, Byong Sun Chun, Wondong Kim, and Chanyong Hwang [†]	

○ Session NM[Nanostructured materials]

NM01	Poster	Magnetic Anisotropy in [Pt/Co ₅ Ni ₅] multilayers structure	142
		Young Chan Won*, Sang ho Lim [†] and Seong-rae Lee	
NM02	Poster	Control of the shape and size of soft magnetic nanoparticles with three-dimensional vortex structure	143
		Prasanta Dhak*, Jae-Hyeok Lee, Ha-Youn Lee, Min-Kwan Kim, Kyung-Suk Jin, Ki-Tae Nam, and Sang-Koog Kim [†]	
NM03	Poster	Interacting magnetic nanoparticles of three dimensional magnetic vortex in geometrically different configurations	145
		Min-Kwan Kim*, Ha-Youn Lee, Kyoungsuk Jin, Prasanta Dhak, Jae-Hyeok Lee, Myoung-Woo Yoo, Jehyun Lee, Arim Chu, Miyoung Kim, Ki Tae Nam and Sang-Koog Kim [†]	
NM04	Poster	니켈 나노튜브의 FMR 선폭 변화 특성	147
		김동영*, 윤석수	

NM05	Poster	Ferromagnetism and photoluminescence of wurtzite ZnS:Ni nanospheres 149 Chunli Liu*, D. A. Reddy, D. H. Kim, B. W. Lee
NM06	Poster	자성나노입자 크기에 따른 DNA 정제 효율 연구 151 조현아*, 민지현, 우준하, 최영수, 장진우, 임채승, 김영근
NM07	Poster	Observation of helimagnetism in FeGe Nanowires 153 Dong-Jea Seo*, Tae-Eon Park, Byoung-Chul Min, Heon-Jin Choi, Joonyeon Chang [†]
○ Session OT[Others]		
OT01	Poster	용천혈에서 펄스자기장 자극의 영향에 대한 EEG분석 155 손희정*, 김영진, 황도근, 이현숙 [†]
OT02	Poster	Temperature dependent exchange bias in Co thin films on GaAs(100) 157 Yooleemi Shin*, Seungmok Jeon, Duong Anh Tuan, Jeongyong Choi, and Sunglae Cho [†]

12월 7일(토) 10:00~12:05

Session : Special Session III

'Magnetism in oxide material' -산회를 연구센터(한국외국어대) 주최

볼륨

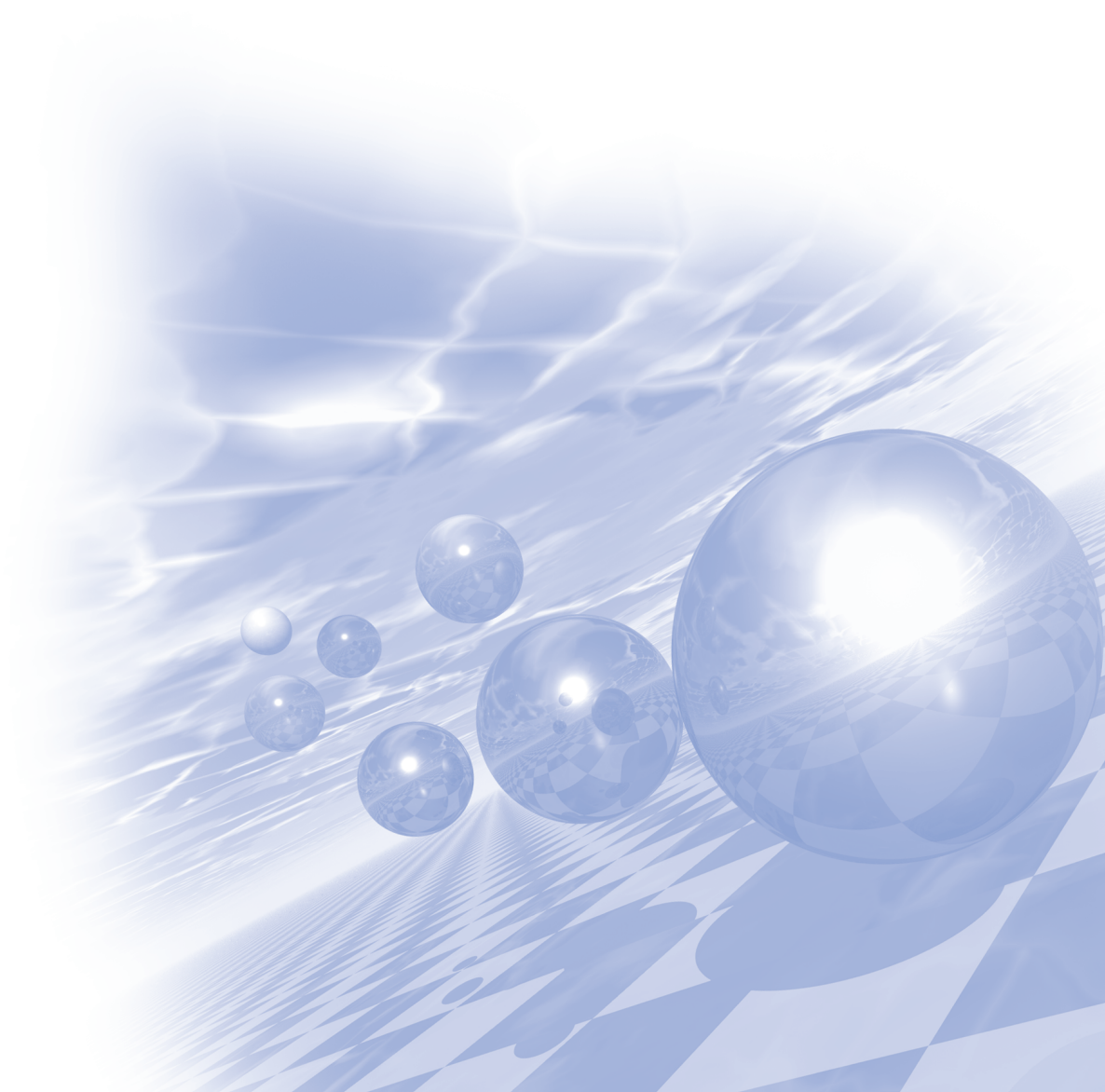
✿ 좌 장 : 정창욱(한국외대)

초S-III-1	10:00	Reversible electronic and magnetic structures in epitaxial strontium cobaltite thin films 161 Woo Seok Choi*
초S-III-2	10:25	자성체 산화물 박막의 스트레인에 따른 전자구조 분석 162 장영준*
초S-III-3	10:50	Coherent THz control of magnetization in orthoferrites 163 Tae-heon Kim, Sun Young Hamh, Jeong Woo Han, C. Kang, Chul-Sik Kee, Seonghoon Jung, Jaehun Park, Y. Tokunaga, Y. Tokura, and Jong Seok Lee*
초S-III-4	11:15	Co 산화물 박막의 구조 및 전자기적 성질 164 C. U. Jung*
초S-III-5	11:40	Concurrency control of the magnetic and ferroelectric transition in tetragonal-like BiFeO ₃ 165 Byung-Kweon Jang*, Chan-Ho Yang



International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013

총회 특별초청강연



Magnetic field controlled InSb avalanche diodes for reconfigurable logic

JoonyeonChang^{1*}, SungjungJoo^{1,2}, TaeyuebKim^{1,2}, JinkiHong², JinDongSong³, Hyun-WooLee⁴,
KungwonRhie², SukHeeHan¹, Kyung-HoShin¹, MarkJohnson⁵

¹Spin Convergence Research Center, KIST, Seoul 130-650, Korea

²Department of Display and Semiconductor Physics, Korea University, Sejong 339-700, Korea

³Nano Photonics Research Center, KIST, Seoul 130-650, Korea

⁴Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, 790-784, Korea

⁵Naval Research Laboratory, Washington DC 20375, USA

Logic devices based on magnetism show promise for increasing computational efficiency while decreasing consumed power. They offer zero quiescent power and yet combine novel functions such as programmable logic operation and nonvolatile built-in memory. It would be ideal if we could combine the low power attribute of spintronics with the fanout capability of semiconductor logic. However, practical efforts to adapt a magnetic device to logic suffer from a low signal-to-noise ratio and other performance attributes that are not adequate for logic gates. Here we have approached the development of a magnetic logic device in a way uniquely different from devices based on magnetoresistive effects that result from spin dependent transport of carriers. [1]

We have developed a magnetic-field-controlled diode as a semiconductor magneto-electronic device. We then made circuits of a few diodes to demonstrate dynamically reconfigurable Boolean logic, an approach to reprogrammable logic that offers new capabilities. The key innovation in our modified diode is the use of an InSb p-n bilayer for the channel. The bilayer has a 0.2- μm -thick n-type InSb top layer and a 6- μm -thick p-type InSb bottom layer.

In the avalanche diode, the electric field from the bias voltage accelerates electrons during ballistic trajectories. Each scattering event emits phonons that diminish the kinetic energy, but after a few trajectories the electron has sufficient energy to scatter with impact ionization, thereby creating new carriers. Our device shows a strong diode characteristic that is highly sensitive to both sign and magnitude of external magnetic field, offering reversible change between two different characteristic states by applying magnetic field. This feature results from magnetic control of carrier generation and recombination in an InSb p-n bilayer channel. Simple circuits combining such elementary devices are fabricated and tested. Boolean logic functions including AND, OR, NAND and NOR are performed. They are programmed dynamically by external electric or magnetic signals, demonstrating magnetic field controlled semiconductor reconfigurable logic at room temperature. This novel magnetic technology permits a new kind of spintronic device characterized as a current switch rather than a voltage switch and provides a simple and compact platform for non-volatile reconfigurable logic devices.

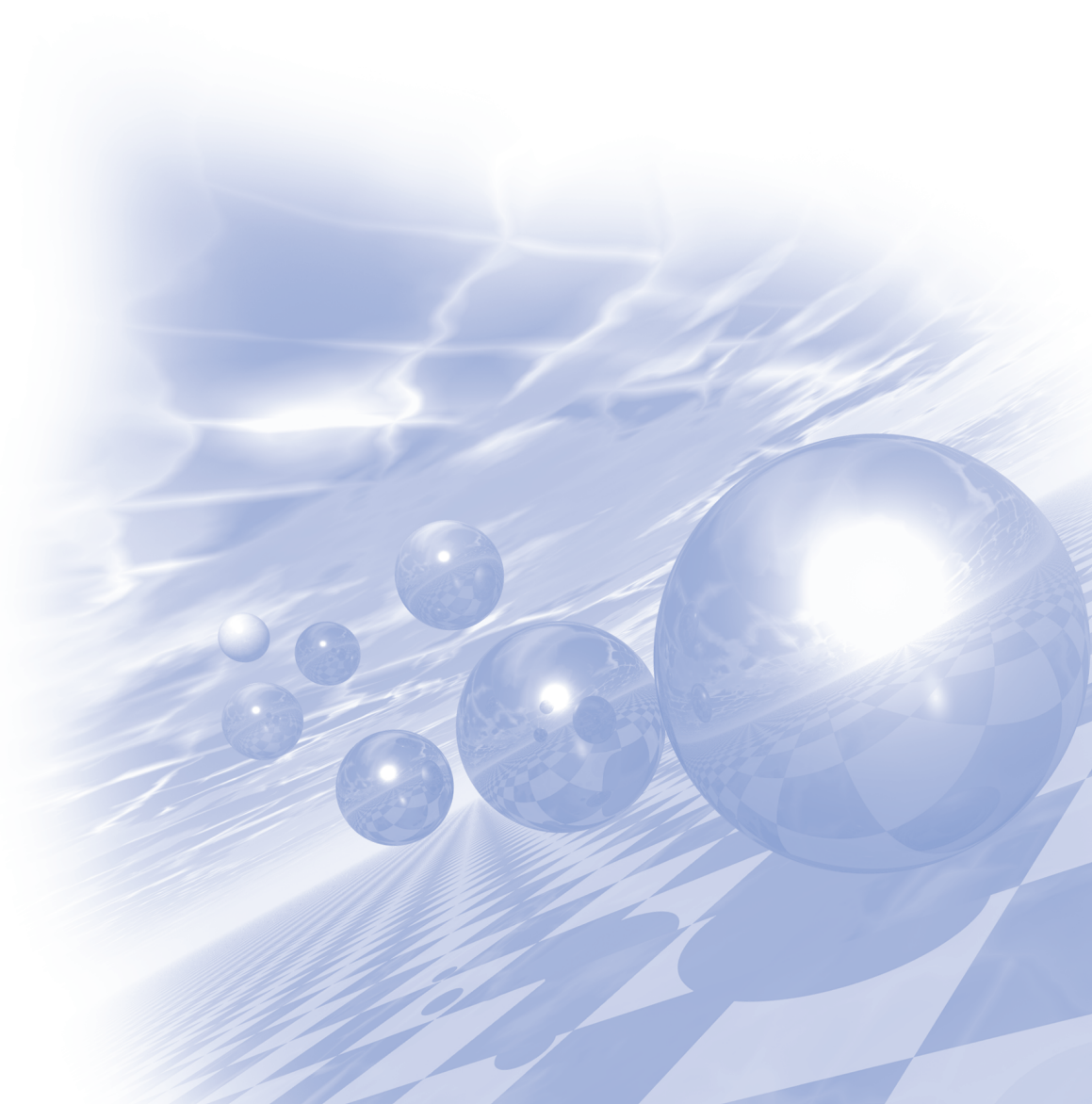
참고문헌

- [1] S. Joo et al., Nature, 494 (2013) 72



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

강습회 프로그램



What is electron?

In Gee Kim^{*}

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

^{*}igkim@postech.ac.kr

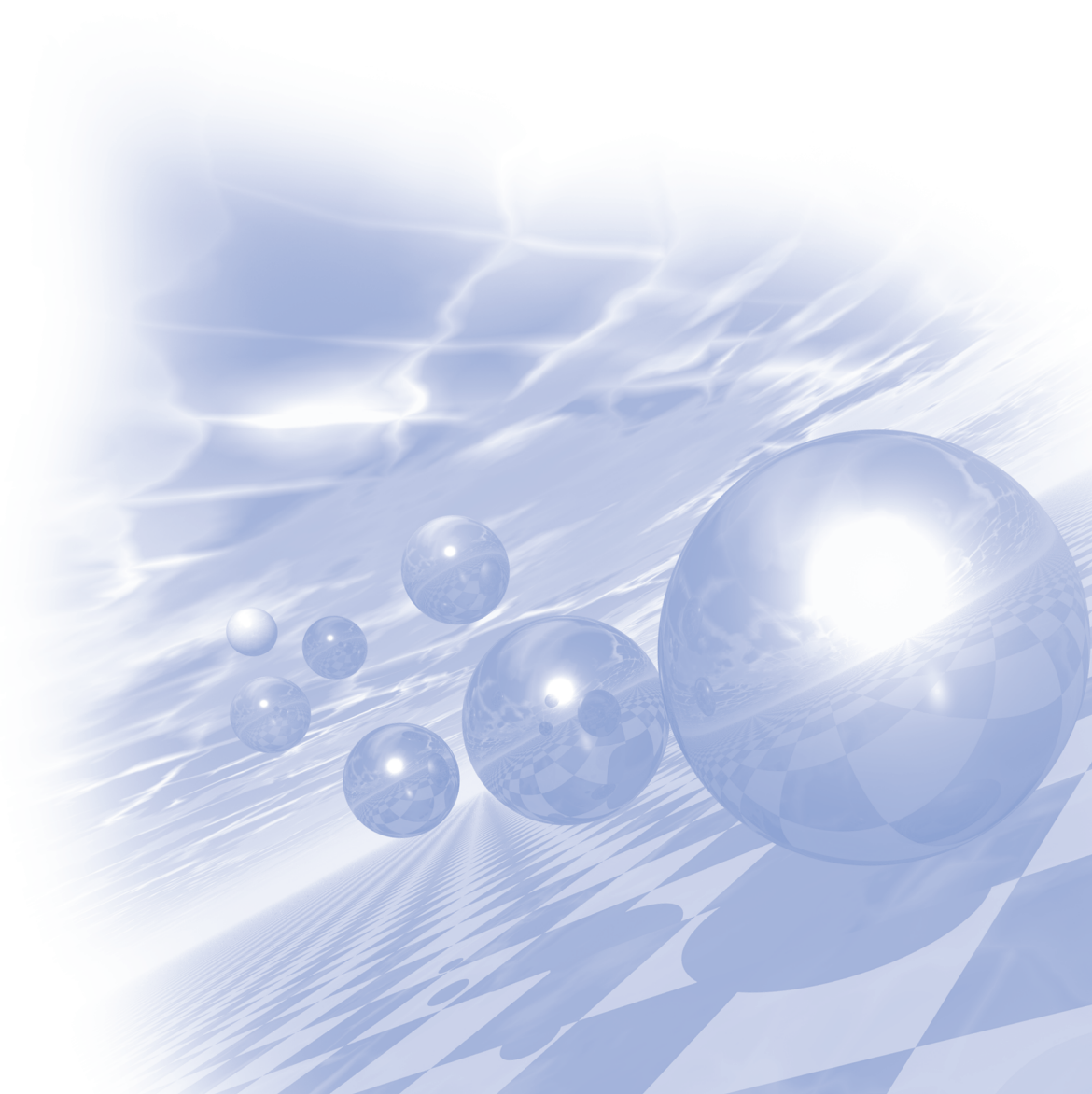
Electron is believed to be a point-like elementary particle, which carries the negative electric charge e ($\simeq -1.602 \times 10^{-19}$ C), the rest mass m ($\simeq 9.109 \times 10^{-28}$ g), and the intrinsic angular momentum, spin $\frac{1}{2}\hbar$. In this lecture, we are going to review those fundamental quantities of electron in terms of quantum field theory in the context of the Standard Model. A brief historical review and a concise explanation of the principles of relativistic quantum dynamics will be given before we discuss those fundamental properties. We will see the Lorentz invariance of the anticommuting fields leads the existence of spins and the subsequent quests for obtaining the classic quantum electrodynamic theory by Feynman, Schwinger, Tomonaga, and Dyson, leaving behind the origin of the charge and the mass of electron through the renormalization technique. The observed value of the electron charge were later understood as the consequence of a kind of phase transitions in terms of the Callan-Symanzik renormalization group equation, which is derived by making use of the Kadanoff-Wilson-Kogut scaling theory, inspired from the scaling hypothesis to the renormalization in quantum electrodynamics by Gell-Mann and Low. This renormalization group idea brought us the Standard Model, an *ad hoc* theory of the fundamental matter particles (quarks and leptons) and their interaction particles (photons, gluons, and weak bosons) by incorporating the Yang-Mills non-Abelian gauge theory. The existence of the observed masses of those elementary particles is now understood as the Goldstone-Anderson type Higgs symmetry breaking mechanism. We will see such spontaneous symmetry breaking idea to let us understand the unification concept from the Weinberg-Salam-Glashow electroweak theory to the Grand Unification Theory. We will conclude this lecture by a short comment of the many-body aspects of the electron theory.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

Special Session I

'자기학의 군사적 응용'



국방 자기분야 연구를 위한 국방과학연구소 자기시험시설 소개

양창섭^{1*}, 정현주¹, 전재진¹

¹국방과학연구소 제6기술연구본부 국방해양기술센터

1. 서론

국방과학연구소는 수중 자기 스텔스 분야의 핵심기술 개발, 자기응용 무기체계 연구 및 국방 자기분야의 대군 기술지원 업무 수행을 위해 비자성 실험실(1990년)과 자기센서 실험실(1997년)을 건설하여 운영하고 있다. 그러나 최근 장기간 동안 시험 장비를 운용함에 따른 기존 장비의 노후화는 물론 함정에서의 자기 스텔스 능력 발전 및 무기체계용 자기센서의 고성능화 추세로 인해 기존 자기 측정시설로는 자기분야 연구에 많은 제약을 받아왔다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 국방과학연구소에서는 ‘11 ~ 13년까지 ‘자기표적 특성 측정 및 분석 장치’ 및 ‘자기센서 성능측정 및 분석장치’를 신규 설계, 제작하여 함정 자기 스텔스 분야의 연구와 더불어 고성능화 되고 있는 미래 무기체계용 자기센서의 정밀 시험 능력을 확보하였다. 본 논문에서는 현재 운용 중인 국방과학연구소 자기관련 시험 시설의 현황 및 시험 능력에 대해 기술하고자 한다.

2. 자기표적 특성 측정 및 분석 장치

자기표적 특성 측정 및 분석 장치는 표적 자기장 계측/분석 장치, 표적 이동 장치, 지자기환경 제어 장치로 구성되어 있다.

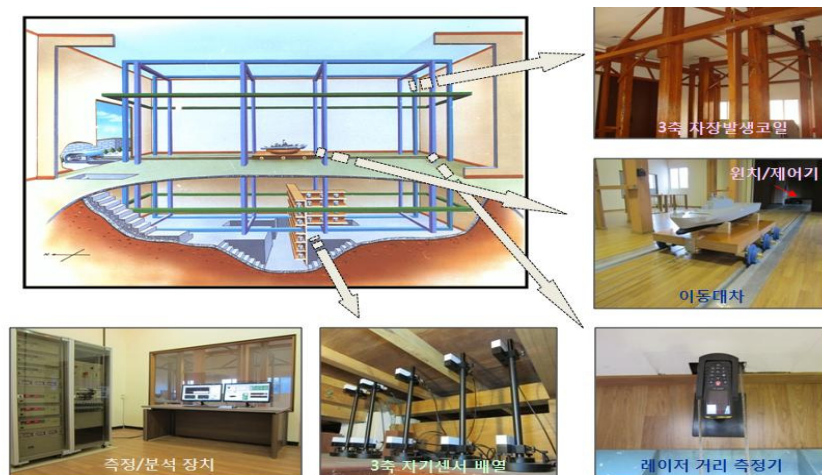


그림 1. 비자성 실험실(자기표적 특성 측정 및 분석 장치 포함)

- 가. 표적 자기장 계측/분석 장치는 국방과학연구소가 보유한 비자성 시험실에 설치하여 표준 자기센서(15조)로부터 대상 표적의 이동에 따른 자기장(DC ~ 3 kHz)을 실시간으로 측정하고, 측정된 신호로부터 대상 표적의 자기적 특성을 분석하는 기능을 수행한다.
- 나. 표적 이동 장치는 측정 센서와 일정한 수직 이격 거리를 유지하면서 피 측정 대상 표적을 등속으로 이동시키기 위한 장치로 0.1 ~ 10m/분의 속도 가변이 가능하다. 표적을 올려놓기 위한 이동대차의 제원은 1.8 m × 2.0 m × 0.55 m이며, 모든 재질은 비자성체로 제작되었다.

다. 지자기환경 제어 장치는 비자성 실험실에 설치되어 있는 3축 자장발생코일에 특정 전류를 인가하여 임의 지역의 지자기 환경(수평 및 수직 최대 발생 자기장 : $\pm 100,000$ nT)을 모사하는 기능을 수행하도록 설계되었다.

3. 자기센서 성능 측정 및 분석 장치

자기센서 성능측정 및 분석장치는 ‘직류자기센서 시험장치’와 ‘교류자기센서 시험장치’로 구분된다.

가. 직류자기센서 시험장치는 국방과학연구소가 보유한 자기센서 실험실의 자기차폐룸(MSR, Magnetic Shielded Room)내에 설치되어 시험대상 직류 자기센서의 성능을 실시간 측정하고, 분석하도록 설계되었다.

나. 교류자기센서 시험장치는 시험대상 센서의 용도에 따라 Solenoid를 이용한 교류 자기센서 시험장치와 3축 Helmholtz 코일을 이용한 교류자기센서 시험장치로 구성되며, 자기센서 시험실에 설치되어 교류 자기센서의 성능을 실시간 측정하고, 분석하도록 설계되었다.



그림 2. 자기센서 실험실(자기센서 성능 측정 및 분석 장치 포함)

4. 결론

본 논문에서는 함정 자기 스텔스 연구 및 무기체계용 자기센서의 정밀 성능 시험 능력을 확보하기 위한 목적으로 실험실 능력보강을 통해 최근 제작된 ‘자기표적 특성 측정 및 분석 장치’와 ‘자기센서 성능측정 및 분석장치’의 설계 및 제작 결과에 대해 기술하였다. 국방과학연구소는 개발된 시험 시설 및 장비를 활용하여 국방 전자기 스텔스 분야의 핵심 기술 개발 및 미래 무기체계용 자기센서 개발을 지속적으로 수행할 계획이다.

5. 참고문헌

- [1] 양창섭, 정현주, 전재진, 2012년 함정기술세미나, 42(2012)
- [2] 양창섭, 정현주, 전재진, 2013년 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 센서신호처리, 801(2013)
- [3] 양창섭, 정현주, 전재진, 한국군사과학기술학회지, 16(4), 465(2013)
- [4] 정현주, 양창섭, 국방과학연구소 연구보고서, ADDR-520-120967, 1(2012)

해군함정의 영구자기장 감소를 위한 탈자기법

The Magnetic Treatment Method for Low-Observable Naval Vessel

김휘석*, 임선호, 도재원

LIG 넥스원 Maritime 연구소

1. 서론

수중기뢰의 트리거 역할을 하는 자기센서(Magnetic field sensor)의 성능이 계속 발전함에 따라 수중기뢰에 대한 위협으로부터 함정을 보호하는 것이 더욱 더 중요해지고 있다. 이에 대해 여러 각국의 해군들은 기뢰의 위협으로부터 함정을 안전하게 보호하기 위해 여러가지 대책들을 수립하여 엄격히 통제하고 있으며, 함정의 자기 정숙화(Magnetic Silence)와 관련한 독자적인 자기처리시설(Magnetic Treatment Facility: MTF)을 구축하여 운영하고 있다[1].

2. 함정자기장의 종류 및 자기처리 방법

함정은 선체의 대부분이 강자성체로 이루어져 있어서 오랜시간 지구자기장과 같은 외부자기장에 노출되거나 해수와의 마찰 등으로 인한 기계적 스트레스에 의해 쉽게 자화특성이 변하는 성질을 가지고 있다. 이러한 원인들에 의해 함정에서 발생하는 정자기장(static magnetic field)신호는 일반적으로 영구 자기장(permanent magnetic field)과 유도 자기장(induced magnetic field)의 두 가지 성분으로 나뉘어진다. 영구자기장은 열 또는 기계적 응력(stress)등에 의하여 함정의 자기적인 성질이 변하여 영구적으로 생성되는 신호성분으로 영구자화에 의한 영구 자기장은 동일한 형상의 함정일지라도 외부자기장이나 응력 등의 원인에 따라 그 특성이 서로 상이하여 그 예측이 용이하지가 않다. 이에 반해 유도 자기장은 함정이 지구자기장과 같은 외부자기장에 노출되어 선체의 일시적인 자화(magnetization)에 의해 발생하는 것으로 유도자화에 의한 유도 자기장은 유한요소법(FEM)등의 수치해석 툴들을 사용하면 쉽게 예측이 가능하다. 함정을 자기처리(magnetic treatment)하는 대표적인 방법으로 탈자(Deperming)와 소자(Degaussing)가 있다[2, 3]. 탈자는 앞서 언급한 영구 자기장을 줄이기 위해 함정을 정박하고 주기적으로 교번하며 줄어드는 자기장을 인가하여 처리하는 방법이며, 소자는 함정 내에 설치된 소자코일(Degaussing coil)을 이용하여 함정의 외부로 누설되는 유도 자기장을 줄이는 것이다.

3. 탈자의 방법 및 종류

해군의 모든 함정은 선체의 재질 및 소자코일의 유무에 따라 아래 표 1.과 같이 분류된다.

표 1. 함정의 분류

분류	선체의 재질	소자코일(Degaussing coil) 유무
1군	비자성체	○
2군	자성체	○
3군	자성체	×

이 중에 선체가 강자성체로 이루어진 2군과 3군만이 자기처리의 방법인 탈자(Deperming)를 적용한다. 탈자를

하는 방법은 다음과 같다. 함정의 길이방향 자기신호를 감소하기 위해 그림 1.과 같이 솔레노이드의 형태로 함정에 전력케이블(X코일)을 권선하여 함정의 길이방향으로 자기장을 생성하며, 함정의 수직방향 자기신호를 제어하기 위해서는 수중에 전력케이블(Z루프)을 루프의 형태로 설치하여 수직방향으로 자기장을 생성한다. 이때 X코일과 Z루프에 인가되는 전류파형의 형태를 자기처리(탈자) 프로토콜이라고 한다. Deperm R, Flash-D 등의 자기처리 프로토콜이 있으며 2군과 3군에 적용되는 프로토콜이 서로 다르다. Deperm R은 2군에 적용되는 프로토콜로 X코일만을 사용하여 함정의 종축방향 자기신호만을 제어하며 함정의 수직자기신호는 탈자 후 소자장비로 제어한다. Flash-D는 X코일과 Z루프를 모두 사용하는 프로토콜로서 함정의 종축 및 수직방향의 함정자기신호를 제어한다. 3군에 적용되는 프로토콜을 2군에 적용할 수는 있으나 2군에 적용되는 프로토콜을 3군에 적용할 수는 없다. 3군 프로토콜의 경우 자기처리 시간이 오래 걸리고 숙련된 운용자의 경험이 필요한 단점이 있다.

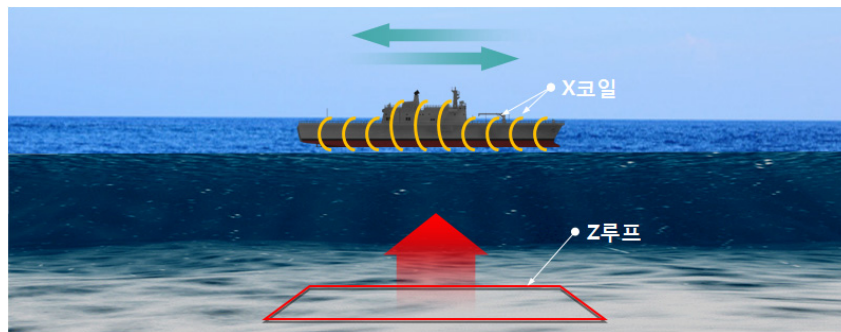


그림 3. 함정 탈자를 위한 자기장의 생성

4. 맺음말

국내에는 미국에서 설치하여 운용 중이던 기존의 자기처리 부두시설이 있으나 노후화되어 신규 자기처리 부두시설을 LIG넥스원에서 국내 개발하여 현재 시험운용 중에 있다. 기존 및 신규 자기처리 시설은 X코일을 모두 함정에 직접 권선하는 방식이며 다양한 종류의 함정을 한 개의 시설로 자기처리 할 수 있다는 장점이 있으나, X코일의 권/해선에 많은 시간을 소모하는 단점이 있다. 해외에서는 함정의 크기에 따라 자기처리 시설을 달리하여 X코일을 솔레노이드의 형태로 고정 설치해서 운용 중에 있으며, 이는 함정의 자기처리 시간을 단축하여 함정이 자기처리하는 동안 해군 전력의 공백을 최소화할 수 있다. 함정의 자기처리는 기뢰로부터 함정을 보호하기 위한 기본적인 대응책으로써 필수로 시행되어야 하는 일이다. 대한민국의 해군이 더욱 더 효율적으로 작전을 수행하고 작전 중의 안전을 확보하기 위해서는 함정 자기신호에 대한 연구가 활발히 이루어져야만 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Minimizing the magnetic anomaly created by ships in the earth field, Grenoble, France, 2002 (private report)
- [2] J. J. Holmes, "Reduction of a Ship's Magnetic Field Signatures," Morgan & Claypool publishers (2008).
- [3] J. J. Holmes, "Exploitation of a Ship's Magnetic Field Signatures," Morgan & Claypool publishers (2006).

탄약분야에서의 전자기유도기술 적용사례연구

정규채^{1*}

¹경북 구미시 공단동 258, (주)한화 구미사업장

1. 서론

전자기유도기술은 비접촉적 에너지원이고 별도의 전원이 없더라도 여러 가지 용도로 사용가능한 기술이기 때문에 군사적 용도로 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 특히 군사적 용도 중 탄약분야에 국한되어 적용된 사례를 살펴보고 사례를 통해 미래 탄약분야에 발전을 도모하고자 한다.

2. 적용사례

가. 탄 회전수 감지를 통한 신관카운팅

- 탄 발사 후 지구자기장을 감지하여 탄의 회전수를 계수하고 원하는 회전수에 기폭하는 신관에 적용

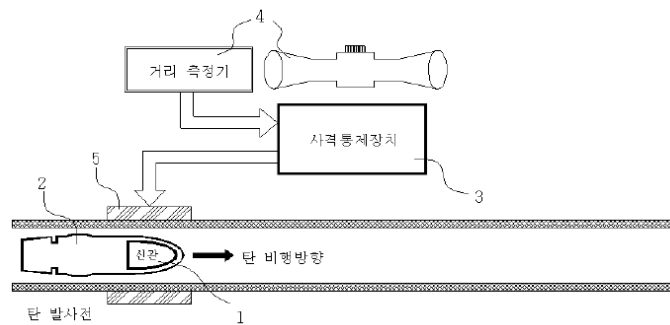


그림 1 회전수계수신관

나. 비접촉 방식을 통한 신관 양방향 데이터 통신

- 신관에 데이터를 입력하기 위해 전자기유도를 이용한 비접촉적 통신 방식으로 신관 및 장입기 간의 양방향 데이터 통신

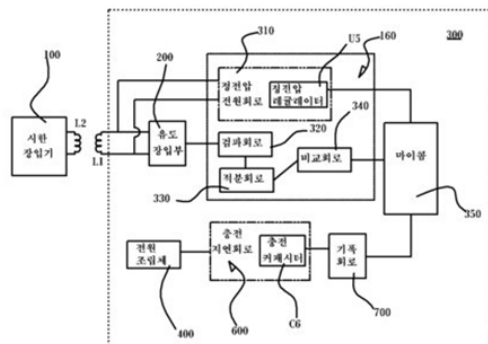


그림 2 전자기유도식 신관 데이터 통신

다. 비접촉 상호 인덕턴스 변화에 의한 총구탄속감지 및 보정

- 1차/2차 코일간의 인덕턴스 변화를 이용하여 탄속을 감지하고 기폭거리오차를 보정하여 장입하는 기술



그림 3 탄속감지 및 보정

라. 관성전원발생기

- 탄 발사 시 setback 에너지를 이용한 전자기유도전압을 생성하는 전원발생기를 신관에 적용

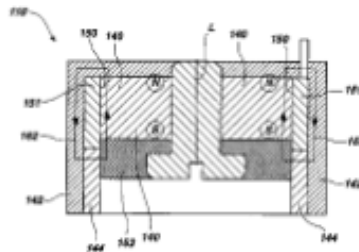
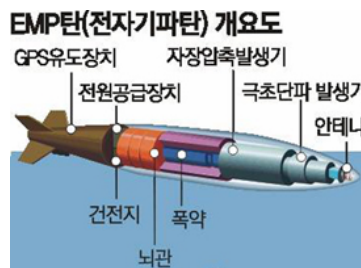


그림 4 관성전원발생기

마. EMP(electromagnetic pulse)탄

- 전자기펄스(EMP)로 인하여 나타나는 전자 방출 효과로, 전자기펄스의 영향을 받는 곳에 있는 모든 전자 기기를 파괴함.



3. 결론

- 국내외 탄약분야에 적용된 전자기유도기술을 통해 미래 탄약 무기체계에 전자기유도기술의 소요가 증대 될 것으로 예상함.

4. 참고문헌

- [1] <http://www.rheinmetall-wm.com>
- [2] U.S patent 7781709B1 "Small caliber guided projectile" - P.8
- [3] U.S patent 7669532B2 "Method and apparatuses for projectile fuze setback generator power source and projectiles including same" - P.1
- [4] KR특허 10-2006-0036263 “공중폭발탄용 약실유도장입형 회전수계수형신관 및 그제어방법” - P.10

입자 군집 최적화를 이용한 함정 소자코일 교정인자 산출 Obtaining Degaussing coil input parameters using PSO

이정우*, 임선호, 도재원

Lee Jung-Woo, Lim Sun-Ho, Doh Jae-Won

LIG 넥스원(주) 연구개발본부 Maritime 1연구센터

jungwoo.lee@lignex1.com

1. 서론

함정 선체인 강자성체에 의해 발생하는 영구자기장과 유도자기장을 저감하여 자기 스텔스를 실현하는 방법으로 탈자와 소자가 사용된다. 탈자는 함정의 영구자기장을 제거하는 방법으로 연안에 별도의 탈자시설을 갖추고 Deperm-R, Flash-D 등의 규격화된 탈자 절차에 따라 탈자를 진행하는 수동적 스텔스 기법이다. 반면, 소자는 탈자처리 후 함정에 남아 있는 잔영구자기장과 지구자기장에 의한 유도자기장을 최소화시키기 위한 방법으로 함정 내부에 3축 방향으로 코일을 설치하고 코일에 전류를 인가하여 수중 함정 자기장 신호를 상쇄하는 능동 스텔스 기법이다[1]. 이 때, 소자코일에 인가되는 전류를 소자코일 교정인자라고 부르며, 소자코일 교정인자 산출 문제는 현재 함정 자기장을 상쇄할 수 있는 자기장을 발생시키기 위한 다수의 소자코일 교정인자를 결정하는 조합 최적화 문제로 표현될 수 있다. 한편, 입자 군집 최적화(Particle Swarm Optimization, PSO)는 Kennedy와 Elberhart에 의해 제안된, 조합 최적화 문제를 효율적으로 풀기 위한 메타 휴리스틱 알고리즘이다[2]. PSO는 GA와 유사하게 개체군집(population)에 기반한 최적화 방법이며, 기초 연구 분야 뿐만 아니라, 실제 엔지니어링 응용 프로그램에도 다수 적용되어 그 성능이 입증되었다[3-5]. 본 논문에서는 PSO를 이용하여 함정 소자코일 교정인자 산출 문제를 푸는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해, PSO에 대한 소개와 소자코일 교정인자 산출 문제에 대한 정의를 하고, 실험을 통해 제안된 방법의 타당성을 보일 것이다.

2. 입자 군집 최적화(Particle Swarm Optimization, PSO)

PSO는 물고기, 새떼와 같이 군집활동을 하는 집단의 행동양식을 모방한 자연계 기반 확률적 계산최적화 방법이다. Particle 은 최적화될 함수공간 상의 하나의 해를 나타낸다. 통상 함수 매개변수의 수에 따라 d 차원 벡터로 표시되며, 여기서는 i 번째 particle이 k 번째 탐색한 위치벡터를 다음과 같이 나타낸다.

$$X_i^k = [x_{i1}^k, x_{i2}^k, \dots, x_{id}^k].$$

각 particle은 각자가 경험한 최 해의 위치 pbest를 가지며 집단전체는 집단 전체적으로 경험한 최적해의 위치 gbest를 가진다. PSO에서 각 입자들은 현재의 위치 벡터와 pbest, gbest를 이용하여 다음과 같이 next iteration에서의 자신의 속도를 갱신한다.

$$v_{id}^{k+1} = w \times v_{id}^k + c_1 \times rand() \times (pbest_i - x_{id}^k) + c_2 \times rand() \times (gbest - x_{id}^k)$$

또한, 수식 5에 의해, 자신의 위치를 갱신한다.

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1}$$

즉, PSO는 탐색을 반복하면서 얻어진 gbest와 pbest의 방향으로 각 particle의 현재 위치를 수정해 나가면서 전역 최적해를 찾기를 확률적으로 기대하는 알고리즘이다[3].

3. 소자코일 교정인자 산출 문제

한국 해군의 기존 함정자기 측정소에서는 각 소자코일 교정인자 구하기를 오로지 운용자의 경험과 측정 수치의 육안 확인에 의존해 왔고, 실제로 이는 각 함정 당 수십번의 기동 측정(약 2주)을 필요로 했다. 이 작업은 다음의 중복순열에 의한 크기의 해공간을 탐색하는 것과 같다. 소자코일의 개수를 N , 코일 $n(1 \leq n \leq N)$ 에 인가 가능한 전류치

의 집합을 A_m 그리고 $|A_1|=|A_2|=...=|A_N|=m$ 이라고 가정하면, 이 문제의 해집합의 개수는 m^N 이 된다. 실제 한국 해군이 보유한 소자장비는 $7 \leq N \leq 21$, $800 \leq m \leq 3000$ 정도가 되므로, 이를 Bruce-force 같은 무작위 탐색 방법을 이용하여 해를 찾고자 할 경우, 한 인스턴스당 컴퓨터 계산시간을 0.003초라 가정하더라도, 최소 $1.9950e+010$ 년이라는 총 계산 시간이 나온다. 따라서 본 논문에서는 이 문제를 다음과 같은 목적함수로 표현하고 이를 최소화하는 전류의 인스턴스를 찾는 최적화 문제로 모델링할 것이다. 목적함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \max_s |B + Cx| \quad \text{식(1)}$$

x : N개의 코일 전류값에 해당하는 N차원 공간 상의
instance
 B : 상쇄하고자 하는 합성 자기장 센서 측정치
 $C = [C_1 \ C_2 \ ... \ C_N]$
 C_n : 코일 n 의 소자코일효과 벡터 ($1 \leq n \leq N$)
 s : 센서 번호 ($1 < s < S$)
 S : 총 센서 갯수

어떤 코일 n 에 1AT의 전류가 인가되었을 때 발생하는 자기장을 그 코일의 소자코일효과(C_x)라고 한다. 각 코일에 $x=[x_1, x_2, ..., x_N]$ 의 전류를 인가하였을 때의 소자코일효과 C_x 와 합성의 남은 자기장(B)의 합은 S 개의 센서 각각에서 감지 되는데, 이 S 개의 센서 중 가장 큰 값을 보이는 센서를 찾아 이를 최소화시키는 것이 목적이다. 따라서 이 문제의 해는 다음과 같이 $f(x)$ 를 최소화(minimization)시키는 전류값 x 를 찾는 것이 된다.

$$\min_x f(x) \quad \text{식(2)}$$

4. 실험

제안된 방법의 모의 실험은 합성 길이방향 유도자기장(ILM)의 보상을 기반으로 하였다. 상쇄시킬 합성 길이방향 유도자기장과 합성 소자코일효과 데이터는 FEM(유한요소해석) 도구를 이용한 모델링을 통해 획득하였다.

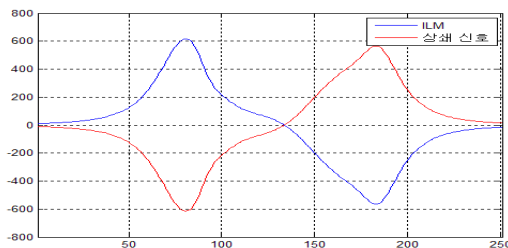


그림 1. 모델 합성 ILM 및 보상 신호

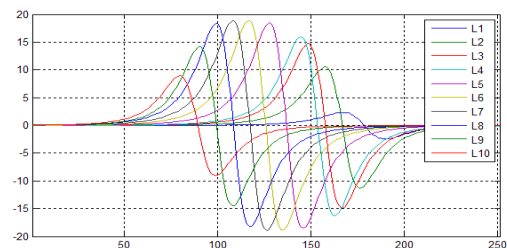


그림 2. 모델 합성 L코일효과

그림 1의 ILM(푸른선)을 보상하기 위해 그림 2의 L코일효과들의 선형조합에 의한 보상신호(붉은선)를 생성해야 하며(식(1)을 최소화(minimize)하기 위한 방법 도식), 이는 각 코일에 인가할 적절한 교정인자를 산출하는 것이다. 이 문제를 풀기 위한 PSO의 파라미터는, particle수:20, 반복횟수:200, $C_1=C_2=2$ 이고, inertia weight는 초기 0.9로 시작하여 0.4까지 선형적으로 감소시켰다. 표1은 각 코일에 인가할 전류치이고 그림3은 그로 인해 상쇄된 합성 자기장이다.

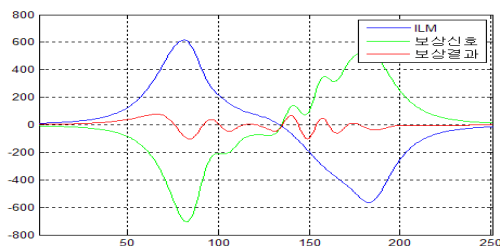


그림 3. 보상결과

L1	-81.28	L6	-13.01
L2	-28.93	L7	-12.21
L3	14.18	L8	-17.03
L4	-38.74	L9	-9.66
L5	-24.34	L10	-48.32

표 1. L코일 교정인자(A)

5. 결론

본 논문에서는 조합최적화 문제를 풀기 위한 대표적인 메타휴리스틱 알고리즘인 PSO를 이용하여 함정 소자코일 교정인자 산출 문제를 풀이하였다. 결과는 소자코일 전류 인가 전(peak : 615.75)에 비해 산출된 교정인자 인가 후 (peak : 103.43) 약 83%의 소자효과를 보았다.

참고문헌

- [1] Timothy Malcolm Baynes BSc. (2002), Analysis of the Demagnetisation Process and Possible Alternative Magnetic Treatment for Naval Vessel : Doctor of Philosophy's thesis, The University of New South Wales, School of Physics, Faculty of Science.
- [2] Kennedy J., Eberhart R.C., , Particle swarm optimization, Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, pp.1942-1948,1995.
- [3] Angeline P.J., Evolutionary optimization versus particle swarm optimization: philosophy and performance differences, Evolutionary Programming, vol. VII, Berlin, Springer, pp. 601-610, 1998.
- [4] Clerc M., Kennedy J., The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, pp. 58-73.2002.
- [5] Trelea I.C., The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection, Information Processing Letters, Vol. 85, pp. 317-325, 2003.

지구자기장 하에서 함정 횡동요에 따른 전자기 신호 해석 Electromagnetic Signature Analysis of a Naval Vessel Rolling in Earth's Magnetic Field

정희준^{1*}, 윤진식²
^{1,2}가우스텍

1. 서론

함정에 물결의 작용과 같은 외력이 작용하면 함정은 여러 가지의 흔들림을 받게 된다. 이러한 흔들림에는 횡동요(rolling, 배가 좌우로 흔들리는 동요), 종동요(pitching, 배가 앞뒤로 흔들리는 동요), 선수동요(yawing, 배가 상하로 흔들리는 동요) 등이 있으며, 이 중에서도 가장 일어나기 쉬운 것이 횡동요이다. 함정을 구성하는 재질은 일반적으로 전도도를 가지므로 지구자기장 하에서 횡동요에 따른 운동으로 인해 와전류(eddy current)가 발생되며, 이로 인해 전자기신호(Electromagnetic Signature)가 발생되게 된다. 본 논문에서는 유한요소법(finite element method)을 이용하여 함정의 횡동요로 인하여 상대적으로 교번하는 자기장(alternating field)에서의 와전류를 계산하여 전자기신호를 예측하는 방법을 소개한다.

와전류 탐촉자를 이용한 총구 탄속 측정에 관한 연구

신준구^{1*}, 정규채¹, 손대락³

¹(주)한화

²한남대학교 물리학과

1. 서론

중소구경 공중폭발탄의 시한 정밀도를 향상시키기 위하여 약실 접촉식 기폭 시한 장입이나, 약실 비접촉식 기폭 시한장입, 총구 유도 장입, 광다이오드를 이용한 발사 후 시한장입 등 다양한 방법들이 개발되고 있다. [1]

그 중에서 총구에서 비접촉으로 탄속을 측정하는 방법으로는 크게 광학적인 방법과 자기적인 방법이 있다. 광학적인 방법의 경우 이물질에 의하여 오작동이 될 수 있기 때문에 본 연구에서는 자기적 방법을 사용하여 탄속을 측정하는 방법에 대하여 연구를 하였다.

자기적 방법으로는 전기 전도도나 투자율을 가지는 금속에 의한 코일의 인덕턴스 변화를 측정하는 방법으로 와전류 탐촉자를 설계하여 탄속을 실험적으로 확인하였다.

2. 실험방법

가. 모의 발사장치를 이용한 발사시험

영구자석을 이용한 방법과 함께 비파괴 검사 등에 사용되는 와전류 탐촉자의 원리를 응용하여 보았다. 원통형 코어의 경우 자기장이 넓은 영역으로 퍼져 영향을 주기 때문에, 이러한 영향을 줄이기 위하여 U-형태의 ferrite 코어에 코일을 권선하는 형태를 사용하였다.

일반적인 와전류 탐촉자는 원통형의 코어에 코일을 권선한다. 본 연구에서는 외부의 금속이나 자성체에 의한 영향을 최소화하기 위하여 단면적이 $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$, 길이가 20 mm 인 U 자형의 Mn-Zn 계열의 ferrite 코어를 사용하였다. 제작된 탐촉자는 그림 10-(a)와 같고, 속도를 측정하기 위한 전자장치는 그림 10-(b)와 같이 구성하였다.



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

나. 실험 사격을 통한 탄속 확인

K4기관총의 소염기를 제거하고 여기에 와전류 탐촉자가 장착된 시험장치를 장착 후 실제 탄속을 측정하였으며, 동시에 도플러 레이다를 이용하여 탄속을 병행 측정하여 그 정확도를 비교 분석하였다.

3. 실험결과

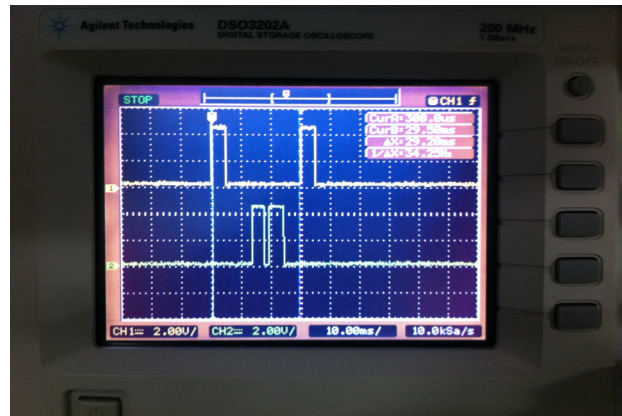


그림 2. 자기적 방법으로 탄속을 측정한 TTL 신호(아래) 및 광학적 방법으로 측정한 TTL신호(위)

그림 2는 본 연구에서 제작된 와전류 탐촉자의 간격을 10 cm, 광학센서의 간격이 50 cm 일때 측정이 된 것으로, 탄속이 17 m/s에서 자기적 방법으로도 탄의 속도를 잘 측정함을 알 수 있었다.

실탄 사격을 통해서도 실제 발사환경에서 와전류 탐촉자를 이용한 계측 결과가 242m/s 수준에서 도플러 레이더 계측결과와 2% 수준에서 일치함을 확인하였다.



그림 3. 총기에 장착된 와전류 탐촉자

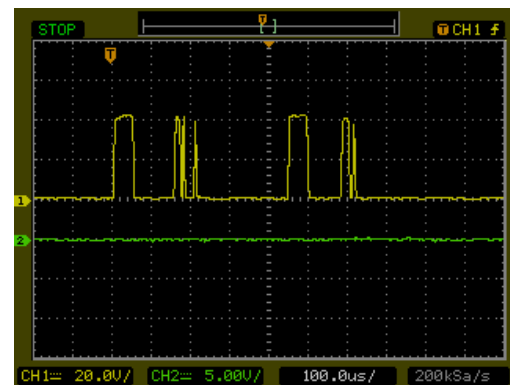


그림 4. 5번째 탄속 계측 결과

4. 결론

시한장입방식을 적용하는 공중폭발탄 또는 AHEAD와 같은 전방 확산탄의 공중폭발 정확도를 향상시킬 수 있는 탄속감지장치를 가장 군사적으로 활용 가능성이 높은 자기적 방법인 와전류 탐촉자를 활용하여 구현하였으며 기존에 사용하던 비접촉 두 개 코일간의 인덕턴스 변화를 감지하는 방식을 대체할 수 있음을 확인하였다. 본 연구를 통해 확보된 기술은 실제 전장 상황에 활용할 수 있도록 무기체계에 적용하여 개발할 예정이며 공중 폭발 정확도 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

[1] <http://www.rheinmetall-wm.com>

[2] Fausto Fiorillo, "Measurement and Characterization of Magnetic Materials", Elsevier(2004)

Air Bursting Munition의 속도계산을 위한 탐지코일의 유도전압 해석

류권상^{1*}, 손대락²

¹한국표준과학연구원

²한남대학교

1. 서론

총구를 떠난 탄이 목표지점에 정확하게 떨어지게 하는 기술개발은 군사적 목적에서는 매우 중요하다. 탄의 추진력은 화학적 폭발에 의해 얻어짐으로 탄들이 총구를 떠날 때의 속도는 일정하지 않다. 따라서 목표지점에 탄을 정확하게 폭발시키기 위해서는 탄이 총구를 떠날 때 속도와 탄도를 정확히 측정하여야 한다. 탄속을 측정하기 위해서는 소염기 부분에 장착된 장치와 탄이 신호를 서로 주고받아야 한다. 이를 위해서는 비접촉으로 짧은 시간 안에 측정이 이루어져야 한다. 탄속을 측정하는 방법에는 탄이 자신의 속도를 측정하는 방법과 소염기에서 측정하는 방법이 있다[1,2]. 소염기에서 측정하는 경우 측정된 속도정보를 탄에 입력하여야 한다.

본 연구에서는 영구자석, 요크 및 탐지코일로 구성된 모델에서 속도변화에 따른 탐지코일의 유도전압을 전산모사한 후, 두 인자의 관계식에서 탐지코일의 유도전압을 측정하면 탄속을 구할 수 있도록 하였다.

2. 자기적 방법에 의한 탄속측정

탄속을 측정하는 두 가지 방법에 대한 개략도가 Fig. 1에 주어져 있다. Fig. 1(a)의 경우, 탄이 소염기 부분에 장착된 영구자석에 의해 생성된 자기장을 지나갈 때 탄에 장착된 탐지코일이 자신의 유도전압을 측정한다. Fig. 1(b)의 경우, 탄에 장착된 영구자석이 소염기 부분에 장착된 수신코일을 통과할 때 수신코일이 유도전압을 측정하고, 측정된 속도정보를 송신코일을 이용하여 탄에 정보를 입력하는 방법이다.

탄의 속도가 증가하면 패러데이의 전자기유도법칙에 의해 기전력이 증가하고, 표피효과에 의해 기전력이 감소한다. 따라서 최적의 결과를 얻기 위해서 자기장 전산모사를 통하여 최적조건을 구하여야 한다.

3. 탄속의 자기장 전산모사

탄에 영구자석을 장착하는 경우 강력한 자기장이 주변의 강자성체를 끌어당길 수 있고, 탄끼리 들러붙을 수 있기 때문에 본 연구에서는 Fig. 2(a)와 같이 소염기에 영구자석과 요크로 구성된 자기회로를 갖는 모델을 사용하여 자기장 전산모사를 수행하였다. Maxwell v15 3D에 의해 자기장 전산모사를 하기위해 디자인된 모델이 Fig. 2(b)에 주어져 있으며, Transient solver를 사용하였다.

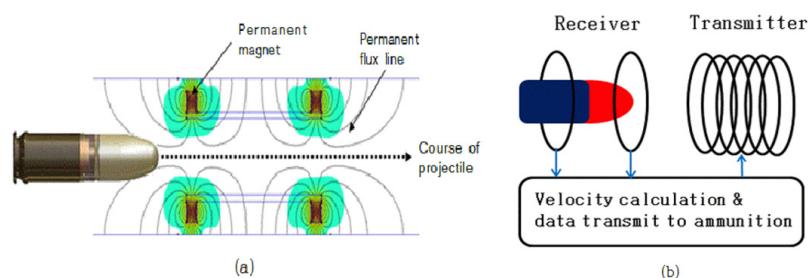


Fig. 1. Methods for measuring the velocity of a projectile; (a) The projectile measures its own velocity using the permanent magnets. (b) One pair of receive coils measures the velocity of the projectile, and the transmitter coil feeds the projectile on the information for the velocity as the projectile goes past the receive coils.

전산모사를 위한 탄의 구조는 직경이 40 mm, 두께는 5 mm이고, 탄의 앞부분은 탐지코일이 심어진 알루미늄이고, 뒷부분은 목표물을 강력하게 타격하기 위해 저탄소강으로 구성되어 있다. 저탄소강에 의한 와전류 효과를 보기 위해 탄의 재질이 모두 알루미늄으로 되어있는 경우에 대해서도 전산모사를 하였다.

FEM에 의해 전산모사된 전압 그래프가 Fig. 3에 주어져 있다. Fig. 3(a)는 두 부분이 모두 알루미늄인 경우 여러 가지 속도에 대해 전산모사한 결과이고, Fig. 3(b)는 앞부분이 알루미늄 뒷부분이 저탄소강인 경우 전산모사한 결과이다.

4. 결론

자기장 전산모사를 통하여 탄속에 대한 유도전압의 master curve가 구해졌다. 탐지코일에 유도되는 전압을 측정함으로써 총구를 떠나는 탄속을 계산할 수 있고, 이를 탄에 입력하여 목표지점을 정확하게 타격할 수 있는 기술개발이 가능하다.

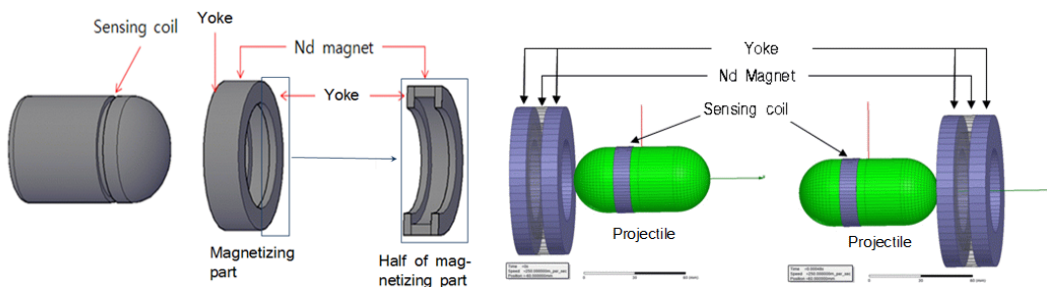


Fig. 2. Designed model for simulating the projectile's velocity; (a) Schematic diagram. (b) Maxwell model with the probe status at the projectile's velocity = 250 m/s.

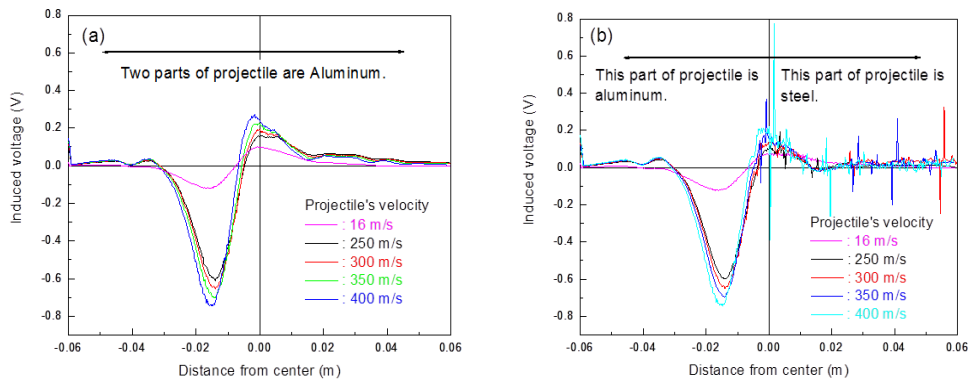


Fig. 3. Simulated voltage profiles induced at sensing coil as the projectile passes through magnetic field at various velocities; (a) The materials of two parts of projectile are all aluminum. (b) One part of projectile is aluminum and the other is steel.

5. 참고문헌

- [1] Allen Buckley, 47th AnnualFuzeConf. "EnhancingWeaponPerformance", NewOrleans, LA, April8-10, 2003. (<http://www.dtic.mil/ndia/2003fuze/buckley.pdf>).
- [2] S.H. Yoon, S.W. Lee, Y.H. Lee, and J.S. Oh, Sensors, **6**, 712 (2006).

함정 자기신호 측정용 3-축 디지털 자기센서 설계 기법 연구

손대락^{1*}

¹대전광역시 대덕구 오정동 133, 한남대학교 물리학과

1. 서론

플럭스게이트형 마그네토미터는 2차 세계대전을 전후로 개발된 저자기장 측정센서로[1-3], 1960년대부터는 로켓트와 인공위성의 자세제어, 우주공간의 자기장측정 및 지구자기장과 그 변화를 측정하는데 사용되었으며, 오늘날 선박의 충돌방지, 비파괴검사 및 강자성체의 탐지용으로 그 응용범위가 매우 다양하다.

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

본 연구에서는 Co-계 비정질 리본을 사용하여 flux-gate magnetometer를 설계 제작하였다. 함정의 자기신호 측정에 용이하게 전선에 의한 전위차 문제를 극복하기 위하여 입력전원의 전압 폭이 큰 범위에서도 작동을 하고, 자기장 값을 digital 신호로 변환하여 RS-422 통신으로 원거리로 측정값을 보낼 수 있게 하였다. 또한 소자하는 과정에서 발생하는 자기장에 의한 마그네토미터의 perming효과를 줄이는 방법에 대하여도 연구하였다.

2. 센서제작 및 성능시험

본 연구에서는 Co-계 비정질재료인 Metglass사의 2714A를 3mm 의 폭으로 slitting한 후 1×10^{-2} mTorr의 진공에서 350 °C의 온도하에서 1 시간 열처리를 한 시편을 마그네토미터의 코어로 사용하였다. 센서코어는 race-track 형태로 제작을 하였고 자화주파수는 15 kHz로 구동하였다. 이치코일에 유도되는 기전력은 커패시터를 통하여 교류전압만 통과시킨 후 PSD증폭기를 사용 even higher harmonics성분만 측정을 하였고, 저주파대역 필터(LPF)통한 신호는 이차코일에 feed-back을 시켜서 센서코어에 받는 자기장이 0이 되는 feed-back 방법을 택하였다. 마그네토미터의 perming 효과를 줄이기 위하여 자기장의 보상은 ± 1 mT 까지 가능하게 하였으며, 마그네토미터의 출력은 24 bit ADC를 사용 $\pm 100 \mu\text{T}$ 가 full scale이 되게 출력하였다. 그림1은 제작된 magnetometer의 사진으로 위부분은 analogue PCB를 보여주고 있고 아랫부분은 digital PCB를 보여주고 있다. 그림 2는 비자성 실험실에서 제작된 magnetometer의 선형도와 교정을 위한 3-축의 Helmholtz 코일 시스템을 보여주고 있다.

제작된 magnetometer의 주요특성은 ; 외부자기장의 보상 : ± 1 mT, 자기장 측정범위 : $\pm 100 \mu\text{T}$, 선형도 : 0.02 %, 측정 주파수 대역 DC ~ 10 Hz, Perming (under ± 1 mT) : $< \pm 2$ nT 이었다.

참고문헌

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

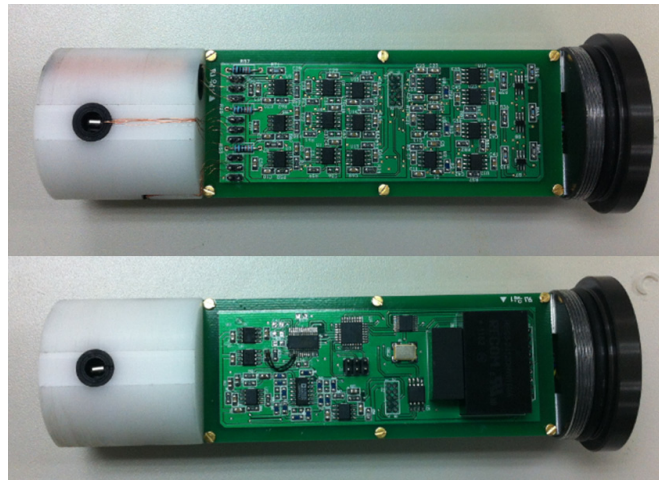


그림 1. 제작된 3-축 magnetometer의 사진.

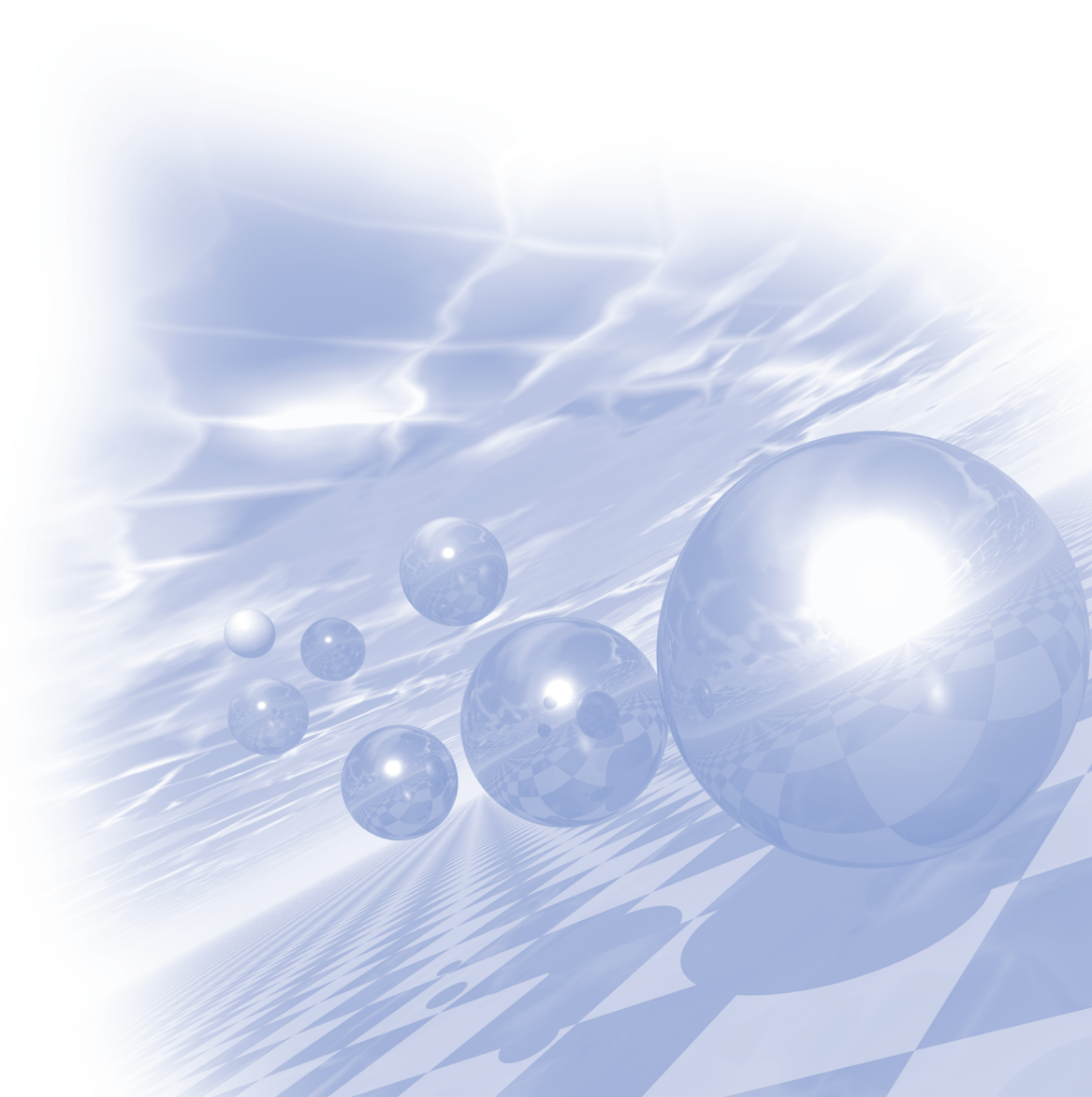


그림 2. 비자성 실험실에서 3-축 Helmholtz코일을 사용하여 magnetometer의 특성을 측정하는 사진.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

구두발표 (I)



Giant Perpendicular Magnetic Anisotropy of a Fe(001) Surface: A Density Functional Study

D. Odkhuu¹, S. H. Rhim^{1,2}, Won Seok Yun¹, and S. C. Hong^{1*}

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

²*Department of Physics and Astronomy, Northwestern University, Evanston, IL 60208-3112, USA*

ABSTRACT

We predict agigantic perpendicular magnetocrystalline anisotropy (MCA) in Fe (001) capped by *5d* transition metal (TM) overlayers by using first principles calculations. Analysis of atom-by-atom contribution to MCA reveals that gigantic MCA as large as 11 meV/TM originates not from Fe atoms but from the *5d* TMs through the strong spin-orbit coupling. More specifically, it is the hybridization between TM and Fe *d* orbitals that also induces non-negligible magnetic moments in TM. Furthermore, spin-channel decompositions of MCA matrix with and without the presence of Fe substrate identify the electronic origin of the perpendicular MCA that the down-down channel contribution plays the most crucial role for the sign changes of MCA of TM overlayers upon the hybridization with Fe-*3d*.

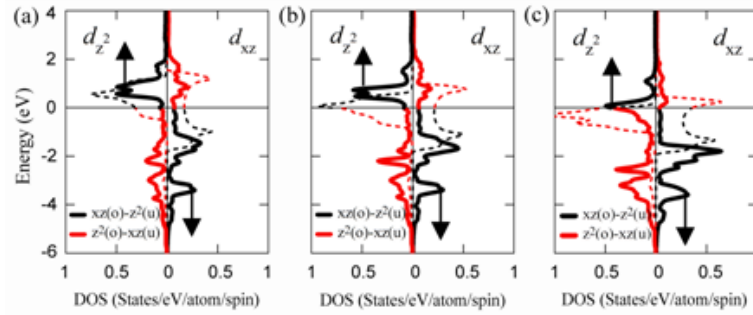


FIG. 1. The d_z^2 (the left side)- and $d_{xz/yz}$ (the right side)-projected minority spin DOS of (a) Os, (b) Ir, and (c) Pt atom of the free-standing TM ML's (thin dashed lines) and of TM/Fe(001) (thick solid lines).

Magnetic anisotropy of Fe thin films on vicinal Si(111) substrate

Jeong Hong Jo^{1*}, Hee Kyung Kang¹, Hyung-jun Kim², Joonyeon Chang², and Sang Ho Lim¹

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

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

The magnetic anisotropy of magnetic system is one of the key parameters in spin-electronic devices because the magnetic anisotropy strongly affects magnetic properties such as coercivity and remanence. Recently, epitaxially grown two-dimensional (2D) single-crystalline magnetic layers on semiconductor substrates have been widely introduced due to its efficient spin injection property [1]. It is necessary to investigate the magnetocrystalline anisotropy (MCA) because MCA plays a primary role in determining magnetic properties of the single-crystalline materials. Especially, (111) oriented 2D magnetic layer is very sensitive to substrate misorientation owing to enhanced interplay between MCA and magnetostatic field [2]. In this study, the magnetic properties of 3 nm and 7 nm thick Fe layers on Si (111±0.5°) along [110] direction are measured by vibrating-sample magnetometer and analyzed using a total energy equation. Although it is not easy to describe the total energy of magnetic system, reflection high-energy electron diffraction patterns and X-ray diffraction patterns show that the Fe layer is nearly single-crystalline structure and the total energy equation can be expressed in a simple form. Figure 1 shows the remanence ratios of in-plane hysteresis loops of 3 nm and 7 nm Fe layer. In Fig. 1, 3-nm-thick Fe layer shows two-fold anisotropy owing to not MCA but induced uniaxial anisotropy resulted from the interface between the Fe layer and Si substrate. On the contrary, 7-nm-thick Fe layer shows asymmetric four-fold anisotropy due to the effects of vicinal substrate on MCA, and the effects of vicinal substrate are estimated by calculated hysteresis loops using the total energy equation.

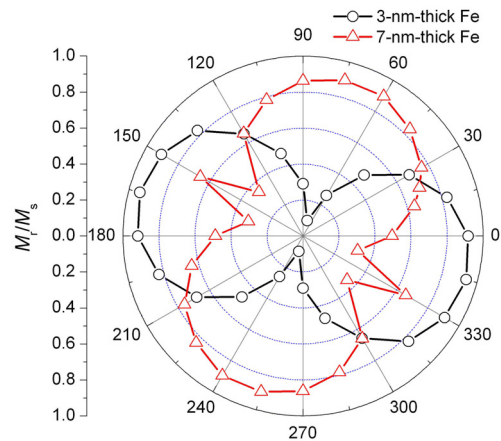


Figure 1. Polar plot of remanence ratios (M_r/M_s) measured from 3-nm-thick Fe hysteresis loops (circles) and 7-nm-thick Fe hysteresis loops (triangles).

Reference

- [1] P. Kotissek, M. Bailleul, M. Sperl, A. Spitzer, D. Schuh, W. Wegscheider, C. H. Back, and G. Bayreuther, Nat. Phys. **3**, 872 (2007).
- [2] Y. J. Nam and S. H. Lim, Thin Solid Films **519**, 8256 (2011).

Perpendicular Magnetic Anisotropy and Low Saturation Magnetization in [Pt/(Co,Cu)]₆ Multilayers

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

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

²Department of Nano Semiconductor Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

Due to their potential application to magnetic random access memory (MRAM), magnetic thin films with perpendicular magnetic anisotropy (PMA) have recently attracted a lot of research interests. With its role of determining the lowest cell size in MRAM, the strength of PMA is probably one of the most important magnetic parameters in these magnetic thin films. Considering that magnetostatic interactions are expected to be very strong in very high density MRAM, saturation magnetization (M_s) can be another important magnetic parameter, particularly for the pinned structure. This study deals with [Pt/(Co,Cu)]₆ multilayers with a low M_s value. The stacks with the structure of Ta/Pt/Ru/[Pt (0.2 nm)/ Co_{100-x}Cu_x(t_{CoCu})]₆/Ru were fabricated on a Si/SiO₂ substrate using a UHV sputtering system. The following values were used for the Cu content in the (Co,Cu) layer (x) and the (Co,Cu) thickness (t_{CoCu}): $x=0, 20, 40, 50$ at.%; $t_{\text{CoCu}}=0.4, 0.5, 0.6$ nm. The as-deposited samples were annealed at two different temperatures of 300 and 500 °C. All the multilayers fabricated in this study exhibit PMA both in the as-deposited state and after annealing. The results for M_s and the effective anisotropy energy density (K_{eff}) are shown in Figs. 1(a) and (b), respectively, only for the multilayers with the largest t_{CoCu} (0.6 nm). Two key features are (1) the observation of very small values of M_s (~ 300 emu/cc) at large x values of 40 and 50 at.% and (2) the increase of K_{eff} after annealing at these compositions. Cross-sectional microstructures by high resolution transmission electron microscopy show that a layered structure formed in the as-deposited state transforms into a bulk structure after annealing at 500 °C, indicating that the origin of PMA of the annealed samples results from a bulk magnetocrystalline anisotropy, not from the interface effect.

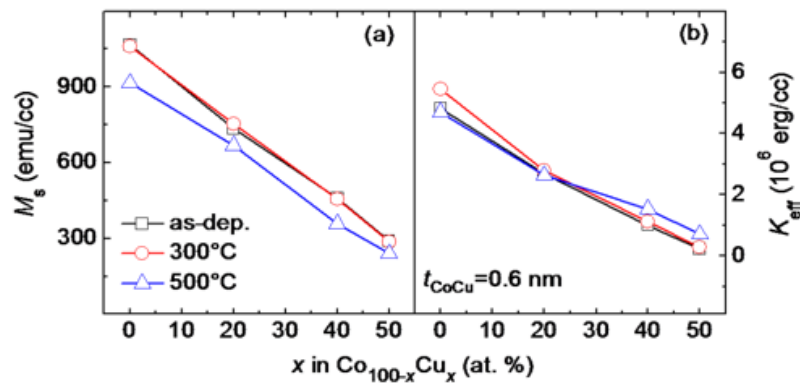


Figure 1. Results for M_s and K_{eff} as a function of Cu content for the sample with $t_{\text{CoCu}} = 0.6$ nm.

Ideal structure for tunneling magnetoresistance and spin injection into semiconductors: Ni(111)/BN/Co(111)

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

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

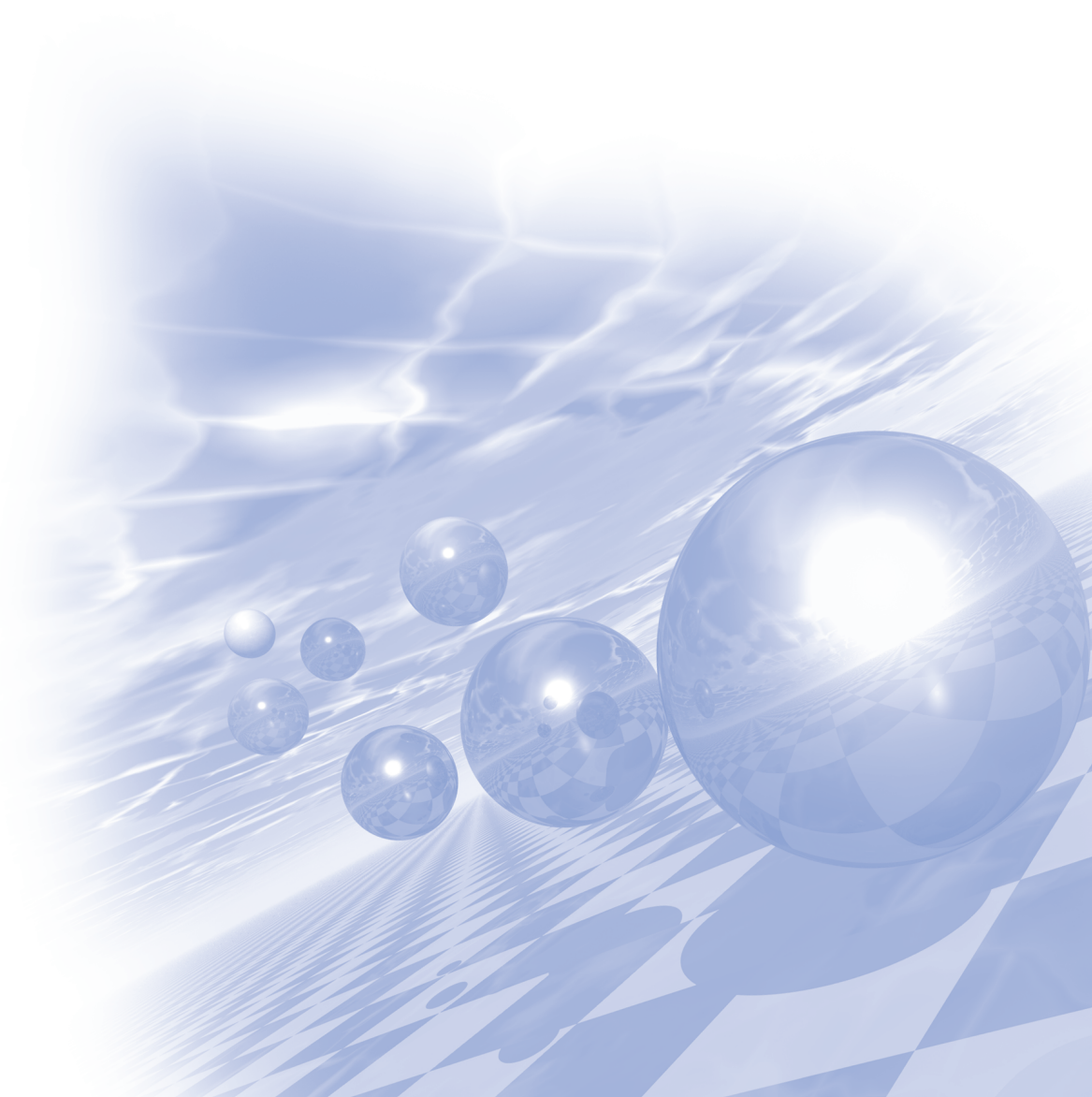
Abstract

Using the Vienna ab initio simulation package (VASP) incorporating van der Waals interaction, we have explored structural, adsorption, and magnetic properties of Ni(111)/BN/Co(111) systems. We have found that both Ni(111) and Co(111) layers show half-metallic state, while the spacer BN layer becomes weak metal for one monolayer (ML) thickness and an insulating barrier for two ML thickness. The half-metallic states in both Ni(111) and Co(111) layers are robust because they are unchanged independently on the magnetic coupling of Ni(111) and Co(111). This finding suggests that the Ni(111)/BN/Co(111) systems can be utilized for perfect tunneling magnetoresistance system. Moreover, it can be applied for potential spin injecting into semiconductor in FM/semiconductor system due to the fact that the half-metallic state in FM layers at the interface will be unchanged.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

포스터발표 (I)



Single Magnetic Bead Detection in a Microfluidic Chip Using Planar Hall Effect Sensor

Venu Reddy^{2*}, Hyuntae Kim¹, Kun Woo Kim¹, Ilgyo Jeong¹, Xing Hao Hu¹ and CheolGi Kim¹

¹Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, South Korea

²Organic Research Labs, Department of Organic Chemistry, Andhra University, Visakhapatnam-530 003, India

1. 서론

자기 감지 생물 검정에서 자기마이크로비드 또는 나노 입자는 생체 분자(단백질, 핵산 등)에 표지가 되고 자기센서 표면위에서 고정 된 탐침 생체 분자에 결합하는데 도움을 주어 대상 생체 분자 검출에 쓰인다. 검출 한계의 향상은 자기센서 표면에 결합 된 아주 적은 양의 자기생체표지(단일비드)으로부터 생성 된 아주 약한 자기장의 감지에 의해 결정된다[3-6]. PHE 센서는 고감도와 매우 높은 신호 대 잡음비의 특성 때문에 고감도 자기 바이오센서 분야에서 많은 관심을 얻고 있다[5]. 초기 연구 작업에서, 스핀 밸브 평면 홀 센서 표면에 자기 비드용액 방울을 떨어뜨리는 방법으로 단일비드를 감지하는 능력이 있다고 입증 했다[5]. 바이오센서 응용의 경우, 생체 분자에 자기비드 표지는 센서에 들어가게 되고 세정 단계에 이어서 배양한다. 이러한 조건에서 재현 가능한 결과를 달성 하려면, PHE 센서에 마이크로 유체 시스템을 결합하는 것이 매우 필요하다. 또한, 마이크로 유체 시스템은 PHE 센서위에 단일비드의 위치를 통제 할 수 있게 한다. PHE 센서에 마이크로 유체 시스템을 추가하는 것은 미세 유체 밸브, 펌프 및 믹서를 할 수 있게 되고 자동화 와 복합적인 분석 방법을 사용할 수 있게 된다[11]. 이 실험에서 마이크로 유체 채널과 PHE 센서를 결합한 마이크로 칩에 의해 단일자기비드 검출의 가능성을 실증하는 실험을 수행했다. 직경이 8.18 μm 인 단일자기비드를 흘려 센서로 감지하고 동시에 현미경으로 관찰하였다. 자기비드에 인가된 자기장의 시뮬레이션 결과는 센서와 자기비드 사이의 거리에 대한 정보를 제공하고 실험 데이터와 상관관계가 있었다. 이 시스템에서 감지 한계는 비드와 신호의 자기적 특성으로 부터 계산하였다.

2. 실험방법

삼층구조(Ta(3nm)/NiFe(10nm)/Cu(1.2nm)/IrMn(10nm)/Ta(3nm))의 10 μm x 10 μm 십자모형 PHE 센서는 기존 보고된 포토 리소그래피 공정과 리프트 오프 방법을 사용하여 패터닝 하였다.[12] 삼층 구조는 DC 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 증착하였다. 다시 위의 같은 공정으로 전극(Ta(10nm)/Au(150nm))이 측정 전자 회로와 센서를 연결하기 위해 제작되었다. 마지막으로, 유체 채널 시스템의 부식으로부터 보호하기 위해서 채널과 접합되는 센서와 전극을 RF 마그네트론 스퍼터링으로 150 nm 두께의 SiO₂ 층으로 보호하게 하였다. 미세 유체 채널은 이전에 보고 된 과정을 통해 galss기판의 자기 센서 위에 제작되었다.[13] 제작된 PDMS 스탬프를 센서와 함께 플라즈마 클리너(CUTE, FEMTO SCIENCE, Korea)처리를 하고 마이크로 유체 채널과 PHE 센서를 결합한 마이크로 칩을 만들게 된다. 이 실험에서 이전 보고 된 모니터링 설정을 사용했다.[13] 마이크로 유체 칩은 균일한 자기장의 생성을 위한 두개의 헬름홀츠 코일 시스템 사이의 중앙에 배치했다. 전류소스를 사용하여 PHE 센서에 5mA 전류를 인가하였다. 마이크로 유체 칩의 입구와 출구에 붙어있는 튜브를 사용하여 마이크로유체 채널 안에 8 μm 자기비드의 희석된 용액을 주입하였다. 마이크로 채널 안에 있는 센서 표면위에 있는 자기비드의 흐름은 컴퓨터와 연결된 현미경으로 관찰되었다. PHE 센서의 위를 통과 하는 자기비드 반응으로부터 변하는 출력전압은 nanovoltmeter로 측정 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 자기 비드의 자기장 시뮬레이션 및 단일자기비드 검출

맥스웰 소프트웨어(V 12.2, Ansoft, USA)를 사용한 FEM 시뮬레이션은 자기비드 한 개의 stray 자기장을 분석하기 위해 사용되었다. PHE 센서는 in-plane 자기장에 민감하다. 100 Oe 수직 자기장은 비드의 유도 자기 모멘트에 적용 하지만, stray 자기장의 in-plane 성분은 센서 신호 측정치로 계산되었다. 자기 비드들의 포화 자화는 비드 밀도 의해 약 28 emu /cc 가진다. 100 Oe 수직 자기장이 센서 표면에 가해진다. 단일 신호 정점의 강도는 비드와 센서 사이의 거리를 증가시킴으로써 감소된다.

신호의 감도 S 는 $19.86 \mu\text{V} / \text{Oe}$ 로 계산되었다. 신호 최대값은 $\pm 0.2 \mu\text{V}$ 노이즈 값을 뺀 약 $\Delta V = 0.35 \mu\text{V}$ 이다. 시뮬레이션 데이터에서 예상대로 실험 신호는 단일 피크만 표시되었다. 실험 신호의 자기비드 값의 stray 자기장은 $\Delta H = \Delta V / S$ 관계식에 의해 0.02 Oe 로 측정 되었다. 시뮬레이션 데이터 에서, 이 값은 $15 \mu\text{m}$ 와 $20 \mu\text{m}$ 사이에서 떨어진다. 따라서, 센서로 부터 자기비드의 높이가 $15 \mu\text{m}$ 이상 이어야한다. 단일비드에서 유도자기 모멘트는 100 Oe 에서 약 $3.2 \times 10^{-14} \text{ emu}$ 이다. 신호 강도는 $0.35 \mu\text{V}$ 이다. 이 시스템의 측정 최소 신호가 $0.2 \mu\text{V}$ (noise level)이며, 따라서 그것은 $1.8 \times 10^{-14} \text{ emu}$ 와 같은 낮은 유도자기 모멘트를 감지 할 수 있다. 그러나 추가 연구는 더 나은 측정 장비 및 noise level를 줄이는 것을 개발함으로써 더 낮은 자기장을 감지 할 필요가 있다.

4. 결론

실험을 통해 크기 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 삼층구조 PHE센서와 미세 유체 채널이 결합 된 칩에 하나의 자기비드를 감지했다. 자기비드와 자기센서 사이의 거리는 맥스웰 3D 소프트웨어로 시뮬레이션하여 계산했다. 이러한 계산은 자기비드와 센서 사이의 거리가 큰 것이 좋다는 것을 알려주었다($15 \mu\text{m}$ 이상). $8.18 \mu\text{m}$ 의 직경을 가진 단일비드의 자화율은 0.14 것으로 추정되고, 센서의 검출 한계는 $1.8 \times 10^{-14} \text{ emu}$ 이다. 실험은 미세유체 채널 안에 PHE센서를 사용하여 단일자기비드의 자기 모멘트를 모니터링 할 수 있는 가능성을 알려주었다.

5. 참고문헌

1. B. Srinivasan, Y. Li, Y. Jing, Y. Xu, X. Yao, C. Xing and J. Wang, Angew. Chem. Int. Ed. 48, 2764 (2009).
2. G. Li, S. Sun, R. J. Wilson, R. L. White, N. Pourmand, S. X. Wang, Sens. Actuators A 126, 98 (2006).
3. C. R. Tamanaha, S. P. Mulvaney, J. C. Rife, L. J. Whitman, Biosens. Bioelectron. 24, 1 (2008)
4. X. J. A. Janssen, L. J. van Ijzendoorn, M.W. J. Prins, Biosens. Bioelectron. 23, 833 (2008).
5. T.Q. Hung, S. Oh, J-R. Jeong and C.G. Kim, Sens. Actuators A 157, 42 (2010)
6. P. P. Freitas, R. Ferreria, S. Cardoso and F. Cardoso, J. Phys.: Condens. Matter 19, 165221 (2007).
7. P.P. Freitas, H.A. Ferreira, D.L. Graham, L.A. Clarke, M.D. Amaral, V. Martins, L. Fonseca, J.S. Cabral, in: M. Johnson (Ed.), Magnetoelctronics, Elsevier, Amsterdam, 2004.
8. Francois Montaigne, A. Schuhl, F. Nguyen Van Dau, A. Encinas, Sens. Actuators A 81, 324 (2000).
9. Y. Bason, L. Klein, J.B. Yau, X. Hong, J. Hoffman, C.H. Ahn, J. Appl. Phys. 99, R701 (2006).
10. M. Volmer, J. Neamtu, Physica B 403 ,350 (2008).
11. I. jeong, Y-J. Eu, K. W. Kim, X. H. Hu, B. Sinha and C.G. Kim, Journal of Magnetism 17, 302 (2012).
12. B. Sinha, S. Anandakumar, S. Oh and C. Kim, Sens. Actuators A 182, 34 (2012).
13. R. Venu, B. Lim, X. H. Hu, I. Jeong, T. S. Ramulu, C. G. Kim, Microfluidics and nanofluidics 14, 277 (2013)

삼층박막 구조의 PHR 센서를 이용한 자기 박테리아 감지

유상엽^{1*} · 임병화¹ · 송인철¹ · 오선종² · 김철기¹

¹충남대학교 재료공학과, 대전광역시 유성구 궁동 220, 305-764

²한국기계연구원 나노융합기계연구본부 나노자연모사연구실, 대전광역시 유성구 장동 171, 305-343

I. 서론

최근 나노기술과 바이오기술이 급속히 발달함에 따라 바이오에세이 기술에 대한 융합연구가 세계적으로 활발하게 진행되고 있다[1]. 이를 위해 현재까지 형광 바이오 칩, 표면 플라즈몬 공명, 화학 발광, FET 기반 바이오센서, 자기저항 바이오센서, 그리고 기타 나노 바이오 기술이 바이오 물질에 활용 및 연구 개발 되고 있다[2, 3]. 그 중 가장 널리 보급되어 있는 기술은 형광을 이용한 바이오에세이 기술이지만 적어도 10^4 개 이상의 바이오 분자가 요구되어 감도가 높지 않은 것으로 알려져 있다. 이러한 어려움을 해결할 수 있는 대안 중 하나가 물리적인 기술과 생물학적 기술이 결합되어 있는 자기저항 바이오에세이 기술이다[1]. 본 연구는 미세 자기장을 측정하기에 적합하고 우수한 민감도를 가지는 삼층박막 구조의 PHR 바이오센서를 제작하여 자기적 특성 및 민감도를 확인하고, 제작된 PHR 센서를 이용해 자기 박테리아 및 마이크로 자기 비드를 측정하는 실험을 수행하였다.

II. 실험방법

PHR 센서는 리소그래피 공정과 마그네트론 스퍼터를 이용하여 $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ 십자 형태의 PHR 센서를 제작하였고, 제작된 PHR 센서의 절연층을 형성하기 위해 RF 스퍼터를 이용해 Si_3N_4 층을 100 nm 증착했다[4, 5]. 절연층이 증착되어 있는 PHR 센서 표면에 미세자기장을 가지고 있는 자기 박테리아(*Magnetospirillum magneticum* AMB-1)를 뿌려 센서 신호 변화를 측정하였다[6, 7, 8]. 자기 박테리아를 도포하고 신호를 측정 한 뒤 자기 비드를 그 위에 뿌려 신호를 측정하고, 마지막으로 필터를 이용해 비드를 제거한 뒤 신호를 측정하는 방법으로 실험을 진행하였다. 신호측정은 선형적인 출력전압의 기울기가 더 큰, 즉 민감도가 더 좋은 인가 전류와 자기장 방향이 20° 인 경우에서 측정하였다.

$$\Delta V_{\text{signal}} = \frac{\partial V}{\partial H}(\alpha) \Delta H_{\text{stray}} \quad (1)$$

III. 실험 결과 및 고찰

1. 단일 소자의 자기특성 및 자기저항 신호 측정

도메인 스코프(domain scope)를 이용하여 제작된 센서 소자의 자구거동 및 자성박막의 교환결합력을 측정 하였다. 본 실험에서 사용한 다층박막은 강자성층(NiFe)과 반강자성층(IrMn)에 의해 발생하는 교환결합력에 의해 자기이력곡선은 0 Oe에서 대칭된 모습이 아닌 한쪽으로 이동된 것을 알 수 있었다.

PHR 센서에 1 mA의 구동전류와 외부자기장의 각도를 20° , 90° 방향으로 하고 $-50 \sim 50$ Oe의 외부자기장을 인가하여 발생하는 출력 전압을 측정하였다. 20° 방향에서 자기장을 인가한 경우 $-25 \sim -15$ Oe, 90° 방향에서 자기장을 인가한 경우는 $-15 \sim 15$ Oe 영역에서 선형적인 출력 전압을 확인 할 수 있었다. 센서 민감도는 $\partial V / \partial H$ 로 출력 신호의 기울기로부터 분석할 수 있는데, 90° 경우 $7\ \mu\text{V/Oe}$, 20° 경우 $20\ \mu\text{V/Oe}$ 의 센서 민감도로 전류 방향과 외부자기장의 각도가 20° 인 경우에서 센서의 민감도가 더 우수하여 자기 박테리아 및 자기 비드를 측정하는데 이용했다.

2. 자기 박테리아 및 자기 비드 측정

외부 자기장을 -22 Oe를 인가하면 센서의 출력 전압은 -58.7 μV 로 변하게 된다. 자기 박테리아를 센서 표면에 도포하면 센서의 신호는 -56.1 μV 로 자기 박테리아의 표유 자계로 인해 약 2.6 μV 신호가 증가하였다. 다시 자기 비드를 도포했을 때 -53.7 μV 로 2.4 μV 상승했다. 자기 박테리아와 마찬가지로 자화된 초상자성 자기 비드의 표유 자계로 인해 신호가 증가하였다. 필터를 이용하여 자기 비드를 제거했을 때, 필터의 확산력이 비드와 박테리아의 자기적 상호 결합력 보다 크기 때문에 모든 비드가 제거되어 비드 제거 후 출력 전압은 -56.1 μV 로써 처음 자기 박테리아를 도포했을 때와 비슷한 신호였다. 또한 자기 박테리아의 마리수를 1×10^3 , 2×10^3 , 3×10^3 마리까지 늘리면서 그에 따른 출력 전압을 측정하였다. 평균적으로 자기 박테리아 한 마리당 출력 전압을 나타내면 10^{-3} μV 가 된다. 또한 1×10^3 마리의 자기 박테리아를 측정한 출력 전압으로부터 박테리아 한 마리의 표유 자계를 알 수 있다. 즉, 센서의 민감도는 인가된 자기장의 변화(ΔH)에 따른 출력전압의 변화(ΔV)로 정의되므로 출력 전압 변화로부터 자기장의 크기를 알 수 있다.

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta H}, \quad \Delta V \times \frac{1}{S} = \Delta H \quad (2)$$

사용된 센서의 20°에서 민감도 S 는 20 $\mu\text{V}/\text{Oe}$ 이고, 한 마리에 의한 전압변화는 10^{-3} μV 로, 이를 위 수식 (2)에 대입하여 자기 박테리아 한 마리가 가지는 자기장의 크기가 5×10^{-5} Oe임을 알 수 있다.

IV. 결론

삼층박막 구조의 PHR 센서를 리소그래피 공정과 DC 스퍼터를 이용하여 제작하고, 자기특성 측정과 자기 저항 신호를 통해 센서 특성을 확인했다. 전류와 외부자기장 방향이 90° 경우 자기 민감도가 7 $\mu\text{V}/\text{Oe}$, 20° 경우 20 $\mu\text{V}/\text{Oe}$ 로 90° 인 경우보다 20°인 경우 센서의 민감도가 더 우수했다. 그리고 제작된 센서를 이용해 자기 박테리아를 도포했을 때 초기 출력 전압보다 2.6 μV 상승된 신호를 얻을 수 있었고, 필터를 이용해 비드를 제거 했을 때의 신호는 원래대로 돌아왔다. 이 결과는 자기 박테리아와 자화된 자기 비드의 자기적 상호 결합력은 매우 작다는 것을 알 수 있다. 또한 박테리아 개수를 1×10^3 , 2×10^3 , 3×10^3 개에 따라 각각 1.6 μV , 2.4 μV , 3.0 μV 의 출력 전압을 얻었으며 이를 통해 자기 박테리아 한 마리가 가지는 출력 전압은 10^{-3} μV 이다. 또한 박테리아를 측정한 20°에서의 센서 민감도를 이용하여 자기 박테리아 한 마리가 가지는 자기장 크기가 5×10^{-5} Oe임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Y. C. Lu, Y. S. Chuang, Y. Y. Chen, A. C. Shu, H. Y. Hsu, H. Y. Chang, T. R. Yew, Biosensors and Bioelectronics **23**, 1856–1861. (2008).
- [2] Yael Heyman, Amnon Buxboim, Sharon G. Wolf, Shirley S. Daube and Roy H. Bar-Ziv, NATURE NANOTECHNOLOGY, **7**, 374-378. (2012).
- [3] D. R. Baselt, G. U. Lee, M. Natesan, S. W. Metzger, P. E. Sheehan, R. J. Colton, Biosensors and Bioelectronics **13**, 731–739. (1998).
- [4] B. Sinha, T. Q. Hung, T. S. Ramulu, S. Oh, K. Kim, D.-Y. Kim, F. Terki, C. G. Kim, Journal of applied Physics **113**, 063903. (2013).
- [5] T. Q. Hung, S. J. Oh, J. R. Jeong, C. G. Kim, Sensors and Actuators A : Physical **157**, 42–46. (2010).
- [6] D. Faivre, D. Schüler, Magnetotactic bacteria and magnetosomes. Chem. Rev., **108**, 4875-4898. (2008).
- [7] R. B. Frankel, R. P. Blakemore, R. S. Wolfe, Science **203**, 1355–1356. (1979).
- [8] T. Sakaguchi, J. G. Burgess, T. Matsunaga, Nature **365**, 47–49. (1993).

단일세포 개별제어를 위한 디지털자기영동

Xing Hao Hu^{2*}, 임병화¹, 김철기¹

¹충남대학교 신소재공학과

²Institute of Material Science, Shanghai University, China

1. 서론

미세유체공학의 발달로 단일세포수준의 제어가 가능해 지면서 세포생물학 분야에서는 단일세포 분석기술이 급속히 발전하고 있다. 이러한 기술들은 Single-Cell Analysis로 불리면서 새로운 세포생물학적 사실들을 밝혀내고 있다. 이와 같은 단일 세포에 대한 연구를 위하여 다양한 유체 공학적 방법들이 이용되는데 대부분의 경우 단일세포에 대한 개별제어가 불가능하여 무작위로 선택된 세포를 분석하거나 측정방법에 따라 세포 전체를 측정하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 많은 시도들이 이루어지고 있는데, 이러한 기술들 역시 세포의 선택적 이송이나 제어가 불가능하다는 점은 동일하다. 따라서 단일세포를 개별적으로 제어하기 위해서는 기존의 유체공학기술과는 다른 방법을 이용한 세포제어기술을 고려해볼 필요가 있다. 본 연구에서는 자성물질을 이용하여 미세한 크기의 구조물을 만들어 자성입자를 제어하는 방법을 통해 세포를 원하는 방향으로 이송하거나 분리, 배치하여 단일 세포에 대한 연구를 위한 기초기술을 연구하였다.

2. 실험방법

자기이송구조물은 기판위에 광학리소그래피를 이용하여 패턴을 형성하고 Sputtering 방법을 이용하여 NiFe 박막을 증착한 후 불필요한 부분을 제거하는 Lift-off를 사용하여 만들었다. 각 패턴의 형태는 두께 100nm의 자성박막이 10 μ m반경의 반원형 패턴이 연속되는 형태로 각 각 이송을 위한 I형, 분리를 위한 T형 그리고 배치를 위한 $\square$ 형으로 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 디자인 되었다. 시뮬레이션 결과와 비교하기 위하여 먼저 세포와 비슷한 크기인 5 μ m직경을 가진 초상자성 비드를 이용하여 50Oe 자기장에서 주파수별로 패턴의 동작을 확인하였고 세포는 쥐의 림프구세포 세포를 50 nm 크기의 자성나노입자와 결합시켜 세포가 자성을 띄게 만들었다. 이들의 움직임은 회전자기장을 이용하여 제어 하였다.

3. 실험결과

시뮬레이션과 비교하기 위하여 자기비드를 이용하였다. I 형은 직선방향이송을 위한 구조물이다. 그러나 I형에서는 단지 이송만이 가능하므로 비드의 개별분리와 제어를 위한 기술이 필요하다. T형은 이러한 문제를 일부 해결한 구조로 I 형 패턴에 수직으로 I형을 결합한 형태이다. 이때 비드는 직선부분에서 교차점을 지나 곡선부분으로 이동할 때는 교차점의 구조물을 지나서 반대편으로 넘어가지만 자기장을 반대방향으로 인가하면 교차점에 도착 후 수직 방향으로 이동하였다. 이 방법을 사용하여 원하는 자성입자가 T형 을 지났을 때 자기장의 회전 방향을 반전시켜 원하는 비드를 분리하였다. T형에서 나타난 비가역적 움직임을 이용하면 비드를 특정구역에 구속하여 배치할 수 있는데 $\square$ 형의 닫힌 박스는 외부의 비드가 내부로는 들어갈 수 있으나 내부의 비드는 외부로 나올 수가 없다. 세포실험에는 비드에 비하여 자기모멘트가 작아 더 작은 자기력을 받으므로 비드에 비하여 낮은 주파수에서 동작하였으나 모든 패턴을 같이 사용하여 T림프구와 B림프구를 원하는 세포만을 골라 이동시켜 배치시킬 수 있었다.

4. 고찰

단일세포 분석을 위하여 기존 연구되던 미세유체기술에서 무작위로 선택된 세포를 분석하는 기술에서 벗어나 자기적 방법을 이용하여 특정 단일세포를 원하는 곳으로 이동 분리 배치시켜 다양한 세포를 동시에 개별 분석할 수 있는 단일세포 분석에 중요한 기호 기술을 개발 하였다.

5. 결론

자기이송 구조물의 제작을 위하여 가장먼저 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 패턴의 형태를 정하였다. 이를 바탕으로 최적의 크기를 가지는 반원형의 NiFe 박막으로 이루어진 자기이송구조물을 다양한 구조로 설계하여 비드를 이송하거나 분리, 배치 등 다양한 방법으로 제어 할 수 있으며 같은방법을 이용하여 단일세포를 이송, 분리, 배치할 수 있다는 것도 확인 하였다

6. 참고문헌

- [1] Nicholas M. Toriello, Erik S. Douglas, Numrin Thaitrong, Sonny C. Hsiao, Matthew B. Francis, Carolyn R. Bertozzi, and Richard A. Mathies, *PNAS*, **105**, *51* (2008)
- [2] Nicholas Navin, Jude Kendall, Jennifer Troge, Peter Andrews, Linda Rodgers, Jeanne McIndoo, Kerry Cook, Asya Stepansky, Dan Levy, Diane Esposito, Lakshmi Muthuswamy, Alex Krasnitz, W. Richard McCombie, James Hicks & Michael Wigler, *Nature*, **472**, *pp. 90–94* (2011)
- [3] Konry T, Dominguez-Villar M, Baecher-Allan C, Hafler DA, Yarmush ML. *Biosens Bioelectron.* **26**, *5*, *pp.2707-2710* (2011)
- [4] Brad Cookson, Alex Jen, Mary Lidstrom, Deirdre Meldrum and Lloyd Burgess, Joe Dragavon, Tim Molter, Cody Young, Tim Strovas, Sarah McQuaide, Mark Holl, Meng Zhang, *J. R. Soc. Interface*, **5**, *S151–S159* (2008)
- [5] Bo Huang, Hongkai Wu, Devaki Bhaya, Arthur Grossman, Sebastien Granier, Brian K. Kobilka, Richard N. Zare, *SCIENCE*, **315**, *5*(2007)
- [6] Tzu-Chiao Chao and Alexandra Ros, *J. R. Soc. Interface* **5**, *S139–S150*, (2008)
- [7] John R. S. Newman, Sina Ghaemmaghami, Jan Ihmels, David K. Breslow, Matthew Noble, Joseph L. DeRisi, & Jonathan S. Weissman, *NATURE*, **441**, *15* (2006)
- [8] Allyson E. Sgro, Peter B. Allen, and Daniel T. Chiu, *Anal Chem.* **79**, *13*, *pp. 4845–4851* (2007)
- [9] Daojing Wang and Steven Bodovitz, *Trends in Biotechnology*, **28**, *6*, *pp. 281-290*, (2010)

Magnetophoresis in nano-/micro-channel

김혁준^{1*}, Pardi^{1,2}, 이보화², 박유근¹, 박상윤^{1*}

¹차세대융합기술연구원, 서울대학교

²전자물리학과, 한국외국어대학교

1. 서론

최근에 자기력을 활용한 바이오분야의 다양한 접근이 모색되고 있다. 특히 자성나노(또는 마이크로)입자를 활용한 세포, DNA, 단백질의 정제, 포집은 연구단계를 넘어 넓은 영역에서 실용화되고 있다. 이러한 활용을 넘어, 자성재료를 이용하여 핵산 또는 항원/항체의 존재유무를 정량적으로 진단하는 다양한 방법이 시도되고 있다. 특히 자기력을 이용한 자기영동은 기존의 전기장을 이용한 전기영동에 비해 우수한 특징을 가지고 있어서, 전기영동을 대체할 것으로 예상된다. 이를 실현하기 위해 자성입자의 자기장하에서의 운동의 이해가 필요하다. 본 연구에서는 나노/마이크로유체내에 자성입자의 운동을 광학적, 전기적 방법으로 측정한 결과를 보일 것이다.

2. 실험방법

나노채널의 제작은 양면 연마된 Si(100)wafer에 50nm의 SiO₂와 30nm의 Si₃N₄를 각각 PE-CVD와 LP-CVD를 이용하여 제작한 박막에 KOH용액을 사용하여 뒷면식각을 하여 membrane을 하였고, 마이크로채널은 PDMS를 노광공정으로 제작된 mold로부터 제작하였다.

제작된 소자에 전해용액과 buffer용액을 채운상태에서 자성나노/마이크로 입자를 주입하고, 영구자석을 통해 자성입자를 운동을 시켰다. 자성마이크로입자는 진행속도는 전방 광산란을 이용하여 검출하였고, 나노입자의 경우, 전해질의 이온전류를 통해 측정하였다. 유동속도와의 유체와의 관련성을 보기위해 pH값, 전해질농도, 점성도등의 변화에 따른 속도를 측정하였다.

3. 실험결과

자성입자의 속도는 이론적 예측과 유사하게 주변 전해질의 농도, pH값에 의존성이 없음을 실험적으로 확인하였으나, 낮은 pH에서 약간의 속도변화가 관측되었는데, 이는 채널의 계면의 특성이 변하고, 형태적으로 변형이 일어나 자성입자유동에 일정부분 기여를 하는 것을 관측하였다. 자성입자의 자기모멘트가 증가하면 그 속도가 증가하나, 입자의 직경이 커짐에 따라 반대방향의 유체역학힘에 의해 속도의 증가 폭이 감소됨을 확인하였다.

4. 결론

나노/마이크로 유체내의 자성입자의 거동에 대한 정밀한 측정을 통해, 자기영동법의 정밀도를 향상시킬 수 있는 기반연구를 수행하였고, 본 연구결과는 자성나노입자를 활용하는 생명공학실험에 주요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

Mechanical-milling-induced coercivity degradation in fine Nd-Fe-B-type HDDR Particles and its recovery

K. M. Kim^{1*}, H.W.Kwon¹, J. G. Lee², J.H.Yu³

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

²Korea Institute of Materials Science, Changwon, South Korea

INTRODUCTION

HDDR-treated Nd-Fe-B-type material has unique microstructural feature with very fine grain structure (typically around 0.3 μm). Due to this fine grain structure, the Nd-Fe-B-type HDDR material exhibits high coercivity, and much interest has been attracted to utilize this HDDR material powder for high performance resin bonded micro-magnets for micro-motor application. For the bonded micro-magnet application, fine particles with high permanent magnetic performance are required essentially. Most common approach for the preparation of the fine particles was mechanical milling of high performance Nd-Fe-B-type sintered magnet. However, the milled particles from the sintered magnet lose radically the coercivity. This may be partly due to the coarse grain size in the sintered magnet (typically 5 – 10 μm). It is expected that the coercivity variation of the milled particles from the HDDR material may be different from that of the milled particles from the sintered magnet because of its distinctively fine grain structure (typically 0.3 μm). In this article, coercivity variation of the fine Nd-Fe-B-type particles prepared by mechanical milling of the HDDR-treated Nd-Fe-B-type material was investigated. The origin of radical coercivity reduction in Nd-Fe-B-type fine particles prepared by ball milling of the HDDR material and its recovery by chemical etching was discussed.

EXPERIMENTAL DETAILS

HDDR-treated $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ material with coercivity of 13.5 kOe was used as a starting material. $\text{Nd}_{10}\text{Pr}_{2.5}\text{Fe}_{80.4}\text{B}_6\text{Ga}_1\text{Cu}_{0.1}$ sintered magnet with coercivity of 12.3 kOe was also used for comparison. The HDDR-treated material and sintered magnet were ball milled (in cyclohexane) to prepare fine particles, and the particle size was controlled by adjusting ball milling time. Some of the milled particles were chemically etched for 10 min using 1% Nital solution to recover the coercivity degraded by the mechanical milling. Hydrogen and oxygen content in the particles was determined by Hydrogen Determinator (LECO, RH-600) and oxygen analyser (Leco TC400). Lattice parameter variation and micro-strain (Williamson-Hall equation) in the $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -type matrix phase grain in the particle caused possibly by mechanical milling was examined by X-ray diffraction (XRD) (Cu-K α radiation). Instrumental broadening was subtracted by using pure Si in the measurement of the micro-strain. Magnetic characterization of the particles was performed by VSM. Prior to the VSM measurement, the particles were aligned in magnetic field (1 T) and fixed with wax, and then magnetized by applying a pulsing field (4.5 T).

RESULTS AND DISCUSSION

Coercivity of the HDDR-treated Nd-Fe-B-type fine particles was radically reduced by mechanical milling. This coercivity variation was correlated to the variations of residual hydrogen content (hydrogen determinator),

micro-strain (XRD; Williamson-Hall method), and surface oxidation (oxygen analyser) in the fine particle. It was revealed that major contributory factor for the radical coercivity reduction in the milled fine particle was surface oxidation. The reduced coercivity in the milled fine particles was recovered remarkably by chemical etching of the oxidized surface. Unlike the fine particles prepared from sintered Nd-Fe-B-type magnet, which lose coercivity almost completely (from around 13 kOe to 0.5 kOe), the fine particles (< 80 μm) prepared from HDDR-treated Nd-Fe-B-type material exhibited high coercivity over 12 kOe. In this article, origin of radical coercivity reduction in the fine HDDR-treated Nd-Fe-B-type particles and its recovery are to be discussed.

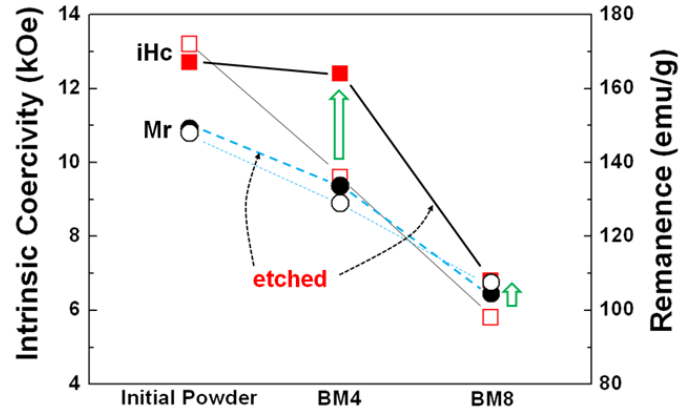


Fig.1. Variation of magnetic properties of the HDDR-treated Nd_{1.2.5}Fe_{80.6}B_{6.4}Ga_{0.3}Nb_{0.2} particles caused by mechanical milling. BM4 and BM8 denote ball milling for 4 hr or 8 hr, respectively.

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

Md. Abdul Matin^{1*}, Hae-Woong Kwon², Jung-Goo Lee³, and Ji-Hun Yu³

¹Materials Science & Engineering Department , Rajshahi University, Bangladesh

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

³Korea Institute of Materials Science (KIMS), Changwon, South Korea

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, of which size is close to a single domain size (~ 300 nm for $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). This fine grain structure can be exploited for achieving high performance, in particular 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 the material lost the coercivity radically above 650°C when the Nd-Fe-B-type HDDR-treated powder was compacted by hot pressing. It is important in technological point of view, therefore, to fully understand the cause of radical coercivity reduction on consolidation of the HDDR-treated powder. In the present study, the coercivity variation in the hot-pressed compact was studied emphasizing the function of residual hydrogen and consolidation of HDDR-treated powder was performed avoiding the detrimental effect of residual hydrogen in it.

EXPERIMENTAL DETAILS

HDDR-treated $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ powder ($iH_c = 13.5$ kOe, $100\text{--}150\ \mu\text{m}$) was used as a starting material for the present study. The powder was compacted by hot-pressing ($1\ \text{Ton}/\text{cm}^2$) in vacuum (1.2×10^{-5} mbar at RT) at a temperature range from 500 to 800°C with heating rate $70^\circ\text{C}/\text{min}$. The hot-pressing was performed using WC die with different configuration. A closed-type or open die were used, and main difference in the two different configuration is that in the open die a gas from the powder sample can be evacuated more easily. Magnetic characterization of the hot-pressed compacts was undertaken by means of vibrating sample magnetometer (VSM) with a maximum field of 12 kOe. Prior to the VSM measurement, the samples were wax bonded and then magnetized in 4.5 T pulsing field. Microstructure of the compacts prepared at different dies and temperatures was observed by SEM. Differential thermal analysis (DTA) was carried out to investigate the phase change in the material during heating under different atmospheres with heating rate $7^\circ\text{C}/\text{min}$. X-ray diffraction (XRD) (Cu-K_α radiation) was used for studying the crystallographic lattice parameter change in the $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ grains in the compact caused by the desorption of residual hydrogen.

RESULTS AND DISCUSSION

The $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ HDDR-treated powder was compacted by hot-pressing under vacuum in the closed and open-type die at a temperature range from 500 to 800°C with heating rate $70^\circ\text{C}/\text{min}$. The results showed that the coercivity was reduced radically above 600°C in the hot-pressed compacts prepared in

closed-type die. No appreciable grain growth was noticed in the hot-pressed compacts observed by SEM. It can be assumed that grain coarsening is not the cause for radical coercivity loss of the compacts. Disproportionation of the $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ hydride in the HDDR-treated powder was also verified by DTA during heating in Ar and in vacuum. A noticeable exothermic event occurred at the temperature range of 620 °C - 655 °C in the course of heating in Ar atmosphere while no thermal event was found in the course of heating in vacuum,. This exothermic event is believed to be corresponding to the disproportionation of the $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ hydride in the HDDR-treated powder. In spite of identical temperature and heating rate, the coercivity reduction in the compacts hot-pressed in an open die was gradual and inconsiderable. These diverse results with identical temperature and heating rate were attributed only to the different evacuation system of hot-pressing die. This fact can be explained that residual hydrogen may be confined in a closed-type die in the course of heating for hot-pressing, hence resulting disproportionation in the HDDR-treated powder caused radical coercivity loss above 600 °C in the compacts. In an open die, residual hydrogen may be desorbed effectively avoiding the detrimental effect of hydrogen-related disproportionation, hence retaining the coercivity significantly in the hot-pressed compacts. In this study, coercivity in the hot-pressed compacts would be discussed in details emphasizing the function of residual hydrogen in HDDR-treated powder.

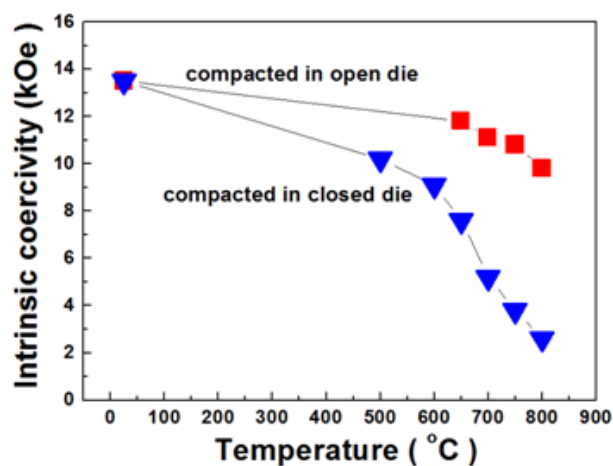


Fig.1. Coercivity variations for the hot-pressed compact of $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ HDDR-treated powder prepared in closed and open-type die as a function of hot- pressing temperature.

Shape Optimization of a Powder Aligning System for a Four Pole Anisotropic Bonded Nd-Fe-B Ring Magnet

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

1. Introduction

It is well known that the degree of alignment of anisotropic magnetic powders is a major determinant of magnetic properties in anisotropic PMs. However, in applications to ring-type PMs of small size, for example radial anisotropic or multi-polar anisotropic PMs, all the anisotropic magnetic powder are not expected to be oriented exactly along the applied field direction unless sufficient aligning field is applied.

In this paper, the magnetic properties under various aligning fields are experimentally measured and a powder-aligning-fixture for a 4-Pole anisotropic bonded Nd-Fe-B ring-type PM is optimally designed. Finally, an anisotropic bonded Nd-Fe-B PM is realized by using the optimally designed powder-aligning-fixture.

2. Experimental

A ring type 4-pole polar anisotropic PM for a commercial seat-moving-motor is selected as a design target. Fig. 1 shows the basic design of powder-aligning-fixture for a thin cylindrical magnet as shown in Table I. The design parameters, thickness of the outer insert (T) and angle between poles (β) which are difficult to optimize with the equivalent magnetic circuit method, were optimized by using a commercial finite element analysis software (Maxwell 2-D, Ansoft Corporation). In the optimization, the insert thickness T and angle β are allowed to change from 1.0 to 2.0 mm, and from 0 to 36 degree, respectively, to check the influence on the flux distribution and field intensity.

3. Results

Fig. 2 (a) compares the variations of the normal and tangential components of the magnetic flux density, B_{NOR} and B_{TAN} , respectively, according to the thickness of the outer insert T. It is shown that the normal component B_{NOR} reaches to 1.52 T, 1.64 T and 1.77 T when T has its value of 2.0 mm, 1.5 mm and 1.0 mm, respectively. However, the tangential component B_{TAN} does not have considerable change. as shown in the Fig. 2 (b), the normal component of the magnetic flux density, B_{NOR} , reaches to 1.52 T, 1.85 T and 2.1 T for the pole angles of 0°, 18° and 36°, respectively.

4. Conclusion

2-D finite element analysis was carried out to investigate the influence of the various design parameters on the performance of the powder-aligning-fixture for a 4-pole anisotropic Nd-Fe-B bonded PM. In order to achieve the required magnitude and direction of the aligning field inside the mold cavity, the proposed design method by adjusting the taper poles was very favorable.

5. References

- [1] R. Nakayama, T. Takeshita, M. Itakura, N. Kuwano, and K. Oki, *Journal of Applied Physics*, Vol. 70, No. 7, pp. 3770-3774, Oct. 1991.
- [2] S. Sugimoto, S. Ohga, K. Inomata, M. Okada, K. Suzuki, T. Konno, and K. Hiraga, Proc. 17th Int. Workshop on REM and their Applications, pp. 636-643, 2002,

* This work was supported by the Component Materials Technology Development Program (No. 10038973) funded by the Ministry of Knowledge Economy (MKE, Korea).

Table I Dimensions of Ring-type PM and Mold Tool

	Description	Dimension(mm)
Inner	radius of cavity($r1$)	16
Outer	radius of cavity($r2$)	17
Axle	length of mold toll	100

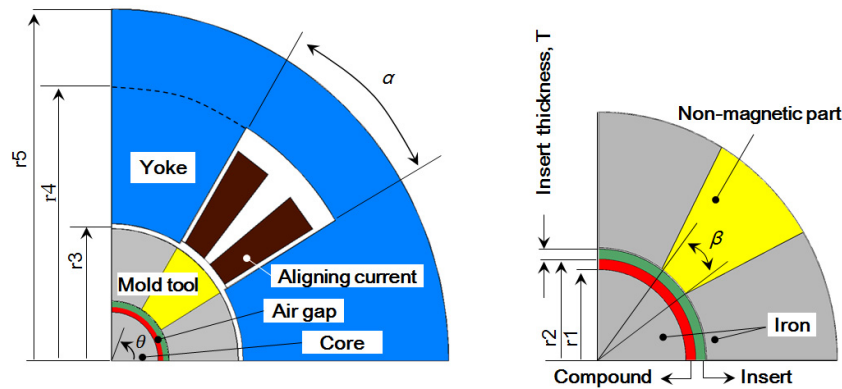


Fig. 1. Schematic drawing of powder-aligning-fixture.

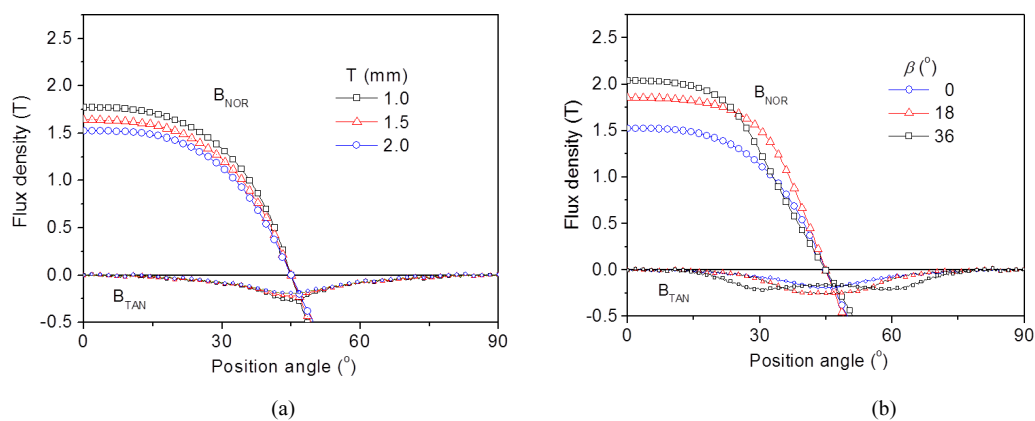


Fig. 2. Distribution of B_{NOR} and B_{TAN} at the air-gap at different (a) insert thickness and (b) pole angle.

Structure and magnetic properties in Bi₂Fe₄O₉/Fe₃O₄ nanocomposite thin film on LaAlO₃ substrate

Duong Anh Tuan^{2*}, Yooleemi Shin¹, Nguyen Van Quang¹, Jeongyong Choi¹, and Sunglae Cho^{1†}

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

²Department of General Sciences, Quang Ninh University of Industry, Quang Ninh, Viet Nam

The mullite-type orthorhombic Bi₂Fe₄O₉ is a well known multiferroic material, which is ferroelectric and antiferromagnetic with $T_N = 260\text{K}$. [1] Magnetite Fe₃O₄ was known as one of the important ferromagnetic oxides for spintronic devices due to its high spin-polarization at room temperature, high Curie temperature ($T_C = 860\text{ K}$) and high room temperature magnetoresistance (MR). [2,3] The combination of ferroelectric phase and ferromagnetic phase in nanostructure composite enables us to control electrical polarization by magnetic field and vice versa. Recently, there are some interesting reports in nanocomposite systems. For example, E. Weal *et al* reported the large saturation magnetization (M_s), 900 emu/cm^3 , in BiFeO₃-Fe₃O₄ nanocomposite. [4] L. Yan *et al* reported that, BiFeO₃-CoFeO₄ nanocomposite possessed the saturation polarization of $60\text{ } \mu\text{C/cm}^2$ and magnetization of 410 emu/cm^3 . [5] S. N. Babu *et al* reported that BiFe_{0.5}Cr_{0.5}O₃-NiFe₂O₃ composite has a larger magnetization and dielectric constant than those of both parent compounds. [6] Here we report on the structural and magnetic properties of Bi₂Fe₄O₉-Fe₃O₄ nanocomposite thin films grown on LaAlO₃ substrate by MBE. X-ray diffraction and FE-SEM image revealed the epitaxial nanocomposites consisting of two single crystal phases; orthorhombic Bi₂Fe₄O₉ and fcc Fe₃O₄. The temperature dependent resistivity showed the Verwey transition temperature (T_V , a first order metal-insulator transition of Fe₃O₄) of 100 K . The 1.4% MR in 7.5 kOe was observed at 150 K . The saturation magnetization at room temperature is 140 emu/cm^3 . The temperature dependent magnetization in 0.5 T showed the Néel temperature (T_N) of Bi₂Fe₄O₉ is about 260 K .

†Corresponding author: slcho@ulsan.ac.kr

1. Z. M. Tian, *et al.* J. Appl. Phys. 106 103912 (2009).
2. S. Tiwari, *et al.* J. Phys. D: Appl. Phys. 40, 4943 (2007).
3. A. V. Ramos, *et al.* J. Appl. Phys. 100, 103902 (2006).
4. E. Weal, *et al.* Appl. Phys. Lett. 97, 153121 (2010).
5. L. Yan, *et al.* Appl. Phys. Lett. 94, 192902 (2009).
6. S. N. Babu, *et al.* J. Appl. Phys. 107, 09D919 (2010).

BaTi_{0.93}Fe_{0.07}O_{3-δ}의 산소 결핍에 따른 강자기 특성 연구

김덕현*, 이민영, 권윤미, 이보화

한국 외국어대학교 물리학과

최근 몇 년 사이 강유전성과 강자성을 동시에 나타내는 다강체 물질이 multi-bit memory와 같은 차세대 소자의 개발 가능성 때문에 큰 관심을 받고 있다. 강유전 물질로 잘 알려진 BaTiO₃에 강자성 Fe 이온을 치환시켜 합성된 BaTi_{1-x}Fe_xO_{3-δ}가 상온에서 강유전성과 강자성의 특성을 동시에 나타낸다는 사실이 많은 연구를 통해 보고 되었다.[1,2,3] 하지만 이 물질에서 발생하는 자기적 특성의 변화가 치환된 Fe 이온으로 인한 것인지 치환으로 인해 유도된 결정구조의 변화에 의한 것인지에 대해서 여전히 많은 논란이 되고 있으며, 치환량에 따른 강자성 특성의 변화에 대해서도 충분한 연구가 이루어 지지 않았다.

앞선 연구결과에 따르면 다결정 BaTi_{1-x}Fe_xO_{3-δ}에서 Fe 치환량이 20% 이하인 시료에서 tetra BaTiO₃ phase와 hexa BaTiO₃ phase가 동시에 존재하며 20 %이상인 시료에서 pure hexa BaTiO₃ phase만을 가지는 것이 확인 되었으며 Fe 이온 치환에 의해 유도된 강자성 특성은 치환량이 7% 인 BaTi_{0.93}Fe_{0.07}O_{3-δ}에서 급격하게 변화되는 것이 확인 되었다.[1] 또한 hexa BaTiO₃ phase를 가지는 다결정과 단결정 BaTi_{1-x}Fe_xO_{3-δ}가 산소 분위기와 진공 분위기에서의 열처리에 의해 결정 구조내의 산소결핍의 양이 조절 되고 강자기 특성 또한 변화 한다는 사실이 보고 된 바 있다[2,3].

이에 우리는 고체상태반응법으로 합성된 다결정 BaTi_{0.93}Fe_{0.07}O_{3-δ} 시료에서 보이는 강자성의 급격한 변화를 M-T 곡선 측정 결과 분석을 통해 확인하였으며, 또한 다양한 분위기(O₂, Ar)에서 열처리 한 시료들의 자기적 특성 변화를 상온에서의 M-H hysteresis loop 와 M-T 곡선 측정 결과 분석을 통해 결정구조 내 산소 결핍의 양과 다결정 BaTi_{0.93}Fe_{0.07}O_{3-δ}에서 유도된 강자기 특성 변화와의 연관관계에 대해 연구 하였다.

참고문헌

- [1] Qui. S.Y et al. Trans. Nonferrous Met. Soc China **20**, 1911-1915 (2010).
- [2] Ray.S et al. Physical ReviewB **83**, 144407 (2011).
- [3] Lin. F et al. Physica B **403**, 2525 (2008).

희토류 금속 Dy를 치환한 Y-type hexaferrite의 자기적 특성 연구

조광래*, 김면우, 황병석, 김준형, 모동진, 최지훈, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

Y-type hexaferrite는 산화물이기 때문에 화학적으로 안정적이며 유전율(ϵ)과 투자율(μ) 동시에 나타나는 자성소재이기에 안테나 소자로 활발한 연구가 진행되고 있다[1]. spinel ferrite보다 상대적으로 높은 자기이방성을 가지고 있어 GHz영역에서 우수한 투자손실을 가진다. 이에 다른 전이금속보다 큰 자기이방성을 가지는 Co 기반의 Y-type hexaferrite로 연구하였다. 전이금속 치환에 대한 연구는 현재까지도 꾸준한 연구가 진행 중이지만 희토류 금속 치환에 대한 연구는 미비하다. 그렇기에 본 연구에서는 고주파수 특성을 향상시키기 위하여 희토류 금속인 Dy를 미량 치환한 $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12-x}\text{Dy}_x\text{O}_{22}$ ($x = 0.01, 0.05, 0.1$) 시료를 직접합성법으로 제조하여 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

습식분쇄를 통한 직접 합성법을 통하여 Y-type 육방정 페라이트인 $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12-x}\text{Dy}_x\text{O}_{22}$ 시료를 합성하였다. 출발물질로는 BaCO_3 , Co_3O_4 , Dy_2O_3 , Fe_2O_3 를 사용하였으며, ball mill을 통하여 증류수와 혼합 후 24 시간 동안 분쇄하였다. 1000 °C에서 하소한 뒤, PVA를 1 wt% 혼합하여 toroids 형태로 압축 성형한 후에 1100 °C에서 소결하였다. 제조 조건에 따른 자기적 특성의 변화를 x-선 회절(XRD), 진동자화율 측정기(VSM), 그리고 회로망 분석기(network analyzer)를 통하여 단계별로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X-선 회절 결과, $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12-x}\text{Dy}_x\text{O}_{22}$ ($x = 0.01, 0.05, 0.1$) 시료들은 $R3m$ 공간군의 rhombohedral구조로 확인하였다. Dy가 0.01, 0.1 치환된 시료는 격수상수의 비 (c_0/a_0)가 7.422로 동일하게 나왔으나 0.05 치환된 시료는 7.418로 감소하였다. c축으로 격자간 거리가 감소함에 의하여 초교환상호작용이 강하게 작용하여 VSM 측정 결과, Dy 0.01, 0.1 치환된 시료의 포화자화값(M_s)과 보자력(H_c)이 각각 33.3 및 31.8 emu/g 과 202.2 및 194.5 Oe로 비슷한 자기적 거동을 보이는 반면에 Dy 0.05가 치환된 시료는 M_s 와 H_c 가 각각 36.5 emu/g 과 466.2 Oe로 상대적으로 높은 자기적 특성을 가짐을 확인하였다. 주파수에 대한 전기적 자기적 특성을 보기위하여 회로망 분석기로 측정한 결과, 상대적으로 높은 M_s 를 갖는 Dy 0.05 치환시료가 투자율이 낮게 나오는 것을 확인하였다. 이는 Ohta 모델에 의한 $\mu_i \propto M_s^2 / (K_1 + \lambda_s \sigma)$ 식으로 설명이 가능한데 이 때 K_1 은 자기이방성, λ_s 는 자기변형 그리고 σ 는 내부 응력을 나타낸다 [2]. M_s 제곱의 증가량이 약 1.2배에 그치는 반면에 H_c 의 증가량이 약 2.3배로 이로 인한 K_1 의 증가가 상대적으로 크기에 투자율이 낮게 나오는 것으로 판단된다. 1100 °C에서 소결한 모든 $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12-x}\text{Dy}_x\text{O}_{22}$ 시료의 경우, 1 GHz 이상까지 $\tan \delta_\mu \leq 0.1$ 의 낮은 투자손실을 유지하였으며, 이러한 결과로부터 안테나 소자로써의 응용가능성을 확인하였다.

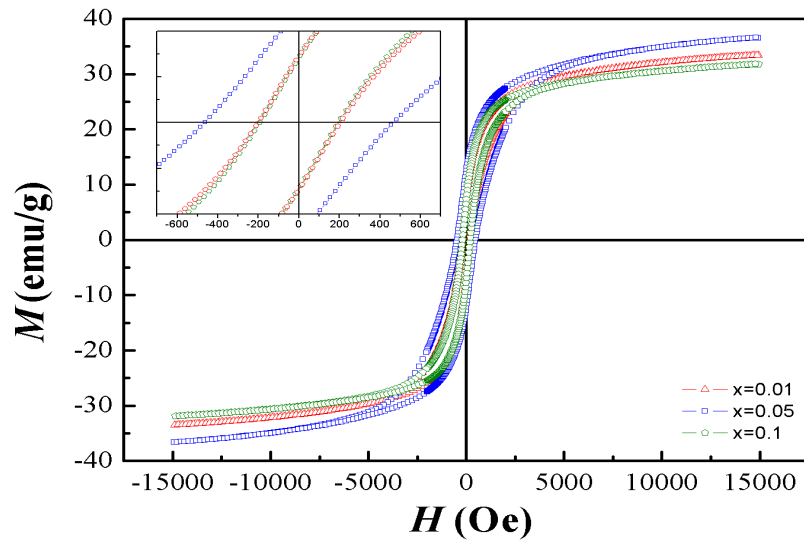


Figure 1. The hysteresis loop for $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12-x}\text{Dy}_x\text{O}_{22}$ ($x=0.01, 0.05, 0.1$) samples

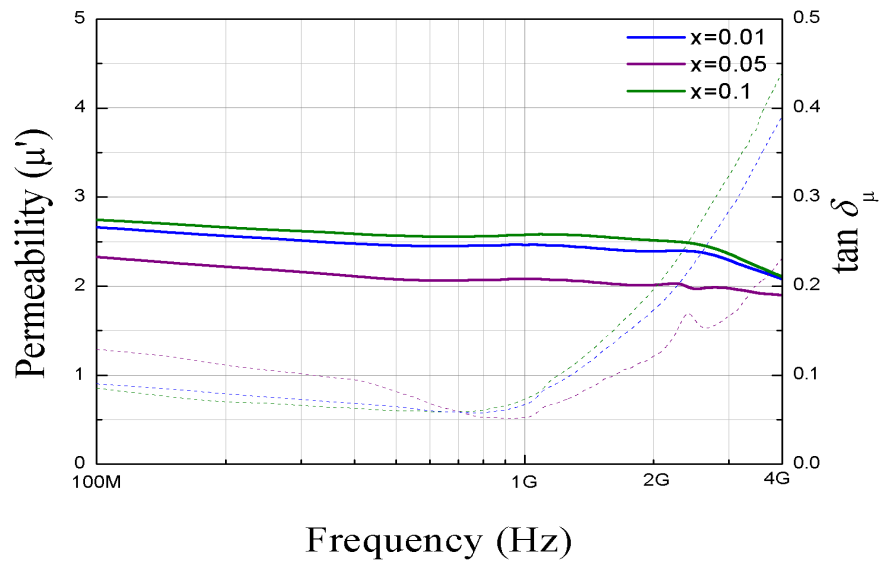


Figure 2. Frequency dependence of permeability (μ') and magnetic loss ($\tan\delta_\mu$) for $\text{Ba}_2\text{Co}_2\text{Fe}_{12-x}\text{Dy}_x\text{O}_{22}$ ($x=0.01, 0.05, 0.1$) samples

참고문헌

- [1] R. C. Pullar, Progress in Materials Science **57**, 1191 (2012).
- [2] V. Tsakaloudi, D. Holz, V. Zaspalis, J. Mater. Sci. **48**, 3825 (2013).

Synthesis and Magnetic Properties of Strontium W-type Hexagonal Ferrite

Jae-Hyoung You^{*}, Hyo-Jin Kim, and Sang-Im Yoo[†]

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

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

Since strontium W-type hexagonal ferrite (SrW) is stable at the temperature region of 1350-1420°C in air, it is hard to synthesize the pure phase of SrW. Many researches on the phase stability and properties of substituted SrW were reported, however not on the pure SrW. In this paper we report a successful synthesis of SrW with the composition of $\text{SrFe}_{18}\text{O}_{27}$ by the standard solid state reaction in a reduced oxygen atmosphere. When samples were sintered at the temperature region of 1365-1400°C for 2 h in air, those were composed of the SrW, strontium M-type hexagonal ferrite $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ (SrM) and Fe_2O_3 , which are attributed to a partial decomposition of SrW into SrM and Fe_2O_3 during furnace-cooling. Instead, when samples were sintered at 1275 and 1300°C for 2 h in pure N_2 atmosphere (~ 0.5 ppm O_2), those consisted of SrW with a small amount of Fe_3O_4 , suggesting that a $\text{SrFe}_{18-x}\text{O}_{27}$ -type solid solution might be formed. In the oxygen partial pressure of 1000ppm O_2 the pure SrW phase could be successfully synthesized at the temperature region of 1300-1350°C for 2h. Detailed microstructures and magnetic properties of the pure SrW sample will be presented for a discussion.

Fabrication of iron phosphate-coated Fe alloy powder

Hui Eun Kim^{1*}, Hyo-jinKim¹, SungYongAn², and Sang-ImYoo¹

¹*Department of Materials Science and Engineering and Research Institute of Advanced Materials, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea*

²*Corporate R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics, Suwon, 443-743, Korea*

Soft magnetic composites (SMC) are used for various AC and DC electromagnetic applications such as electromagnetic circuits, sensors, electromagnetic actuation devices, low frequency filters, induction field coils, magnetic seal systems and magnetic field shielding. Soft magnetic powder particles are normally coated by insulating oxides before sintering to minimize the eddy current loss consisting of the core loss. For this purpose, we tried to fabricate coated ferromagnetic metal powder composed of a core particle of Fe alloy and a shell layer of iron phosphate. The iron phosphate coating was performed by a phosphating method with two types of solvents, acetone and water. We controlled the condition of the iron phosphate coating, such as temperature and phosphate concentration, in order to uniform and thin (<100nm) coating layer. Details will be presented for a discussion.

Effect of Impregnation on Permalloy Powder Core

Hyo-Jin Kim^{1*}, Jae-Hyoung You¹, Hyun-Sik Choi¹, Gu-Hyun Kim², Gwang-Bo Choi²,
Heung Nam Han¹, and Sang-Im Yoo¹

¹*Department of Materials Science and Engineering, Research Institute of Advanced Materials (RIAM),
Seoul National University, Seoul 151-744, Korea*

²*R&D Center, Changsung Corporation, 11B-9L Namdong Industrial Area, Namdong-Ku, Incheon, Korea*

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

Permalloys (Fe-Ni alloys) are of great commercial interest due to their high permeability and high saturation magnetization. The magnetic properties of permalloy powder core are primarily determined by shape, particle size, and density. The magnetic flux density is strongly related to the sample's purity and density. Permalloy powder core is normally coated by an impregnation solution after annealing to strengthen it mechanically. However, the magnetic properties of permalloy powder core are degraded after impregnation processing. To envisage the origin for it, we carefully investigated the relationship between crystal structure, microstructure, and magnetic property. Details will be presented for a discussion.

Study on Perpendicular Magnetic anisotropic properties of Amorphous Ferromagnetic CoSiB/Pd Multilayer with Various thicknesses

Sol Jung^{1*}, Haein Yim¹

¹Department of Physics, Sookmyung Women's University,
Cheongpa 47gil 100, Yongsan-gu, Seoul 140-742

1. Introduction

Materials with PMA have large anisotropy energies more than that with in-plane anisotropy (IMA). For the patterned device, in addition, the magnetization of materials with PMA does not suffer from thermal instability due to magnetization curling observed at the edge of in-plane case [1]. Moreover, the reverse of magnetization of a PMA free layer is easier than that of an IMA free layer. Based on these general theories, devices with PMA have lower switching currents than devices with IMA for the same magnetic field [2-4]. Multilayers based on crystalline materials, for example, Co, Fe, and CoFe show PMA for a certain range of thickness of layer and number of periods with noble metals like Pt, Pd, and Au [5-9]. Also, multilayers based on amorphous materials like CoSiB, and CoFeSiB show PMA. Both crystalline multilayers and amorphous multilayers show PMA, but amorphous multilayers have two strong advantages. There are no grain boundary and the less roughness of the amorphous than that of crystalline [10, 11].

Therefore, we studied the perpendicular magnetic anisotropic properties of amorphous ferromagnetic CoSiB/Pd multilayers as functions of the thicknesses of CoSiB and Pd layers. In order to investigate of the role of these amorphous multilayers, the magnetic properties were studied by a VSM and a XRD.

2. Experiments

The chamber's base pressure was up to 2.0×10^{-7} Torr, and the working pressure was 2×10^{-3} Torr after flowing Ar gas (46 sccm). All thin films were uniform in size, 1.4 cm $\times$ 1.4 cm, and were deposited at room temperature. The magnetic properties of the thin films were measured by a vibrating sample magnetometer.

3. Result

We found that the coercivity and the magnetization are strongly dependent on ferromagnetic material's thickness. In addition, the amorphous ferromagnetic CoSiB/Pd multilayer has larger squareness, lower coercivity, and lower magnetization than those of crystalline multilayer.

4. Discussion

Based on these results, the amorphous CoSiB multilayer system was proved to be beneficial for perpendicular magnetic tunnel junction (pMTJ) applications. Therefore, in the further study, we will propose an annealing effect of CoSiB system and insert this system as a free layer of MTJ.

5. Conclusion

We found that the coercivity and the magnetization are strongly dependent on ferromagnetic material's thickness. In addition, the amorphous CoSiB multilayer has larger squareness, lower coercivity, and lower magnetization than those of crystalline multilayer. This means that the amorphous is more beneficial than other crystalline which are known. In conclusion, the amorphous ferromagnetic CoSiB multilayer is more useful than other crystalline multilayer for pMTJ application.

6. Reference

- [1] Y. Zheng, and J. - G Zhu, J. Appl. Phys. **81**, 5471 (1997).
- [2] S. Mangin, D. Ravelosona, J. A. Katine, M. J. Carey, B.D. Terris, and E. E. Fullerton, Science **5**, 210 (2006).
- [3] R. Sbiaa, S. Y. h. Lua, R. Law, H. Meng, R. Lye, and H. K. Tan, J. Appl. Phys. **109**, 07C707 (2011).
- [4] M. Nakayama, T. Kai, N. Shimomura, M. Amano, E. Kitagawa, T. Nagase, M. Yoshikawa, T. Kishi, S. Ikegawa, and H. Yoda, J. Appl. Phys. **103**, 07A710 (2008).
- [5] S. - B. Choe, and S. - C. Shin, Phys. Rev. B **70**, 014412 (2004).
- [6] P. F. Carcia, A. D. Mcinhardt, and A. Sunna, Appl. Phys. Lett. **47**, 178 (1985).
- [7] F. J. A. den Broeder, H. C. Donkersloot, H. J. G. Draaisma, and W. j. M. de Jonge, J. Appl. Phys. **61**, 4317 (1987).
- [8] B. N. Engel, C. D. England, R. A. Valeeuwien, M. H. Wiedmann, and C. M. Falco, J. Appl. Phys. **70**, 5873 (1991).
- [9] T. Sugimoto, T. Katayama, Y. Suzuki, M. Hashimoto, Y. Nishihara, A. Itoh, and K. Kawanishi, J. Magn. Mater. **104-107**, 1845 (1992).
- [10] E. H. M. van der Heijden, K. J. Lee, Y. H. Choi, T. W. Kim, H. J. M. Swagten, C. - Y. You, and M. H. Jung, Appl. Phys. Lett. **102**, 102410 (2013).
- [11] J. Y. Hwang, S. S. Kim, and J. R. Rhee, J. Magn. Mater. **310**, 1943 (2007).

알루미나 입도에 따른 압분 코어의 자기특성 변화

Magnetic properties of Alumina particle size according to compressed powder core

최재정*, 장평우

청주대학교 이공대학 물리학과, 충청북도 청주시 상당구 내덕동 36, 360-764

1. 서론

압분코어는 연자성분말 사이에 절연층이 삽입되어 있어 반자장이 분말에 작용됨으로써 우수한 직류중첩 특성을 가지므로 전기자동차의 리액터, 태양광발전용 PCS 등에서 널리 사용되고 있다. 절연층을 생성시키는 방법은 분말을 인산용액에 담귀 표면에 인산염을 생성시키는 인산염코팅법, 연자성분말표면에 고분자재료를 코팅시킨 고분자코팅법, 그리고 분말표면을 금속산화미분층을 형성시키는 방법 등이 있다. 압분코어를 만들 때 연자성분말을 고압에서 성형하는 과정에서 분말의 소성변형이 일어나 잔류응력이 크게 남게 되므로 우수한 특성을 가지는 압분코어를 제조하기 위해서는 700°C 이상의 고온에서 열처리하여 잔류응력을 제거해야 한다. 고분자절연층이나 인산염절연층은 700°C 이상의 열처리온도에서 완전히 분해되므로 우수한 특성을 가진 압분코어를 기대하기 어렵고, 통상 1 μm 이하의 금속산화물 미분이 사용된다. 산화물분말이 고율수록 좋은 특성이 기대되지만 지금까지 산화물 분말입도의 영향, 특히 철손 등에 입도가 어느 정도의 영향을 미치는지에 대한 연구는 발표되지 않았다.

본 연구에서는 Fe-Si분말에 알루미나를 혼합하여 압분코어를 제조할 때 철손 등 자기특성에 미치는 절연체 입도의 영향을 정량적으로 알아보고자 하였다.

2. 실험방법

가스분무법으로 제조된 Fe-3.5wt.%Si 합금분말을 체를 이용하여 106 μm 이하의 분말로 입도선별한 후, 0.05 μm , 0.3 μm , 1.0 μm 의 크기의 알루미나 분말을 0 ~ 1.0 wt.%까지 0.2 wt.% 간격으로 각각 첨가하여 혼합하였다. 혼합한 분말을 1.2 GPa의 압력으로 성형하여 외경 12.7 mm, 내경 7.6 mm, 높이 약 4.1 mm의 토로이드형 코어를 제작하였고, 900°C 수소 분위기에서 12시간 열처리를 실시 한 후, 투자율, 코어손실 등의 자기특성을 측정하였다. 알루미나의 입도 크기, 첨가되는 함량에 따라서 절연층의 형상 등을 SEM과 광학현미경으로 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 코어손실의 그래프이고, 그림 2는 와전류 손실을 나타낸 그래프이다. 분말의 입도가 작을수록 손실이 작아지고, 함량이 증가하면서 감소하며, 큰 변화폭을 보이지 않으나, 0.8wt.%의 함량이상에서 입도에 따라 소폭, 또는 대폭으로 손실의 변화가 생긴다. 이에 따라 첨가되는 일정 함량의 알루미나가 내부에서 절연층으로 작용한다는 예상을 할 수 있었다. 그림 3은 알루미나의 입도, 함량별로 제작한 코어의 투자율 그래프이다. 입도가 작을수록, 함량이 0.2wt.% 포함되었을 때 가장 높게 측정이 되었고, 입도가 커지거나 함량이 증가할수록 투자율은 감소하는 경향을 볼 수 있다. 그림 4는 코어의 상대적인 밀도를 나타낸 그래프이다. 알루미나가 첨가 되면서 밀도가 감소하다가 0.4wt.%부근에서 증가하는 양상을 보이지만 전체적으로 봤을 때, 알루미나가 첨가되면서 밀도는 감소한다.

이상의 결과로 분말 표면에 알루미나가 절연층을 생성한다는 것을 예상할 수 있었고, 이러한 알루미나가

코어 내부에서 절연체로써 어떻게 작용하는지에 대해 조금 더 다각도에서 알아볼 필요가 있다고 생각되는바 현재 실험 중에 있다.

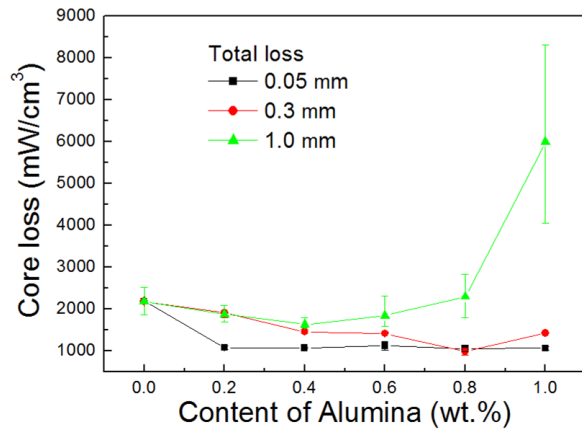


Fig. 1 Impact of Total loss of Alumina content and Alumina powder size.

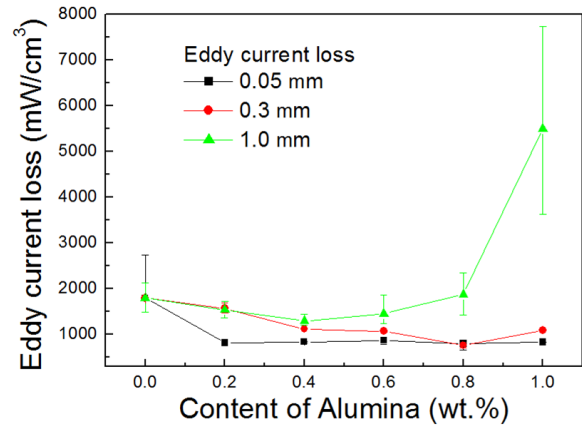


Fig. 2 Impact of the Eddy current loss of Alumina content and Alumina powder size

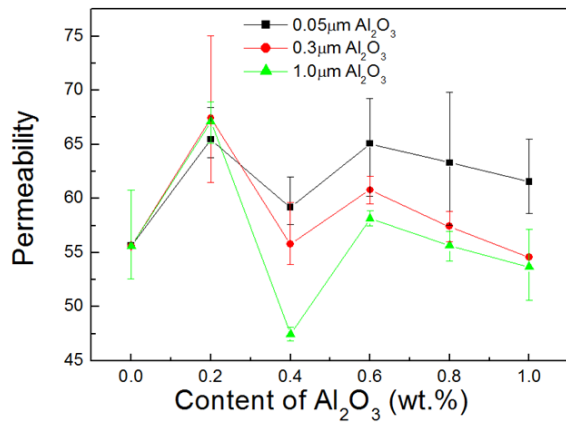


Fig. 3 Impact of Permeability of Alumina content and Alumina powder size.

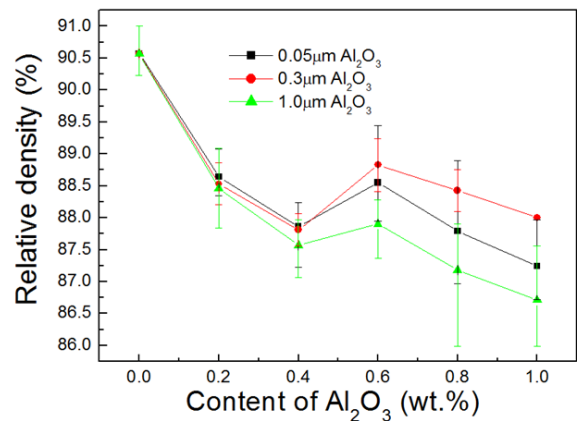


Fig. 4 Impact of Relative density of Alumina content and Alumina powder size.

Ni-Zn ferrite의 Co doping 효과

권윤미*, 김덕현, 이민영, 유춘리, 이보화
한국외국어대학교 물리학과 경기도 용인시 449-791

1. 서론

Ni-Zn ferrite는 고유저항이 크고 높은 큐리온도를 가지고 있어 마이크로파와 무선 주파수 장치에 적합하다 [1]. Ni-Zn ferrite는 spinel 구조를 가지며, spinel 구조는 기본적으로 normal spinel 구조와 inverse spinel 구조로 나뉜다. Normal spinel 구조는 AB_2O_4 의 형태로 나타나고 tetrahedral A-site와 octahedral B-site는 각각 divalent cation과 trivalent cation으로 구성된다. 이에 반해 inverse spinel 구조는 $XYXO_4$ 의 형태로 나타나고 X와 Y금속 이온은 동일한 비율로 AB_2O_4 의 B site를 차지하게 된다[2]. Inverse spinel 구조를 가지는 Ni ferrite에 비자성 Zn^{2+} 를 치환한 Ni-Zn ferrite에서 Zn^{2+} 의 치환은 Fe^{3+} 을 octahedral site로 이동시키는 역할을 하여 포화 자화를 증가시킨다[3].

고주파 대역에서는 전력 손실로 인한 열전 손실을 수반하여 안정적인 자기적 특성을 가질 수 없으나 Co^{2+} 의 치환으로 고주파 손실을 줄일 수 있다. 강한 양의 이방성을 가지는 Co^{2+} 은 음의 이방성을 가지는 Ni-Zn ferrite의 이방성을 보상함으로써 고주파 대역에서의 전자기적 특성을 변화시키게 된다[4].

본 연구에서는 자기적 특성이 우수한 $Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ 를 기본 조성으로 선택하여 Ni^{2+} 와 같은 site를 공유하는 Co^{2+} 을 치환하고 Co^{2+} 의 치환정도에 따른 자기적 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

고체상태반응법으로 $Ni_{0.6-x}Co_xZn_{0.4}Fe_2O_4$ 의 시료들을 제조하였다. 고순도의 NiO, ZnO, Fe_2O_3 , Co_3O_4 분말들을 몰 비로 계량하여 분쇄, 혼합 후 $900^\circ C$ 의 전기로에서 24시간 열처리 하였다. Pellet으로 제작한 시료들을 $5^\circ C/min$ 으로 승온 후 $1250^\circ C$ 에서 각각 6시간동안 공기 중에서 유지시키고 다시 $5^\circ C/min$ 으로 냉각시켰다. X-선 회절과 SEM 측정을 통하여 시료들의 상을 확인하였고, VSM을 이용하여 상온에서 자기이력곡선을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Ni-Zn ferrite에서 포화자화가 가장 큰 $Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ 에서 Ni^{2+} site에 Co^{2+} 을 치환하여 그 결과를 확인하였다. X-선 회절측정 결과 $Ni_{0.6-x}Co_xZn_{0.4}Fe_2O_4$ 의 시료들은 Fig. 1과 같이 spinel 상을 보였다. Ni^{2+} 와 Co^{2+} 의 이온 크기가 다르기 때문에 Co^{2+} 의 치환 정도가 커질수록 lattice parameter가 $8.389 \text{ \AA}$ 에서 $8.416 \text{ \AA}$ 으로 점차 증가하는 것을 알 수 있었다. SEM 측정 결과 Co^{2+} 의 치환 효과가 밀도나 미세구조와 같은 구조적 특성에는 거의 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다.

Zn^{2+} 은 tetrahedral A-site를 점유하고 Ni^{2+} 과 Co^{2+} 은 octahedral B-site를 우선적으로 점유하여, Ni-Co-Zn ferrite는 normal spinel 구조와 inverse spinel 구조의 혼합 형태로 나타난다[1,3].

Fig. 2는 상온에서 자기이력곡선 측정 결과로 $Ni_{0.6-x}Co_xZn_{0.4}Fe_2O_4$ 에서 Co^{2+} 을 치환정도가 커질수록 포화 자화는 증가하고 보자력은 감소하는 것을 보였다.

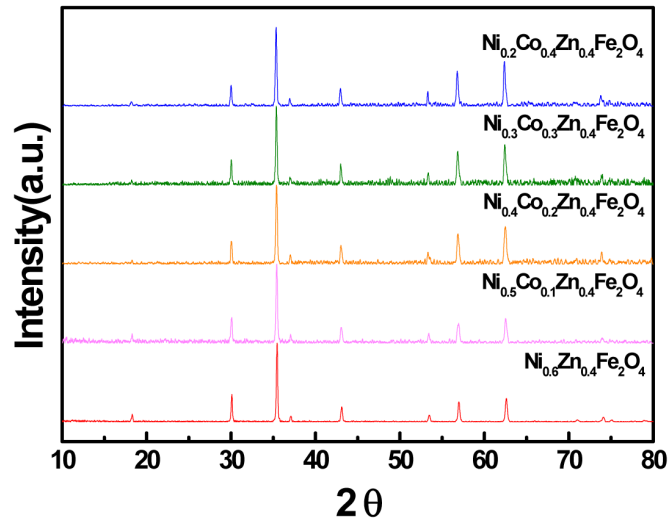


Fig. 1. XRD patterns of $\text{Ni}_{0.6-x}\text{Co}_x\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$

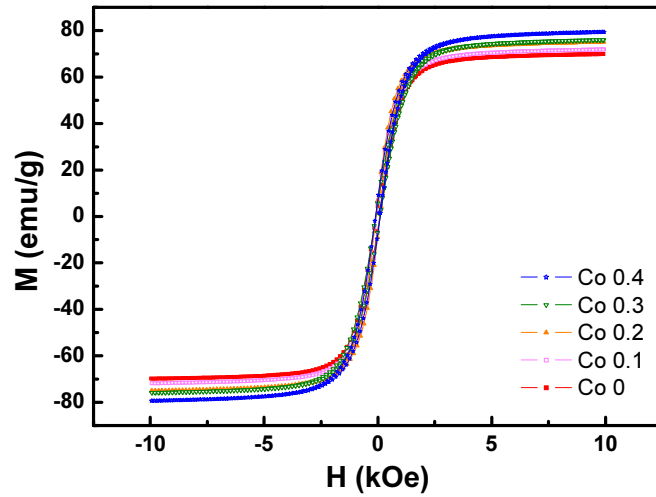


Fig. 2. Magnetic hysteresis loops of $\text{Ni}_{0.6-x}\text{Co}_x\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$

4. 참고문헌

- [1] M.A. Amer, A. Tawfik, A.G. Monstafa, A.F. El-Shora, S.M. Zaki, J. Magn. Mater. 323, 1445-1452 (2011)
- [2] W. Schiessel, W. Potzel, H. Karzel, M. Steiner, G. M. Kalvius, Phys. Rev. B 53, 9143-9152 (1996)
- [3] A.M. El-Sayed, Mater. Chem. Phys. 82, 583-586 (2003)
- [4] Y.W. An, J.R. Kim, Y.W. Oh, H.S. Kim, H.Y. Lee, J. Kor. Inst. Electr. Electron. Mater. 4, 569-572 (2003)

Ni-Au 다층 나노선의 합성 및 자기적, 광학적 성질

서효원^{1*}, 안부현¹, 조문규¹, 박범철¹, 김영근^{1,2}

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

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

1. 서론

지난 수 년 동안 복합나노재료는 나노디바이스의 영역에서 자성, 광학적인 응용을 위한 기초 재료로 각광을 받아왔다. 특히 여러 기능을 동시에 가질 수 있는 다층 나노선은 검지(sensing), 세포 분리(cell separation), 자성 표지(magnetic labelling) 등의 의학적, 생물학적 응용에 활용될 수 있다 [1,2]. 특히 니켈은 나노선의 지름, 형상, 조성 등에 따라 자기 이방성을 나타내므로 자기적 성질의 변화를 관찰할 수 있는 좋은 재료이다. 금 또한 표면 플라즈몬 공명 효과 등을 비롯하여 특징적인 광학적 성질을 나타내고, 생적합성이 뛰어난 물질이므로 니켈-금 나노선은 생의학적으로 높은 활용도를 나타낸다.

2. 실험방법

본 연구에서는 니켈, 금의 전구체가 들어있는 단일욕(one bath)으로부터 펄스 전착(pulse electrodeposition) 방법을 이용하여 200 nm의 세공 크기를 가지는 산화 알루미늄 나노틀(AAO) 안에 Ni-Au 다층 나노선을 합성하였다. 이 때 니켈과 금 층의 두께를 각각 달리하여 자성층 및 비자성층의 두께에 따른 자기적 특성을 VSM을 통해 확인하였다. 나노선의 미세구조 및 결정구조는 SEM, TEM, XRD를 통해 측정하였다. 니켈과 금 층에 각각 아민기(-NH₂)와 싸이올기(-SH)를 부착하고 각각 색이 다른 형광 염료를 수식하였다. 수식된 형광 염료는 공초점 레이저 주사 현미경(confocal laser scanning microscope, CLSM)으로 확인하였다.

3. 실험결과

그림 1의 (a)를 통해 자성층과 비자성층 분리가 명확한 Ni-Au 다층 나노선이 잘 합성되었음을 알 수 있다. 그림 1의 (b), (c), (d)의 자기이력곡선은 자성층의 변화에 따라 자화 용이축(easy axis)이 변화되는 것을 확인할 수 있다. VSM은 상온에서 측정되었으며, 자기장은 다층 나노선 축에 수직인 방향과 축에 수평인 방향으로 각각 인가되었다. 비자성층이 없고 순수 니켈로만 나노선이 이루어져 있을 경우, 자화 용이축은 나노선 축에 수평인 방향으로 형성된다. 자성층이 125 nm이고 비자성층이 40 nm인 다층 나노선의 경우 자화 이방성(magnetic anisotropy)은 발현되지 않고, 등방성(isotropic) 성질이 나타난다. 비자성층이 여전히 40 nm이고 자성층이 25 nm로 감소하면 자성층은 지름 200nm, 높이 25nm의 디스크 형태를 갖는다. 따라서 자화 용이축은 나노선 축에 수직인 방향으로 형성된다.

그림 2는 자성층에 아민기를, 비자성층에 싸이올기를 각각 부착한 후, 각각의 작용기에 서로 다른 형광 염료를 수식한 뒤 공초점 레이저 주사 현미경으로 관찰한 이미지이다. 잘 분리된 니켈과 금 층에 각각의 형광 염료가 수식되었음을 알 수 있다.

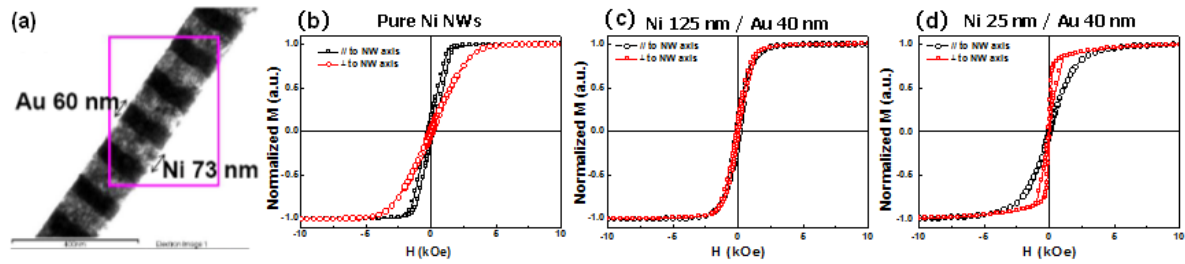


그림 1. (a) 합성된 Ni-Au 다층 나노선의 TEM 이미지, (b)-(d) 자성층과 비자성층 두께 변화에 따른 자기이력곡선

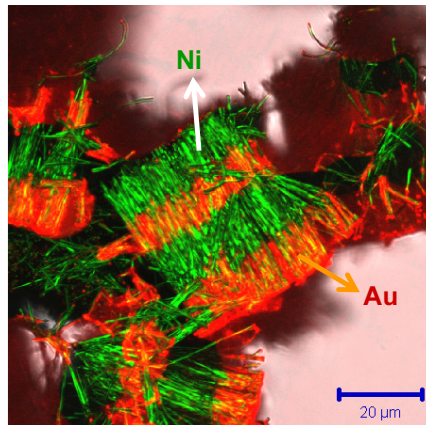


그림 2. 자성층 및 비자성층 각각에 형광 염료가 수식된 CLSM 이미지

4. 고찰

자성층과 비자성층의 두께에 따른 자화 용이축의 변화는 니켈의 형상 자기 이방성을 확인할 수 있는 실험이다. 자성층의 두께가 감소하고 비자성층이 충분히 두꺼우면 자성층간의 상호작용이 줄어들게 되고, 결국 나노선과 수직인 방향으로 자화 용이축이 형성된다. Ni-Au 다층 나노선에 각각 형광 염료를 수식한 결과를 통해 각각의 마디에 서로 다른 단백질을 수식할 수 있는 가능성을 확인하였다.

5. 결론

니켈과 금의 전구체가 들어있는 단일욕에서 펄스전착법을 이용하여 Ni-Au 다층 나노선을 합성하였다. SEM, TEM과 XRD를 통해 니켈과 금이 잘 분리되어 있는 다층 나노선의 미세구조 및 결정구조를 측정하였다. 자성층과 비자성층의 두께 변화에 따라 나노선의 자화 용이축이 변화하는 자화 이방성을 확인하였다. 니켈과 골드 층에 각각 수식된 형광 염료를 통해 Ni-Au 다층 나노선의 생의학적 응용 가능성을 확인하였다.

6. 참고문헌

- [1] J.S. Park, *et al.*, *Nature Nanotechnology*, **4**, 259 (2009)
- [2] J.H. Lee *et al.*, *Angewandte Chemie-International Edition*, **46**, 3663 (2007)

크기 조절이 가능한 MnFe_2O_4 페라이트 나노클러스터

최영수^{1,3*}, 윤하영², 이지성^{2,3}, 우준화³, 김영근^{2,3}

¹고려대학교 바이오마이크로시스템기술협동과정, 서울특별시 성북구 안암동 5-1, 136-713

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

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

1. 서론

페라이트는 고밀도 자기저장장치, 유체자석 기술, 화학적 센서, 표적 약물전달 시스템, 온열치료법, 자기공명영상 등 다양한 분야로의 응용이 가능하기 때문에 많은 연구가 되어 왔다.[1] 일반적인 페라이트는 스피넬(*fcc*) 구조를 형성하고 있으며 $[\text{M}_{1-i}\text{Fe}]^{\text{A}}[\text{M}\text{Fe}_{(2-i)}]^{\text{B}}\text{O}_4$ 와 같은 구조식을 가지고 있다. M은 Mn, Co, Zn 등 천이금속이 될 수 있으며 아래첨자 *i*는 반전 파라미터를 의미한다. 이 반전 파라미터는 최소 0에서 최대 1의 값을 가지며 합성 방법, 열 처리방법, 입자 크기에 따라 바뀔 수 있다. 페라이트 나노입자의 격자구조와 형태, 자기특성 및 화학적 특성은 X-선 회절 (XRD), 전자투과현미경 (TEM), 주사전자현미경 (SEM), 자기특성분석장치 (MPMS), 시료진동식 자속계 (VSM), X-선 분광분석 (EDS)를 통해 측정되었다.

2. 실험방법

MnFe_2O_4 페라이트 나노클러스터는 Fe, Mn 전구체와 아세트산 나트륨, 에틸렌 글리콜, 증류수를 이용하여 수열 폴리올 방법으로 합성이 되었다. 모든 시약은 상업적으로 구매가 가능하며 특별한 처리과정 없이 그대로 합성에 사용되었다.[2] 우선 위의 시약들을 모두 삼구 플라스크에 넣어준 후 원하는 온도로 가열시켜준다. 원하는 온도에 도달하면 용액이 끓기 시작하는데 이때 환류과정을 통하여 나노입자의 균일도를 향상시켰다. 합성 과정이 끝나면 상온으로 식힌 후 에탄올을 이용하여 여러차례 세척과정을 거치게 되며 세척과정이 끝나면 페라이트 나노클러스터가 얻어진다. 이렇게 얻어진 페라이트 나노클러스터는 특성 분석을 위하여 XRD, TEM, SEM, MPMS, VSM, EDS의 측정 과정을 거쳤다.

3. 실험결과

XRD 분석 결과 (220), (311), (400) 과 같은 전형적인 스피넬 구조의 회절점이 관찰되었으며, 나노 클러스터의 크기가 증가할수록 peak이 더 좁아지고, 그 세기가 증가하였다. TEM 및 SEM 분석 결과 각각 28, 50, 93, 103, 118 nm의 크기를 가지며 균일한 크기 분포를 나타내었으며, 나노 클러스터는 구형에 가까운 형태를 지니고 있었다. MPMS 및 VSM 측정 결과 나노 클러스터의 크기가 커질수록 1 T 하에서의 자화값과 보자력이 커지는 것을 관찰 할 수 있었다. 온도에 따른 자기특성을 보았을 경우 5K에서는 모두 강자성을 보이며 상온에서는 초상자성과 강자성을 보였다. EDS 측정 결과 Mn이 잘 도핑되어 있음을 확인 할 수 있었다.

4. 고찰

본 연구에서는 결정화도와 형상의 균일도가 높은 MnFe_2O_4 페라이트 나노클러스터를 다양한 크기에 따라 합성하였다. XRD의 실험 결과를 통해서 크기가 커질수록 입자의 결정크기가 커지며 결정화가 더 잘 되어 있는 것을 확인 할 수 있으며, 합성된 나노입자의 자성특성을 보면 상온에서 크기가 커질수록 보자력이 커지는데 이는 크기에 따라서 초상자성에서 강자성으로 자성특성이 바뀌는 것을 확인할 수 있었다. 특히 기존에 연구되었던 MnFe_2O_4 나노입자와 비교하여도 더 다양한 크기로 합성이 가능하며, 큰 포화자화값을 가지기 때문에 다

양한 분야로의 응용이 가능하다.[3,4]

5. 결론

본 연구에서는 크기조절이 가능한 MnFe_2O_4 페라이트 나노클러스터를 다양한 크기를 가질 수 있도록 합성하였다. 다양한 측정 장비들을 통하여 MnFe_2O_4 페라이트 나노클러스터의 고 결정도 고 균일도 특성을 확인하였으며, Fe_3O_4 격자 내부로 Mn^{2+} 도핑이 성공적으로 이루어졌음을 확인 할 수 있었다. 또한 나노입자의 자기 특성이 입자의 크기에 따라 변화함을 관찰하였다. 특히 큰 크기에서의 강자성을 지니고, 작은 크기에서는 초상자성을 지니는 특성은 다양한 분야로의 응용이 가능할 것이다.

6. 참고문헌

- [1] S. Hockfield, Science 323, 1147(2009)
- [2] Jinmyung Cha et al., RSC Adv. 3, 3631 (2013).
- [3] Hong Yang et al., Biomaterials 31, 3667 (2010).
- [4] D. carta et al., J. Phys. Chem. C, 113, 8606 (2009).

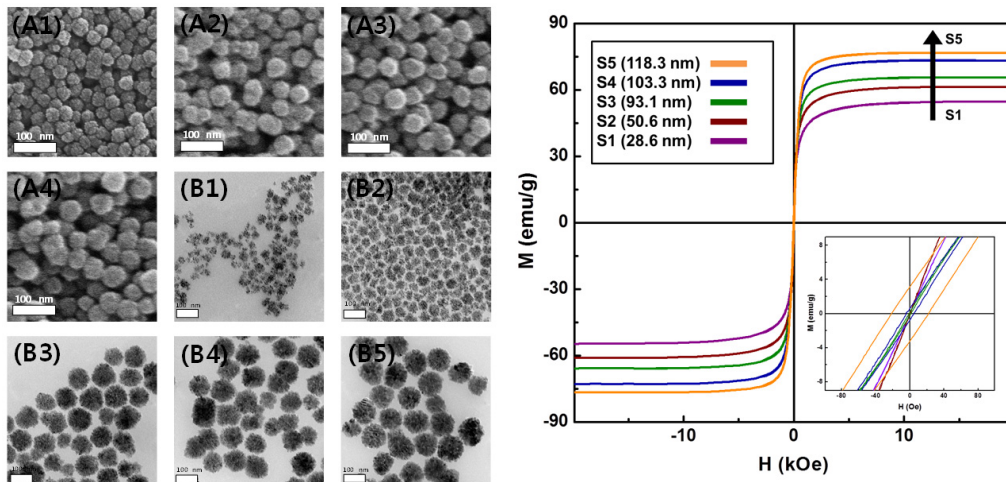


Fig 1. 합성된 $\text{Mn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ 페라이트 나노클러스터의 SEM & TEM 이미지(左)와 크기에 따른 자성변화 그래프(右)

T-DMB 대역 자성안테나용 Ba₃Co_{1.5}Zn_{0.4}Cu_{0.1}Fe₂₄O₄₁ 물질의 고주파수 특성 연구

이찬혁*, 조광래, 김현규, 김삼진, 김철성
국민대학교 물리학과

1. 서론

Co²⁺가 치환된 Z-type hexaferrite (Ba₃Co₂Fe₂₄O₄₁)는 T-DMB 통신용으로 사용되는 200 MHz 영역에서 자성 안테나용 소재로 연구되고 있다. 투자율(μ)과 유전율(ϵ)을 동시에 지니는 안테나 소재는 $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ 식에 따라서 소형화가 가능하며[1], μ 와 ϵ 의 비율이 1에 근접할수록 $Z_m = \sqrt{\frac{\mu_0\mu_r}{\epsilon_0\epsilon_r}} = Z_0\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$ 식에 따라서 임피던스 차이에 의한 방사손실이 감소한다[2]. 또한 전자기파를 수신 및 송신하는 안테나 소재이기 때문에 자성소재를 사용할 경우, 낮은 투자손실($\tan\delta_\mu = \frac{\mu''}{\mu'} \leq 0.1$)이 동시에 요구된다[1]. 따라서 본 연구에서는 200 MHz 영역에서 투자율을 향상시키기 위하여 Zn와 Cu를 치환한 Ba₃Co_{1.5}Zn_{0.4}Cu_{0.1}Fe₂₄O₄₁ 시료를 직접합성법으로 제조하고, X-선 회절기, 진동시료형 자화율측정기, 회로망 분석기(network analyzer)를 사용하여 결정학적 구조, 자기적 특성 및 고주파수 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

Ba₃Co_{1.5}Zn_{0.4}Cu_{0.1}Fe₂₄O₄₁ 시료는 습식 분쇄를 이용한 직접합성법으로 제조하였다. 시작원료로 BaCO₃, Co₃O₄, ZnO, CuO, α -Fe₂O₃를 사용하였고, Ball mill을 이용하여 균일하게 습식 분쇄하였다. 하소는 1000 °C에서 3 시간 열처리 후에 추가분쇄를 거쳐 다시 1200 °C에서 3시간 열처리하는 추가 하소 방식(2-calcination; 2C)과 1000 °C에서 3 시간 유지 후 1200 °C로 승온하여 3시간 동안 유지하는 계단식 하소 방식(step calcination; SC)의 두 가지 방식으로 진행하였다. 하소한 시료를 PVA와 혼합하여 분쇄한 후, 회로망 분석기 측정을 위한 toroidal 형태(외경 7 mm, 내경 3.04 mm) 및 X-선 회절기, 진동시료형 자화율측정기 측정을 위한 cylinder 형태로 성형하여 다양한 온도에서 소결하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X-선 회절 분석 결과, 2C와 SC 방식으로 제조된 Ba₃Co_{1.5}Zn_{0.4}Cu_{0.1}Fe₂₄O₄₁ 시료들은 *P6₃/mmc* 공간군의 hexagonal 구조로 확인되었으며, 격자상수는 모두 각각 a_0 는 5.882 Å, c_0 는 52.301 Å로 분석되었다. Fig. 1에 제시된 VSM 측정 결과, 시료들의 포화 자화(M_s)와 보자력(H_c)은 각각 2C 방식의 경우는 271.8 emu/cm³, 32.4 Oe로, SC 방식은 264.8 emu/cm³, 24.4 Oe로 측정되었다. 1125 °C로 소결하였을 경우, 시료들은 가장 우수한 고주파수 특성을 나타내었으며 이를 Fig. 2에 나타내었다. 2C 방식으로 1150 °C로 소결한 시료는 200 MHz 영역에서 각각 $\mu = 10.2$, $\tan \delta_\mu = 0.07$, $\epsilon = 13.5$, $\tan \delta_\epsilon = 0.020$ 의 특성으로 측정되었다. SC 방식으로 1150 °C로 소결한 시료는 200 MHz 영역에서 각각 $\mu = 12.2$, $\tan \delta_\mu = 0.05$, $\epsilon = 13.3$, $\tan \delta_\epsilon = 0.020$ 의 상대적으로 향상된 특성으로 측정되었으며, T-DMB 안테나 응용할 경우 기존 크기의 0.07 배로 소형화가 가능하며 공기

에 가까운 임피던스 $Z_m = 361 \, \Omega$ 값으로 분석되었다. 이러한 결과는 입자 크기가 증가함에 따른 H_c 의 감소로 인한 hysteresis 손실의 감소와 투자율 향상에 의한 것으로 판단된다. 따라서 상대적으로 열처리를 간소화한 SC 방식을 통하여, 투자율 향상과 투자손실 감소를 동시에 만족하고 T-DMB 대역 자성안테나 소재로써 응용성을 높였다.

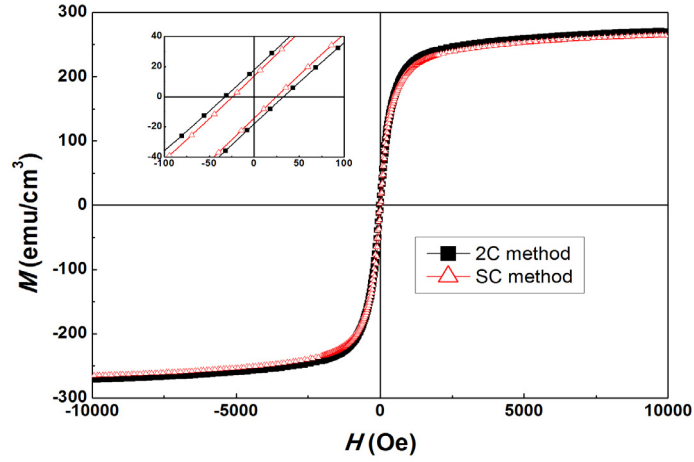


Fig. 1. Hysteresis loops for $\text{Ba}_3\text{Co}_{1.5}\text{Zn}_{0.4}\text{Cu}_{0.1}\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ samples.

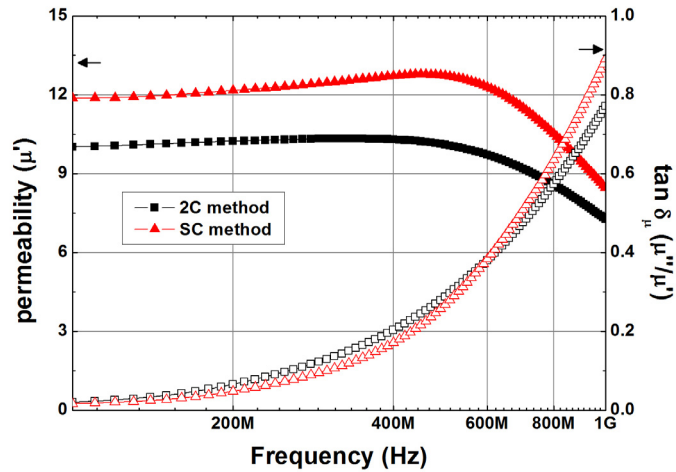


Fig. 2. Frequency dependence of permeability μ , magnetic loss $\tan \delta_\mu$ for $\text{Ba}_3\text{Co}_{1.5}\text{Zn}_{0.4}\text{Cu}_{0.1}\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ samples sintered at $1150 \, ^\circ\text{C}$.

참고문헌

- [1] J. Lee et al., J. Appl. Phys. **109**, 07E530 (2011).
- [2] A. P. Daigle et al., J. Magn. Magn. Mater. **324**, 3719 (2012).

Sr이 치환된 Z-type hexaferrite의 고주파수 특성 연구

김현규*, 이찬혁, 조광래, 심인보, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

Z-type hexaferrite는 T-DMB, 디지털방송, LTE 통신에 사용되는 100 MHz에서 1 GHz까지의 영역에서 높은 투자율(μ)과 낮은 투자손실($\tan\delta_\mu = \frac{\mu''}{\mu'}$)을 보이는 우수한 자성소재이며, 이를 이용한 안테나 소자 연구가 활발하게 진행되고 있다. 안테나 크기는 파장에 비례하기 때문에, 투자율과 유전율(ϵ)을 동시에 지니는 안테나 소재는 $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\mu\epsilon}}$ 식에 따라서 소형화가 가능하며, $bandwidth \approx \frac{4\sqrt{\mu}t/\lambda_0}{\sqrt{2\epsilon}}$ 식에 따라서 유전율에 의한 대역폭 감소를 해결할 수 있다[1, 2]. 전자기파를 수신 및 송신하는 안테나 소재의 경우, 낮은 투자손실($\tan\delta_\mu \leq 0.1$)이 만족되어야 하기 때문에 높은 자기이방성으로 우수한 투자손실을 갖는 Co^{2+} 이 치환된 Z-type hexaferrite($Ba_3Co_2Fe_{24}O_{41}$)를 기반으로 연구하였다[1]. 본 연구에서는 고주파수 특성을 향상시키기 위하여 Sr이 치환된 $Ba_{3-x}Sr_xCo_2Fe_{24}O_{41}$ ($x = 0, 1.5$) 시료를 직접합성법으로 제조하고, X-선 회절기, 진동시료형 자화율측정기, 회로망 분석기(network analyzer)를 사용하여 결정학적 구조, 자기적 특성 및 고주파수 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

$Ba_{3-x}Sr_xCo_2Fe_{24}O_{41}$ ($x = 0, 1.5$) 시료는 습식 분쇄를 이용한 직접합성법으로 제조하였다. 시작원료로 $BaCO_3$, $SrCO_3$, Co_3O_4 , $\alpha-Fe_2O_3$ 를 사용하였고, Ball mill을 이용하여 균일하게 습식 분쇄하였다. 혼합물을 1250 °C에서 3시간 동안 하소하였고 하소한 시료를 PVA와 혼합하여 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 회로망 분석기 측정을 위한 toroidal 형태(외경 7 mm, 내경 3.04 mm)와 X-선 회절기, 진동시료형 자화율측정기 측정을 위한 cylinder 형태로 각각 성형하여 다양한 온도에서 소결하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1에 나타난 X-선 회절 분석 결과, 다양한 조건에서 제조된 $Ba_{3-x}Sr_xCo_2Fe_{24}O_{41}$ ($x = 0, 1.5$) 시료들은 $P6_3/mmc$ 공간군의 hexagonal 구조로 확인되었으며, Sr이 치환됨에 따라 격자상수는 각각 a_0 는 5.882에서 5.873 Å로, c_0 는 52.309에서 52.164 Å로 감소하였다. VSM 측정 결과, Sr 치환됨에 따라서 시료들의 포화 자화(M_s)와 보자력(H_c) 모두 각각 261.0에서 241.0 emu/cm³로, 52.7에서 24.4 Oe로 감소하였다. 1125 °C로 소결하였을 경우, 시료들은 가장 우수한 고주파수 특성을 나타내었으며 이를 Fig. 2에 나타내었다. 1125 °C로 소결한 $Ba_3Co_2Fe_{24}O_{41}$ 시료는 540 MHz까지 $\tan\delta_\mu \leq 0.1$ 의 낮은 투자손실을 유지하였으며, 각각 $\mu = 7.5$, $\epsilon = 15.1$, $\tan\delta_\epsilon = 0.009$ 의 특성으로 측정되었다. 1125 °C로 소결한 $Ba_3Co_2Fe_{24}O_{41}$ 시료의 경우, 620 MHz까지 $\tan\delta_\mu \leq 0.1$ 의 낮은 투자손실을 유지하였으며, 각각 $\mu = 8.6$, $\epsilon = 12.4$, $\tan\delta_\epsilon = 0.009$ 의 특성으로 측정되었다. 따라서 $Ba_3Co_2Fe_{24}O_{41}$ 구성에 Sr을 치환($x = 1.5$)함으로써 사용주파수 영역을 향상시키고, 투자율 향상과 투자손실 감소를 동시에 만족하는 우수한 고주파수 특성을 확인하였다.

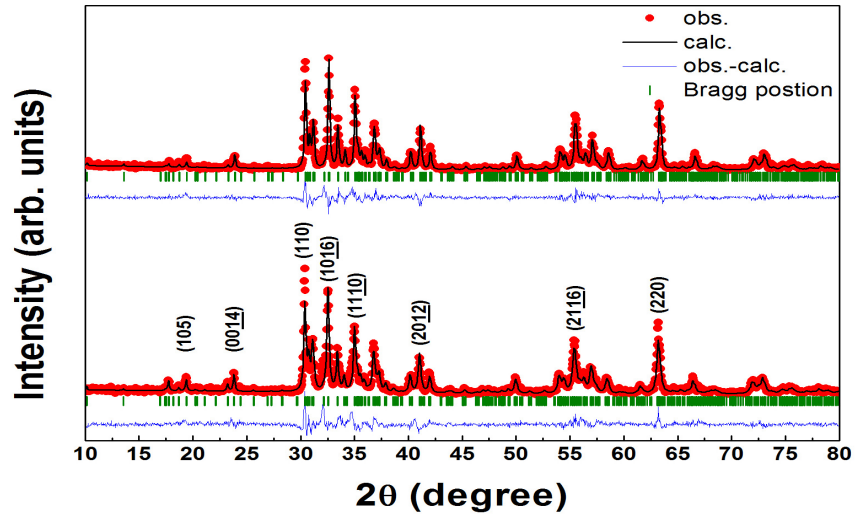


Fig. 1. Refined XRD pattern for $\text{Ba}_{3-x}\text{Sr}_x\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ($x = 0, 1.5$) samples.

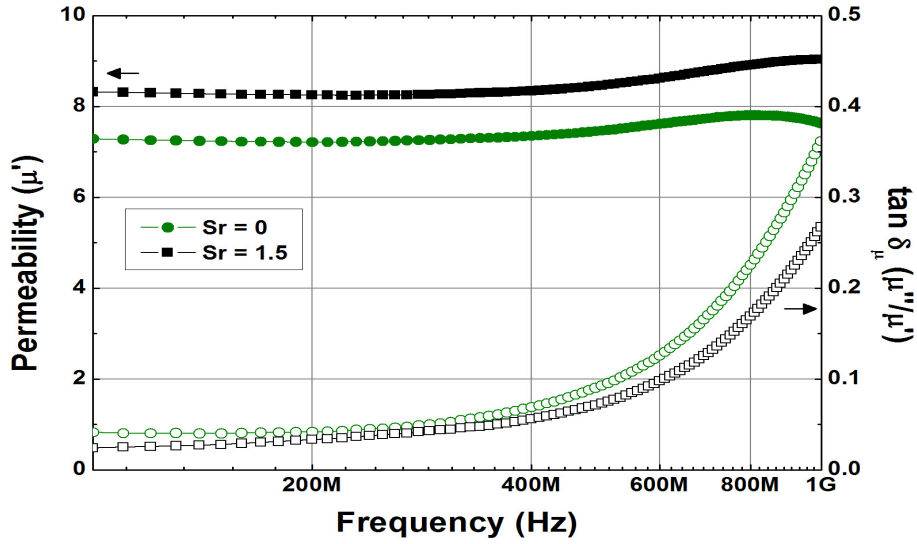


Fig. 2. Frequency dependence of permeability μ , magnetic loss $\tan \delta_\mu$ for $\text{Ba}_{3-x}\text{Sr}_x\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ($x = 0, 1.5$) samples sintered at 1125 °C.

참고문헌

- [1] L. Zhang et al., IEEE Trans. Magn. **47**, 2149 (2011).
- [2] H. C. Hansen and M. Burke, Microwave Opt. Technol. Lett. **26**, 75 (2000).

수직자기이방성이 구현되는 복합자성박막 비교 및 분석

최준효^{1*}, 김기하¹, 김도균¹, 김영근¹

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

1. 서론

Spin-transfer torque magnetic random access memory (STT-MRAM)은 차세대 메모리 소자로 가장 촉망받고있는 solid state 자기 저장매체이다. 자기터널접합은 MRAM이 주목 받음에 따라서 그 중요성이 점점 부각되고 있다. 자기터널접합을 실제 메모리 시장에 적용하기 위해서는 열적안정성과 임계전류밀도 두 가지의 중요한 조건이 갖춰져야 한다. 열적안정성은 그 값이 70 이상이 되어야 안정성을 갖췄다고 여겨지고 임계전류밀도는 그 값이 낮을수록 자기터널접합을 효율적으로 사용할 수 있다. 그러나 열적안정성과 임계전류밀도를 동시에 극대화 시키는 것은 이론상 불가능하다. 따라서 열적안정성과 임계전류밀도를 적절히 조절하여 두 조건 모두에 최적화 시키는 것이 필요하다. 이를 구현하기 위하여 기존의 CoFeB 자화층을 바탕으로하는 자기터널접합 구조에서 자기터널접합의 자유 자화층에 FeNiSiB와 CoFeSiB를 삽입하는 방식을 이용하여 포화자화 값을 조절하는 실험을 시행하였다. 자기터널접합의 자성 및 구조적 특성을 측정하기 위하여 vibrating sample magnetometer, X-ray photoelectron spectroscopy와 Auger electron spectroscopy를 사용하였다.

2. 실험방법

FeNiSiB와 CoFeSiB이 삽입된 복합자성박막 시편은 모두 열적 산화 처리를 거친 실리콘 웨이퍼 위에 direct-current 자기스퍼터링 시스템과 radio-frequency 자기스퍼터링 시스템을 통하여 증착되었고 모든 과정은 5×10^{-9} Torr 수준에서 진행되었다. 각 시편의 구조는 Si/SiO₂/Ta 5/복합 수직자기이방성 층/MgO 2/Ta 5 (in nm)이다. 복합 수직자기이방성은 각 시편에 따라 다른 비율을 갖도록 FeNiSiB (0~0.3 nm)/CoFeB (0.4~0.6nm)와 CoFeSiB (0~0.5nm)/CoFeB (0.2~0.6nm)와 같은 구조로 제작 되었다. 제작 된 시편은 모두 섭씨 300도, 4 kOe의 자기장, 1×10^{-6} Torr 에서 1시간 동안 열처리 하였다.

3. 실험결과

VSM 측정 결과 FeNiSiB (0~0.3 nm)/CoFeB (0.4~0.6nm)와 CoFeSiB (0~0.5nm)/CoFeB (0.2~0.6nm)와 구조 모두에서 수직자기이방성이 확인 되었으며, CoFeB의 비율이 낮아짐에 따라 포화자화 값 또한 낮아 짐을 확인하였다. AES 측정 결과로부터 각 복합자성박막의 깊이에 따른 원자 분포를 확인하여 열처리에 의한 확산의 정도가 어느 정도 인지를 확인하였다. 이는 열처리를 거침에도 불구하고 확산에 의하여 결정성이 깨지는 현상이 발생하지 않는 원인을 확인 할 수 있었다.

4. 고찰

본 연구에서는 수직자기이방성을 유지하면서 포화자화 값을 낮추는 복합자성박막을 다양한 두께 및 비율에 따라 제작하였다. VSM의 측정 결과를 통하여 CoFeB의 비율이 낮아짐에 따라 복합자성박막의 포화자화 값이 점점 낮아짐을 확인 할 수 있으며, 이에 불구하고 수직자기이방성은 유지 되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 AES 측정 결과로부터 열처리에 인한 각 원자들의 확산이 FeNiSiB와 CoFeSiB에 의해 저지 됨을 확인하여 좀 더 안정된 결정성을 확보할 수 있음을 확인 했다.

5. 결론

본 연구에서 포화자화 조절이 가능한 수직자기이방성 구조의 자기터널접합을 만들 수 있도록 복합자성박막 내부의 다양한 비율로 수직자기이방성 층의 CoFeB에 FeNiSiB와 CoFeSiB를 삽입하는 방식을 시도하였다. 여러 분석을 통하여 각 복합자성박막 시편들의 수직자기이방성 확보 및 포화자화 값이 조절됨을 확인하였으며 기존 CoFeB 구조에서 유도된 결정성 또한 유지됨을 확인하였다. 포화자화 값이 낮아짐에도 수직자기이방성이 유지되고 또한 포화자화 값을 조절 할 수 있는 방법은 앞으로 MRAM 구현에 도움이 될 것이다.

6. 참고문헌

- [1] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura and H. Ohno, Nature Mater. 9, 721 (2010)
- [2] W. J. Kim, J. H. Jeong, Y. Kim, W. C. Lim, J. H. Kim, J. H. Park, H. J. Shin, Y. S. Park, K. S. Kim, S. H. Park, Y. J. Lee, K. W. Kim, H. J. Kwon, H. L. Park, H. S. Ahn, S. C. Oh, J. E. Lee, S. O. Park, S. Choi, H. K. Kang, C. Chung, IEDM Tech, Dig. 24.1.1 (2011)
- [3] A. V. Khvalkovskiy, D. Apalkov, S. Watts, R. Chepulskii, R. S. Beach, A. Ong, X. Tang, A. Driskill-Smith, W. H. Butler, P. B. Visscher, D. Lottis, E. Chen, V. Nikitin and M Krounbi, J. Phys. D: Appl. Phys. 46, 139601, (2013)
- [4] D. K. Kim, J. U. Cho, B. S. Chun, K. H. Shin, K. J. Lee, M. Tsunoda, M. Takahashi and Y. K. Kim, Appl. Phys. Letters, 101, 232401 (2012)

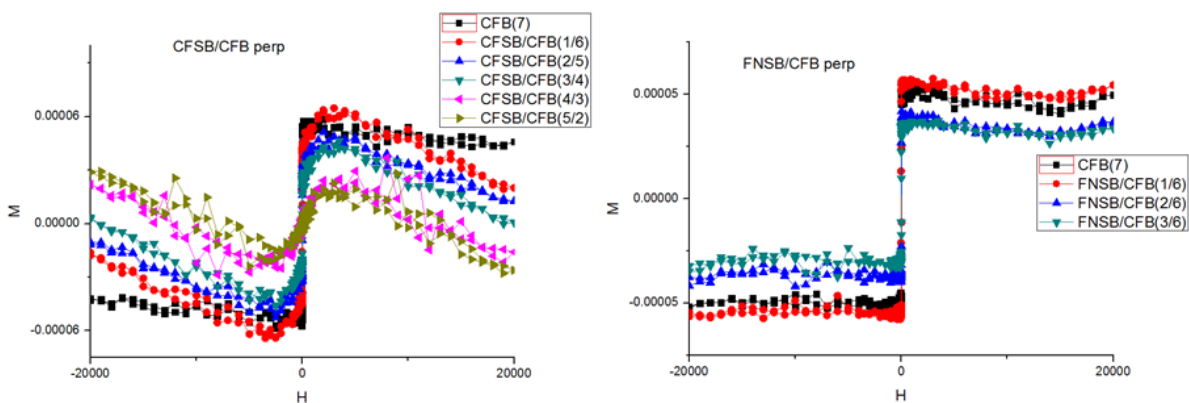


Fig 1. CoFeSiB (左)와 FeNiSiB (右)가 삽입된 복합자성박막의 수직방향 VSM 이미지

거대자기저항-스핀밸브 박막의 자기이방성 영역분포에 관한 연구

카지드마¹, 이장로², 이상석^{1*}

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동
숙명여자대학교 물리학과, 서울시 청파동

NiFe/Cu/NiFe/IrMn/NiFe/Cu/NiFe 이중구조 GMR-SV 박막의 열처리 조건에 의존하는 자기이방성 특성을 조사하였다. 이중구조 GMR-SV 박막을 진공 챔버내에서 후열처리 온도를 250 °C까지 증가시켜 강자성층체의 자화용이축이 면상에서 변화를 유도하였다. 자유층과 고정층의 자화용이축에 의존하는 이중구조 GMR-SV 박막의 자기저항곡선을 외부자기장 각도를 다르게 측정하였다. 자화방향의 스위칭 과정을 조사하여 자기등방성을 갖는 열처리 온도가 107 °C인 최적조건을 얻었다. 후 열처리 과정을 거친 이중구조 GMR-SV 박막은 측정각도에 0°부터 90°까지 자장감응도가 약 2.0 %/Oe로 비슷한 자기저항 특성을 나타냈다. 열처리 온도가 250 °C 일 때 갖는 자기이방성 특성과 아래 그림과 같이 비교하여 이방성 분포 영역을 구분하였다. 이러한 결과를 이용하여 면상 강자성층과 자유층을 서로 직교한 고감도 GMR-SV 박막 소자는 마이크로 자성비드를 임의 방향에서 검출할 수 있는 고감도 바이오센서로 사용할 가능성을 제시하였다.

Ta(bottom)/NiFe(free FM layer)/Cu(spacer)/NiFe(pinned FM layer)/ IrMn(AFM layer)/NiFe(pinned FM layer)/Cu(spacer) /NiFe (free FM layer) /Ta(top) 다층구조로 높은 자기저항비를 갖는 GMR-SV 다층박막을 제작하였다. 여기서 반강서층인 IrMn(AFM ; antiferromagnet) 층과 고정층과 자유층의 역할을 하는 NiFe(FM : ferromagnet) 층과 사이층으로 Cu(spacer)층, 그리고 바닥(bottom)층과 보호(top)층인 Ta 층 모두는 3×10^{-6} Torr인 고진공 증착시스템을 이용하여 유리(Corning 7059) 기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터링 방법으로 상온에서 증착하였다.

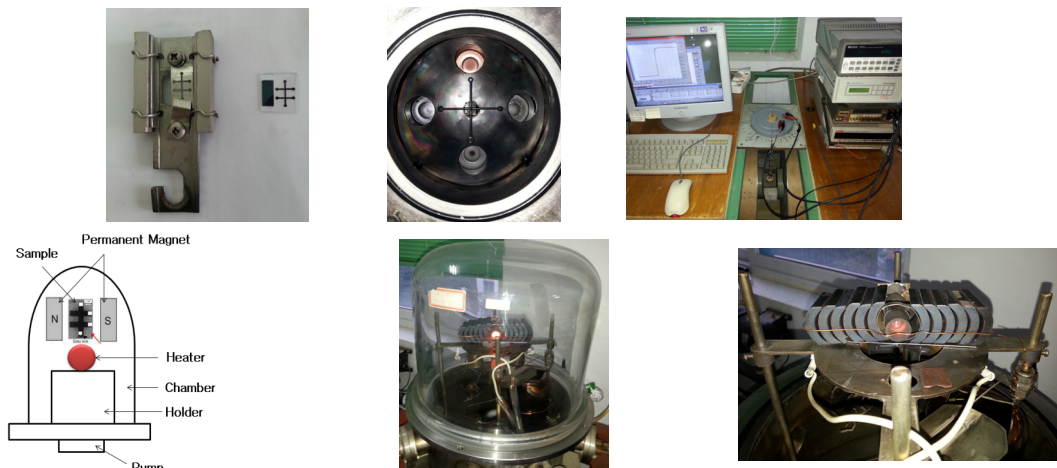


Fig. 1. The rotatable sample holder, the shadow metal mask, and two permanent magnets in the both side of GMR-SV film. Heating chamber, lamp, holder, and, permanent magnet. MR measurement stage and electromagnetic system

다층박막 증착시 인가된 영구자석의 자기장 크기는 350 Oe 이었다. Ta, NiFe, Cu, IrMn의 독립적인 3인치 타겟들을 증착할 때 플라즈마의 상호 간섭이나 타겟 성분들 간의 혼재를 막기 위해 분리막을 사용하였다. Ta, NiFe, Cu, IrMn의 박막에 대한 증착률은 각각 0.1 nm/s, 0.15 nm/s, 0.12 nm/s, 0.1 nm/s 이었다. 이중 다층박막 구조에서 Ta층, NiFe층, Cu층, NiFe층, 반강IrMn층의 최적 조건의 두께를 각각 5 nm, 8 nm, 2.3 nm, 4 nm,

5 nm로 증착하였다(Fig. 1. 참조).

박막제조시 본연구의 핵심인 증착 중 직교면 상에서 자유강자성층과 고정 강자성층간의 서로 교차시키기 위해 영구자석의 자기장을 고정하고 진공 후열처리 시 시료를 회전시켰다. 여기서 열처리시 챔버의 진공도를 5×10^{-6} Torr로 유지시켰다. 진공 열처리시 일축 이방성을 유도하기 위한 자기장 세기는 증착시 자기장 인가조건과 같은 350 Oe 이었다. 원통형 영구자석 안에 할로겐램프의 복사열을 직접 받아 일정한 온도로 유지하는 평평한 Cu 판으로 감싼 알루미나 세라믹 원통 안에 박막시료를 넣었다. Cu의 평평한 판에 올려진 박막시료는 일정한 상승 속도로 목표한 온도에 도달하여 열처리를 시행하였다. 5 °C/m의 속도로 열처리 온도까지 상승을 시킨 후 목표 온도에서 1시간 동안 머무르고 다시 2 °C/m의 속도로 상온까지 낮추었다. 시료의 자기저항특성을 관찰하기 위해 보자력(coercivity; Hc), 교환결합세기(exchange coupling field; Hex), 자기저항비(magnetoresistance ratio ; MR(%))는 상온에서 4-단자 자기저항 측정시스템으로 측정된 자기저항곡선으로부터 각각 결정하였다(Fig. 1. 참조).

Fig. 2은 Ta(5 nm)/NiFe(8 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(4 nm)/IrMn(5 nm)/NiFe(4 nm)/Cu(2.3 nm)/NiFe(8 nm)/Ta(5 nm) 이중구조에 대해 형상 자기이방성을 갖는 폭 방향의 용이축을 45°로 바꾸어 설정한 후열처리 효과에 관한 자기저항 곡선이다. Fig. 46에서 그림자 마스크를 이용하여 0.5 mm 폭으로 형성된 이중구조 GMR-SV 박막을 용이축으로 설정한 폭 방향과 45°로 각도로 외부 자기장을 인가하였다. 상온에서 목표온도인 250 °C에 도달하기 위한 온도 증가율은 5 °C/m 이었다. 열처리 온도에서 1시간 머무른 후에 온도 하강율을 상승율과 같은 5 °C/m로 상온까지 낮추었다. 진공 열처리시 효과로 계면 간의 치밀성이 높아져 4-단자 자기저항값은 47.4 Ω에서 46.7 Ω으로 줄어들었다. 균일한 외부 자기장에서 열처리 과정을 거치므로 보자력과 교환결합력의 변화는 없었을 뿐만 아니라 자성박막의 열적 안정성을 높이는 특성을 가질 수 있다. 후열처리 온도가 250 °C 이상일 경우에는 원소간의 섞임 계면 확산으로 인해 급격히 자기저항 특성이 감소할 것으로 예상된다. 길이방향 축을 45°로 기울어서 측정한 major loop와 minor loop의 곡선은 용이축과 곤란축은 각각 Fig. 2(b)와 Fig. 2(d)가 된다. 한편 Fig. 2(a)와 Fig. 2(c)는 major loop와 minor loop의 곡선 특성의 경향성 거의 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 후열처리 온도조작을 통해 어느 방향이라도 자기저항특성이 같은 등방성을 유지하는 이중구조의 GMR-SV 박막을 특성이 가능함을 제시한다.

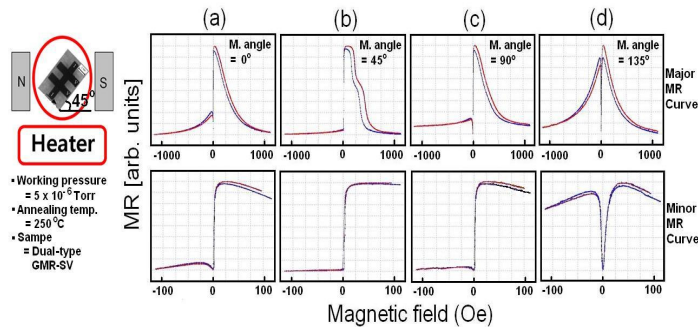


Fig. 2

열처리온도에 따른 이중 거대자기저항-스핀밸브 박막의 자기이방성 영역분포에 관한 실험결과는 Fig.3과 같다.

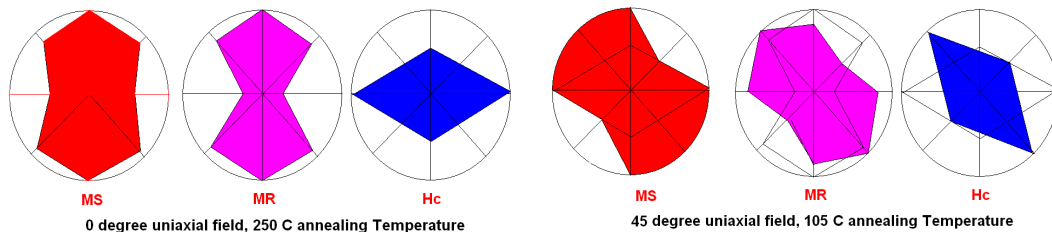


Fig. 3. The distribution of MS, MR, and Hc for the annealing temperature of 250 °C and 105 °C on the dual spin-valve multilayer.

중심어 : 이중 거대자기저항-스핀밸브 박막, 자화용이축, 자기저항곡선, 후열처리, 자기등방성, 자장감응도

자성측정 홀소자와 압력측정 반도체 소자 손목형 맥진기의 비교연구

Comparative Study of Two Wrist Pulsimeters with Hall Device Measuring a Magnetic Field and Semiconductor Devices Measuring a Pressure

박도영^{1*}, 김용진², 이남규², 홍유식³, 이상석²

¹상지대학교 보건과학대학 동서의료공학 강원도 원주시 우산동, 220-702

²상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

³상지대학교 이공과대학 컴퓨터정보공학부, 강원도 원주시 우산동, 220-702

본 연구는 맥파를 얻기 위하여 사용된 SPULS-2011의 손목형 맥진기와 싱가포르 HealthSTATS International사의 반도체 압력소자를 사용한 BPro제품을 비교한 것이다. 미세한 자성홀소자를 사용한 손목형 맥진기는 단순 압력센서로서 측정하기 어려운 맥상을 넓은 면적에 적용하여 맥파형의 변화를 관찰할 수 있게 만든 맥진기이다. 본 연구는 자성홀소자를 이용한 손목형 맥진기와 반도체 압력소자를 사용한 BPro 제품의 비교를 통하여 자성홀소자 손목형 맥진기의 성능평가와 유효성을 알아보기 위하여 수행한 연구 결과이다. 특히 이번 연구를 통하여 자성홀소자 손목형 맥진기와 싱가포르 HealthSTATS International사의 BPro제품의 기능성 융합 제품을 개발하는데 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 혈압 및 맥박의 정확한 측정 데이터를 도출하기 위해 휴대가 가능하도록 디자인된 손목형 맥진기가 맥파 분석 알고리즘으로 지속적인 혈압 및 맥박 측정 데이터를 얻을 수 있도록 하였다. 앞으로 스마트 헬스케어분야에 적용하기 위하여 싱가포르 HealthSTATS International사의 BPro제품에 자성홀소자를 사용한 맥진기 모듈 적용이 가능함을 조사하였다.



Fig. 1 자성홀소자를 사용한 손목형 맥진기

Fig. 1에서 보는 바와 같이 자성홀소자를 이용한 손목형 맥진기는 손목의 크기에 따라 늘리고 줄일 수 있으며, 또한 탈부착이 간단하고 측정 시에 일정한 압력을 유지시켜 줄 수 있는 시계줄 형태로 디자인 되었다. 손목형 맥진기 안쪽에는 맥파신호를 수집할 수 있는 측정부가 부착이 되어있는데 이곳은 자석과 센서, 그리고 자석과 센서의 고정과 일정한 간격을 유지시켜주는 실리콘 장치로 구성되어있다.

Fig. 2에서는 단순 반도체 압력소자를 사용한 싱가포르 HealthSTATS International사의 BPro제품으로서 블루

투스를 이용한 데이터 전송형태의 구조를 가지고 있으며, 장비와 블루투스 통신을 통해 제품에 저장된 데이터를 저장 후 무선전송이 가능하도록 디자인 되어있다.

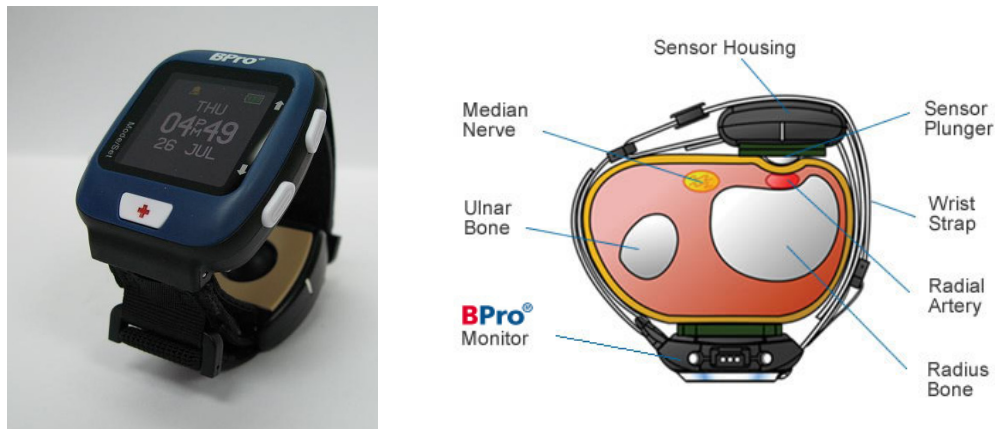


Fig. 2 압력센서로 동작하는 싱가포르 HealthSTATS International사의 BPro제품

본 연구결과에서는 홀소자를 이용한 손목형 맥진기와 반도체 압력소자를 사용한 BPro 제품의 구조적 융합을 통하여 인체 생리와 병리 연구에 활용할 수 있는 제품을 개발하여 신체의 일중 리듬과 각종 질병의 발병 전 징후를 탐색, 원격진료의 가능성 확대를 통해 측정된 데이터를 블루투스 통신으로 헬스케어장비나 의료기관 등에 전송하고 관리되어, 차세대 스마트 헬스케어형 한방의료 진단기기로 적용 가능 할 것으로 기대한다.

※ 중심어 : 홀소자, 손목형 맥진기, 스마트 헬스케어, 블루투스

※ 참고문헌 : D. H. Nam, W. B. Lee, Y. S. Hong, S. S. Lee, "Measurement of Spatial Pulse Wave Velocity by using Clip-type Pulsimeter equipped with Hall Sensor and Photoplethysmography", Sensor 13(4), 4714-4723(2013).

※ 감사의 글 : 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT/SW창의연구과정의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0502-13-1112)

박태영¹, 심성아¹, 최광현¹, 김용진¹, 이상석^{1*}

¹상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동

최근 사회에서 건강에 관한 관심이 증가함에 따라 가정용 혈압기, 맥박 측정장치들이 많이 개발되고 있다. 그러나 현재 판매되고 있는 혈압기 등 가정 의료기기는 측정센서의 위치와 읽어 들이는 시간이 제한적이며 가압 없이 일정 압력을 유지하여 혈압과 맥박수를 측정하는 것이 어렵다. 따라서 일정한 가압 없이 정밀한 맥박수 심박수 혈압 측정과 맥진파형을 찾는 시간을 극소화하고 휴대성을 높이기 위하여 홀소자를 이용한 맥진기를 개발하였다. 맥진기에 부착된 영구자석은 손목 맥동의 변위에 따라 위 아래로 움직여 자기장의 변화를 주어 다양한 맥진 정보를 얻을 수 있다.

Fig. 1(a)는 홀센서가 구비된 맥진기로 요골동맥파를 얻는 기본구조를 나타내었다. 요골동맥파(radial artery pulse wave)는 심장 주기와 함께 동맥 혈관계의 벽압이 변동되고 혈관구경이 변동됨에 따라 변동파를 발생시켜 말초 혈관쪽으로 전파되는 현상을 관측한 파형이다. 맥파는 심장의 수축과 이완에 따라 나타나는 특징 점들을 볼 수 있다. Fig. 1(b)는 기본 맥진파형을 나타내는데 심장이 수축하기 전, 혈관의 압력이 가장 낮아졌을 때 S파(시작파)가 발생하고, 심장이 수축을 시작, 대동맥으로 혈액을 박출하여 혈관 압력이 급격히 상승할 때 P파(충격파)가 발생한다. P파의 크기는 좌심실에서혈액을 내뿜는 양과 비례하게 나타나며, 대동맥의 탄성도를 나타낸다. 대동맥으로 박출된 혈액이 바깥 방향으로 혈관의 벽에 강하게 힘을 가하게 되면 혈관 벽의 탄성에 따라 굴절하여 T파(반사)가 발생하고, T파의 크기와 위치는 혈관의 탄성도를 나타낸다. 심장의 수축이 끝나면 대동맥 판이 닫히게 되는데 이때 혈관의 압력이 잠시 저하되는 시점에서 C파(절흔점)가 발생한다. 이어서 심실 내압과 대동맥과의 압력차에 의해서 대동맥의 혈액이 심실 방향으로 급속히 역류하지만 대동맥 판이 폐쇄되어 대동맥 판 및 심근의 탄성으로 다시 혈액이 대동맥 방향으로 압력을 가하면서 되돌아가게 되어 D파(중복)가 발생하게 된다. C와 D 사이의 간격이 줄어들거나 동일한 위치에 발생하게 되면 대동맥 판 개폐 기능의 이상을 나타낸다.

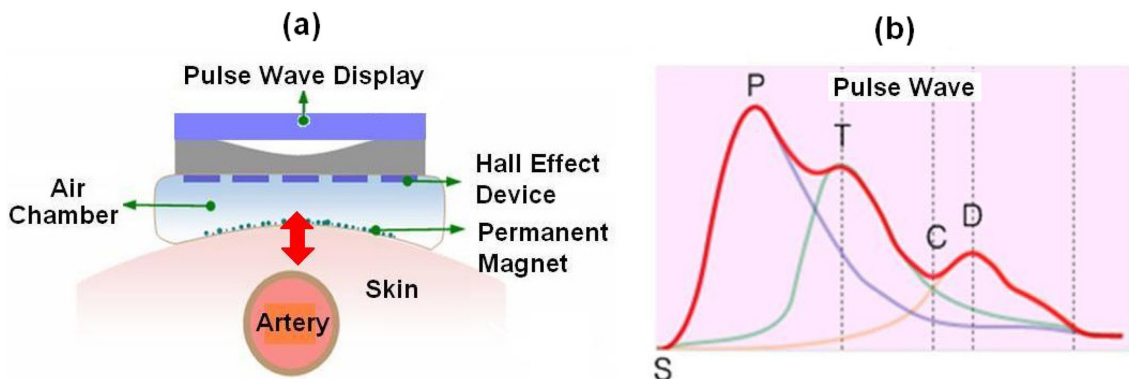


Fig. 1. (a) The schematic of the basic structure of a typical pulsimeter.

(b) The feature and 5 components (S, P, T, C, D) for the basic pulse wave.

Fig. 2(a)와 2(b)는 홀소자가 구비된 맥진기로 요골동맥파를 얻는 집게형 맥진기가 장착된 맥파 시뮬레이터의 설계도와 실제사진을 나타내었다. 집게형 맥진기의 맥파 시뮬레이터를 이용한 요골동맥의 맥동의 다양한

변화에 따른 영구자석의 요동이 자기장 변화를 유발시키게 된다. 따라서 실제의 맥동의 변화로 인한 홀소자의 출력파형과의 연관성 분석하여 맥진파형의 정확한 보정으로 맥진의 표준화에 필요한 정량적이고 객관적인 데이터를 제공하게 될 것이다.

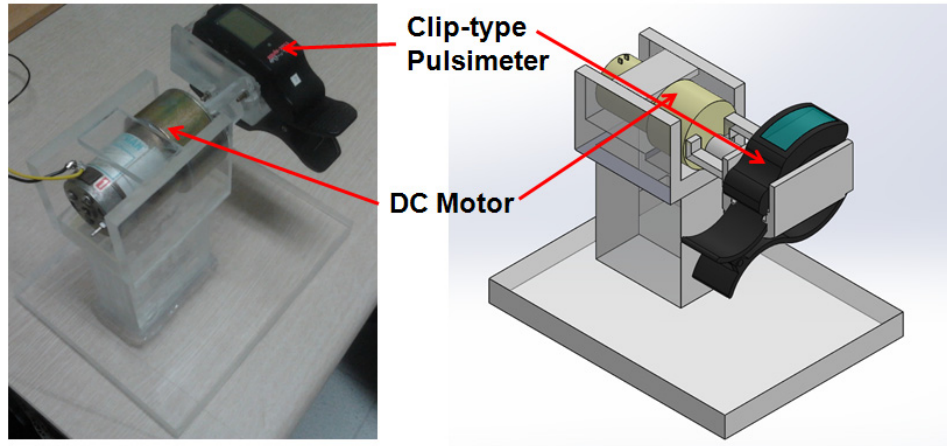


Fig. 2. (a) One design and drawing (b) a real photo for one pulse simulator amounted the clip-type pulsimeter.

본 연구에서는 Fig. 3와 같이 손목 맥동에 따른 자기장의 변화를 시뮬레이션을 통해 측정하였으며, 모의실험에서는 CAD파일을 통하여 실제 치수와 동일하게 모델링을 한후 OPERA-3D S/W의 유한요소 해석법을 통하여 시뮬레이션 하였으며, 실험에 사용된 영구자석은 Nd-B-Fe 합금이며 자기장의 세기는 150 Oe이다. 결과 값으로 평행한 한 점의 자기장의 변화는 요골동맥의 실제 맥동과 비슷한 결과 값을 얻을 수 있었다.

30/9/2013 22:05:36

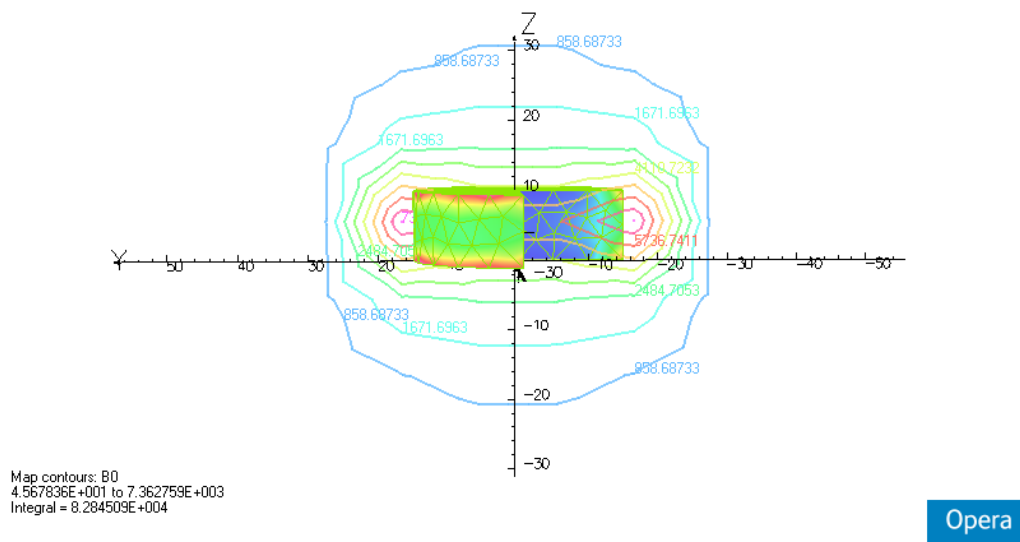


Fig. 3. The simulation map analyzed by the finite element analysis of OPERA-3D S/W depending on the pulse modulation of radial artery.

중심어 : 홀소자, 집게형맥진기, 영구자석, 맥동, 자기장

감사의 글 : 이 논문은 보건복지부 2012년 한의약선도기술과제의 3차년도 한방의료기기 개발과제(B100030)에 의해 이루어진 연구 결과입니다.

Efficacy Evaluation of Vacuous Pulse and Replete Pulse by using Clip-type Pulsimeter Equipped with a Magnetic Sensing Hall Device

Nam-Kyu Lee¹, Sei-Jin Chang², Jun-Sang Yu³, Jin-Kyu Rhee⁴, and Sang-Suk Lee^{1*}

¹Dept. of Oriental Biomedical Engineering, College of Health Sciences, Sangji University, Wonju, 220-702, Republic of Korea

²Dept. of Preventive Medicine, Wonju College of Medicine, Yonsei University, Wonju, 220-701, Republic of Korea

³Dept. of Sasang Constitutional Medicine, Korean Medical Hospital, Sangji University, Wonju, 220-717, Republic of Korea

⁴Division of Bio-Imaging, Chuncheon Center, Korea Basic Science Institute, Chuncheon, 200-701, Republic of Korea

1. Introduction

The clinical data of 120 subjects were compared by a normal statistical method. The ratio of systolic peak amplitude to time in the pulse waveform is determined as a major efficacy parameter to discern the vacuous pulse and replete pulse with an estimation equation. This is deduced by a statistical logistic regression method.

2. Equipment

Permanent magnet, Hall sensor, measurement part, LED, display, USB port and switch part of pulsimeter was as shown in Fig. 1(a). Magnetic material of the contact on the clip-type pulsimeter can be modified easily through vibration of the pulse and small cylindrical permanent magnet. There is a flexible silicon housing, which is suitable for skin contact. The flexibility of the housing was needed so as not to press the skin typically.

A actual figure of measuring the pulse wave signal through a clip-type pulsimeter worn on a human wrist, and a real feature of clinical trial for the acquisition of pulse signals by using one clip-type are shown in Fig. 1(b) and (c), respectively.

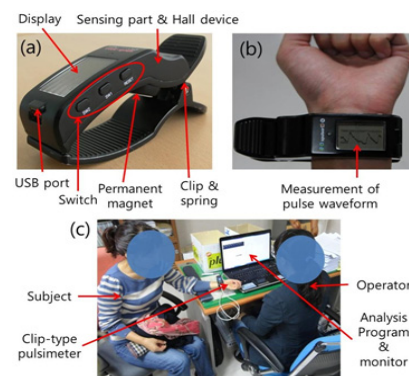


Fig. 1

3. Method

The overall flow of the final selection processing for the screening subject with one informed consent form and for the selection criteria with five doctor's diagnosis by using syndrome questionnaire in order to measure three pulse waves such as deficiency syndrome group, excess syndrome group and non-classified syndrome group is shown in Fig. 2(a).

After giving a 5 minute break to the selected subjects for deficiency syndrome group, excess syndrome group and non-classified syndrome group as Fig. 2(b), the subjects were measured by the pulsimeter simultaneously during 3 minutes after a minute of rest.

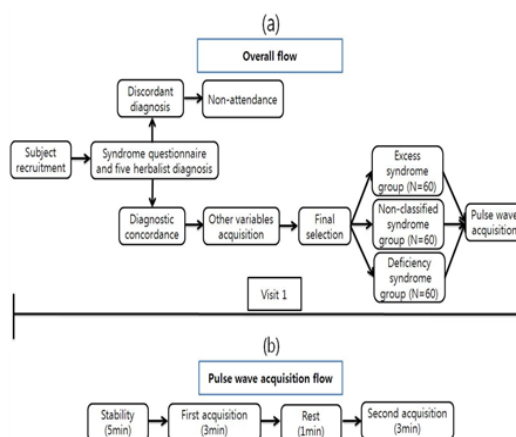


Fig. 2

4. Parameters of pulse wave

Definition of each of nine parameters of pulse wave shown in the Fig. 3, is as Table 1.

In addition, the 1st and the 2nd measurements are distinguished waveforms measured before and after the one minute break. This is the method to obtain the waveform of the subject in Fig.3.

On the other hand, We have selected sex, age, body mass index (BMI [kg/m²]), diastolic blood pressure (DBP) and systolic blood pressure (SBP), body temperature, etc as a secondary variable.

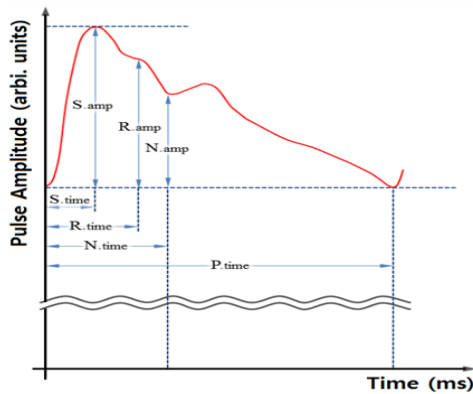


Fig. 3

Table 1

Parameters of pulse wave (1*,2*)	Definitions
<u>S.amp</u>	Systolic peak amplitude
<u>R.amp</u>	Reflective peak amplitude
<u>N.amp</u>	Notch peak amplitude
<u>S.time</u>	Systolic peak time
<u>S.amp/S.time</u>	Systolic peak amplitude/ Systolic peak time
<u>R.time</u>	Reflective peak time
<u>N.time</u>	Notch amplitude time
<u>P.time</u>	Period time
<u>b/a rate</u>	Maximum peak/minimum peak in the 2 nd order derivative

5. Result

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = -9.662 + 0.014*Sex - 0.001*Age + 0.127*BMI + 0.038*SBP - 0.000*DBP + 0.120*S.amp/S.time$$

In general regression equation, a regression coefficient B₀ is elicited constant term value at logistic regression analysis and the regression coefficient value; B₁, B₂, B₃, B₄, B₅ has the slope of 5 correction variables(X₁ = sex, X₂ = age, X₃ = BMI, X₄ = SBP, X₅ = DBP). B₆ has the slope of pulse wave variable (S.amp/S.time).

Through implementing logistic regression analysis the binary clinical data from the deficiency syndrome group and excess syndrome group. The distinct regression equation of vacuous pulse and replete pulse is used for assessing the pulse wave variable of sex, age, BMI, SBP, DBP, and S.amp/S.time offered.

6. Conclusion

Based on the results of statistical analysis for the clinical pulse data ; the pulse wave parameters of age, sex, BMI, SBP, DBP, and the S.amp/S.time are presented in the logistic regression equation of this study. It could be determine the vacuous pulse and the replete pulse.

Keywords : magnetic sensing Hall device, clip-type pulsimeter, vacuous pulse, replete pulse, clinical trial, efficacy evaluation, logistic regression analysis

Acknowledgement

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

비틀림 변형하에서 전기도금 된 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}$ 와이어의 자기 임피던스 효과

조성언*, 김민우, 서수교, 김동영, 윤석수
안동대학교 물리학과

1. 서론

최근에 전도성이 뛰어난 금속 와이어 위에 전기도금 방법으로 연자성 특성을 지닌 NiFe, CoP 등의 다양한 합금을 전기도금으로 증착하여 만든 내부에 금속 심이 있으며 외부에 연자성 껍질을 가진 복합 구조는 뛰어난 자기 임피던스 효과를 보이기 때문에 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[1,2].

본 연구에서는 특정 각도로 Cu 와이어를 비튼 상태 하에서 즉 비틀림 변형하에서 NiFe 자성재료를 도금하여 나선형 이방성(helical anisotropy)을 지닌 NiFe/Cu 복합구조를 제작하였으며, 비틀림 변형 각도에 따른 자기 임피던스 효과의 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구를 위해 특정 각도로 비틀림 변형을 가한 상태에서 도금을 할 수 있는 도금 셀과 장치를 제작하였다. 도금 셀은 유리관에 백금 판으로 된 counter electrode(CE), Ag/AgCl reference electrode(RE), 그리고 도금되는 Cu 와이어를 Working Electrode(WE)로 구성하였다. 도금 용액은 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 합금의 도금을 위해 DI water에 NiSO_4 31.0 g/l, FeSO_4 3.8 g/l, H_3BO_4 24.6 g/l 용해시켜 제조하였다. 산화방지용 보호막을 가진 Cu 와이어는 100 μm 직경을 가진 것을 이용하였으며 도금전에 질산용액을 이용하여 보호막을 제거하였다. 전기도금은 potentiostat 장치를 이용하여 기준전극에 대해 -1.0 V의 일정한 전위차를 Cu WE에 유지하면서 이루어졌으며 도금되는 NiFe의 두께는 도금시간을 이용하여 조절하였다.

자기임피던스 측정을 위해 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}$ 와이어의 도금되지 않은 양쪽 끝 Cu 부분에 4개의 전극을 silver paste로 형성하였으며 자기 임피던스는 HP4192A Impedance Analyzer로 10 kHz에서 10 MHz주파수 범위에서 측정하였으며 자기장은 헬름홀츠 코일을 이용하여 인가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3000 s 동안 전기도금 하여 제작한 시편을 광학현미경으로 관찰한 결과 도금되지 않은 원래의 Cu 부분은 약 92 μm 직경을 보였으며 도금된 부분은 약 112 μm 직경을 보였다. 즉 도금된 NiFe 껍질의 두께는 10 μm 로 측정되었다.

NiFe/Cu 복합구조의 자기 임피던스는 Cu 심의 전기저항 R_{cu} 와 도금된 자성껍질 부분의 복소 자성 인덕턴스 $L_M^* = L_M' - jL_M''$ 부분의 합으로 근사적으로 간주할 수 있다.

$$Z(f, H) = Z'(f, H) + jZ''(f, H) = R_{cu} + j(2\pi f)\{L_M'(f, H) - jL_M''(f, H)\} \quad (1)$$

$$Z'(f, H) = R_{cu} + 2\pi f L_M'(f, H) \quad (2a)$$

$$Z''(f, H) = 2\pi f L_M''(f, H) \quad (2b)$$

그림 1(a)와 (b)는 각각 0 도와 10 도의 비틀림 각하에서 만들어진 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}$ 와이어의 임피던스 스펙트럼을 길이방향 자기장 하에서 측정한 후 식 2(a)와 (b)로부터 계산하여 구한 복소 인덕턴스의 실수부 스펙트럼을 보여준다. 이 스펙트럼을 보면 두 시편모두 전형적인 *relaxation type* 스펙트럼을 보여준다. 비틀림 각도가 10 도인 시편의 경우 자기장에 따른 인덕턴스의 변화 폭이 0 도 보다 더 크게 나타났다. 이 결과는 자기 임피던스 효과가 비틀림 변형을 가한 시편에서 더 증대된다는 것을 의미한다. 자기 임피던스의 비틀림 각도 의존성은 원주방향 자화의 나선형 이방성 의존성으로부터 해석가능하며 이 결과를 연구발표에서 제시하고자 한다.

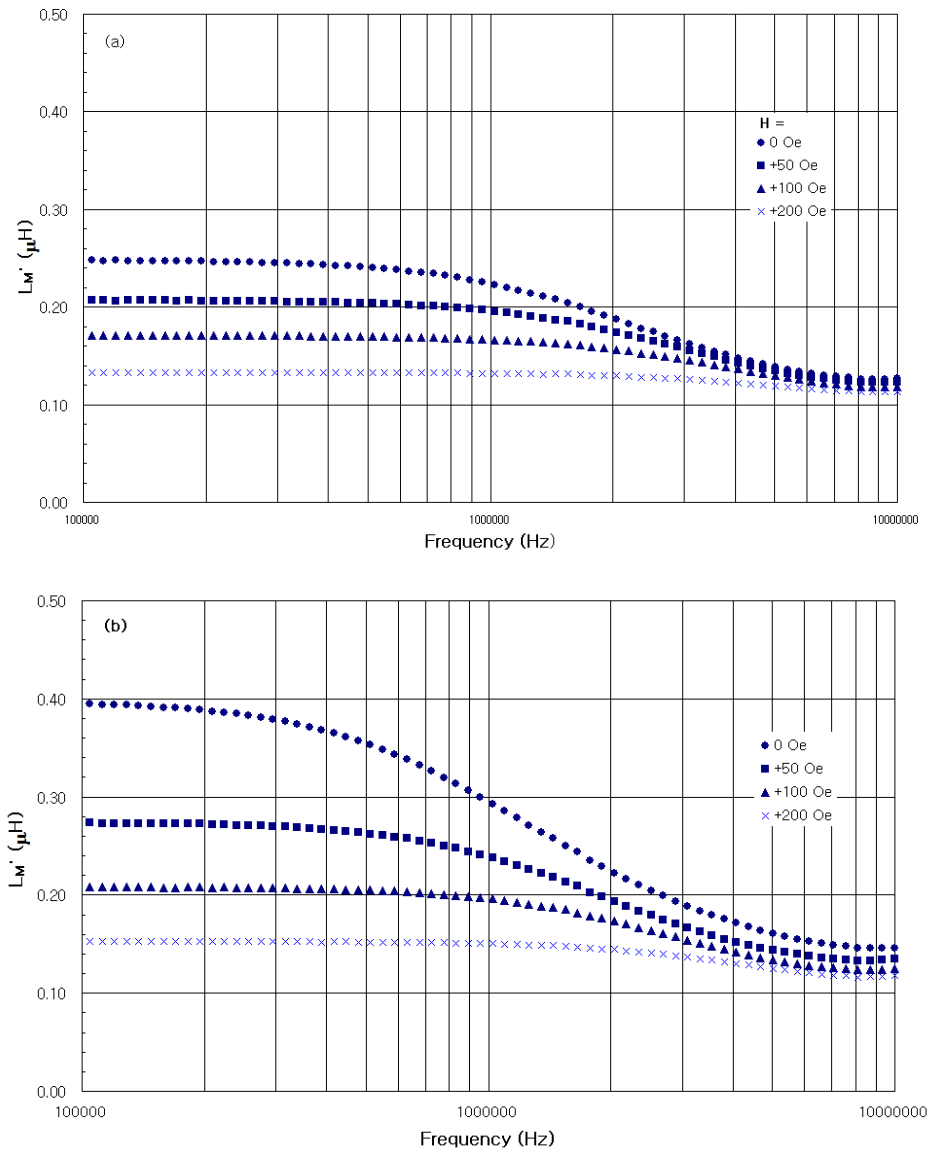


그림 1 (a) 0 도 (b) 10 도의 비틀림 각도에서 전기도금 된 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}$ 와이어의 복소 인덕턴스 실수부 스펙트럼의 자기장 의존성.

4. 참고문헌

- [1] M.H. Phan, H.X. Peng, Prog. Mater. Sci. **53**, 323, 2008.
- [2] P. Jantaratana, N.G. Bebenin, G.V. Kurlyandskaya, J. Appl. Phys. **105**, 013908, 2009.

공진형 무선전력전송 시스템에 의한 인체유도전류밀도의 통계적 해석

신한수*, 송혜진, 성동규, 변진규

충실대학교 전기공학과

1. 서론

전 세계적으로 여러 기관에서 무선전력전송(Wireless Power Transfer, WPT) 기술을 유망기술로 손꼽고 있다. 이는 무선전력전송 기술의 발달과 함께 다양한 분야에 적용할 수 있기 때문이다. 다양한 무선전력전송 기술 중 자기공진방식이 자기유도방식보다 충전자유도 향상 등 단점을 보완할 수 있어 관심이 증가하고 있다. 하지만 공진형 무선전력전송 기술이 적용된 제품에 대한 표준화가 이루어지지 않아 아직 상용화된 제품을 쉽게 찾아볼 수 없다. 공진형 무선전력전송 기술의 표준화를 위하여 많은 업체와 기관들이 참여하여 무선충전연합(Alliance for Wireless Power, A4WP)을 구성하고 연구 및 개발을 하고 있지만, 상용화를 위해 반드시 필요한 인체의 안전성에 대한 연구는 미흡하다.

본 논문에서는 150kHz 공진주파수 대역에서 이중 루프 형태의 공진형 무선전력전송 시스템을 모델링하고 표준화된 인체모델을 이용하여 무선전력전송 시스템의 자기장에 노출되었을 때 인체모델 내부의 유도전류밀도를 통계적인 방법을 통해 계산하고 이를 인체보호기준과 비교한다.

2. 공진형 무선전력전송 시스템과 균질 인체모델

본 논문에서 모델링한 이중 루프 형태의 공진형 무선전력전송 시스템은 총 4개의 코일로 구성되어있고, 설계 공진주파수는 150kHz이다. 공진 코일의 직경(D)이 다른 두 개의 무선전력전송 시스템을 이용하여, 송수전 코일 사이에 인체가 노출된 경우에 인체 내부에 유도되는 유도전류밀도의 계산을 위해 IEC-62311 표준에 제시된 균질 인체모델을 사용하였다[1]. 균질 인체모델은 손과 발이 없이 머리와 몸통으로만 이루어져 있다. 인체모델의 전기적 상수값은 근육의 도전율과 비유전율을 사용하였으며, 그림 1과 같이 무선전력전송 시스템의 송수전 코일 사이에 위치시켜 유도전류밀도를 계산하였다.

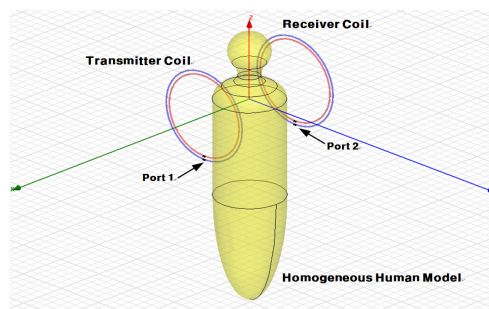


그림 1 공진형 무선전력전송 시스템의 송수전 코일 사이에 위치한 균질 인체모델

3. 인체유도전류밀도의 통계적 해석과 인체보호기준 비교

본 절에서는 앞 절에서 소개한 무선전력전송 시스템과 균질 인체모델을 이용하여, 다양한 노출 조건에 대하여 인체유도전류밀도를 계산하고 인체보호기준과 비교하였다. 우선 같은 자기장 세기 노출조건의 비교를 위

해 D=46cm WPT 시스템에서 인체모델이 없고, 입력전력이 1W인 경우 송전 코일의 중심에서 5.5cm 떨어진 지점의 자기장 세기를 먼저 계산하고, 이를 기준으로 D=92cm WPT 시스템과 평면파의 입력을 조정하였다. 평면파 노출의 경우 자기장 성분만을 고려하기 위해 두 개의 평면파를 서로 반대방향으로 입사하여 중첩의 원리에 의해 전기장 성분을 제거하였다.

표 1. 무선전력전송 시스템과 평면파에 노출된 균질 인체모델의 데이터 추출 간격에 따른 유도전류밀도 비교

노출 조건	입력 전력 [W]	자기장 세기 [A/m]	인체유도전류밀도[A/m ²]								
			평균값			최대값			백분위 99%		
			데이터 추출 간격		상대 오차 [%]	데이터 추출 간격		상대 오차 [%]	데이터 추출 간격		상대 오차 [%]
			5[mm]	10[mm]		5[mm]	10[mm]		5[mm]	10[mm]	
D=46cm WPT 시스템	1	15.3468	0.1688	0.1686	0.12	1.0626	0.9607	9.59	0.7491	0.7496	0.07
D=92cm WPT 시스템	1	3.3375	0.1030	0.1026	0.39	0.4052	0.3943	2.69	0.3374	0.3353	0.62
D=92cm WPT 시스템	21	15.2942	0.4721	0.4701	0.42	1.8567	1.8069	2.68	1.5461	1.5364	0.63
평면파	-	15.3468	0.4541	0.4606	1.43	1.1907	1.1856	0.43	1.1225	1.1225	0

사용된 소프트웨어의 종류나 인체모델을 나눈 요소망의 크기나 품질에 따라 인체유도전류밀도의 최대값은 현저하게 달라질 수 있다[2]. 따라서 본 논문에서는 균질 인체모델 내부에서 일정한 간격으로 추출한 유도전류 밀도 데이터로부터 평균값, 최대값, 백분위 99%값을 계산하여 비교하였다(표 1). 계산한 인체유도전류밀도의 평균값과 백분위 99% 값은 데이터 추출간격에 의한 상대오차는 각각 최대 1.43%와 0.63%이고, 최대값에서는 최대 9.59%의 큰 차이를 보인다. 이를 통해 시뮬레이션 결과에서 인체유도전류밀도의 크기를 보다 안정적으로 비교하기 위한 값은 백분위 99%값임을 알 수 있다.

전자기장 노출에 대한 인체보호기준인 ICNIRP 1998년 기준에서 자기장노출에 의한 인체유도전류밀도의 직업인 기준은 1.5A/m², 일반인 기준은 0.3A/m²이다[3]. 이 기준을 데이터 추출 간격 5mm 백분위 99%값과 비교하면, 동일 자기장세기 노출조건에서 D=46cm WPT 시스템은 직업인 기준을 만족하였으나, D=92cm WPT 시스템의 경우 초과하였다. 그리고 동일 입력전력(1W) 조건에서는 D=92cm WPT 시스템의 자기장 세기와 유도전류밀도가 D=46cm WPT 시스템보다 작은 값을 나타냈으며, 두 시스템 모두 백분위 99%값이 직업인 보호 기준을 만족하였다.

4. 결론

본 연구에서 이중 루프 형태의 공진형 무선전력전송 시스템을 모델링하고, 표준화된 인체모델을 이용하여 무선전력전송 시스템의 자기장 노출에 의한 인체유도전류밀도를 통계적인 방법인 백분위 99% 값을 이용해 계산하고 이를 인체보호기준과 비교하였다. 본 연구는 인체보호기준과 계산한 노출제한치 비교의 방향을 제시 함으로써 무선전력전송 시스템의 자기장 노출에 대한 인체 안전성 평가에 도움이 될 것으로 전망된다.

5. 참고문헌

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC-62311, (2007).
- [2] H. -J. Song, H. S. Shin, H. -B. Lee, J. -H. Yoon. and J. -K. Byun, to be published in IEEE Transactions on Magnetics.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Vol.74, No.4, pp. 494-522, (1998).

100kHz-10MHz 자기장 노출에서 인체 유도전기장 추정을 위한 등가 신체지수 도출

송혜진*, 변진규, 신한수, 성동규
승실대학교 전기공학과

본 논문에서는 중간주파수 자기장에 인체가 노출되었을 때 인체 영향을 평가하기 위해 수치해석 기법을 이용하여 100kHz-10MHz 자기장에 의한 성인과 어린이 인체모델의 유도전기장을 계산하고 비교한다. 또한 성인과 어린이 모델에 대해 등가 신체지수를 도출하고, 보정계수를 도입하여 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정할 수 있는 기반을 마련한다.

1. 서론

최근 중간주파수와 저주파 자기장을 이용하는 공진형 무선전력전송 시스템에 대한 연구가 증가하여 전자파 인체노출에 대한 안전의 중요성이 증가되고 있다. 현재 인체에 미치는 전자기장의 연구는 성인에 초점을 맞춘 연구가 많았으나 WHO 등에서 어린이에 미치는 영향에 대해 주목하고 있기 때문에 성인과 어린이에 유도되는 전기장을 비교분석하는 것이 필요하다. 또한 수치해석 결과는 특정한 신체지수를 갖는 인체모델에 대해서만 유효하므로 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 등가 신체지수를 이용해 유도전기장을 간단히 추정할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 성인과 어린이 모델의 유도전기장 계산

표1. 성인 남성 모델과 어린이 남성 모델의 조직별 유도전기장(1MHz)

조직	유도전기장(성인 모델) [V/m per μT]			유도전기장 (어린이 모델) [V/m per μT]		
	평균값	백분위 99%값	최대값	평균값	백분위 99%값	최대값
Skin	0.429	2.401	8.408	0.194	0.574	1.130
Muscle	0.271	0.913	3.218	0.127	0.396	0.738
Liver	0.454	0.997	1.270	0.143	0.384	0.442
Grey matter	0.183	0.474	0.624	0.165	0.406	0.553
White matter	0.182	0.386	0.574	0.154	0.300	0.485
CSF	0.100	0.383	0.563	0.127	0.409	0.586
Lens	0.106	0.121	0.152	0.146	0.204	0.204
Fullbody	9.569	40.168	252.239	4.610	14.630	37.797

Virtual Family Model[1]에 포함된 Virtual Family Tool을 이용하여 인체조직 파라미터를 분석하였다. Virtual Family의 34세 성인 남성 모델과 6세 어린이 남성 모델을 이용하고 조직별로 전기장을 계산하였다. 자기장의 방향은 성인의 경우 정면, 어린이의 경우 측면이며 자기장의 세기는 30.7 μT 이고 접지되지 않은 상태이다. 표1은 성인과 어린이 유도전기장 평균값, 백분위 99%값이며 성인모델의 백분위 99%값을 기준으로 정렬하였다. 조직의 경계부분이 다른 조직에 포함될 때 두 조직 사이의 전도성에 차이가 있을 경우 오류가 발생할 수 있기 때문에 수치해석 오차의 영향을 적게 받는 백분위수 99%의 값을 기준 값으로 이용하였다.

3. 다양한 신체지수를 갖는 인체의 유도전기장 추정을 위한 근사식과 신체지수 도출

수치해석 결과는 특정한 신체지수를 갖는 인체에 대해서만 유효하기 때문에 다양한 신체지수를 갖는 인체의 유도전기장을 추정할 수 있는 기반을 마련하기 위해 인체를 원형루프와 직사각형루프로 근사하였다.

표2. 유도전기장 추정을 위한 근사식

	원형 루프	직사각형 루프
지배방정식	$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	
직사각형 및 원형 루프를 가정한 근사식	$2\pi R \cdot E = 2\pi f B \cdot \pi R^2$	$2(a+b) \cdot E = 2\pi f B \cdot ab$
유도 전기장의 수치해석 및 추정값	$E_{99} = \pi R_{effective} B f$	$E_{est} = \frac{a \cdot b}{a+b} \cdot \pi B f$
등가 R 지수	$R_{effective} = \frac{E_{99}}{\pi B f} \text{---①}$	$R_{effective} = k \frac{a \cdot b}{a+b} \text{---②}$

표3. 유도전기장 추정을 위한 등가 신체지수

	성인 남성	어린이 남성
$R_{effective} [m]$	0.504	0.157
$a[m]$	0.427	0.134
$b[m]$	0.709	0.388
k	1.893	1.573

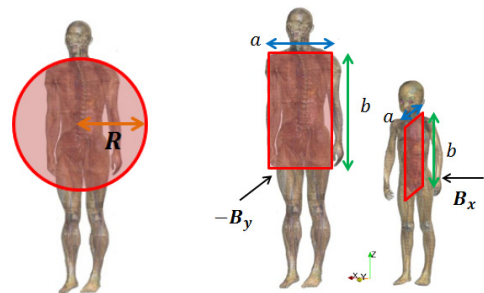


그림1. 인체를 원형, 직사각형 루프로 근사한 모델

맥스웰 방정식에 따라 원형루프와 직사각형루프에 유도되는 전기장의 식과, 수치해석으로 계산한 전신 백분위수 99% 전기장 값을 이용하여 $R_{effective}$ 를 도출하였다. 백분위수 99% 전기장 값을 이용하여 100kHz에서 10MHz까지 R값을 구한 후 평균을 내어 $R_{effective}$ 에 적용하였다. 표2의 식을 이용하여 $R_{effective}$ 와 신체지수 a, b 사이의 관계를 도출해 낼 수 있다. 여기서 수치해석으로 계산한 백분위수 99% 전기장 값과 직사각형루프의 근사식으로 계산한 E값의 차이를 보정하기 위해 보정계수 k 를 도입하였다. 이를 정리하면 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정하기 위한 과정은 그림2와 같다.

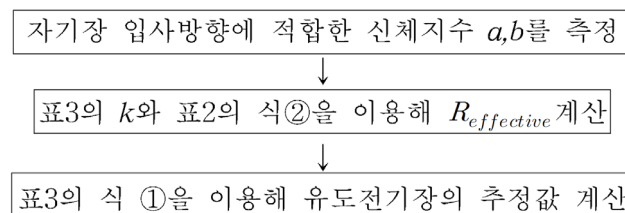


그림2. 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정하기 위한 플로우 차트

5. 결론

인체보호기준의 기본한계 해석을 하기 위해 성인과 어린이 모델에 대해 중간주파수 자기장에 의한 유도전기장을 분석하였다. 또한 수치해석 결과와 근사식을 바탕으로 다양한 신체지수를 갖는 인체에 대해 유도전기장을 추정할 수 있는 기법을 제시하였다.

6. 참고문헌

- [1] <http://www.itis.ethz.ch/servies/anatomical-models/overview/>
- [2] M.A. Stuchly, and T.W. Dawson, "Interaction of low-frequency electric and magnetic fields with the human body", Proceedings of IEEE, vol 88, No. 5, 2000.

MR 유체를 이용한 가변 인덕터의 EMI/EMC 해석

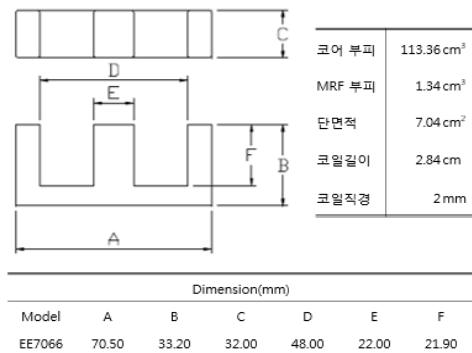
성동규*, 변진규, 신한수, 송혜진
승실대학교 전기공학과

1. 서론

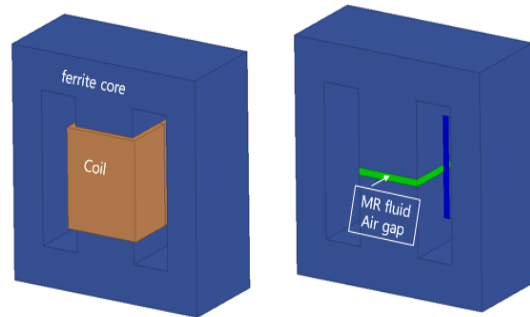
최근 전기·전자 분야에서 중요한 소자로 인식되고 있는 MRF(Magnetorheological Fluids : 자기유변 유체)의 중요한 특성은 외부 자기장의 세기에 따라 항복응력의 정도가 가변되는 성질인데, 이는 내부의 마이크로 자성 입자가 외부 자기장 세기에 따라 일정하게 배열되면서 체인형태를 이루어 고체와 같이 변하는 것을 뜻 한다. 이와 같은 MRF의 기계적인 특성은 외부 자기장에 의해서 제어 가 쉬울 뿐만 아니라, 높은 항복응력강도와 속응성이 높아 다양한 응용분야에서 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 기존의 가변 인덕터 모델과 공극을 MRF로 대체한 가변 인덕터의 공기 중으로 누설되는 자속과 코일 내부의 유도전류밀도를 비교하여 MRF를 이용한 가변인덕터의 EMI/EMC 특성을 해석하고자 한다.

2. EMI/EMC 해석방법

본 실험은 Ansys Maxwell에서 제공하는 유한요소법을 사용하여 [그림 1], [그림 2]와 같이 모델링 된 페라이트 코어의 공극을 Air와 MRF 두 가지로 변경하며 [그림 3]의 Point1,2,3에서 자속밀도 B의 값을 비교하고, 코일 내부의 Point4는 유도전류밀도 $J(A/m^2)$ 를 비교한다.

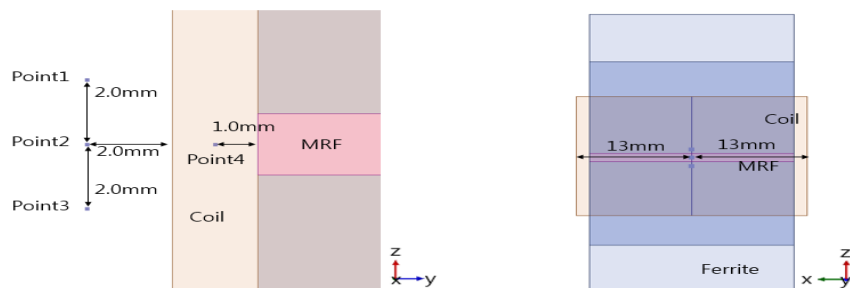


[그림 1] 코어 제원

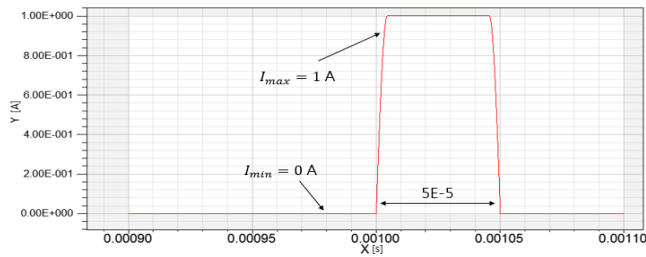


[그림 2] 가변 인덕터 3차원 모델

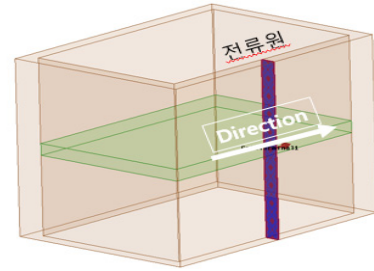
입력전류는 [그림 4]와 같이 최대값이 1A, 최소값이 0A인 구형파를 [그림 5]의 검게 칠해진 면을 입력평면으로 하여 화살표 방향으로 전류가 입사되도록 설정하였다.



[그림 3] 측정 Point 1~4의 위치

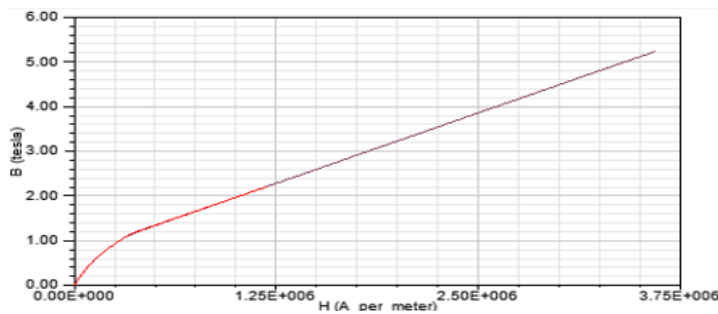


[그림 4] 입력전류 파형



[그림 5] 전류원 위치와 전류방향

MRF의 B-H곡선은 실험에 의해 주어진 데이터를 사용하였으며, 데이터는 [그림 6], [표 1]과 같다.



[그림 6] MRF의 B-H 곡선

[표 1] B, H 데이터 값

H (A/m)	B(T)
0	0
10000	0.069555
20000	0.120992
40109	0.220018
79816	0.401739
119776	0.551739
159702	0.691939
199650	0.812839
239426	0.905634
279398	1.003842
319369	1.09312
359272	1.170178
1197074	2.221884

3. EMI/EMC 해석결과

측정 Point 1-3에서 해석 결과 값인 자속밀도 B의 최대값은 다음 [표 2]와 같다.

[표 2] 측정 Point 1-3에서 자속밀도 B의 최대값

측정 위치	B 최대값 (단위 : μT)	
	MRF 인덕터	공극 (Air gap) 인덕터
Point 1	6.0805	11.9439
Point 2	6.0664	12.3058
Point 3	6.7756	13.1621

이 결과를 보면 공극을 MRF로 대체 하였을 때, 누설 자속이 약 49.1%가량 감소하는 것을 확인할 수 있다. Point 4에서 측정한 유도전류의 값은 MRF 인덕터 일 때 17805.9254 A/m^2 로 공극 인덕터 일 때 17890.8919 A/m^2 보다 84.9664 A/m^2 감소한 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

기존의 가변 인덕터와 인덕터와 MRF를 이용한 가변 인덕터의 공극 주변 누설 자속을 비교한 결과 MRF를 사용한 가변 인덕터의 누설자속이 대폭 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 EMC 기준에 적합한 상용 제품을 제작하기 용이할 것으로 예측할 수 있다. 추후에 다양한 파형과 주파수에 대하여 MRF를 사용한 가변 인덕터의 EMI/EMC 특성을 분석할 예정이다.

5. 참고문헌

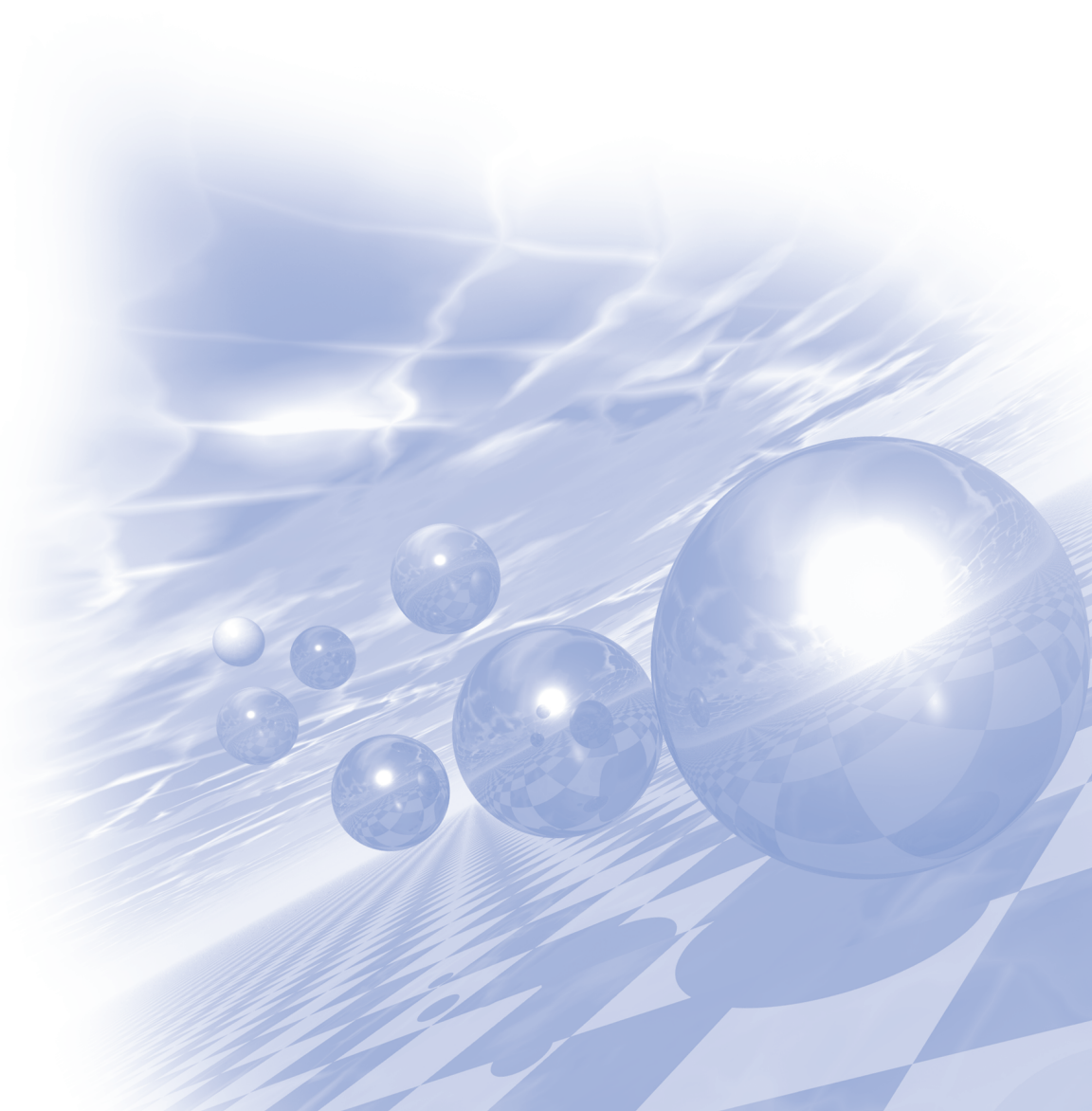
- [1] D. -W. Kim, H. Y. Cha, S. -H. Lee and D. -H. Kim, ECCE Asia. 753-758, (2003)
- [2] D. -W. Kim, H. Y. Cha, S. -H. Lee, D. -H. Kim, Magnetics, IEEE Transactions on, 1901-1904, (2013)



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

Special Session II

'Current Research Trends in Magnetic Materials'



Novel process of rare-earth free magnet and thermochemical route for the fabrication of permanent magnet

Chul-Jin Choi*

Korea Institute of Materials Science / Director of Powder & Ceramics Division

Abstract

Rare earth (RE) - transition metal based high energy density magnets are of immense significance in various engineering applications. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ magnets possess the highest energy product and are widely used in whole industries. Simultaneously, composite alloys that are cheap, cost effective and strong commercially available have drawn great attention, because rare-earth metals are costly, less abundant and strategic shortage.

We designed rare-earth free alloys and fabrication process and developed novel route to prepare $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ powders by wet process employing spray drying and reduction-diffusion (R-D) without the use of high purity metals as raw material.

MnAl-base permanent magnetic powders are potentially important material for rare-earth free magnets. We have prepared the nano-sized MnAl powders by plasma arc discharge and micron-sized MnAl powders by gas atomization. They showed good magnetic property, compared with that from conventional processes.

$\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ powders with high coercivity of more than 10 kOe were successfully synthesized by adjusting R-D step, followed by precise washing system. It is considered that this process can be applied for the recycling of RE-elements extracted from ewaste including motors.

Biography

February, 1984 : B.S. in Department of Materials Engineering, Seoul National University

February, 1997 : Ph.D. in Department of Materials Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

March, 1986 ~ present : Director of Powder & Ceramics Division in Korea Institute of Materials Science

2004 : Visiting Scientist, Rutgers University, USA

2005 ~ 2006 : Concurrent Professor in Changwon National University

2010 ~ 2012 : Member of Review Board in Nano-convergence Organization, Korea Research Foundation

2005 ~ present : Adviser in National Nanotechnology Planning

2006 ~ present : Member of Steering Committee in Korea Nanotechnology Research Society

2009 ~ present : Member of Board of Directors in The Korean Institute of Metals and Materials

2009 ~ present : Concurrent Professor in University of Science and Technology

2013 ~ present : Member of Board of Directors in The Korean Magnetics Society

2013 ~ present : Adviser in Nano-Convergence Industry in Miryang City

Awards

October, 2012 : Seojung Award from The Korean Institute of Metals and Materials

March, 2010 : award from Korea Research Council for Industrial Science and Technology for the 'brilliant contribution to science, technology and industry in Korea'

POSCO's Research and Development works on rare earth reduced NdFeB magnets production process

Junhan Yuh^{*}

New Growth Technology Strategy Department, Corporate Technology Division, POSCO

Abstract

Since discovery, NdFeB permanent magnet has replaced application of the conventional magnets rapidly because of its superior physical and mechanical properties.

With increasing consumption of power combined with energy resource depletion, energy efficiency is becoming more and more important. According to recent reports, almost half of the electric power is consumed by motor, and NdFeB magnets which are the core component of the motor play a key role on improving energy efficiency of the devices.

In parallel with finding alternatives energy resources, research works improving energy efficiency have been conducted world wide.

Although NdFeB magnets usage have been expanded to various applications, key materials such as Nd and Dy, resources lean heavily on specific area, China. Magnetic industry recently experienced skyrocketing price fluctuation of rare earth at around 2008. Chinese government's regulations worsened the situation and arose a necessity to develop methods to minimize rare earth use.

In this presentation, POSCO's recent research works on rare earth reduction is presented including novel powder alloying method using nitrate precursors. Also, future R&D plans for rare earth free magnets is briefly introduced as well.

Junhan Yuh

2012.5~present : Senior Manager, New Growth Technology Strategy Department, Corporate Technology Division, POSCO, Seoul, Korea

2007.1~2012.5 : Senior Process Engineer, Etch and Cleans Business Unit, Applied Materials, Inc. Santa Clara, California, United States

2002.8~2006.12 : Ph.D Department of Materials Science and Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida, United States

Inter-lamellar nano-structure and magnetic properties of soft magnetic metals for high frequency applications

Hakkwan Kim^{1*}, Sangkyun Kwon¹, Sungjae Lee¹, Kang Ryong Choi¹,
Jungwook Seo, and Sung Yong An¹

¹*Corporate R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd., Suwon-si, Gyeonggi-Do 443-743, South Korea*

Soft magnetic composites have aroused much scientific interest because these materials exhibit good overall performance with high combined magnetic induction and permeability, low core loss and high working frequency, which are in latent demand for the application of power inductors, motors and generators. In this study, we fabricated new optimum soft magnetic composites having inter-lamellar structure manufactured by consecutive plasma carburization and heat treatment. We described the manufacturing process to make this soft magnetic composite, characterize the microstructure in detail, and explain the mechanism how the microstructure changes have an influence on the magnetic properties.

Our developed Fe/SiO₂ composite with lamellar structure shows the highest maximum Q factor at 14MHz and Q value is 170. Dense and fine inter-lamellar Fe₃C cementite walls which are observed prevent the eddy current from flowing and merging in the powder matrix and then separate total eddy currents as the frequency increases. We can also anticipate this microstructure and related manufacturing composite method can be easily applied to the mass production process of conventional power inductor, common mode filter, and high speed motor.

EDUCATION

8/2004 – 3/2008 Purdue University, West Lafayette, Indiana

Ph. D. in *Materials Engineering*

Thesis: *Microstructural Characterization in Nanocrystalline Ceramic Thin Films*

3/1997 – 2/1999 Hanyang University, Seoul, Republic of Korea

M.S. in *Materials Science and Engineering*

Thesis: *A Study on the Phase Transformation and Oxidation Behavior of Plasma-sprayed Thermal Barrier Coating*

3/1992 – 2/1997 Hanyang University, Seoul, Republic of Korea

B.S. in *Materials Science and Engineering*

CAREER EXPERIENCE

3/2011 - present Samsung Electro-Mechanics Co., LTD, Suwon, Republic of Korea

Principal Researcher in Central R&D Institute

5/2008 – 2/2011 Samsung Electro-Mechanics Co., LTD, Suwon, Republic of Korea

Senior Researcher in Central R&D Institute

8/2004 – 3/2008 Purdue University, West Lafayette, Indiana

Research Assistant, School of Materials Engineering

1/2006 – 12/2006 Purdue University, West Lafayette, Indiana

Teaching Assistant, MSE581 *Scanning Electron Microscopy Skills*

1/2005 – 5/2005 Purdue University, West Lafayette, Indiana

Teaching Assistant, MSE367 *Materials Processing Laboratory*

R&D Trends of Rare Earth Permanent Magnets

Aru Yan*

Key Lab of Magnetic Materials and Devices

Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, China

In the past three years, the drastic fluctuation of rare earth (RE) price gave a heavy punch at RE permanent magnet (PM) industry. The soaring RE price has forced manufacturers to try to get rid of the heavy dependence of RE. As a result, global R&D on REPM has focused on the following subjects: low-cost RE-lean/free PM, recycling of REPM, nanocrystalline composite magnet, grain boundary diffusion, hot deformation technique, HDDR technique, high added-value product, PM films and nanoparticles, PM with high coercivity and low temperature coefficient, etc.. Besides, I would also introduce the work of our group in the past three years. This work includes the fundamental investigations, application research and enlarged production in pilot line.

CV :

Aug. 2005 - present, Professor, group leader, Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences

Work topics:

- (1) High performance sintered rare-earth magnets and their applications, including NdFeB and SmCo magnets;
- (2) High performance hot-pressed permanent magnets;
- (3) High performance melt-spun hard magnetic materials;
- (4) Application of permanent magnets in advanced devices.

Oct. 2000 – July 2005, Guest Scientist, IFW Dresden, Department of Magnetism and Superconductivity, Germany.

Work topics:

- (1) Melt-spun 2:17 Sm-Co magnets with high coercivity;
- (2) Exchange coupling and spring-magnet behavior in nanocomposite Sm-Co magnets;
- (3) Magnetocaloric effect and giant magnetoresistance in magnetic materials.

Host: Dr. O. Gutfleisch

Sep. 1998 – Sep. 2000, Postdoctoral Researcher, State Key Lab. for Magnetism, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences,

Work topics:

- (1) Anisotropic SmCo-based permanent magnets prepared by melt spinning and their microstructure, magnetic structure and magnetic properties;
- (2) Microstructure, and magnetic properties of nanocomposite permanent magnets.

Advisor: Prof. Bao-Gen Shen

Sep. 1993 – Aug. 1998, M.S. and Ph.D. student in Materials Science, Department of Materials Science, XianJiaotong University, received my Master and Ph.D degrees.

Work topics:

The effects of intergranular alloying on microstructure, coercivity and its mechanism of sintered Nd-Fe-B magnets.

Advisor: Prof. Xiaotian Wang and Xiaoping Song

Sep. 1989 – Aug. 1993, B. S. student in Materials Science, Department of Materials Engineering, Xian University of Technology.

Research and production of NdFeB magnets associated with Zhejiang University

Mi Yan^{*}

Department of Materials Science and Engineering, Zhejiang University, China

Abstract: In the talk, the present research and production status of NdFeB magnets in China is outlined. The main research on NdFeB magnets at Zhejiang University is presented. The microstructural restructuring of grain boundaries of sintered NdFeB is focused. Through microstructural restructuring, the corrosion resistance of sintered NdFeB can be effectively improved, and NdFeB magnets with high coercivity and low heavy RE contents can be fabricated.

Personal CV^o :

Professor Mi Yan got bachelor degree at Southeast University, China in 1984, got master degree at Harbin Institute of Technology, China in 1987, and got Ph.D. in May 1991 at Southeast University, China. From Oct. 1991 to Dec. 1994, he worked in the Department of Materials Science and Engineering, Zhejiang University as a Research Fellow. After that he worked at Zhejiang University as a faculty member, and obtained full professorship in 1998. During 1997 to 1999 he worked at Oxford University and Brunel University, UK as a research fellow. He is now the director of Zhejiang Provincial Key Lab of Novel Materials for Information Technology, head of the Key Innovative Team for Magnetic Materials of Zhejiang Province, and vice chairman of Magnetic Society of Zhejiang Province, China. His research areas include: (1) preparation and characterization of RE permanent magnets, amorphous/nanocrystalline soft magnets and magnetostrictive materials, (2) surface treatment of metallic/magnetic materials. He has published over 200 papers in international journal, obtained over 50 patents in China and America. His group possesses extensive links and collaboration with industries.

Progress in the development of Dy-free high coercivity Nd-Fe-B permanent magnets

K. Hono*

Elements Strategy Initiative Center for Magnetic Materials (ESICMM),
National Institute for Materials Science (NIMS), Tsukuba, Japan

Due to the recent concern of the scarce supply of heavy rare earth (HRE) elements, finding a way to increase the coercivity of Nd-Fe-B magnets without using Dy has become the center of PM research in Japan. In this talk, we will give an overview on our recent progress towards the development of high coercivity Dy-free Nd-Fe-B permanent magnets. Based on the microstructure-coercivity relationships investigated by multi-scale characterization with SEM, TEM and atom probe tomography (APT), we discuss the way to achieve a coercivity higher than 2.5 T in Nd-Fe-B based PMs without HRE. Toward the end, I will introduce the activities on PM research in the Elements Strategy Initiative Center for Magnetic Materials (ESICMM) that has been newly launched at NIMS last year and discuss what kind of fundamental researches are required for next generation permanent magnets.

About the Speaker

Kazuhiro Hono received his BS (1982) and MS (1984) degrees in Materials Science at Tohoku University and a Ph.D. degree in Metals Science and Engineering at the Pennsylvania State University in 1988. After working as a post doc at Carnegie Mellon University for a year, he became a research associate at the Institute for Materials Research, Tohoku University in 1990. He moved to the National Research Institute for Metals (currently National Institute for Materials Science, NIMS) as a senior researcher in 1995, and is now a NIMS Fellow and the Director of the Magnetic Materials Unit. He is also a professor in Materials Science and Engineering at the Graduate School of Pure and Applied Sciences at the University of Tsukuba. His major research interest is microstructure-property relationships of metallic materials, in particular magnetic materials. He received TMS Fellows Award, the Japan Institute of Metals Distinguished Achievement Award in 2011, and the Magnetic Society of Japan's Achievement Award in 2013. He has been editor of *Acta Materialia* and principal editor of *Scripta Materialia* for over 10 years.

The development of Dy free MAGFINE and its applications to Motors

Yoshinobu Honkura^{*}

Adviser of Aichi Steel (Vice president of the Magnetics society of Japan), Japan

Abstract

The NdFeB magnet can be classified into the sintered magnet and bonded magnet. The former has superior magnet characteristics but the degree of freedom in shape is highly restricted, whereas the latter has a high degree of freedom, but its magnet characteristics are inferior to the former. When a NdFeB magnet is used at the elevated temperature, part of Nd must be replaced with a high priced Dy to increase its coercive force.

For these reasons, a Dy free and high performance NdFeB bonded magnet is desired strongly.

The author successfully developed a Dy free NdFeB anisotropic bonded magnet based on discovery of new phenomena called as d-HDDR reaction and its mass production process such as a thermally balanced hydrogen reaction furnace, micro capsuled powder, compression molding / injection molding under magnetic field, magnetic die and so on. Applied to DC brush seat motor for automotive use, the motor has become 50% small in size and weight. The commercialization of a half sized motor for automotive use has been realized up to the market share of 30%.

At present, its commercialization is extending to various types of motors such as power tool, ABS motor, wiper motor, window motor, electric bike power motor, and compressor motor. It is expected that the applications will be increasingly enlarged to EV motor, wind generator, EPS motor, washing machine, and glass cutting machine. This innovative technology has realized Dy free high performance magnet and must make big contribution to not only rare element strategies but also energy conservation.

Biography

May, 1974	graduated from Department of physics, school of science, Nagoya University
April, 1974	Joined Aichi Steel corporation
December, 1991	obtained a doctor's degree in Engineering from Nagoya University
January, 1998	General Manager of Aichi Steel
June, 2002	Director of Aichi Steel
June, 2006	Managing Director of Aichi Steel
June, 2010	Senior managing Director of Aichi Steel
June, 2012	Adviser of Aichi Steel

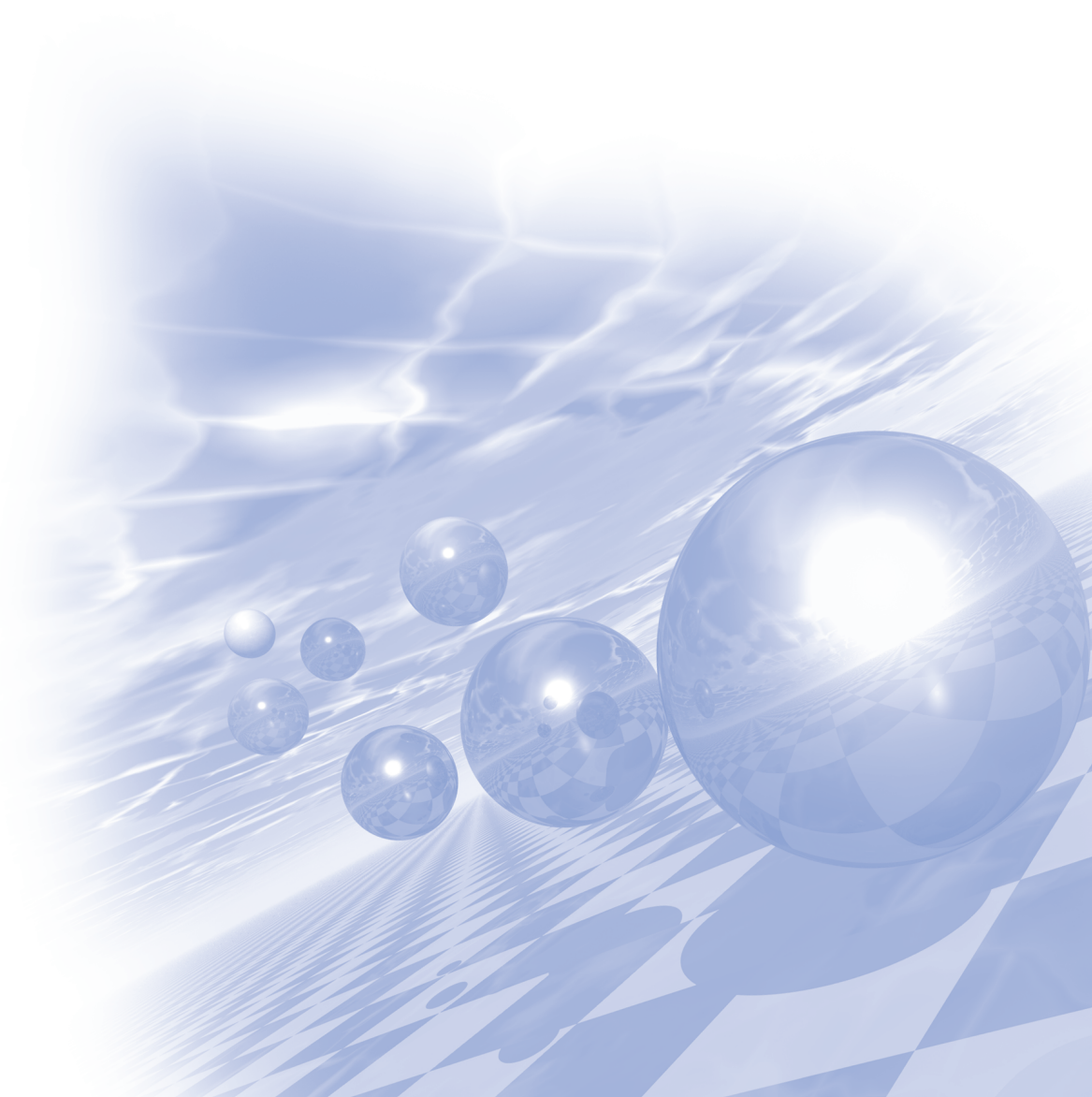
Awards

- 2005 Magnetics Society of Japan Achievement Award for development of high performance bonded magnet for use in automotive small motors
- 2012 Awarded the Minister of Education Prize at the 11th Conference for the Promotion of Collaboration Among Business, Academia, and Government Awards
「for Development of Magnet Compass and Motion Sensor using Magnetic Impedance Sensor」
- 2012 Awarded the 12th Yamazaki Teiichi Prize
(Foundation for Promotion of Material Science and Technology of Japan)
「for Research and Development of Dy-free NdFeB Anisotropic Bonded Magnets and their Motor Applications」



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

구두발표 (II)



One-dimensional magnonic crystals of dipolar coupled vortex lattice

Dong-Soo Han¹, Andreas Vogel², Hyunsung Jung¹, Ki-Suk Lee¹, Markus Weigand³, Hermann Stoll³, Gisela Schütz³, Peter Fischer⁴, Guido Meier² and Sang-Koog Kim^{1*}

¹ 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

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

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

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

* Corresponding author: sangkoog@snu.ac.kr

1. Introduction

Recently, technological interest in the practical applicability of MCs to future information processing devices [1] is rapidly growing. In patterned MCs, magnonic band structures including band widths and gaps can, in principle, be controlled and varied through their constituent materials and the isolated elements' dimensions and separation distance [2]. However, despite recent elucidations of the allowed magnonic modes in a rich variety of MCs, relatively low-frequency, collective vortex-gyration modes in vortex-state arrays remain elusive, notwithstanding theoretical prediction [3] of dipolar-coupled vortices in 2D magnetic disk arrays and the experimental demonstrations of vortex-gyration transfer between two coupled disks [4] and among more than two disks [5].

2. Experimental and Numerical Calculation Method

In the experiment, we used a chain of five Py disks fabricated onto a 100-nm-thick silicon-nitride membrane using electron-beam lithography and lift-off techniques. Each disk had a thickness of 60 nm and a diameter of 2 μm . The center-to-center distance between neighboring disks was 2.25 μm . An 800-nm-wide Cu stripline of 120 nm thickness (with a gold cap of 5 nm thickness) was deposited onto the first disk for the purpose of excitation of vortex gyration. We directly observed the trajectories of the core motions of all of the individual disks by STXM measurement of the out-of-plane core magnetizations at the MAXYMUS beamline (BESSY II; Helmholtz-Zentrum Berlin, Germany). The experimental results, obtained from the STXM measurement, were compared with micromagnetic simulations obtained using the OOMMF code (version 1.2a4) and numerical calculation of coupled Thiele equation. In the micromagnetic simulations and numerical calculation, dimensions identical to those of the sample applied in the experiment were used. We applied the following material parameters for Py: saturation magnetization $M_s = 780 \times 10^3 \text{ A/m}$, exchange stiffness constant $A_{\text{ex}} = 1.3 \times 10^{-11} \text{ J/m}$, and Gilbert damping constant $\alpha = 0.01$.

3. Results and Conclusion

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]. Such dispersion of those modes is controllable by changing the eigenfrequency of vortex gyration, and dipolar coupling strength between neighboring disks as well as polarization and chirality ordering. This substantial work can provide a new class of magnetic metastructures based on collective modes of vortex gyrations in 1D or 2D magnonic crystals composed of periodic magnetic dot arrays with vortex-state ordering, promising for their potential implementation into information processing devices.

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).

4. Reference

- [1] A. V. Chumak *et al.*, Phys. Rev. Lett. 108, 257207 (2012); J. Ding, M. Kostylev and A. O. Adeyeye, Phys. Rev. Lett. 107, 047205 (2011);
- [2] K.-S. Lee, D.-S. Han, and S.-K. Kim, Phys. Rev. Lett. 102, 127202 (2009); A. V. Chumak *et al.*, Appl. Phys. Lett. 95, 262508 (2009)
- [3] H. Jung *et al.*, Appl. Phys. Lett. 97, 222502 (2010); H. Jung, *et al.*, 1, 59; DOI:10.1038/srep00059 (2011); S. Sugimoto *et al.*, Phys. Rev. Lett. 106, 197203 (2011); A. Vogel *et al.*, Phys. Rev. Lett. 106, 137201 (2011).
- [4] S. Barman, A. Barman, Y. Otani, IEEE Trans. Magn. 46, 1342 (2010); A. Vogel, M. Martens, M. Weigand, G. Meier, Appl. Phys. Lett. 99, 042506 (2011).

에피택셜 전사프린팅법으로 실리콘 기판 상에 전사된 InAs 고 전자이동도 트랜지스터 구조 내 스핀-궤도 결합의 게이트 의존성

신재균^{1*}, 김경호¹, 엄두승², 이호찬², 임성동², 장준연¹, 구현철¹, 오민욱³, 고현협², 김형준¹

¹한국과학기술연구원 스핀융합연구센터, 서울시 성북구 하월곡동 39-1, 136-791

²울산과학기술대학교 나노생명화학공학부, 울산광역시 울주군 반영리 100, 689-798

³한국전기연구원 창의연구센터, 경상남도 창원시 성산구 불모산로 10번길 12, 642-120

1. 서론

최근 스핀트랜지스터를 비롯한 스핀트로닉스 용 소자 제작에 높은 g-factor, 빠른 전자이동도, 강한 스핀-궤도결합의 특성을 갖는 InGaAs, InAs, InSb와 같은 III-V 족 화합물반도체들이 독보적으로 사용되고 있다. 하지만, 현존하는 실리콘 반도체 기술을 활용함과 동시에 스핀트로닉스 소자를 실리콘 기반 소자와 결합을 하기 위해서는 실리콘 기판상에 화합물반도체로 제작된 스핀트로닉스 소자를 구현하는 것은 필수적이며 반드시 해결해야 할 숙제로 남아있다[1]. 한편, 화합물반도체와 실리콘 사이의 큰 격자부정합 때문에 실리콘 기판 상에 직접 성장하는 것은 큰 어려움이 있기 때문에 희생층을 이용한 선택적 에칭을 이용하는 전사프린팅법이 대안으로 제시되고 있다[2]. 본 연구에서는 InAs 고 전자이동도 트랜지스터(High-Electron Mobility Transistor; HEMT) 구조를 전사프린팅법으로 실리콘 기판 상에 전사시켜 기존 화합물반도체 기판상에 에피택셜 성장한 것에 비해 크게 향상된 게이트 제어 스핀-궤도 결합 특성을 확인함으로써 실리콘 기판에 화합물반도체 기반 스핀트로닉스 소자를 구현한 최초의 결과를 보여준다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 InAs 고 전자이동도 트랜지스터 구조는 InP(001) 기판 상에 초고진공 분자선 에피택시(Molecular Beam Epitaxy; MBE)를 이용하여 성장하였다. 성장된 구조는 poly(methyl methacrylate) (PMMA)가 코팅된 poly(dimethylsiloxane) (PDMS) 스탬프에 부착한 후 선택적 에칭을 이용하여 InP 기판에서 분리하고 SiO₂/Si기판 상에 전사시켰다. 전사가 완료된 샘플의 전자이동도(μ)와 면전하 농도(n_s)측정을 위한 홀측정과 Shubnikov-de Haas(SdH) oscillation을 통해 라쉬바 스핀-궤도 결합상수(α)의 게이트 의존성을 확인 하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 전사 전후의 온도에 따른 전자이동도와 면전하 농도를 보여준다. 전사된 구조는 as-grown 구조와 비교했을 때 모든 온도구간에서 낮은 전자이동도와 면전하 농도 값을 보이지만 비교적 높은 전자이동도를 유지하는 것을 알 수 있다. Fig. 2는 SdH oscillation결과로써 전사 전후 모두에서 비트 패턴이 관찰되었으며, 특히, 전사된 구조에서 더 짧은 노드 간격을 가짐을 관찰하였다. 계산을 통해 스핀-궤도 결합상수 값을 구해보면 전사된 구조와 as-grown구조는 각각 $10.9 (\pm 0.4) \times 10^{-12}$ 와 $8.3 (\pm 0.5) \times 10^{-12} \text{ eV}\cdot\text{m}$ 의 값으로 전사된 것이 약 30% 정도 향상된 것을 관찰하였다. 그 이유는 Fig. 3의 에너지 밴드 다이어그램과 전자분포 그래프를 통해 알 수 있다. 전사된 구조는 ~9 eV의 상당히 높은 밴드갭을 가지는 SiO₂층과 접합계면을 형성하게 됨으로써 InAs 채널층의 포텐셜 기울기가 더 급격하게 변화하였고, 그 결과로 스핀-궤도 결합상수도 향상되었다. 이것이 흥미로운 점은 스핀완화거리를 감소시키는 추가적인 도핑 없이 스핀-궤도 결합을 향상시킬 수 있다는 것이다. 마지막으로 Fig. 4는 게이트 전압에 따른 스핀-궤도 결합상수 값의 변화 그래프로 본 연구에서 얻은 α 값은 이전에 보고되었던 값들과 비교하여 향상된 모습을 보인다[3]. 따라서, 본 연구를 통해 실리콘 기판에 InAs 고 전자이동도 트랜

지스터 구조를 전사시켜 라쉬바 스핀-궤도 결합의 게이트 의존성을 최초로 확인하였을 뿐만 아니라 이 결과는 인공적인 계면접합을 이용한 전사프린팅법을 활용함으로써 실리콘 기판과 III-V 족 화합물반도체의 성공적인 이종접합 가능성을 분명히 제시한다.

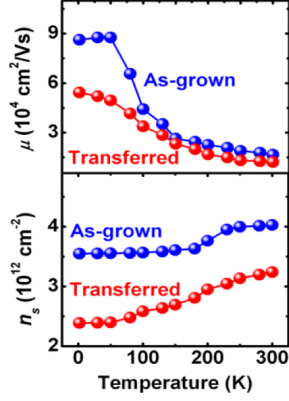


Fig. 1. Electron mobility (μ) and sheet carrier concentration (n_s) of as-grown and transferred InAs HEMT structures with respect to temperature ranging from 1.8 to 300 K.

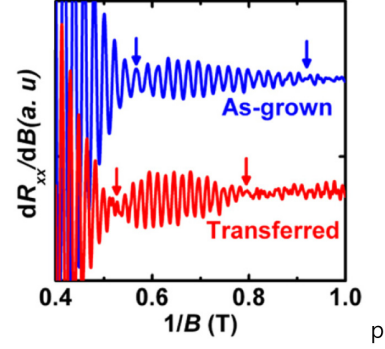


Fig. 2. Signals of the SdH oscillation plotted against the inverse magnetic field without a gate electric field ($V_g = 0$ V) for the as-grown and transferred InAs HEMT structures. Arrows mark the nodes of each beating pattern.

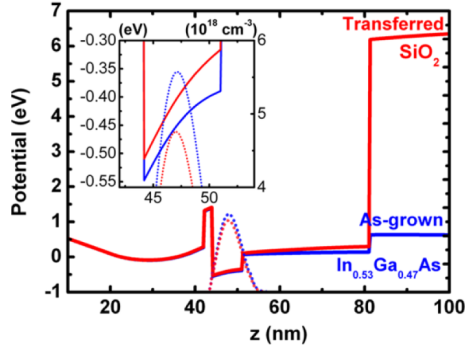


Fig. 3. Calculated energy band diagrams (solid lines) and electron distribution (dotted lines) of the as-grown (blue line) and transferred (red line) InAs HEMT structures. The inset is a magnified view of the InAs channel layer to highlight changes in potential height and electron distribution between the two structures.

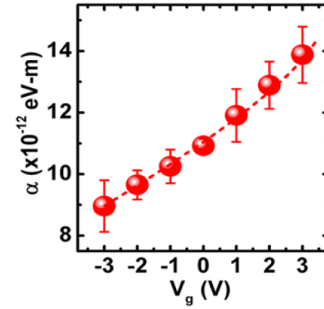


Fig. 4. The Rashba SOI parameter (α) changes as a function of V_g in the InAs HEMT structure transferred onto a SiO_2/Si substrate.

5. 참고문헌

- [1] S. Tehrani, J. M. Slaughter, M. DeHerrera, B. M. Engel, N. D. Rizzo, J. Salter, M. Durlam, R. W. Dave, J. Janesky, B. Butcher, K. Smith, and G. Grynkewich, *Proc. IEEE*. **91**,703(2003).
- [2] H. Ko, K. Takei, R. Kapakia, S. Chuang, H. Fang, P. W. Leu, K. Ganapathi, E. Plis, H. S. Kim, S.-Y. Chen, M. Madsen, A. C. Ford, Y.-L. Chueh, S. Krishna, S. Salahuddin, and A. Javey, *Nature*. **468**,286(2010).
- [3] M. Akabori, S. Hidaka, H. Iwase, S. Yamada, and U. Ekenberg, *J. Appl. Phys.* **112**,113711(2012).

수직자기이방성을 갖는 MgO/Co/Pd 구조에서 열처리에 의한 스핀-궤도 결합 변화에 대한 연구

김민석*, 김상훈, 홍종일

연세대학교 공과대학 신소재공학과, 서울특별시 서대문구 신촌동 134, 120-749

1. 서론

산화물/강자성체/비자성 금속 구조의 박막은 계면에서 나타나는 수직자기이방성, 스핀-궤도 토크 효과, Dyaloshinskii-Moriya interaction (DMI)와 같은 물리적 현상들로 인하여 자구벽 메모리 소자와 같은 응용분야에서 많은 주목을 받고 있다.[1-3] 최근에는 외부자기장의 보조 없이 전류에 의하여 자구벽의 속도가 수백 m/s에 이르며 낮은 임계 전류를 갖는 연구 결과가 보고되었다.[4] 이러한 스핀-궤도 토크 효과와 DMI는 계면에서의 스핀-궤도 결합과 밀접한 관련이 있으므로 계면의 구조는 이와 같은 물리적 현상에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 하지만 계면의 구조변화에 따른 효과에 대해서는 연구가 부족한 상황이다. 본 발표에서는 수직자기이방성을 갖는 MgO/Co/Pd 구조에서 열처리에 의한 계면의 구조 변화가 스핀-궤도 결합에 미치는 영향에 대하여 논의한다.

2. 실험방법

MgO 5/Co t/Pd 3(nm) 구조의 박막은 UHV DC-magnetron 스퍼터링 시스템($<2.0 \times 10^{-9}$ torr)을 이용하여 증착하였으며, Co 층의 두께를 0.8 nm부터 2.4 nm까지 0.2 nm씩 증가시켰다. 열처리 조건에 따른 수직자기이방성 및 계면 구조의 변화를 관찰하기 위하여 200, 300, 400 °C에서 1시간 동안 4.5 kOe의 외부 자기장을 가하여 열처리를 진행하였다. 열처리를 통한 자성 특성의 변화는 VSM (vibrating sample magnetometer)을 통하여 확인하였으며, XMCD (X-ray magnetic circular dichroism)측정은 포항가속기연구소 2A 빔라인을 이용하여 측정을 진행하였다.

3. 실험결과

MgO/Co/Pd 구조에서 열처리 후 나타나는 수직자기이방성의 변화는 자화용이축 및 곤란축에서 측정된 hysteresis loop 면적의 차이를 통해 관찰하였다.[5] 그 결과, 열처리 온도가 증가함에 따라 보다 강한 수직자기 이방성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 열처리 온도가 300°C에서는 포화 자화가 약 35%정도 높게 나타나는 반면에 열처리 온도가 400°C로 높아진 경우에는 가장 강한 수직자기이방성을 보였다. 그러나 포화 자화는 오히려 열처리 전 (1,400 emu/cc)보다 작은 1,200 emu/cc를 가지는 것을 확인하였다. 이는 높은 열처리로 인하여 Co/Pd 계면에서 CoPd alloy형성의 결과이며, CoPd (200) peak이 검출된 XRD측정 결과가 이를 뒷받침 한다. 또한 XMCD측정에서 궤도 모멘트의 기여는 sum rule을 통하여 구하였으며, 궤도 모멘트의 기여가 스핀-궤도 결합과 밀접한 관련이 있다는 것은 많은 보고가 되어있다.[6-8] 열처리에 의한 궤도 모멘트 기여의 변화를 확인한 결과, 열처리 온도가 증가함에 따라 높은 값을 가지는 것을 관찰하였으며, 열처리 온도 400°C의 경우 열처리 전과 비교하여 궤도 모멘트 기여가 160% 높아진 것을 확인하였다.

4. 고찰

열처리 온도를 400 °C로 높인 경우, 300도에 비하여 포화 자화가 급격히 감소하는 것은 두 가지 원인으로 볼 수 있다. 하나는 XRD측정 결과에서도 확인한 Co/Pd 계면에서의 CoPd alloy형성에 의한 것이고 다른 하나

는 MgO/Co 계면에서 Co 산화물이 생성되어 나타나는 결과로 보인다. 또한 수직자기이방성은 계면과 체적에 의한 영향으로 나누어 볼 수 있으며, 본 연구에서는 열처리 후 자기탄성 효과로 인하여 체적의 기여가 급격히 변하여 강한 수직자기이방성을 보이고 있다. 자기탄성 효과는 열처리 후 XRD 측정결과 MgO (100) peak의 이동을 통하여 Co 층과 MgO층에서 계면방향으로의 변형율이 같다는 가정 하에 구하였다.[9] 그 결과 열처리 온도가 증가함에 따른 자기탄성이방성의 차이는 수직자기이방성의 체적 기여도 차이와 비슷한 결과를 얻었으며, 이는 열처리에 따른 수직자기이방성의 변화가 자기탄성 효과에 의한 것임을 알 수 있다. XMCD 측정 결과도 마찬가지로 열처리 온도 400 °C에서 가장 높은 궤도 모멘트 기여가 나타나고 있다. 따라서 400 °C 열처리 시편의 계면에서 강한 스핀-궤도 결합이 형성되어 있음을 알 수 있다. 그러나 열처리 온도 400 °C에서는 계면에서 CoPd alloy가 형성되기 때문에 높은 궤도 모멘트 기여를 갖지만 높은 스핀-궤도 토크를 갖는지는 추가적으로 확인이 필요하다.

5. 결론

열처리 효과에 따른 MgO/Co/Pd 구조에서 계면의 상태변화가 수직자기이방성 및 스핀-궤도 결합에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 열처리 온도가 증가함에 따라 수직자기이방성 및 스핀-궤도 결합이 보다 강해지는 것을 확인하였다. MgO/Co/Pd 구조 및 열처리 효과가 외부 자기장이 없는 스핀-궤도 토크에 의하여 전류만으로 자화반전이 가능한 자구벽 메모리 소자 및 p-MTJ 등에 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

6. 참고문헌

- [1] E. Martinez et al Appl. Phys. Lett. **103**, 072406 (2013)
- [2] S. Emori et al. Nature Mater. **12**, 611 (2013)
- [3] K. Garello et al. Nature Nano. **8**, 587 (2013)
- [4] K.-S. Ryu et al. Nature Nano. **8**, 527 (2013)
- [5] P. Bruno and J.-P. Renard Appl. Phys. A **49**, 499 (1989)
- [6] C. T. Chen et al. Phys. Rev. Lett. **75**, 152 (1995)
- [7] G. Y. Guo et al. Phys. Rev. B **T0**, 3861 (1994)
- [8] R. Wu, D. Wang, and A. J. Freeman Phys. Rev. Lett. **73**, 1994 (1994)
- [9] G. H. O. Daalderop et al. Phys. Rev. B **41**, 11919 (1990)

Distinct Universality Classes of Domain Wall Roughness in Two-Dimensional Pt/Co/Pt Films

Kyoung-Woong Moon^{1*}, Duck-Ho Kim¹, Sang-Cheol Yoo^{1,2}, Cheong-Gu Cho¹, Sungmin Hwang¹, Byungnam Kahng¹, Byoung-Chul Min², Kyung-Ho Shin², and Sug-Bong Choe^{1†}

¹CSO and Department of Physics, Seoul National University, Seoul 151-742, Republic of Korea

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

We demonstrate here that the current-driven domain wall (DW) in two dimensions forms a “facet” roughness, distinctive to the conventional self-affine roughness induced by a magnetic field [1]. Despite the different universality classes of these roughnesses, both the current- and field-driven DW speed follow the same creep law only with opposite angular dependences. Such angular dependences result in a stable facet angle, from which a single DW image can unambiguously quantify the spin-transfer torque efficiency, an essential parameter in DW-mediated nanodevices.

Reference

- [1] K.-W. Moon, D.-H. Kim, S.-C. Yoo, C.-G. Cho, S. Hwang, B. Kahng, B.-C. Min, K.-H. Shin, and S.-B. Choe, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 107203 (2013).

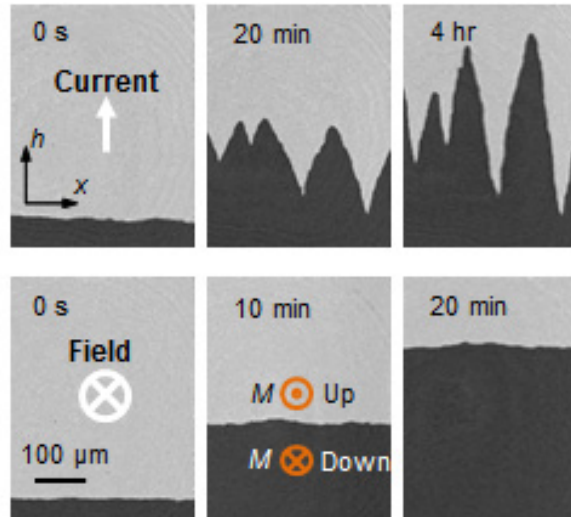


Fig. 1 (up) Current induced magnetic domain wall motion in the perpendicular magnetic anisotropy film. The domain wall forms the facet roughness and the speed of the wall converge to zero. (down) Field driven wall motion. The wall propagates with almost constant speed.

Evaluation of the Usefulness of T2 map Images by using 3.0T MRI

Jae-Hwan Cho^{1*}, Cheol-Soo Park², Eng-Chan Kim³, Man-Seok Han⁴

¹Department of International Radiological Science, Hallym University of Graduate Studies

²Department of Radiological Science, Hallym Polytechnic University

³Department of Physics, Yeungnam University

⁴Department of Radiological Science, Kangwon National University

1. Introduction

The T2 map technique, which verifies changes in the cartilage component due to the pressuring and relaxation of cartilage via T2 mapping, could prove useful for the early diagnosis of cartilage disease [1,2]. For this reason, in this study we measured changes in the T2 values of cartilage among healthy people without ankle and knee arthritis and patients with ankle and knee arthritis in order to evaluate the shape of ankle and knee joint cartilage and damage to the ankle and knee joint cartilage, and also to evaluate the utility of the T2 map images.

2. Materials and Method

At the same time, the study intended to assess the utility of the T2 map image. The multi-echo technique was used for 20 healthy individuals who had experienced no clinically diagnosable ankle and knee arthritis in the past or in the present, and 20 patients who were found to have ankle and knee arthritis in order to obtain T2 SE images of knee joint cartilage. Based on the images obtained, we measured changes in signal intensity (SI) for each area of the ankle joint cartilage. Additionally, we divided the talotibial joint into medial position, middle position, and lateral position in order to calculate the mean values of T2 in 18 spots including the anterior part, middle part, and posterior part of the cartilage of the neck bone and ankle bone. Beside, we calculate the mean values of T2 in 6 spots including the femoral part, tibial part, medial femur part, medial tibia part, lateral femur part, and lateral tibia part of the cartilage of the Knee bone. Mean T2 values were measured in the healthy group and the ankle arthritis patient group.

3. Result

According to the measurement results, the mean T2 value of the ankle arthritis patient group was higher than that of the healthy group in the anterior part, middle part, and posterior part of the neck bone and ankle bone in the medial position of the talotibial joint. In the middle position of the talotibial joint, the mean T2 value of the ankle arthritis patient group was higher than that of the healthy people group in the anterior part, the middle part, and the posterior part of the neck bone and ankle bone. Also in the lateral position of the talotibial joint, the mean T2 value of the ankle arthritis patient group was also found to be higher than that of the healthy group in the anterior part, middle part, and posterior part of the neck bone and ankle bone. The mean T2 value of the knee arthritis patient group was higher than that of the healthy group in the femoral part, tibial part, medial femur part, medial tibia part, lateral femur part, and lateral tibia part of the cartilage of the knee joint.

4. Discussion

the MR imaging techniques mentioned thus far have limitations in terms of resolution, because of a restriction on the spatial resolution required to describe the thickness and volume of the cartilage, as well as insufficient information regarding the physiological mechanisms inherent to the cartilage [3]. Some recent techniques such as delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage (deGRMRIC), sodium MR imaging, T2 mapping, diffusion-weighted MR imaging, and magnetization transfer are in use in order to assess biochemical changes before structural changes are made in case of early damage to the cartilage [4]. The T2 map technique among such recent techniques for the assessment of cartilage employs the features of cartilage components. The technique involves the analysis of collagen, which is an extracellular matrix, and the transformation of its structure. In general, normal articular cartilage consists of cartilage cells and the extracellular matrix. The extracellular matrix is made of water (75%), electrolyte (sodium), collagen II fibril (20%), and proteoglycan (5%). The proteoglycan is composed of glycosaminoglycan (GAG), which is attached to the protein core, and is negatively charged. Water exists in the matrix, which consists of the collagen-proteoglycan solid matrix. Since articular cartilage contains a lot of water, it is possible to conduct clinical studies using magnetic resonance. The thickness of the articular cartilage in an ordinary adult is around 1.2 ~ 7 mm, whereas the thickness of the knee cartilage is the greatest among various cartilages in the human body [5].

5. Conclusion

Along with the morphological MR imaging technique previously used, the T2 map technique seems to help patients with cartilage problems, in particular, those with the arthritis of the knee for early diagnosis by quantitatively analyzing the structural and functional changes of the cartilage.

6. References

- [1] E. H. Harvey, J. M. Timothy J and B. J. Dardzinski, J. Magn. Reson. image. **14**, 50 (2001).
- [2] C. Liess, S. Lusse and N. Karger, Osteoarthritis Cartilage. **10**, 907 (2002).
- [3] J. D. Rubenstein, J. G. Li, and S. Majumdar, AJR. **169**, 1089 (1997).
- [4] E. G. Garry, R. M. Thomas and L. G. Martha, Radio graphic. **23**, 1227 (2003).
- [5] H. Sittek, F. Eckstein, A. Avazzeni, S. Milz, B. Kiefer, E. Schulte and M. Reiser, Skeleral radiol. **25**, 55 (1996).

Reversal dynamics of single vortex core driven by azimuthal spin-wave-mode excitations in soft magnetic disk

Myoung-Woo Yoo*, 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

Vortex-state nano magnets, owing to the binary representation of their out-of-plane vortex-core magnetizations in soft magnetic dots as well as their high thermal stability, have been considered potential candidates for information storage media [1]. Although ultrafast, low-power-driven core switching by azimuthal spin-wave modes has been experimentally demonstrated [2], quantitative interpretations and deeper understanding remain elusive, particularly when compared with the case of well-known gyration-mode-assisted vortex-core reversals. Here, on the basis of micromagnetic numerical simulation results, we tackle the underlying dynamics of azimuthal spin-wave-mode-assisted core reversal.

2. Simulation Method

We conducted micromagnetic simulations on a Permalloy disk of 300 nm diameter and 20 nm thickness [3]. To selectively excite the right-handed or left-handed rotational mode of the azimuthal mode, we used, respectively, clockwise or counter-clockwise circular-rotating fields of the relevant eigenfrequency [4]. The field amplitudes H_0 used were within the $H_0 = 120 - 155$ Oe and $60 - 180$ Oe ranges for the right- and left-handed rotational modes, respectively.

3. Results and Conclusion

The simulation results showed that the excited azimuthal modes cause vortex-core gyrations whose frequencies are close to the eigenfrequencies of the azimuthal modes, which are an order of magnitude greater than that of the gyration mode [5]. Due to such high-frequency core gyrations, the switching times are within the 0.5 - 1.5 ns range, which corresponding to an order of magnitude faster than gyration-mode-driven core reversals. The core-reversal mechanism is the same as that of the vortex-antivortex/vortex-pair-mediated reversal, while maintaining the $m_{z,dip} = -1$ criterion [6]. For a given disk, the v_{max} are ~ 380 and ~ 820 m/s for the $m = -1$ and $+1$ modes, respectively, though v_{cri} is known to be ~ 330 m/s in gyration-mode-assisted core-switching [7]. This difference originates from the difference in $h_{z,min}$ between the gyration-mode- and azimuthal-mode-driven reversal mechanisms for the general criterion of $m_{z,dip} = -1$. In our calculations, $h_{z,min}$ was estimated to be ~ 6 kOe and ~ 10 kOe for the $m = -1$ and $+1$ mode excitations, respectively. We found close correlations between the maximum core velocities (v_{max}) and minimum gyrofields ($h_{z,min}$), as well as the critical m_z dip required for core reversals. This work provides for further understanding of the azimuthal-mode-assisted core-reversal mechanism and offers

a means of practical implementation of vortex-core reversals in information storage devices.

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] B. Van Waeyenberge et al., Nature (London) 444, 461 (2006); S.-K. Kim et al., Appl. Phys. Lett. 92, 022509 (2008).
- [2] M. Kammerer et al., Nat. Commun. 2:279 doi: 10.1038/ncomms1277 (2011).
- [3] See <http://math.nist.gov/oommf>.
- [4] K. Y. Guslienko et al., Phys. Rev. Lett. 101, 247203 (2008).
- [5] K. Y. Guslienko et al., J. Appl. Phys. 91, 8037 (2002).
- [6] M.-W. Yoo et al., Phys. Rev. B, 82,174437 (2010).
- [7] K.-S. Lee et al., Phys. Rev. Lett., 101, 267206 (2008).

The effect of diffusion coating process with Bi of HDDR processed Nd-Fe-B sintered magnet

ShuLiu^{*}, Ji-Hun Yu, Nam-Hyun Kang, Hae-Woong Kwon, Jung-Goo Lee[†]

Powder & Ceramics Division, Korea Institute of Materials Science, 797Changwondaero, Changwon 642-831, Korea

Keywords: NdFeB magnets; Bismuth; HDDR; Nd-rich; Grain boundary

The Hydrogenation disproportionation desorption recombination(HDDR) process is a generally known technique for the production of Nd-Fe-B permanent magnets with anisotropic magnetic properties that forms superfine grains with the grain size below the single domain size around 300 nm. However, the coercivity of HDDR powders is reported quite lower than theoretically expected value. Since the magnetic properties of Nd-Fe-B sintered magnets are highly influenced by the modification of the Nd-rich grain boundary phase, the diffusion coating method with low melting point metal or eutectic alloy was investigated to form thin and continuous Nd-rich grain boundary phase, resulting in the suppression of the reverse domain nucleation and enhancement of the magnetic properties with HDDR powders. However, the coercivity enhancement was at the expense of the decline of magnetization value. Schrey [1] found doping Bi for Nd-Fe-B magnet can modify the microstructure and improve the thermal stability, which is quite important for further application of Nd-Fe-B magnet. Moreover, doping low melting point metal such as Cu and Ga into NdFeB magnet may improve the wettability along the grain boundary and further increase the Nd content in the grain boundaries. They are all belong to the diamagnetic metal and the melting point of Bi is as low as 272 °C, which is very helpful for diffusion coating process.

In this work, the effect of the diffusion coating process with Bi on the HDDR powders was discussed. The Nd-Fe-B magnet was prepared by mixing a certain amount of Bi powders with HDDR powders followed by different diffusion-coating treatment process. The effect of the Bi content and temperature on the structure and magnetic properties of the samples has been investigated.

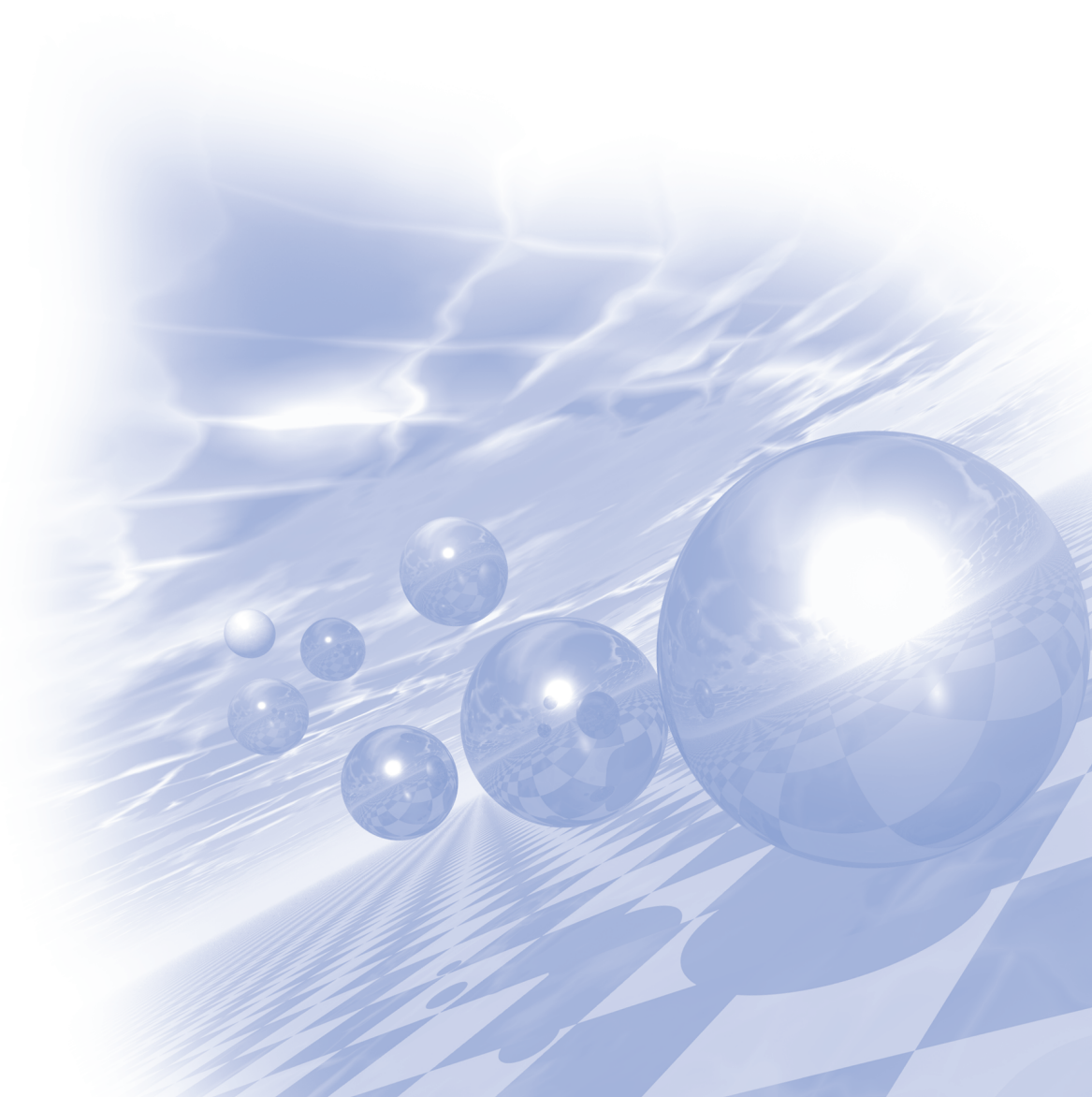
[1] P.Schrey and M.Velicescu. Influence of Bi-additions on the magnetic and microstructure properties of (Nd,Dy)-Fe-Al-B magnets. *Int.J.Mod.Phys.B* 1993.07:725-728

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



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

포스터발표 (Ⅱ)



Electric field effect on the magnetic anisotropy of CoFeB/MgO/CoFeB magnetic tunnel junctions

Taufik Bonaedy^{1*}, Jun Woo Choi¹, Chaun Jang¹, Byoung-Chul Min¹

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

Electric field control of magnetism has been extensively studied in the past few years, not only for the interesting physics, but also due to its potential application in energy efficient devices. By applying an electric field, fundamental magnetic properties of ultrathin magnetic films, such as Curie temperature, paramagnetic-ferromagnetic phase transition, and magnetic domains, can be modified.^{1, 2} In a magnetic tunnel junction structure, the electric field effect can be observed as a voltage dependent modification of the switching field or magnetization direction.³⁻⁵

In this study, we have investigated the electric field controlled magnetic properties of Co₄Fe₄B₂/MgO/Co₄Fe₄B₂ perpendicular magnetic tunnel junctions by measuring the voltage dependent tunneling magnetoresistance (TMR). The saturation field of the CoFeB layer was seen to be modified with different applied voltages indicating that there is an electric field dependent interfacial magnetic anisotropy modification at the CoFeB/MgO interface. It was found that positive bias voltage (electron charging at CoFeB/MgO interface) increases the interfacial perpendicular magnetic anisotropy. To confirm the surface sensitivity of the electric field effect, an ultrathin (0.5~1ML) Hf layer was inserted in between the CoFeB and MgO layers. When the voltage dependent TMR of the Co₄Fe₄B₂/MgO/Hf/Co₄Fe₄B₂ was measured, the electric field dependent interfacial magnetic anisotropy modification was greatly enhanced at the CoFeB/Hf/MgO interface compared to the CoFeB/MgO interface. The larger electric field effect with the insertion of a Hf layer might be due to the fact that Hf is a large spin-orbit coupling material. Moreover, as calculated from TMR result, CoFeB/Hf/MgO/CoFeB structure has larger magnetic anisotropy change per voltage compare to CoFeB/MgO/CoFeB structure. These results assure that using spin-orbit coupling material has promising development of voltage controlled of magnetic switching in magnetic tunnel junction.

References:

1. K. Shimamura, et.al. Appl. Phys. Lett. 100, 122402 (2012)
2. D. Chiba, S. Fukami, K. Shimamura, N. Ishiwata, K. Kobayashi, and T. Ono, Nature Mater. 10, 853-6 (2011)
3. S. Ikeda et.al. Nature Mater. 9, 721-724 (2010)
4. W-G. Wang et. al. Nature Mater. 11, 64 (2012)
5. T. Maruyama et. al. Nature Nanotechnol. 4, 158 (2009)

Growth and transport properties of FeGe film on GaAs (100) substrate

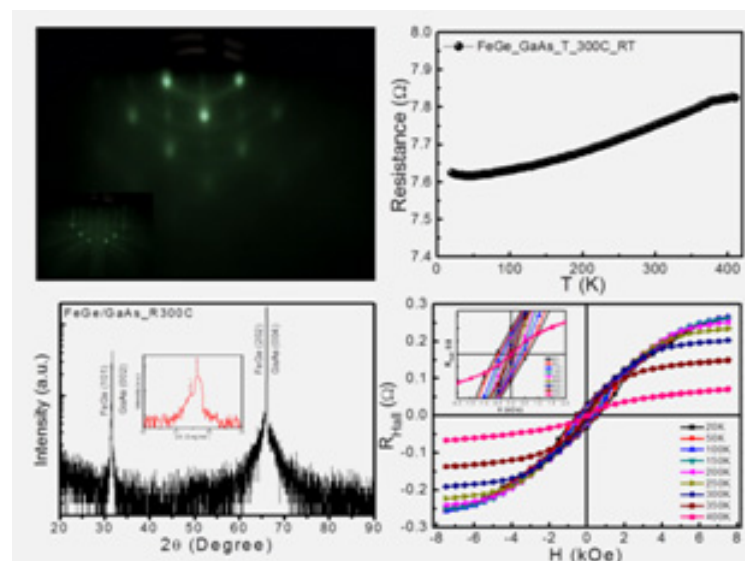
Duong Anh Tuan^{2*}, Yooleemi Shin¹, NguyenVanQuang¹, and SunglaeCho^{1†}

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

²*Department of General Sciences, Quang Ninh University of Industry, Quang Ninh, Viet Nam*

FeGe thin film is one of magnetic materials that skyrmion state was observed. [1, 2] Skyrmions are small magnetic vortices those are first discovered in manganese silicide thin film. Skyrmions could form the basis of future hard-disk technologies because they might be made much smaller and thus be used to create storage devices with much higher density than the disks use magnetic domains.[3] In this report, we study about transport properties of FeGe film grown on GaAs (100) substrate by using molecular beam epitaxy (MBE). A hexagonal structure of FeGe thin film was determined by XRD pattern. Surface morphology of FeGe was observed by FE-SEM measurement. Temperature dependent resistivity measurement showed a metallic behavior of FeGe film. The anomalous Hall effect (AHE) originating from asymmetric scattering in the presence of magnetization was observed.

- [1]. X. Z. Yu, N. Kanazawa, Y. Onose, K. Kimoto, W. Z. Zhang, S. Ishiwata, Y. Matsui, and Y. Tokura, Nature Mater. 10, 106 (2011).
- [2]. S. X. Huang and C. L. Chien, Phys. Rev. Lett. 108, 267201 (2012).
- [3]. N. Romming, C. Hanneken, M. Menzel, J. E. Bickel, B. Wolter, K. V. Bergmann, A. Kubetzka, R. Wiesendanger, Science 341, 636-639 (2013).



Effect of cross-sectional vortex formation on magnetization reversal in rectangular shaped Permalloy nanowires

Imran Khan^{1,2*}, Jisang Hong¹ and Chanyong Hwang^{2†}

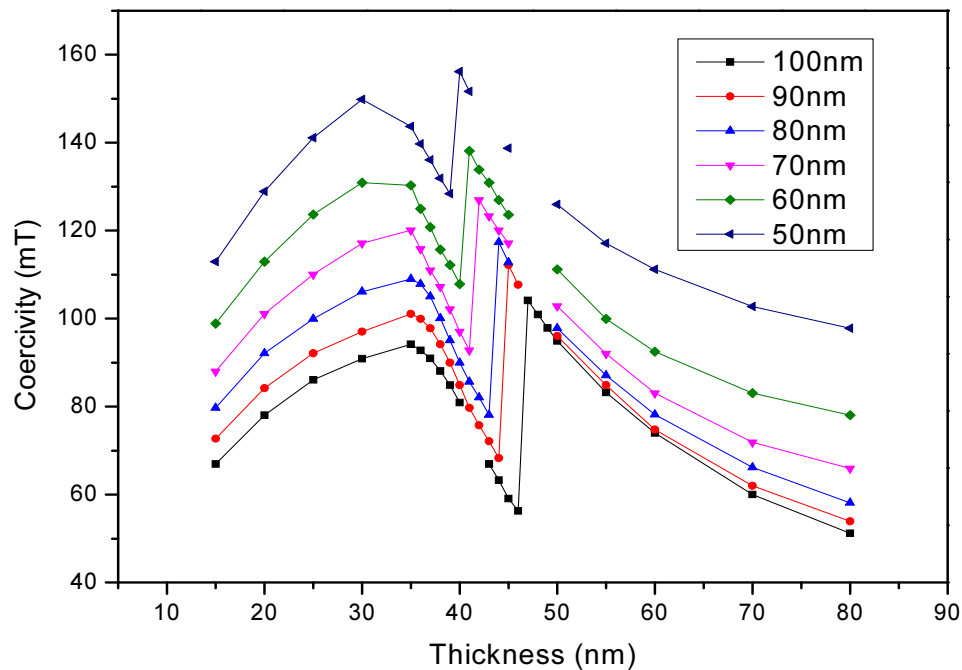
¹Department of Physics, Pukyong National University, Busan 608-737, South Korea

²Division of Industrial Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, South Korea

[†] Corresponding author address: cyhwang@kriss.re.kr

Abstract

In order to pinpoint the different factors responsible for magnetization reversal, we performed simulation using OOMMF micromagnetic package for rectangular shaped permalloy element having length of $1\mu\text{m}$, width 50-100 nm and thickness 15-80 nm with length to width ratio $L/W > 4$. Interestingly an increase in coercivity with thickness is found for every width below a critical thickness. With increasing width and thickness, the distinct behavior of coercivity, hysteresis loops and reversal mechanism are presented. Vortex end domains are observed during the magnetization reversal beyond particular thickness, where the three dimension reversal mechanism is expected to begin, causing a sudden increase in coercivity.



Vortex dynamics of coupled circular-shape tri-layer magnetic nanodisks

Ahmad A. Awad* 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

Coupled vortex dynamics as well as single vortex dynamics have been intensively studied owing to fundamental interest of magnetic coupling and the possibility of implementing vortices in information-storage [1], magnonic crystals (MC) [2], processing devices[3], and spin torque oscillators (STOs) [4]. In this later case spin-valve structure or magnetic tunnelling junctions MTJs is usually used, Synchronization between different STOs by means of coupling between vortex oscillators would be one of the most efficient ways to increase emitted power; which implies a deep understanding of the dynamic coupling between vortices.

2. Simulations

To study the coupling effect between vortices in vertical scheme a layered magnetic nanopillars consisting of ferromagnetic (F) and nonmagnetic (N) layers is modeled using OOMMF [5], we conduct the micromagnetic simulations for a circular Py dot having the thickness of 20 nm and the diameter of 180nm. The physical parameters of the individual cells of xy directions $2.5 \times 2.5 \text{ nm}^2$, and different cell size is used for z direction 2.5-20 nm used; were: the exchange stiffness constant $A = 1.3 \times 10^{-11} \text{ (J/m)}$, the saturation magnetization $M_s = 830 \times 10^3 \text{ A/m}$, and the Gilbert damping constant of $\alpha = 0.01$.

To excite spin Eigen-modes, a Gaussian pulse field is applied to the vortex-state tri-layer dots along the x-direction. In order to get the eigenmodes frequencies a Fourier transform of the time evolution of magnetization is applied and simulated Fourier power spectra is obtained where peaks present the eigenmodes frequencies.

3. Result and Conclusion

We explored the coupling effects on vertically coupled vortex-pair where we demonstrate by the micromagnetic simulations that the spinwaves frequency dependence on coupling is substantially different from the lateral coupled vortices case. We find that, the dipolar coupling between the vortex-pair mainly ruled by the relative chirality configuration, leading to a reduction of the out-of-phase coupled azimuthal modes frequencies and increase the in-phase coupled azimuthal mode frequencies, for the parallel and antiparallel chirality configurations respectively.

As to the parallel chirality case the coupling between chiralities induce additional splitting of the azimuthal modes as well as the coupled gyrotropic mode, that depend on the coupling strength between the ferromagnetic layers. Coupling additionally transforms modes profile for the out-of-phase mode and decrease their frequencies

meanwhile increases the frequencies of the in-phase modes. An interesting result of our study is that the lowest coupled azimuthal mode splitting that differs from the gyrotropic dependence with the spacer thickness (coupling) and from the lateral coupling case.

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] S.-K. Kim, K.-S. Lee, Y.-S. Yu, and Y.-S. Choi, *Applied Physics Letters* 92, 022509 (2008).
- [2] D. Han, A. Vogel, H. Jung, K. Lee, M. Weigand, H. Stoll, G. Schütz, P. Fischer, G. Meier, and S. Kim, (2013).
- [3] H. Jung, K.-S. Lee, D.-E. Jeong, Y.-S. Choi, Y.-S. Yu, D.-S. Han, A. Vogel, L. Bocklage, G. Meier, M.-Y. Im, P. Fischer, and S.-K. Kim, *Scientific Reports* 1, 10 (2011).
- [4] V.S. Pribyl, I.N. Krivorotov, G.D. Fuchs, P.M. Braganca, O. Ozatay, J.C. Sankey, D.C. Ralph, and R.A. Buhrman, *Nature Physics* 3, 498 (2007).
- [5] M.J. Donahue and D.G. Porter, *OOMMF User's Guide*, Version 1.0 (Gaithersburg, MD, 1999).

Fe(001) \ MgO(001) \ CuPc 하이브리드 다층박막의 계면에 유도된 스핀 편극 현상

배유정^{1*}, 이년종¹, Andrew Pratt², Y. Yamauchi², 김태희[†]

¹이화여자대학교, 물리학과

²National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan

[†]e-mail: taehee@ewha.ac.kr

유기물의 다양한 특성을 기존의 반도체 또는 금속 기반 스핀소자 기술에 접목하려는 시도가 많이 보고되고 있다. 특히, 유기반도체의 긴 스핀 폴립 시간(long spin relaxation time)을 이용하여 스핀정보를 효율적으로 전달하고자 기대하고 있으나, 강자성금속/유기반도체의 전도도 불일치에 의하여 계면에서 스핀 덩치기(trapping)와 산란으로 스핀 주입에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 유기분자의 화학적, 구조적 변조를 통한 계면특성의 조율로 스핀 전달을 제어하려는 연구가 진행되고 있으며, ‘spinterface’라는 새로운 패러다임을 형성할 만큼 강자성금속/유기반도체 계면특성의 중요성이 부각되고 있다[1,2].

본 연구에서는 Fe(001)와 Fe(001) \ MgO(001) 위에 유기 반도체 Cu-Phthalocyanine(CuPc)의 성장특성과 표면(또는 계면)의 전자구조 연구를 스핀 편극된 준안정상태의 He 원자 분광계(Spin-polarized metastable Helium de-excitation spectroscopy, SP-MDS)를 이용하여 진행하였다. CuPc 분자에 강한 인력을 제공하는 Fe(001) 하층과 달리, MgO(001) 위에 성장한 CuPc은 하층과의 상호작용보다 CuPc 분자간 상호작용이 강해, 분자의 면수직(out-of-plane) 정렬이 향상되고, 이는 스핀주입에 더 안정적인 플랫폼을 제공하는 것으로 볼 수 있다. 그리고 에피 성장된 MgO(001) 위에 1.6 nm 두께의 CuPc 층상구조 표면에서, 스핀상태의 비대칭성이 현저해지는 것이 관측되었다. SP-MDS를 이용하여 관측한 이러한 결과들이 스핀전달에 미치는 영향을 직접적으로 규명하기 위하여 Fe(001) \ MgO(001) \ CuPc \ Co 구조의 자기터널접합 소자를 제작하였다. MgO(001)의 존재로 인하여 ~250 K 부근에서 저항의 전이를 관측하였고, 이 결과는 MDS를 이용하여 관측한 분자 정렬방향의 전이와 일치하였다. 그리고, 1.6 nm MgO(001) \ 1.6 nm CuPc 복합장벽에 대하여 250%, 10%의 자기저항을 77 K와 상온에서 각각 관측하였다. 이 스핀수송 결과를 SP-MDS로 관측한 1.6 nm 두께의 얇은 CuPc 계면의 전자기적 특성과 비교 분석하여 논의해 보고자 한다.

[1] C. Barraud et al., Nature Phys. **6**, 615-620 (2010)

[2] S. Steil et al., Nature Phys. **9**, 242-247 (2013)

Bcc-Co 초박막형성에 대한 Ta/CoFeB 하지층의 의존성 연구

이년중¹, Maria Mansurova^{2*}, Vladyslav Zbarsky², Johannes Christian Leutenantsmeyer²,
배유정¹, Markus Münzenberg², 김태희¹

¹이화여자대학교 물리학과

²I. Physikalisches Institut, Universität Göttingen, Germany

Bcc-Co/MgO/Co 자기터널접합소자에서 bcc-Fe/MgO/Fe 자기터널접합소자에서보다 높은 자기저항효과를 기대할 수 있다는 이론적 연구가 보고된 바 있다[1]. 본 연구진은 Co 층과 하지층 Ta/CoFeB의 두께변화와 후열 처리에 따른 자기적 특성을 살펴봄으로써, bcc-Co의 안정화에 미치는 Co 박막과 Ta/CoFeB 계면의 영향에 대하여 연구하였다.

SiO₂/5nmTa/x nm CoFeB (x=0-2 nm) /1.2 nm Co/2.1 nm MgO 다층 박막구조가 MBE와 Sputter Dual 박막 증착장비를 사용하여 제작되었다. 또한 350 °C 후열처리과정이 진행된 후, 실온에서 약 1 nm 정도 두께의 Co 박막에서 <110> 방향의 자화용이축을 갖는 수평자기이방성(in-plane anisotropy)이 뚜렷이 관측되었다. 이러한 수평자기이방성은 하지층 CoFeB과 상부층 MgO의 구조적 특성에 모두 민감한 영향을 받는다는 것이 확인되었다. CoFeB 층뿐만 아니라 Ta 하지층과 MgO 상부층이 없을 때, bcc-Co의 자기 이방성 특성은 관측되지 않았다. 이 결과로부터 bcc-Co 상의 안정성은 Ta/CoFeB Co/MgO 계면의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이 결과를 바탕으로, Si/SiO₂ 웨이퍼 위에 Ta과 CoFeB의 하지층 위 제작한 bcc-Co/MgO/CoFeB 자기터널접합소자(접합소자면적 : 2 μm × 4 μm)에서 실온에서 120%의 높은 자기저항을 관측하였다.

본 연구에서는 인접한 상지층과 하지층의 계면으로 유도된 bcc-Co 상의 최적화에 초점을 두었다. 이 결과는 계면에 유도되는 수직자화형성에 대한 기초자료로 활용될 수 있다.

[1] W. H. Butler et al., Phys. Rev. B **63**, 054416 (2001)

[2] S. Yuasa et al., Appl. Phys. Lett. **89**, 042505 (2006)

[3] R. Hübner et al., Anal. Bioanal. Chem. **379**, 568 - 575 (2004).

스핀주입 향상을 위한 GaAs(110)동중예피성장에서 발생한 두께 의존성을 갖는 표창결함에 관한 연구

신재균^{1*}, 장준연¹, 안재평², 김형준¹

¹한국과학기술연구원, 스핀융합연구센터, 서울특별시성북구하월곡동39-1, 136-791

²한국과학기술연구원, 특성분석센터, 서울특별시성북구하월곡동39-1, 136-791

1. 서론

스핀소자구현에 있어 중요한 요소 중 한 가지는 분극된 스핀신호를 충분히 전달할 수 있는 긴스핀완화 시간(τ_s)을 갖는 것이다[1]. 스핀완화시간은 드와크노프-페렐 메커니즘으로 설명이 되는데 반도체 structure inversion asymmetry와 관련된 라쉬바 효과, bulk inversion asymmetry와 관련한 드레셀하우스 효과로 나뉜다 [2]. 따라서 스핀소자를 위한 반도체물질로 높은 g-factor, 빠른 전하이동도, 강한 라쉬바 효과를 갖는 GaAs가 많이 사용되어 왔으며 최근에는 GaAs(001)에 비해 상대적으로 높은 드레셀하우스 효과를 갖고 있는 GaAs(110)을 이용한 연구에 관심이 증가하고 있다. 하지만 GaAs(110)은 기존 GaAs(001)과 같은 조건으로 에피택셜 성장 시화살촉과 유사한 삼각형형태의 표면결함이 발생하게 되는데 이를 줄이고자 다양한 성장조건의 변화가 시도되었다[3]. 본 연구는 기존에 보고되지 않은 GaAs(110)성장시 두께에 따라 화살촉모양에서 표창모양으로 진화되는 삼차원 결함을 발견함에 의미가 있다.

2. 실험방법

본 연구에서는 초고진공 분자선 에피택시(Molecular Beam Epitaxy; MBE)를 이용하여 다양한 성장조건에서 GaAs(110) 박막에 발생하는 결함을 관찰하였다. 박막의 두께를 제외한 다른 성장조건(성장속도 1 Å/s, 성장온도 360°C, As/Ga분압 비율 100:1)을 고정시킨 후에 두께를 각각 200nm, 300nm, 350nm, 500nm, 다르게 성장하여 원자간 힘현미경(Atomie Force Microscope; AFM)을 통한 표면결함 관찰과 단면 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope; TEM) 관찰을 통하여 표면결함 하부의 쌍정결함 형성을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 각각 GaAs(110)두께에 따른 샘플들의 AFM 그림과 결함을 완화시킨 샘플의 AFM 그림을 보여준다. Fig. 1(a)의 200nm두께를 포함하여 300 nm 이하에서는 특별한 형상이 없는 평평한 표면상태를 보인다. 하지만, 300nm두께에서부터 삼각형 형태의 표면결함이 생기는 것을 볼 수 있다.(Fig. 1(b)).두께가 더욱 증가함에 따라서 삼각형 두 개가 서로 마주보고 있는 모습[Fig. 1(c)]에 이어 표창모양의 표면결함으로 진화하는 것을 볼 수 있다.(Fig. 1(d)). 그리고 Fig. 2는 표창결함의 하부를 단면 TEM으로 분석한 그림으로 피라미드 형태의 결함이 발생하며 이는 (b), (c)와 같은 추가적인 TEM 분석을 통해 쌍정결함을 확인하였다. 향후, 두께 이외의 다른 성장조건에서표창결함의 변화 거동과 형성원인을 밝히기 위해 실험 및 이론적 계산을 진행할 예정이다.

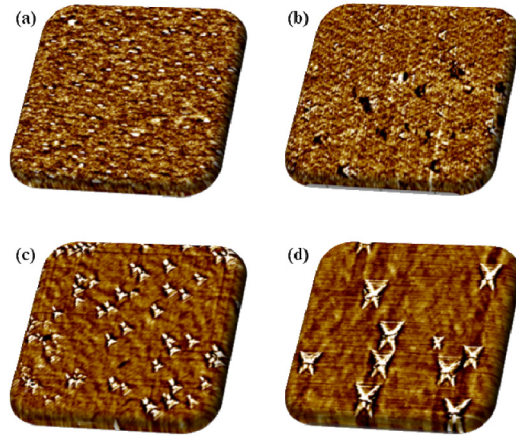


Fig. 1. AFM images with respect to thickness (a) 200nm, (b) 300nm, (c) 350nm, and (d) 500nm.

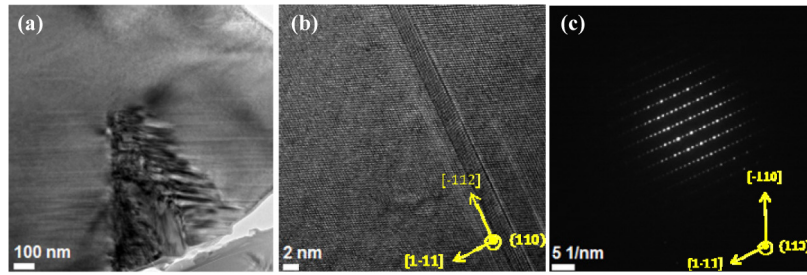


Fig. 2. Cross-sectional TEM images of the dagger defects.

(a) Pyramid shape. (b) High-resolution TEM image. (c) Selected area diffraction pattern

5. 참고문헌

- [1] Y. Ohno, R. Terauchi, T. Adachi, F. Matsukura, and H. Ohno, Phys. Rev. Lett. **83**, 4196 (1999).
- [2] W. Desrat, D. K. Maude, Z. R. Wasilewski, R. Airey, G. Hill, Phys. Rev. B **74**, 193317 (2006).
- [3] D.M. Holmes, E.S. Tok, J.L. Sudijono, T.S. Jones, B.A. Joyce, J. Cryst. Growth, **192**, 33 (1998).

Spin injection enhancement by electric field effect in a ferromagnet-semiconductor hybrid structure

Youn Ho Park^{1,2,*}, Hyun Cheol Koo^{1,3†}, Hyung-jun Kim¹, Joonyeon Chang¹, Suk Hee Han¹,
and Heon-Jin Choi²

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

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

³KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul, 136-701, Republic of Korea

† Corresponding Author's email : hckoo@kist.re.kr

In order to investigate the electric field effect on the injection efficiency, the lateral spin valve device on semiconductor channel was fabricated. The channel consists of an inverted heterostructure with an $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ active layer. The channel is patterned by the ion-milling and the resulting width is $8\mu\text{m}$. The carrier concentration and the electron mobility of the 2DEG channel at $T = 20\text{ K}$ (150 K) are $n_s = 1.52 \times 10^{12}$ (1.56×10^{12}) cm^{-2} and $\mu_e = 29\ 000$ ($18\ 000$) $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, respectively.

Using non-local (Geometry A) and local (Geometry B) spin valve geometries, the spin injection efficiencies with and without an electric field are extracted. The magnitudes of the measured signals from two geometries are determined by the spin injection efficiency of injection and detection sides. In Geometry A, the bias current crosses the injection interface between ferromagnetic electrode and semiconductor but the charge current or the electric field does not exist at the detection interface. In Geometry B, however, the identical current crosses both injection and detection interfaces so the same electric field is induced at the junctions. At $T = 20\text{ K}$, the spin injection efficiency is increased from 3.2% to 7.0% with a current of 1 mA which produces electric field at the junction. As shown in fig. 1(b), temperature dependence of measurements shows that the spin injection efficiency does not weaken with an electric field. The reason is that the electric field effect compensates the thermal smearing of injection efficiency at higher temperature.

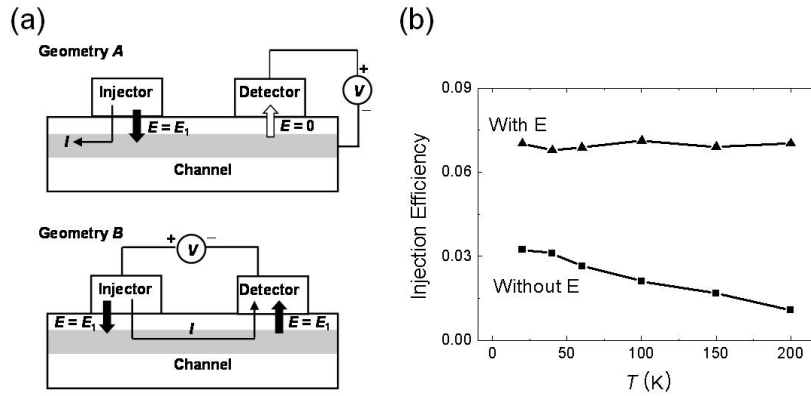


Figure 1. Electric field effect on spin injection efficiency. (a) Non-local (Geometry A) and local (Geometry B) measurement geometries. (b) Temperature dependence of injection efficiencies with and without electric field.

Tunneling magnetoresistance characteristics of CoFeB/MgO/Py magnetic tunnel junctions

Kyoung-Min Lee^{1,2*}, Jun Woo Choi¹, Chaun Jang¹, Junghyun Sok², and Byoung-Chul Min¹

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

² Department of Nano Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Republic of Korea

Recently there has been great interest in the development of magnetic vortex nano-oscillator based on spin-torque induced magnetic vortex gyrations [1-3]. In the magnetic vortex nano-oscillator, a large perpendicular magnetic field is typically required for operation of the nano-oscillator, since a sustained magnetic vortex gyration motion occurs only when the vortex core magnetization and the polarizer magnetization directions are parallel. Therefore a perpendicular magnetic anisotropy (PMA) polarizer is needed for the vortex oscillation to occur with a small or zero external magnetic field.

In this work, we fabricated magnetic tunnel junctions with 'perpendicular polarizer/MgO/vortex' configuration for its potential application in magnetic vortex nano-oscillators. Magnetic tunnel junction (MTJ) structures of CoFeB(1.2nm)/MgO/Py(25-35nm) were used, where the 1.2 nm thick CoFeB layer and 25 (or 35nm) Py layer would act as the polarizer layer and magnetic vortex layer, respectively. Magnetic hysteresis loop measurements of the 25 and 35nm thick Py layers confirmed that the Py layers have a magnetic vortex structure. The as-grown amorphous CoFeB layer has in-plane magnetic anisotropy, while the 300°C annealed CoFeB layer shows perpendicular magnetic anisotropy. The tunneling magneto-resistance ratios (TMR) of the MTJ samples were measured with the external magnetic field applied in-plane and out-of-plane. The TMR ratio was ~ 4 %. There is clear difference in the TMR curves of as-grown (in-plane CoFeB) and annealed (perpendicular CoFeB) samples. We also report preliminary results on the magnetic vortex oscillation behavior with a perpendicular polarizer.

[1] A. Dussaux's, et al. *Nature Comm.* **1** (2010) pp. 8

[2] Yan Liy, et al. *J. Appl. Phys.* **112** (2012) pp. 093905

[3] F. Abreu Araujo, et al. *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) pp.222402

Determination of g-factor and Shubnikov-de Haas Oscillation

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

The magnetic field dependence of resistance is very interesting topic in electronics because of its diversity of origin. As one of these, the Shubnikov-de Haas (SdH) oscillation is well known phenomenon and it has the same mechanism as quantum Hall effect which is formation of the Landau level and the Zeeman spin splitting. Since spin-orbit coupling (SOC) can be estimated by observing beat patterns of SdH oscillation in 2-dimensional electron gas (2DEG), the oscillation is one of the most important phenomena in spin transport system.

The SdH oscillation also gives the g -factor which characterizes the magnetic moment of carrier. In previous research, J. Nitta *et al.* obtained the g -factor of quantum well layer from fixed angle dependence of SdH oscillation [1]. In our research, on the other hand, g -factor of InAs 2DEG was estimated from fixed transverse magnetic field dependence of Rashba SOC parameter. To observe Rashba SOC parameter, perpendicular magnetic field is necessary to induce conductance fluctuation and beat nodes. Then applied transverse field interacts with Rashba SOC and derives shift of beat nodes.

The Rashba SOC parameter obtained without transverse field was $6.41 \times 10^{-12} \text{ eV} \cdot \text{m}$ and can be converted into effective magnetic field with the equation, $B_R = (2\alpha k_F) / (g \mu_B)$. When transverse field is applied, this equation is rewritten by sum of transverse and effective magnetic field and Rashba SOC parameter varies with g -factor. Comparing experimentally obtained SOC parameter and equation, we extracted the g -factor of ~ 13 .

[1] J. Nitta, Y. Lin T. Akazaki, and T. Koga, Applied Physics Letters, 83, 4565 (2003).

Effect of nonmagnetic layer on perpendicular magnetic anisotropy of X(X=Ta, Hf, and Yb)/CoFeB/Mg/MgO structures

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

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

²Korea University, Seoul 136-701, South Korea

1. Introduction

Ta/CoFeB/MgO structures are known to have a decent perpendicular magnetic anisotropy (PMA), and magnetic tunnel junctions (MTJs) based on these structures yield a high tunnel magnetoresistance (TMR) of over 120% [1]. It has been recently reported that the PMA can be enhanced by replacing Ta by Hf in the above structure [2]. It is expected that the PMA can be further improved by inserting an Mg layer between CoFeB and MgO layers [3]. Here we studied the perpendicular magnetic anisotropy PMA of X (X=Ta, Hf, and Yb)/Co₄Fe₄B₂/Mg/MgO structures.

2. Experiment Method

We deposited the samples on the oxidized Si(100) substrates using DC and RF magnetron sputtering, and annealed the samples after deposition. The magnetic properties of the samples were characterized by vibrating sample magnetometer (VSM).

3. Results and Discussion

The PMA in X (X=Ta, Hf, and Yb)/Co₄Fe₄B₂/Mg/MgO is significantly affected by the annealing temperature, and the annealing temperatures showing the maximum PMA are dependent on the nonmagnetic layer, Ta, Hf, and Yb. Especially, the Yb/Co₄Fe₄B₂/Mg/MgO structure shows PMA with a relatively lower annealing temperature.

4. Conclusion

In summary, we show that the PMA in X (X=Ta, Hf, and Yb)/Co₄Fe₄B₂/Mg/MgO depends not only on the thickness of CoFeB but also on the nonmagnetic buffer layer. The structures studied in this paper can be used for perpendicular magnetic tunnel junctions having a free-layer of X (X= Ta, Hf, and Yb)/CoFeB/Mg/MgO and other spintronics devices.

5. Reference

- [1] S. Ikeda, K. Miura, et al., Nature Materials 9, 721 (2010).
- [2] T. Liu, J. W. Cai, and Li Sun, AIP Advances 2, 032151 (2012).
- [3] Q. L. Ma, S. Iihama, et al., Appl. Phys. Lett. 101, 122414 (2012).

Electrical spin injection and detection in GaAs with ferromagnetic metal/MgO junctions

심성훈^{1,2*}, 김경호³, 김형준¹, 이윤희², 장준연¹

¹한국과학기술연구원

²고려대학교

³연세대학교

The effective spin injection from ferromagnetic metals (FM) into semiconductors (SC) is essential for the semiconductor spintronics. The intrinsic conductance mismatch between FM and SC is known to prevent efficient spin injection and can be overcome by using a tunnel barrier at the interface.

In this study, we report enhanced electrical spin injection and detection in a Fe/MgO/GaAs junction and CoFeB/MgO/GaAs up to room temperature. The epitaxial MgO/GaAs layers were *in-situ* grown by a molecular beam epitaxy (MBE). Modulation doping in the vicinity of the interface promotes tunneling transport by reducing the depletion layer of Schottky barrier, and the I-V characteristics of the junction of samples show typical combination of tunneling and slight Schottky barrier, Fig. 1 (a), (b). Large spin accumulation represented by the voltage difference ($\Delta V = 6.3$ mV at 10 K when $I = -0.9$ mA) between the baseline and the dip of Hanle curve is observed from Fe/MgO/GaAs junction at various temperature range and sustained up to 400 K when an out-of-plane magnetic field is applied, Fig. 1 ©.

The finite roughness of the FM/oxide interface induces the local magnetostatic fields, and this local fields greatly change the spin accumulation and precession in SCs. [1] The inverted Hanle caused by the local fields also observed when an in-plane magnetic field is applied, Fig. 2. The Lorentzian fitting of the Hanle curve from Fe/MgO/GaAs gives 234 ps spin lifetime of n-doped GaAs, and this is a lower bound since the local field suppresses spin lifetime at the interface.

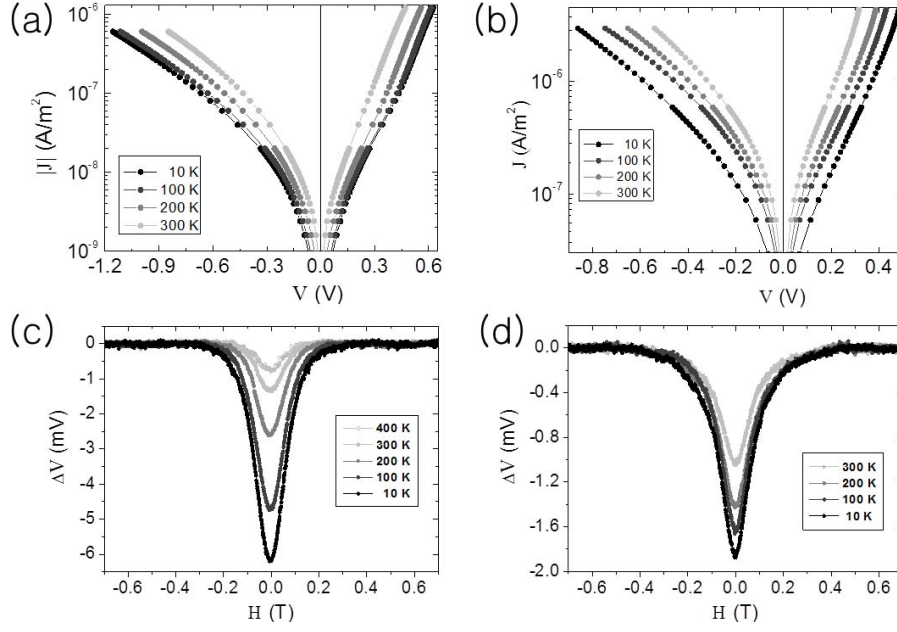


Fig. 1 The graph of the current density vs. bias voltage of (a) Fe/MgO/GaAs and (b) CoFeB/MgO/GaAs junctions. Hanle curves from the junctions of (c) Fe/MgO/GaAs and (d) CoFeB/MgO/GaAs with respect to temperatures when $I = -0.9$ mA and -1 mA, respectively.

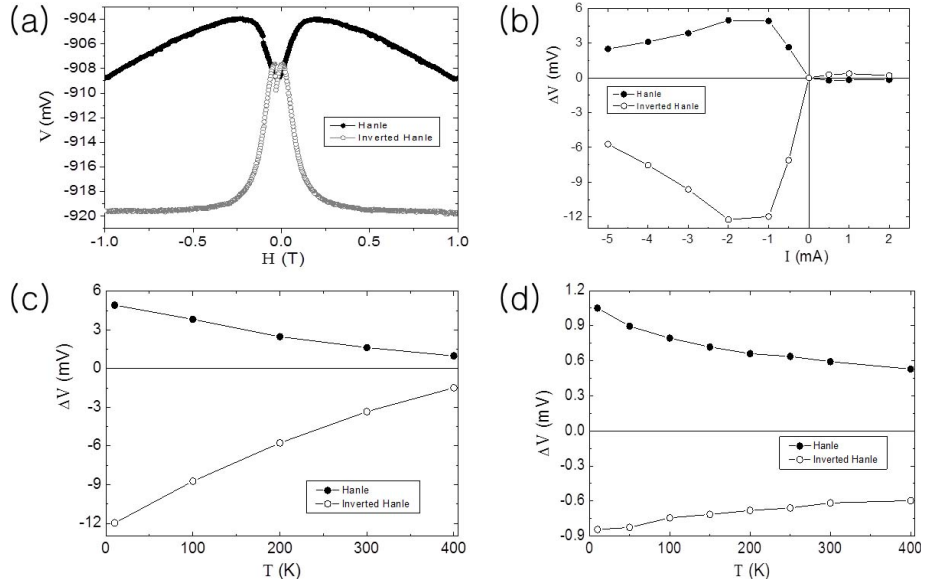


Fig. 2 (a) normal Hanle and inverted Hanle graph of Fe/MgO/GaAs sample when $I = -1$ mA at 10 K. (b) The plot of the bias current dependence of normal and inverted Hanle of Fe/MgO/GaAs at 10 K. The graphs of temperature dependence of normal and inverted Hanle of (a) Fe/MgO/GaAs and (b) CoFeB/MgO/GaAs samples when $I = -1$ mA.

[1] S. P. Dash *et al.*, Phys. Rev. B 84, 054410 (2011).

Threshold current for switching of a perpendicular magnetic layer induced by spin Hall effect

Ki-Seung Lee^{1,2*}, Seo-Won Lee¹, Byoung-Chul Min² and Kyung-Jin Lee^{1,3}

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

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

³ KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul 136-713, South Korea

Recently, several experiments have shown that it is also possible to switch the magnetization in current-in-plane(CIP) geometry [1 – 3]. Liu et al. [2,3] demonstrated that an in-plane current flowing in a heavy metal layer attached to a free layer can selectively switch the free-layer magnetization and reported that these results can be quantitatively explained by spin torque from the spin Hall effect. In ferromagnet/non-magnet bi-layer systems, an in-plane charge current passing through the non-magnet is converted into a perpendicular spin current due to the spin Hall effect [4].

The analytic expression for the threshold switching current of conventional spin torque case is well established. Such expression is of critical importance for both fundamental physics and applications. However, the threshold switching current for the switching of a perpendicular magnetic layer induced by the spin Hall effect is missing. In this work, we derive an explicit analytic expression of threshold switching current density[5] as

$$J_{C,perp}^{SH} = \frac{2e}{\hbar} \frac{M_S t_F}{\theta_{SH}} \left(\frac{H_{K,eff}}{2} - \frac{H_x}{\sqrt{2}} \right), \quad (1)$$

where θ_{SH} is an effective spin Hall angle of the system, M_S is the saturation magnetization, t_F is the thickness of ferromagnetic layer, $H_{K,eff}$ is the effective perpendicular anisotropy field, and an external in-plane field H_x .

We verify its applicability by testing various cases based on macro-spin simulations [5]. This expression for the threshold switching current will be useful since it can be used to estimate essential physical quantities such as spin Hall angle and to design practical devices utilizing the spin Hall effect. In the presentation, we will discuss in detail about this spin Hall based switching scheme in comparison to the scheme based on the conventional spin transfer torque.

[1] I. M. Miron *et al.*, Nature (London) 476, 189 (2011).

[2] L. Liu *et al.*, Science 336, 555 (2012).

[3] L. Liu *et al.*, Phys. Rev. Lett. 109, 096602 (2012).

[4] J. E. Hirsch, Phys. Rev. Lett. 83, 1834 (1999).

[5] K.-S. Lee *et al.*, Appl. Phys. Lett. 102, 112410 (2013).

Measurement of spin-orbit torques in Pt/Co/AlO_x heterostructures depending on Pt thickness

Young-Wan Oh^{*}, Kyeong-Dong Lee, and Byong-Guk Park

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

1. Introduction

Recently, it has drawn a great attention that magnetization in a heterostructure of heavy metal-ferromagnet-insulator can be controlled by in-plane current because of its potential application in magnetic random access memories or domain wall devices [1, 2]. The mechanism involves the coupling of electron's spin and its orbital motion, resulting in non-equilibrium spin accumulation which ultimately gives rise to a torque on the magnetization, so-called spin-orbit torques (SOTs). This effect can be explained by spin Hall effect of heavy element and/or Rashba effect of asymmetric structure. However, there is still no consensus of the origin or dominant effect of the SOTs. So in order to elucidate the origin of the SOTs, we measured the SOTs in Pt/Co/AlO_x heterostructures with different Pt thickness.

2. Experiment

The samples of Pt(t)/Co(1.4nm)/AlO_x(2nm) were deposited by magnetron sputtering on a thermally oxidized Si substrate, where Pt thicknesses are 2, 3, 5, and 7nm. All samples were annealed at 300°C for 30min in a vacuum chamber after the film deposition. Photo-lithography and ion etching were used to make Hall bar structure. We injected the AC current while sweeping the in-plane longitudinal and transverse magnetic field to current direction. The first (C_{1w}) and second (C_{2w}) harmonics Hall voltage were measured simultaneously with two lock in amplifiers. We can obtain longitudinal effective field (spin transfer-like torque) and transverse effective field (field-like torque) by using the way described in Ref. [2].

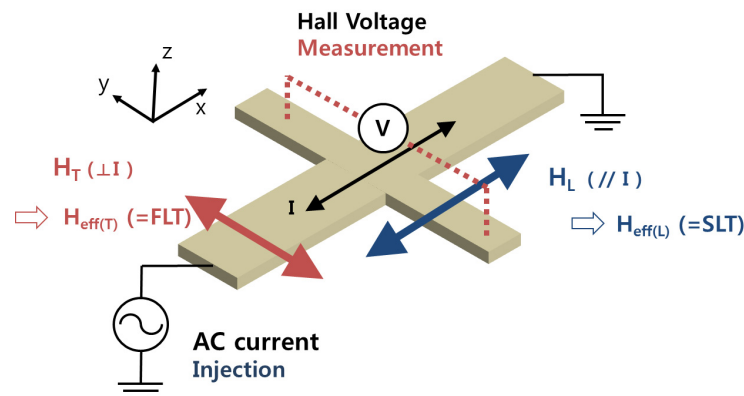


Figure 1. Schematics of the SOTs measurement

3. Results and discussion

Figure 2 shows the first and second harmonic Hall voltage for Pt 3nm samples under different field direction. The first harmonic signal (C_{1w}) is almost same, but the second harmonic signal (C_{2w}) depends on the applied field. From measured signal, we calculated the SOTs(Effective field). The FLT(SLT) has even(odd) symmetry with respect to the inversion of the magnetization as shown in Figure 3. Moreover, FLT decreases as Pt thicknesses increases, whereas SLT increases. This results can be explained by the origin of SOTs, spin Hall effect and Rashba effect. The SLT, which mainly originates from spin Hall effect, is bulk effect so, it increases with increasing Pt thickness. However, FLT related to Rashba effect decreases due to the relatively reduced interface effect.

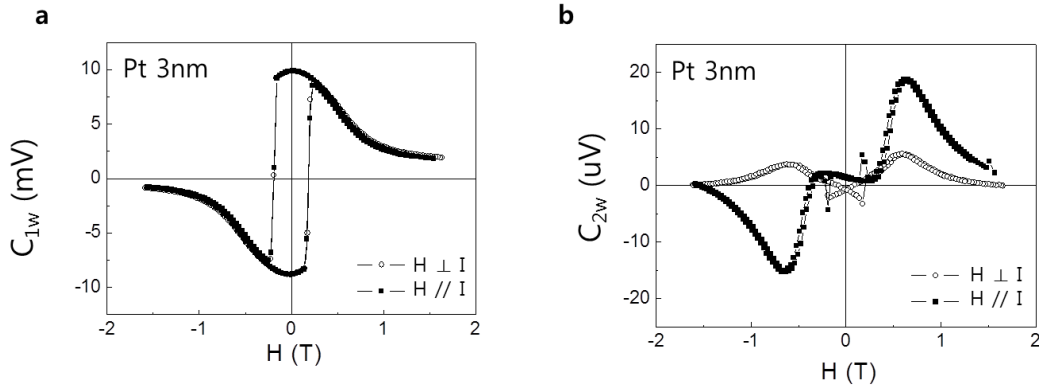


Figure 2. (a)First and (b)second harmonic Hall voltage. Open and solid symbols correspond to transverse and longitudinal field direction to current flow.

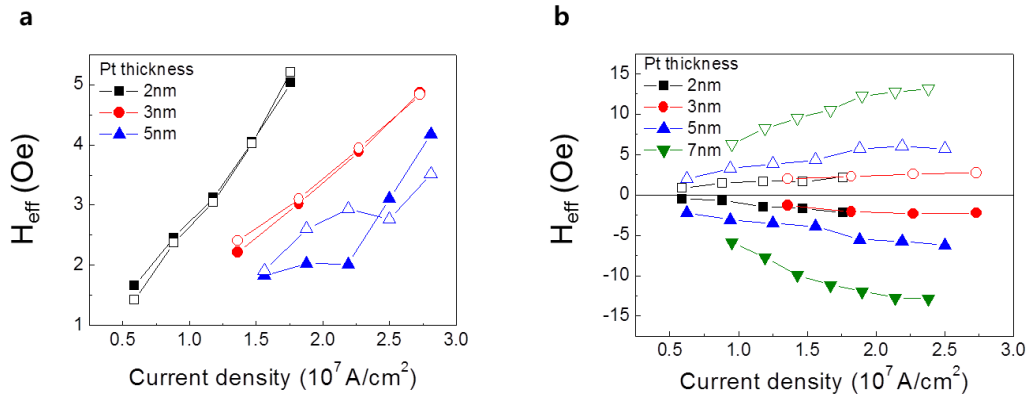


Figure 3. Pt thickness dependence of (a)transverse(FLT) and (b)longitudinal(SLT) effective field. Open and solid symbols correspond to magnetization pointing along -Z and +Z, respectively.

4. Reference

- [1] Kevin, Garelo et al., Nature nanotechnology **8**, 587 (2013)
- [2] J. Y. Kim et al., Nature Materials. **12**, 240 (2013)

Analysis of Inverse Spin Hall Effect from Spin Pumping in CoFeB/non-magnetic structures

김동준^{1*}, 김상일², 이경동¹, 박승영², 박병국¹

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

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

1. 서론

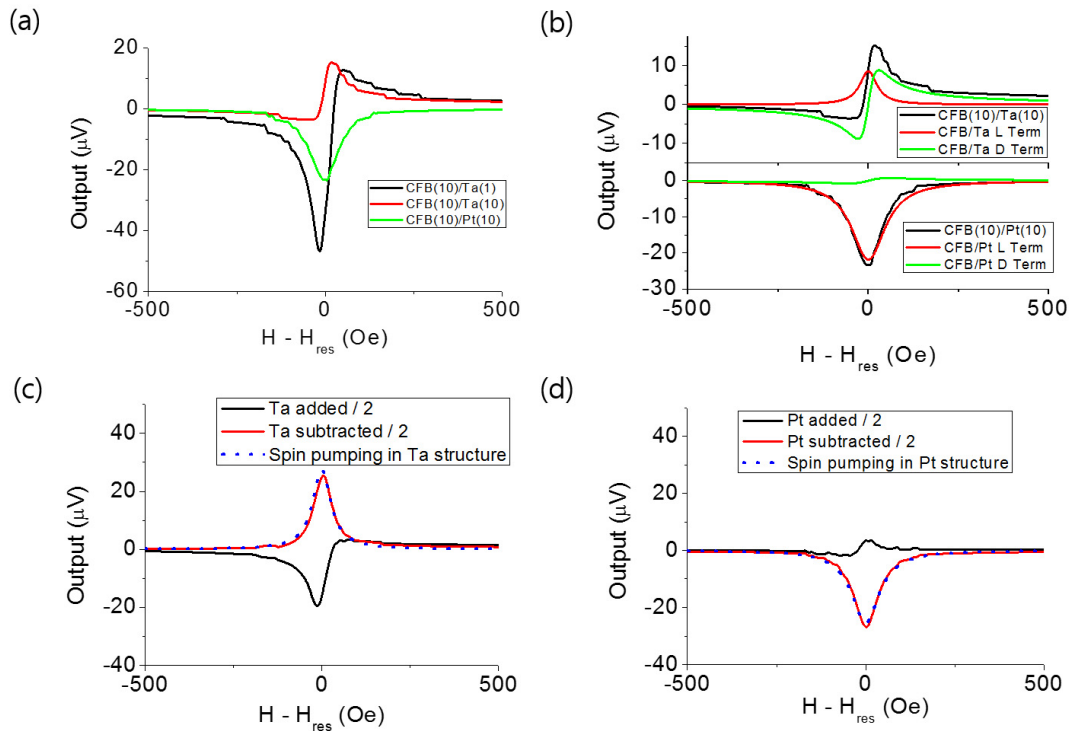
강자기공명현상(Ferromagnetic Resonance, FMR)은 강자성체의 세차진동수와 외부 교류 자기장의 진동수가 일치하여 공명이 발생하는 현상을 말한다. 공명하는 강자성층에는 마그논(스핀파동)이 생성되며 비자성층이 인접해있는 경우에는 이 마그논이 비자성층으로 주입(펌핑) 되게 된다. 이러한 스핀 전류의 주입은 강한 스핀-오빗 계수를 갖는 Pt이나 Ta과 같은 전극을 사용하여 Inverse Spin Hall Effect(ISHE)에 의해 전압으로 측정이 되는데 이러한 측정을 하는 것을 Spin Pumping 실험이라 한다. 이러한 Spin Pumping에 의해 얻을 수 있는 정보 들로는 Spin Mixing Conductance, Damping Constant, Spin Hall Angle 등의 정보가 있다. 이상적으로 Spin pumping만 존재한다면 전압은 오직 ISHE에 의한 전압만 측정되게 되고 이는 Resonance Field 중심으로 로렌츠 모양의 곡선[1]으로 나타나야 한다. 그러나 최근 Ferromagnetic Metal System에서의 실험결과에서 비대칭적인 신호가 존재한다는 것이 알려졌다. 이는 Anomalous Hall Effect (AHE) [1] 혹은 Anisotropic Magnetoresistance (AMR) [2,3]에 의해 발생한다고 언급되고 있으나 현재까지는 명확한 규명이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, Ferromagnetic Metal (FM)/Nonmagnetic Metal (NM) Bilayer System 에서는 ISHE 신호에, 이러한 비대칭적인 신호가 같이 혼재하게 되는 현상이 최근 발견되어 정확한 정보를 얻는데 어려움을 겪고 있다. 이와 같은 문제점을 고찰하기 위해, 본 연구에서는 CoFeB/NM System에서의 강자기공명현상 특성이 조사되어졌다. 실험 결과, 구조적인 순서변화에 따른 신호의 가감을 통해 Ta처럼 비교적 높은 저항을 가지는 물질의 Bilayer 구조에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 없을 정도로 컸으며, Pt처럼 비교적 낮은 저항을 가지는 물질에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 있을 정도로 작음을 확인할 수 있었다. 또한 자료 분석을 통해서 대칭/비대칭적인 기여를 구분하고, 이 정보들로 얻은 순수한 Spin Pumping에 의한 신호를 구조순서 변화에 대한 신호들을 빼주었을 때의 결과와 비교함으로써 두 방법으로 분석한 결과가 서로 잘 일치함을 확인 할 수 있었다.

2. 실험방법

본 실험은 UHV Sputtering System을 이용하여 Si/SiO₂(200nm) 기판위에 Co₃₂Fe₄₈B₂₀(10nm) /NM(10nm), NM(10)/CoFeB(10)/Ta(1), CoFeB(10)/Ta(1)의 구조를 가지도록 증착하였다. Ta(1)는 CoFeB의 산화를 막기 위해 증착되어졌고 NM 층은 저항차이가 크게 나는 Ta와 Pt를 사용하였다. 자기적 특성 측정을 위한 Sample의 구조는 Photolithography 및 Ion Milling etching을 통해 제작되었다. Sample을 만든 후에는 원통형 공명기 내에 넣고 공명주파수에 해당하는 교류자기장을 인가함에 따라 스핀의 공명현상이 일어나게 하였고, 이에 따른 반사율과 전압을 측정함으로써 각각 자기공명 흡수 신호와 공명이 일어났을 때의 전압을 측정하였다

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)에서 보면 저항이 작은 Pt을 전극으로 가진 Bilayer 같은 경우에는 비대칭적인 신호의 기여가 적은 것을 확인 할 수 있었고 이 때문에 전압을 측정하면 Spin Pumping 신호인 로렌츠 모양의 곡선을 잘 보임을 확인할 수 있다. 반면에 저항이 큰 Ta 전극의 Bilayer의 경우에는 비대칭적인 신호의 기여가 매우 큼을 확인할 수 있었고 이에 의해 스핀주입 신호인 로렌츠 모양의 곡선이 묻혀버리게 되어 신호가 섞여 있는 현상을 발견할 수 있었다. 이를 구별하기 위해 단순히 위, 아래의 적층순서를 바꾸어 주어서 간단하게 이들 신호를 구분하려고 했고, 이들 구조에서 나온 신호의 차이를 구하여 비대칭적인 신호를 제거하고 순수한 대칭의 Spin Pumping 신호를 얻을 수 있었다(그림 1(c, d)). 이러한 방법으로 구한 spin pumping 신호를 비교하기 위해서 또 다른 분석 방법으로 처음 신호에서 CoFeB의 기여를 제거하여 spin pumping 신호를 구하였다. 두 방법으로 분석한 결과가 서로 잘 일치함을 확인 할 수 있었고, 이로 인해 spin pumping 신호를 분석하는데 전극의 저항에 따라서 자성물질에서 발생하는 추가적인 신호를 필수적으로 고려를 해 주어야 한다는 결론을 얻었다.



[Fig 1] (a) Voltage comparison of three different structures. (b) Lorentz Term and Dispersive Term of CoFeB/Ta (top panel) and CoFeB/Pt (bottom panel). (c) Added and subtracted voltage vs. spin pumping signal in a Ta system. (d) Added and subtracted voltage vs. spin pumping signal in a Pt system.

4. 참고문헌

- [1] S. Isogami *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 063004 (2013).
- [2] A. Azevedo *et al.*, Phys. Rev. B **83**, 144402 (2011).
- [3] J. C. Rojas-Sanchez *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 064403 (2013).

Large Asymmetric Behavior of the Spin Pumping in High Resistive Materials

김동준^{1*}, 이경동¹, 박병국¹, 김상일², 박승영²

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

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

1. 서론

강자기공명현상(Ferromagnetic Resonance, FMR)은 강자성체의 세차진동수와 외부 교류 자기장의 진동수가 일치하여 공명이 발생하는 현상을 말한다. 공명하는 강자성층에는 마그논(스핀파동)이 생성되며 비자성층이 인접해있는 경우에는 이 마그논이 비자성층으로 주입(펌핑) 되게 된다. 이러한 스핀 전류의 주입은 강한 스핀-오빗 계수를 갖는 Pt이나 Ta과 같은 전극을 사용하여 Inverse Spin Hall Effect(ISHE)에 의해 전압으로 측정이 되는데 이러한 측정을 하는 것을 Spin Pumping 실험이라 한다. 이러한 Spin Pumping에 의해 얻을 수 있는 정보 들로는 Spin Mixing Conductance, Damping Constant, Spin Hall Angle 등의 정보가 있다. 이상적으로 Spin pumping만 존재한다면 전압은 오직 ISHE에 의한 전압만 측정되게 되고 이는 Resonance Field 중심으로 로렌츠 모양의 곡선[1]으로 나타나게 된다. 그러나 최근 Ferromagnetic Metal System에서 비대칭적인 신호가 존재한다는 것이 알려졌다. 이는 Anomalous Hall Effect (AHE) [1] 혹은 Anisotropic Magnetoresistance (AMR) [2,3]에 의해 발생한다고 언급되고 있으나 확실한 답은 아직 모르는 상황이다. 특히, Ferromagnetic Metal (FM)/Nonmagnetic Metal (NM) Bilayer System 에서 ISHE 신호에, 이러한 비대칭적인 신호가 같이 혼재하게 되는 현상이 최근 발견되어서 원하는 정보를 얻는데 어려움을 겪고 있는 상황이다. 이런 문제점을 해결하기 위해 우리는 CoFeB/NM System에서 강자기공명현상 특성을 조사하였다. 구조적인 순서를 바꾸어서 얻은 신호를 가감함으로써, Ta 같은 높은 저항을 가지는 물질의 Bilayer에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 없을 정도로 크고, Pt 같은 낮은 저항을 가지는 물질의 Bilayer에서는 비대칭적인 신호의 기여가 무시할 수 있을 정도로 작음을 확인할 수 있었다. 또한 자료 분석을 통해서 대칭적인 기여와 비대칭적인 기여를 구분하고 이 정보들로 순수한 Spin Pumping에 의한 신호를 얻는 방법을 보이고 구조 순서 변화에 대한 신호들을 빼주었을 때와 비교함으로써 실험결과가 이론과 잘 맞음을 확인할 수 있었다.

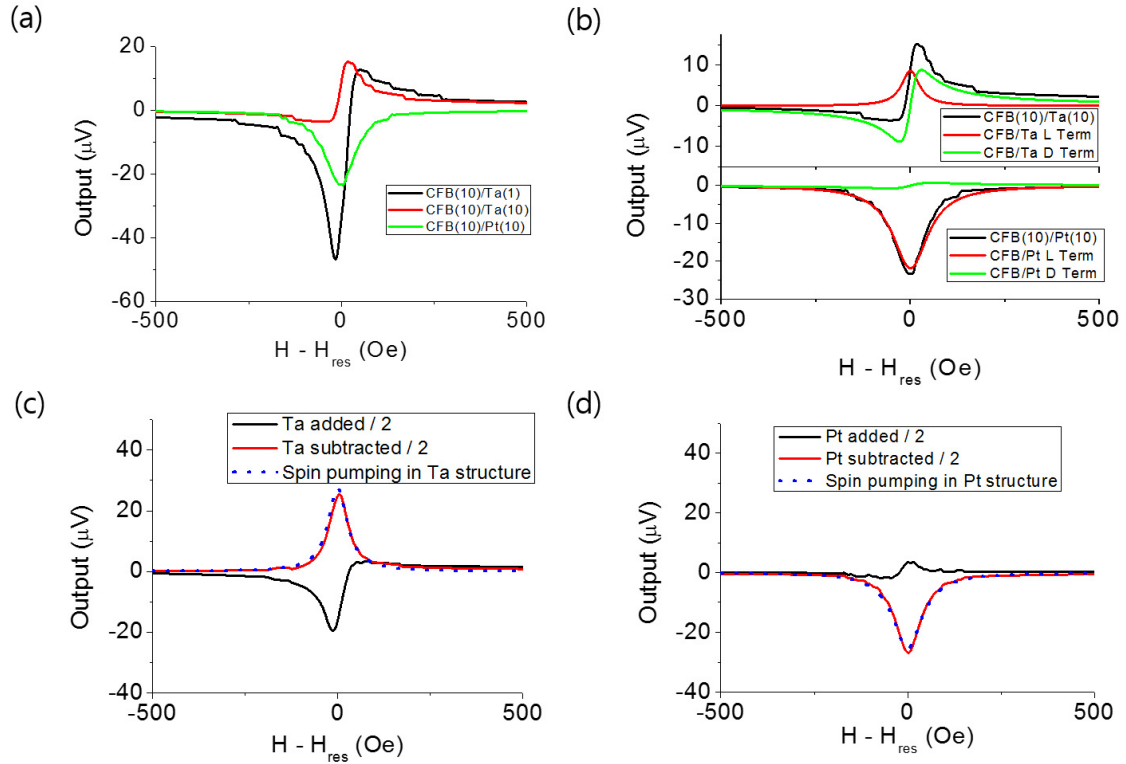
2. 실험방법

이 실험에 쓰인 시편은 200 nm의 열적으로 산화된 SiO₂를 가진 Si 기판을 사용하였고 그 위의 구조는 UHV Sputtering System을 이용해서 증착을 진행하였다. 실험에서 쓰인 구조는 Co₃₂Fe₄₈B₂₀(10nm)/NM(10nm), NM(10)/CoFeB(10)/Ta(1), CoFeB(10)/Ta(1)의 구조를 사용했다. Ta(1)는 CoFeB의 산화를 막기 위해 증착되어졌고 NM 층은 저항차이가 크게 나는 Ta와 Pt를 사용하였다. 구조를 만들기 위해서는 Photolithography, 그 후 Ion Miller로 식각을 함으로써 구조를 만들었다. Sample을 만든 후 원통형 공명기 내에 공명주파수에 해당하는 교류자기장을 인가함으로써 스핀의 공명현상이 일어나게 만들어 주었고 이를 반사율과 전압을 측정함으로써 각각 자기공명 흡수 신호와 공명이 일어났을 때의 전압을 얻을 수 있었다.

3. 실험결과 및 고찰

Pt 같은 저항이 작은 물질이 증착 되어있는 Bilayer 같은 경우에는 비대칭적인 신호의 기여가 적은 것을 확인할 수 있었고 이 때문에 전압을 측정하면 Spin Pumping 신호인 로렌츠 모양의 곡선을 잘 보임을 확인할

수 있다. Ta같은 저항이 큰 물질이 증착 되어있는 Bilayer의 경우에는 비대칭적인 신호의 기여가 매우 큼을 확인할 수 있었고 이에 의해 스핀주입 신호인 로렌츠 모양의 곡선이 묻혀버리게 되어 신호가 섞여 있는 현상을 발견할 수 있었다. 이를 구별하기 위해 단순히 위, 아래의 적층순서를 바꾸어 주어서 간단하게 이들 신호를 구분하려고 했고, 예상처럼 이들 구조에서 나온 신호를 각각 더하였을 때는 비대칭적인 모양의 신호를, 그리고 빼주었을 때 Spin Pumping 신호를 얻을 수 있었다. 이러한 신호와 자료 분석을 통해서 얻은 순수한 Spin Pumping 성분을 구해서 비교를 하여 아래에 첨부하였다. 이 순수한 Spin Pumping 신호는 Lorentz 성분과 Dispersive 성분을 나누어 준 후 Reference와의 비교를 통해 구해졌다. 이로 인해 Data가 서로 잘 일치함을 확인할 수 있고 추가로 최근의 연구에서 잘 알려진 것처럼 Ta와 Pt의 경우에서 각각 Spin Hall Angle이 각각 부호가 반대임을 확인할 수 있었다[4]. 이로 인해 우리들의 해석이 합당함을 간접적으로 증명할 수 있었다.



[Fig 1] (a) Voltage comparison of three different structures. (b) Lorentz Term and Dispersive Term of CoFeB/Ta (top panel) and CoFeB/Pt. (bottom panel) (c) Added and subtracted voltage vs. spin pumping signal in a Ta system. (d) Added and subtracted voltage vs. spin pumping signal in a Pt System.

4. 참고문헌

- [1] S. Isogami *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 063004 (2013).
- [2] A. Azevedo *et al.*, Phys. Rev. B **83**, 144402 (2011).
- [3] J. C. Rojas-Sanchez *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 064403 (2013).
- [4] H. L. Wang *et al.*, arXiv:1307.2648

Theoretical limit of $(BH)_{\max}$ for hexagonal strontium ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) permanent magnet

Jihoon Park^{1*}, Yang-Ki Hong¹, Jaejin Lee¹, Woncheol Lee¹, Kang-Heon Hur², and Sung-Yong An²

¹*Department of Electrical and Computer Engineering and MINT Center, The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama 35487, USA*

²*Corporate R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd., Suwon-si, Gyeonggi-Do 443-743, South Korea*

The density functional theory (DFT) and generalized gradient approximation with Coulomb and exchange interaction effects (GGA+ U) were used to calculate the electronic structure of hexagonal strontium ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). Since the calculated magnetic moments and energies are stable for $U_{\text{eff}} = 7$ eV, the exchange integrals were used to calculate the temperature dependence of magnetic moments $M(T)$ for the five sublattices ($2a$, $2b$, $12k$, $4f_1$, and $4f_2$) based on the Brillouin functions. The $M(T)$ of the five sublattices are inter-related to the nearest neighbors, where the spins are mostly anti-ferromagnetically coupled. The sublattice $M(T)$ were used to obtain total $M(T)$, which is in good agreement with the experimental $M(T)$. The temperature dependence of maximum energy product ($(BH)_{\max}(T)$) was then calculated using the calculated $M(T)$. The calculated $(BH)_{\max}$ value of 5.9 MGOe at 300 K is higher than the experimental value of 4.8 MGOe at room temperature.

Magnetic vortex dynamics with interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction

문정환^{1*}, 이경진^{1,2}

¹Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul, Korea

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

Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) is the asymmetric exchange interaction caused by combined effects of inversion symmetry breaking and spin-orbit coupling [1,2]. The effective magnetic field induced by the interfacial DMI is

$$H_{DM} = -\frac{2D}{M_s} \left(\hat{y} \times \frac{\partial \mathbf{m}}{\partial x} - \hat{x} \times \frac{\partial \mathbf{m}}{\partial y} \right),$$

where D is the DM energy density, M_s is the saturation magnetization, and z is the direction of inversion asymmetry.

Vortex dynamics was investigated by solving Landau-Lifshitz-Gilbert equation with an effective DM field. We assumed a Permalloy disk with the diameter of 270 nm and the thickness of 20 nm, discretized by the unit cells of $2 \times 2 \times 20 \text{ nm}^3$. Standard material parameters of Permalloy were used. An external a.c. magnetic field was applied to excite a vortex.

Figure 1 shows the equilibrium magnetization state with or without DMI. When assuming DMI, the equilibrium magnetization texture near a vortex core is distorted as shown in Fig.1(b) and ©.

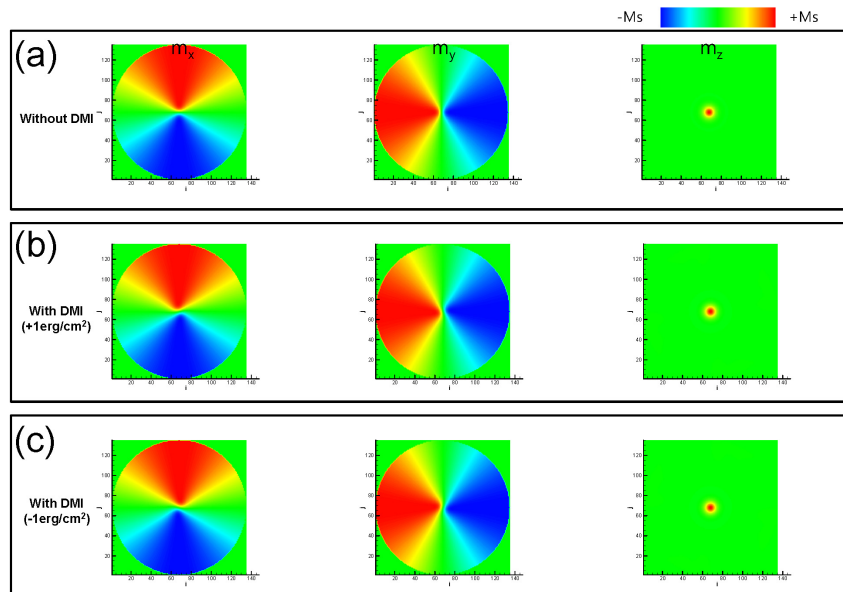
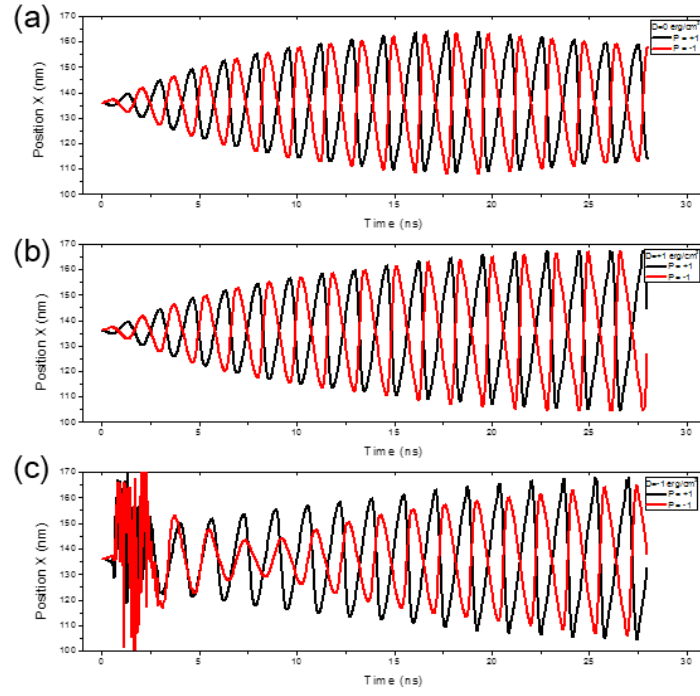


Figure 2 shows the x-position of a vortex core under external a.c. magnetic field when chirality is fixed to clockwise direction. With or without DM interaction (Fig. 2(a)), a core shows gyrotropic motion when excited. However, as shown in Fig. 2(b)-(c), initial responses of a vortex are very different depending on the sign of DM. Interfacial DM interaction favors one type of chirality, thus vortex which has unfavored chirality changes its chirality in the beginning of excitation (Fig. 2(c)). Further study such as resonance frequency and core reversal will be discussed in detail.



References

- [1] I. E. Dzyaloshinskii, Sov. Phys. JETP 5, 1259 (1957).
- [2] T. Moriya, Phys. Rev. 120, 91 (1960).

Pt₃M(M=Co,Fe)표면에서 O₂흡착과 자성의 상관관계: 밀도범함수 이론

권오룡*, 홍순철

울산대학교, 물리학과

본 연구에서는 PEMFC의 공기극(cathode)에서 Pt 촉매를 대신하여 강자성물질인 Co, Fe과 Pt가 합금으로 이루어진 Pt₃M(M=Co,Fe)합금에 대하여 연구하였다. 제일원리 계산방법으로 VASP(Vienna Ab-initio Simulation Package)을 이용하였으며 Pt에 대표적인 강자성물질인 Co, Fe이 합금에 첨가가 됨에 따라 어떠한 자성상태가 안정한지를 총 에너지 계산을 통하여 확인하였다. Pt₃M (M=Co, Fe)은 각각 강자성 상태가 안정하였고 segregated된 표면과 non segregated 표면으로 구성된 Pt₃M(111)고려하여 보면 각각 -0.593 eV, -0.397 eV 차로 segregated 표면이 non segregated 표면에 비해 안정하였다. 이 계산을 바탕으로 표면에서 O₂흡착에 따른 표면의 자성변화를 비교하였다. 그리고 DOS(Density Of States)그림을 통하여 O₂흡착에 따라 Pt₃M합금의 각각 원자의 orbital 상태가 표면의 어떠한 자성 변화를 미치는 지를 분석하였다.

Pinning potential of a perpendicular magnetic domain wall due to a point defect

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

Dynamics of a magnetic domain wall in perpendicularly magnetized nanowires is of considerable interest due to its rich physics and potential for applications [1]. Perpendicular magnetic layers usually have lots of point defects where the magnetic properties would be different from their original values. Such point defects generate pinning potentials for a domain wall. It can result in relatively high depinning field that is important to understand domain wall creep phenomena and steady domain wall motion [2, 3].

In this work, we investigate the effect of a point defect on pinning potential for a perpendicular magnetic domain wall based on Nudged Elastic Band (NEB) method [4, 5]. It allows us to estimate the strength of the pinning potential and its dependence on various magnetic and geometrical properties.

2. Modeling Scheme

In Ref. [4], the authors reported a way to calculate minimum energy paths, called NEB method. This method allows to calculate the energy barrier between two local energy minima. We use Walker's ansatz [6] with varying the domain wall center position as the initial path. The final and equilibrium energy minimum path is obtained by minimizing the gradient of the energy.

We use the following parameters for numerical simulation: the perpendicular magnetic anisotropy density K_u is 10^7 erg/cm³, the exchange stiffness constant is 10^{-6} erg/cm, the saturation magnetization is 1200 emu/cm³, and the wire thickness is 1.2 nm. We place a point defect with the size of 1 nm in diameter at the center of nanowire. We vary the magnetic anisotropy at the point defect (K_{defect}) from 0 to 0.75 K_u and vary the width of the nanowire.

3. Result and Discussion

Figure 1(a) shows the energy (normalized by the thermal energy at room temperature) as a function of the average z component of magnetization ($\langle M_z \rangle$). An energy minimum is obtained at $\langle M_z \rangle = 0$, corresponding to that the domain wall is on the point defect. Two energy maxima are obtained on both sides of the local energy minimum. The difference between the energy maximum and minimum gives the pinning potential due to the point defect. Figure 1(b) shows effect of K_{defect} on the energy profile. The pinning potential as a function of K_{defect} is summarized in Fig. 1(c). When K_{defect} is zero (thus, the difference of the magnetic anisotropy from other region is K_u), the largest pinning potential is obtained. It is about 0.1 $k_B T$, corresponding to 4.4 ferg that is quite small. We attribute this small pinning potential to a small effective magnetic anisotropy ($= K_u - 2pM_s \sim 9.5 \times 10^5$ erg/cm³), resulting in the domain wall width of 10 nm, which is much larger than the size of a point defect. However, we expect that the pinning potential would increase as K_u increases because the domain width decreases.

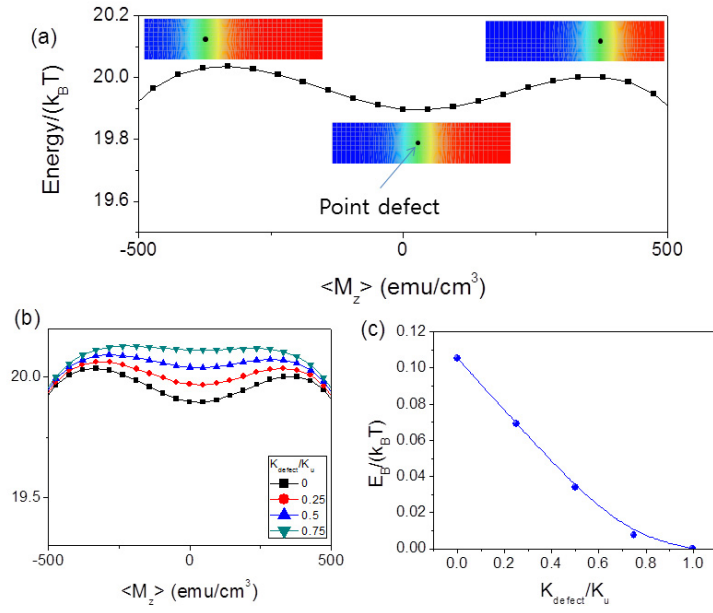


Fig. 1. (a) Pinning potential due to a point defect with $K_{\text{defect}} = 0$. (b) Pinning potential profile as a function of K_{defect} . (c) Pinning potential versus K_{defect} .

4. Summary

We investigate effect of a point defect on the pinning potential for a perpendicular magnetic domain wall based on the NEB method. We find that this method can give a reasonable value for the pinning potential and allows us to study the effect of various geometrical and magnetic properties on the pinning potential. In the presentation, we will discuss the effect of K_u and wire width on the pinning potential in detail.

5. Acknowledgments

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

6. References

- [1] G.S.D. Beach, M. Tsoi, and J.L. Erskine, J. Magn. Magn. Mater. 320, 1272 (2008).
- [2] K.-J. Kim et al., Nature 458, 740 (2009).
- [3] J. Ryu, S.-B. Choe, and H.-W. Lee, Phys. Rev. B 84, 075469 (2011).
- [4] G. Henkelman, B.P. Uberuaga, and H. Jonsson, J. Chem. Phys. 113, 9901 (2000).
- [5] R. Dittrich, T. Schrefl, H. Forster, D. Suess, W. Scholz, and J. Fidler, IEEE Trans. Magn. 39, 2839 (2003).
- [6] N.L. Schryer and L.R. Walker, J. Appl. Phys. 45, 5406 (1974).

Control of domain wall motion by interference of spin wave

Kyoung-Woong Moon^{*}, Byong Sun Chun, Wondong Kim, and Chanyong Hwang[†]

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

We propose a method to control the motions of magnetic domain walls using the interference phenomenon of the spin wave [1]. Through micromagnetic simulations, it is found that when the distances between two neighboring walls are integer multiples of half wavelengths of the spin wave, the transmission coefficients of the spin wave are local maxima. This interference effect provides a new method for controlling the spin-wave induced domain-wall motion, not only the speed of the domain wall motion but also its moving direction. In addition, tuning the distance of walls, we can find the direct relationship between the domain-wall velocity and the transmission coefficient, a crucial parameter of the spin-wave-induced domain-wall motions.

Reference

- [1] K.-W. Moon, B. S. Chun, W. Kim, and C. Hwang, *J. Appl. Phys.* **114**, 123908 (2013).

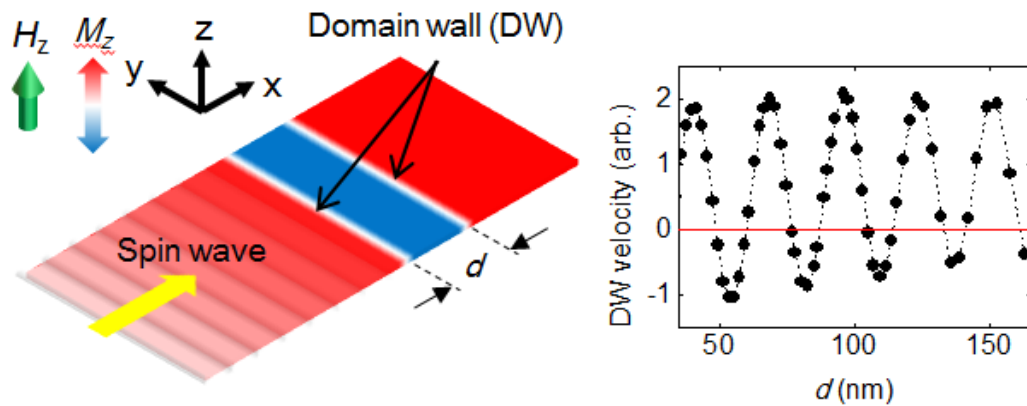


FIG. 1 A schematic diagram of the double domain walls state for simulations (left). Domain wall velocities as a function of the domain walls distances (right). The velocity exhibits an oscillating behavior.

Magnetic Anisotropy in [Pt/Co₅Ni₅] multilayers structure

Young Chan Won^{1*}, 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

Perpendicular magnetic anisotropy base magnetic tunnel junctions(p-MTJ) have attracted a lot of research interests. Because they have several advantages to realize high density magnetic random access memory(MRAM) over in-plane MTJ. Many perpendicular magnetic anisotropy(PMA) systems have researched, for examples, [Co/Pt]_n multilayers, [Co/Pd]_n multilayers, *Ll*₀ compounds(CoPt, FePt). Particularly, [Co/NM]_n multilayers structure is a promising candidate because of a controllable saturation magnetization(*M_s*) and a high anisotropy energy density. In order to make a commercial MRAM, however, a low switching current is needed for a low power consumption, in this reason, low *M_s* should be satisfied. In this respect, CoNi which has a low *M_s* is considered in this study.

The structure of Ta / Pt / Ru / [Co₅Ni₅(*t*_{CoNi})/Pt(*t*_{Pt})]₆ / Ru was fabricated on a Si/SiO₂ substrate using a DC magnetron sputtering system. The base pressure was 7×10⁻⁸ Torr while working pressure was fixed at 2×10⁻³ Torr. Post annealing was conducted in various temperature 300°C~500°C and magnetic properties were measured by a vibrating sample magnetometer.

It is well-known that PMA comes from the surface between top Co layer and bottom Pt layer, and recently many multilayers structures have a thinner Pt layer than a Co layer.[1] As shown in figure 1, however, only samples containing a thick Pt layer show PMA, though a thin Pt layer is favorable for a strong PMA. In figure 2, thick Pt and Co layer show PMA after annealing over 400°C, however PMA of [0.5 nm/ 0.5 nm]₆ structure disappeared after post annealing at 500°C In terms of *M_s*, post annealing at 500°C reduced the values of *M_s* especially for thin Co layer samples.

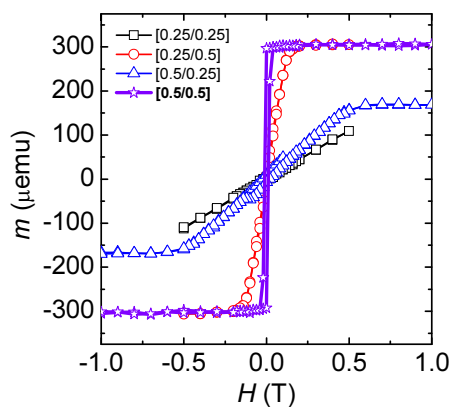


Figure 1. Hysteresis loop of out of plane for [Pt/CoNi]₆ structure before post annealing

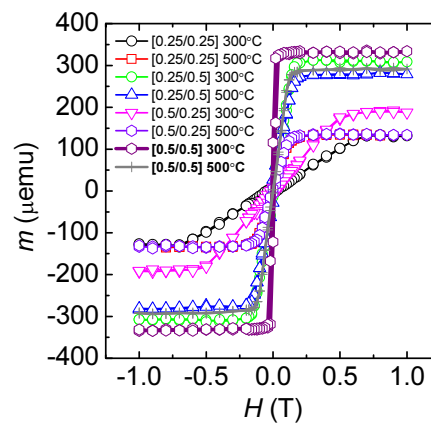


Figure 2. Hysteresis loop of out of plane for [Pt/CoNi]₆ structure after post annealing

References

- [1] T. Y. Lee *et al.*, J. Appl. Phys. **113**, 216102 (2013)

Control of the shape and size of soft magnetic nanoparticles with three-dimensional vortex structure

Prasanta Dhak^{1*}, Jae-Hyeok Lee¹, Ha-Youn Lee¹, Min-Kwan Kim¹, Kyung-Suk Jin²,
Ki-Tae Nam², and Sang-Koog Kim^{1†}

¹ 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

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

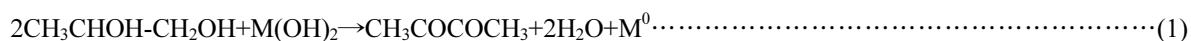
† Corresponding author: sangkoog@snu.ac.kr

1. Introduction

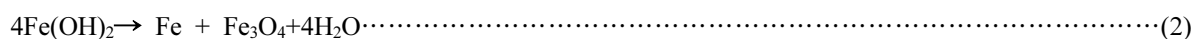
Magnetic nanoparticles currently are of interest for their bio applications, which include magnetic resonance imaging, targeted drug delivery, cell separation, immunoassay, and hyperthermic treatment of malignant cells [1-4]. Magnetic nanoparticles' unique properties can be achieved by means of the control of their shape, size and distribution. However, such nanoparticles' intrinsically low saturation magnetization values, which require relatively high magnetic fields, makes their use in clinical settings highly problematic. A new type of magnetic material, therefore, is required. Soft magnetic nanoparticles of high saturation magnetization but negligible interaction represent one possible alternative in this regard.

2. Experimental method

In the present study, we have synthesized spherical shaped, homogeneous Ni₈₀Fe₂₀ nanoparticles with controlled size using polyol process. The Ni - Fe NPs were synthesized by reduction from Fe and Ni precursors dissolved in propylene glycol (PG) at an optimized pH and temperature. In this method, PG was used as polyol solvent. Even though it is known that the solvents itself have little reduction ability but it change into propanol during heating and at designed temperature, metal salts can be reduced in the redox reaction by the modified solvent.



In the reaction process, disproportion of iron hydroxide required since polyols are too weak to reduce Fe ions whereas Ni reduction occurred easily because of thermodynamic preference. However, disproportionation of ferrous hydroxide happens in reaction according to equation 2 and Fe particles produced even though iron is too electropositive to be reduced by polyols.



The synthesized magnetic nanoparticles were then characterized by XRD, TEM and FESEM to study the

phase purity, shape, size and structural assemblies. As permalloy nanoparticles are highly magnetic and tend to be agglomerated easily, it is therefore, dispersed in water, followed by sonication for long time before sample preparation for TEM and FESEM measurement. Partially dispersed solution was then loaded by drop-casting on TEM grid and Si wafer, kept on a rare earth magnet and dried at room temperature. Next, the micromagnetic simulation was carried out using FEMME (version 5.0.8) to study the intermediate assemblies of the magnetic nanoparticles in terms of the magnetic interaction energy.

3. Result and Conclusion

In this presentation we report the successful synthesis of monodisperse 100 - 300 nm diameter permalloy (Py) nanoparticles of a unique spin configuration (i.e. vortex state). In the present study, the distributions of synthesized Py nanoparticles on a silicon (Si) wafer were investigated. Some specific trends were found on combination of permalloy particles depending on the number of assembled particles. Our statistical analysis revealed a clear order of priority among a rich variety of geometrical configurations of the primary vortex-state particles. These results will provide valuable insights into the interplay between nanoparticles' distributions and magnetic interaction in the unique three-dimensional vortex state.

4. References

- [1] Wu, P. G.; Zhu, J. H.; Xu, Z. H. *Adv. Funct. Mater.* 2004, 4, 345.
- [2] Lu, A. H.; Salabas, E. L.; Schuth, F. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2007, 46, 1222.
- [3] Zhang, Y.; Kohler, N.; Zhang, M. *Biomaterials.* 2002, 23, 1553.
- [4] Gupta, A. K.; Gupta, M. *Biomaterials.* 2005, 26, 3995.
- [5] This work was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (Grant No. 2013003460).

Interacting magnetic nanoparticles of three dimensional magnetic vortex in geometrically different configurations

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

¹ 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

² Department 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).

니켈 나노튜브의 FMR 선폭 변화 특성

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

1. 서론

음의 굴절률을 갖는 메타소재는 인공 구조물로 제작하여 마이크로파 대역에서 그 특성을 확인하였다. 그러나 이러한 소재는 손실이 크고 대역폭이 좁아 상용 제품에 적용하기 어려운 큰 단점들이 있다. 손실 및 대역폭의 문제는 인공 구조물에 사용하는 구리막의 두께 및 투자율 조절을 위한 링 구조물의 공진 특성에 기인한다. 따라서 대역폭 및 손실을 감소시키기 위하여 자성 나노 입자를 이용한 나노복합메타 재료에 대한 연구가 진행되고 있다[1]. 음의 투자율 특성이 우수한 나노복합메타 재료를 개발하기 위하여 skin depth 이하의 크기를 갖는 박막 재료가 요구된다. 구형의 나노입자는 형상이방성 상수가 커 투자율 값이 작고, 감쇠상수가 크다. 그러나 투자율 값이 크고, 감쇠상수가 작은 박막 재료는 대량 제조가 매우 어렵다. 따라서 형상이방성 상수가 작은 박막 재료와 유사한 자성 특성을 갖는 자성 나노튜브의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 전기도금법으로 니켈 두께가 다른 니켈 나노 튜브를 제작하였으며, 이들 재료에서 강자성공명 신호의 선폭(ΔH_{pp}) 변화 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

니켈 도금 용액 안에 직경이 400 nm인 porous array를 갖는 polycarbonate membrane을 넣은 후, 전기 도금 방법으로 니켈 나노 튜브를 제작하였다. 이때 도금되는 전하량을 조절하여 니켈 나노 튜브의 니켈 두께를 조정하였다. 제작된 시편은 FE-SEM을 사용하여 구조 및 성분을 분석하였으며, VSM을 이용하여 자화 곡선을 측정하였다. 또한 강자성 공명 신호(FMR signal)는 FMR 측정 장치인 Bruker Xepr을 사용하여 9.84 GHz (X-band)의 주파수에서 측정하였다. 측정된 강자성 공명 신호로부터 강자성공명 자기장(H_{res}) 및 선폭(ΔH_{pp})을 도출하였다 [2].

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 전기도금법으로 제조한 니켈 나노튜브의 FE-SEM 사진을 보인다. 나노 튜브에서 니켈의 두께 $d_{Ni} = 10, 20, 30, 50, 100, 160, 185$ nm 이다. 여기서 $d_{Ni} = 185$ nm인 재료는 니켈이 튜브 안을 꽉 채운 모양이며, 니켈 나노 와이어의 형태임을 확인하였다. 이들 재료에 대하여 FMR 신호를 측정하여 ΔH_{pp} 를 도출하였으며, 니켈의 두께에 따른 ΔH_{pp} 의 특성은 Fig.2에서 보인 것과 같다. 니켈의 두께가 40 nm 이하에서는 ΔH_{pp} 가 약 700 Oe의 값을 보이며, 40 nm 이상에서는 약 1400 Oe의 값을 보인다. 자성나노 튜브에서 튜브의 두께가 증가하면 내부 스핀들의 정렬상태가 C-state에 B-state로 변화된다[3]. 이러한 스핀 상태의 변화는 ΔH_{pp} 의 변화를 반영한다. 따

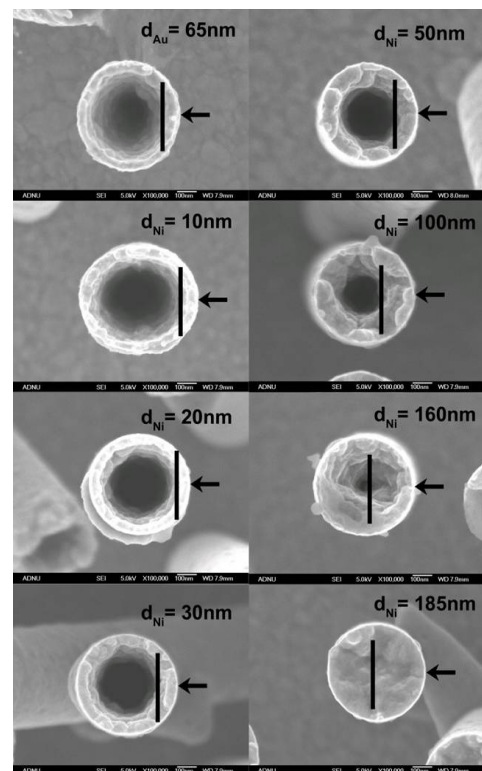


Fig. 1. FE-SEM images of 400 nm Ni nanotubes with various Ni thickness

라서 니켈 나노튜브에서도 니켈의 두께가 증가하면 니켈 내부의 스핀들이 C-state에 B-state로 변화되는 것으로 보인다. 스핀 상태의 변화는 ΔH_{pp} 의 변화를 반영한다.

자성 재료의 음의 투자율 특성은 감쇠상수와 관련되며, 감쇠 상수가 작아야 음의 투자율 특성 조절이 용이하다. 니켈 나노 튜브의 경우 니켈의 두께를 40 nm이하로 제조할 경우 감쇠 상수가 작아진다. 따라서 본 연구에 제조한 40 nm이하의 니켈 나노튜브는 마이크로파 대역에서 음의 투자율이 크고, 감쇠가 작아서 나노복합메타 재료에 응용이 가능함을 보인다.

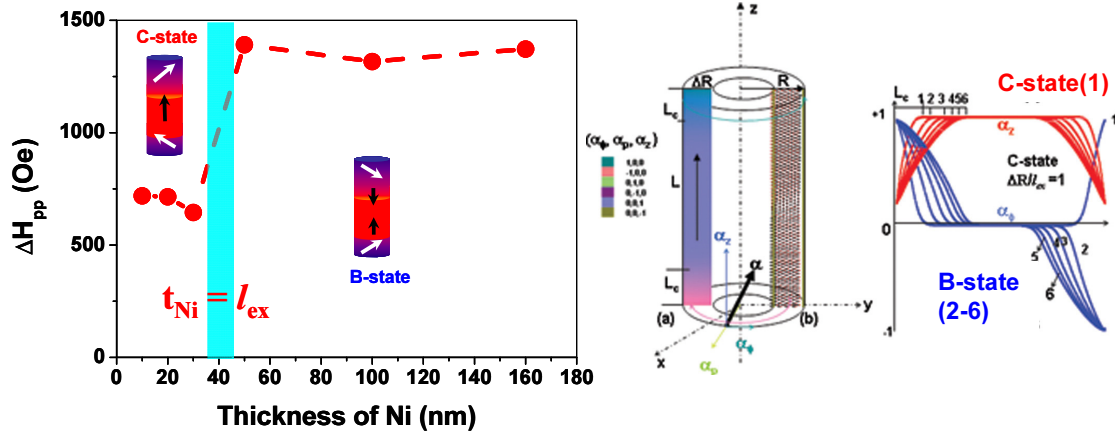


Fig. 2. Ni thickness dependence of ΔH_{pp} in Ni nanotube.

4. 감사의 글

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구임(No. 2011-0004649).

5. 참고문헌

- [1] R. X. Wu, J. Appl. Phys, **97**, 076105 (2005)
- [2] S. Misugami, et. al, Jpn. J. Appl. Phys., **40**, 580 (2001)
- [3] Ai-Ping Chen, et.al, J. Appl. Phys. **109**, 073923 (2011)

Ferromagnetism and photoluminescence of wurtzite ZnS:Ni nanospheres

Chunli Liu^{*}, D. A. Reddy, D. H. Kim, B. W. Lee

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

1. 서론

ZnS has been identified as an excellent host semiconductor for supporting room temperature ferromagnetism when doped with a variety of 3d transition metal ions. The ferromagnetism observed at or above room temperature makes ZnS-based diluted magnetic semiconductors (DMS) promising candidates for spintronic device applications. As compared to cubic ZnS, wurtzite ZnS and related materials could have enhanced optical properties. However, due to the difficulty in stabilizing the wurtzite phase at room temperature, there has been only few reports on wurtzite ZnS DMS nanomaterials. In this work, we report the synthesis of wurtzite Ni doped ZnS nanospheres via a versatile hydrothermal method. The structural, morphological, and magnetic properties will be discussed.

2. 실험방법

In this study Zn_{1-x}Ni_xS (x=0.00-0.05) nanospheres were synthesized using Zn(NO₃)₂·6H₂O, (NH₂)₂CS, and Ni(NO₃)₂·6H₂O as the precursors. All precursor materials were dissolved in a mixed solution of ethylenediamine and DI water and stirred for 2 h. Then the solution was transferred into a Teflon lined autoclave, which was sealed and maintained at 180 °C for 12 h before being cooled to room temperature naturally. The resulting precipitate was washed several times with DI water before dried in air at 100 °C for 4 h, and the final product was ZnS powder with a white-yellow color.

3. 실험결과

The XRD patterns of the as-prepared Zn_{1-x}Ni_xS (x=0.00 ~ 0.05) revealed that the diffraction peaks of all the samples can be perfectly indexed to wurtzite ZnS (ICDD 36-1450). No characteristic diffraction peaks arising from the possible impurity phases such as Zn[EN]S, ZnO and dopant related secondary phases like NiS and NiO etc., were observed, indicating that pure phased wurtzite ZnS:Ni powders were prepared hydrothermally at low temperature (180 °C). The stability of the wurtzite phase ZnS can be attributed to the surface and bonding modulation effect of ethylenediamine.

The surface morphology and elemental analysis of the obtained products were assessed by SEM and EDS. The SEM image in Fig. 1 clearly shows that the samples are comprise of relatively uniform nanospheres and their coarse surfaces are actually formed by many smaller particles around 5 nm. The EDS analysis showed the Zn, S and Ni signal peaks and the approximate atomic ratio was found to be consistent with the designed stoichiometry. Figure 2 presents the room temperature magnetization (M) vs. magnetic field (H) curves of the Zn_{1-x}Ni_xS nanospheres. Although the undoped ZnS was diamagnetic, all Ni doped ZnS showed well-defined ferromagnetic features at room temperature, which could result from the unpaired spins provided by Ni ions. In addition to room temperature ferromagnetism, doping with Ni ions also affected the optical properties of the

host ZnS. With 2 at.% Ni doping, the intensity of photoluminescence (PL) was increased near 50%. On the other hand, doping concentration over 3 at.% quenched the PL intensity.



그림 1 FESEM of ZnS:Ni nanospheres showing that nanospheres are consisted of much smaller nanoparticles.

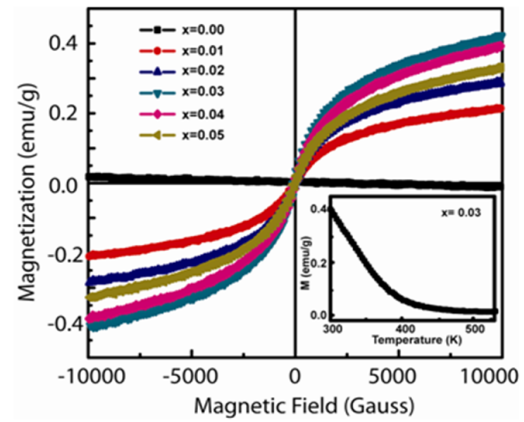


그림 2 M-H curves of ZnS: Ni nanospheres. The inset shows the dependence of magnetization with temperature.

4. 결론

In summary, wurtzite ZnS:Ni nanospheres were successfully prepared through a facile low temperature hydrothermal approach with the assistance of ethylenediamine. The FE-SEM results revealed that the prepared nanospheres are homogeneous, and each nanosphere was composed of nanoparticles around 5 nm. The XRD spectra demonstrated successfully substitution of Ni cations to the Zn site in the ZnS wurtzite structure. Enhanced blue-green emission and room temperature ferromagnetism were observed in the Ni doped samples.

자성나노입자 크기에 따른 DNA 정제 효율 연구

조현아^{1*}, 민지현¹, 우준하², 최영수¹, 장진우¹, 임채승³, 김영근^{1,2}

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

²생체응용나노결정융합연구단, 고려대학교, 서울시 성북구 안암동 5-1, 136-713

³고려대학교 구로병원 의과대학 진단검사의학과, 서울시 구로구 구로2동 80, 152-703

1. 서론

DNA 분리는 DNA sequencing, amplification, hybridization과 같은 다른 과정을 위해 진행되어야 하는 중요한 과정이다.[1] 최근 DNA 분리 방법은 일반적으로 두 가지 종류인 액체상 추출법과 고체상 추출법으로 나누어진다.[2] 고체상 추출법의 경우, 간단한 실험 절차와 낮은 비용, 무해한 물질을 이용해서 추출이 가능하다는 점 때문에 더 많이 이용되고 있다. 특히 자성나노입자를 이용한 고체상 추출법의 경우 많은 장점을 가지고 있기 때문에 이 부분의 연구가 중점적으로 진행되고 있다.[3]

본 연구에서는 다양한 크기를 가지는 나노클러스터 입자를 합성하고 이를 이용하여 DNA 분리 실험 후 효율을 측정하였다. 나노클러스터의 격자구조와 형태, 자기적 특성은 전자투과현미경 (TEM), 시료진동형자기력계 (VSM)를 통해 측정되었다. 또한 DNA 분리 실험 효율의 경우 전기영동분석과 자외선 분광계를 통해 관찰되었다.

2. 실험방법

세 가지의 다른 크기를 가지는 나노클러스터는 Fe 전구체와 아세트산 나트륨, 에틸렌 글리콜, 증류수를 이용하여 수열 폴리올 방법론으로 합성되었다. 얻어진 나노클러스터는 meso - 2,3- dimercaptosuccinic acid (DMSA)로 표면수식 되었다. 나노클러스터의 표면수식은 초음파처리를 통해 이루어진다. 실험이 완료된 용액은 에탄올과 증류수로 수차례 세척과정을 거치게 되고, 표면수식 된 나노클러스터들이 얻어진다. 실험에 사용된 모든 시약은 상업적으로 구매가 가능한 품목들이며 특별한 처리과정 없이 그대로 합성에 사용되었다. 합성된 나노입자는 특성 분석을 위하여 TEM, VSM, FTIR, zeta potential 측정을 거쳤다.

준비된 나노클러스터를 이용하여 DNA 분리실험을 진행하였다. PCR 결과물로 얻어진 DNA를 정제 후, 자성 나노클러스터와 교반시키는 과정을 통해 DNA와 자성 나노클러스터를 결합시켰다. 그 후 버퍼 용액 내에서 배양하는 과정을 통해 DNA와 자성 나노클러스터를 분리시키고 추출된 DNA를 얻었다. DNA의 추출정도를 측정하기 위해 전기영동분석과 자외선 분광계를 측정하였다.

3. 실험결과

TEM 분석 결과 합성된 나노클러스터는 구형에 가까운 형태를 가지며 균일한 크기 분포를 보였다. 세 종류의 나노클러스터의 크기는 각각 30 nm, 53 nm, 102 nm의 크기를 나타냈다. VSM을 통해 얻어진 나노클러스터의 자기적 특성 분석 결과 나노클러스터들은 페리자성 특성을 나타냈다. 또한 나노클러스터의 크기가 증가함에 따라 포화 자화 값이 증가하는 것을 확인하였다.

전기영동분석과 자외선 분광계 측정을 통해 얻은 결과 합성된 나노클러스터의 크기가 증가함에 따라 DNA 분리 실험 효율은 감소하는 것으로 나타났다. 자성 나노클러스터의 양을 32, 64, 128 μg 으로 변화시키며 실험을 진행한 결과, 나노입자의 양을 증가함에 따라 DNA 분리 실험 효율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 고찰

본 연구에서는 크기가 다른 세 가지의 나노클러스터를 합성하였다. 나노클러스터의 형상 및 자기 특성은 측정 실험들을 통해 증명되었고, 나노클러스터의 DNA 분리 효율은 전기영동분석과 자외선 분광계 측정을 통해 확인되었다. 측정 결과 작은 크기의 나노클러스터의 경우 더 큰 DNA 분리 효율을 얻을 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 크기가 다른 세 가지의 나노클러스터를 합성하였고 이를 이용해 DNA 분리 실험을 진행하였다. 각종 실험 장비들을 통한 측정으로 나노클러스터의 특성이 확인되었으며, DNA 분리 효율 측정 결과 작은 크기의 나노클러스터의 경우 DNA 분리 효율이 더 높은 값을 가지는 것을 확인하였다. 이는 작은 나노클러스터일수록 더 큰 비표면적으로 가지고 DNA와 반응할 수 있는 면적이 커지기 때문이라고 예측하는 것이 가능하다. 이러한 현상에 대한 메커니즘은 자성 나노입자와 DNA간의 결합 반응에 대한 연구를 통해 고찰될 필요가 있다.

6. 참고문헌

- [1] S. C. Tan, and B. C. Yiap, J. Biomed. Biotechnol. 2009:574398 (2009).
- [2] R. Shi, Y. Wang, Y. Hu, L. Chen, and Q. H. Wan, J. Chromatogr. A 1216, 6382 (2009).
- [3] S. Y. Lee, C. Y. Ahn, J. Lee, J. H. Lee, and J. H. Chang, Nanoscale Res. Lett. 7:279 (2012).

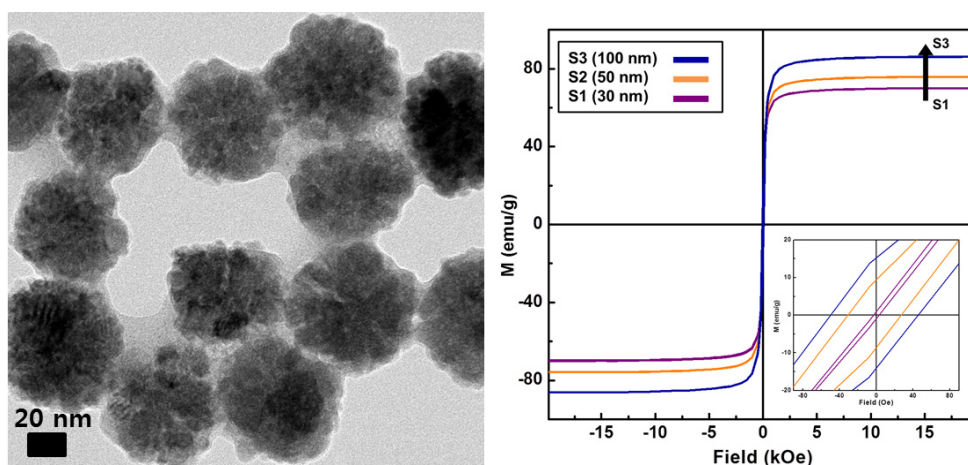


Fig 1. 합성된 나노클러스터 TEM 이미지(左)와 크기에 따른 자성변화 그래프(右)

Observation of helimagnetism in FeGe Nanowires

Dong-Jea Seo^{1,2*}, Tae-Eon Park¹, Byoung-Chul Min¹, Heon-Jin Choi², Joonyeon Chang^{1†}

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

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

* presto@kist.re.kr

We report on the magneto-transport of single crystalline iron monogermanide (FeGe) nanowires (NWs) in order to explore the existence of helimagnetism in nano-scale materials. Transition metal silicides and germanides are reported to have chiral cubic helimagnetism resulted from broken inversion symmetry and the Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interaction. In particular, FeGe is a fascinating material because it is known to have a helical spin order with a relatively long period (700 Å) and high Neel temperature (~ 280 K).[1] Meanwhile, nanowires featured by one-dimensional confinement effect as well as anisotropic structure help to realize helimagnetism in FeGe as a new approach.

Single crystalline FeGe NWs were grown on a sapphire (0001) substrate without any catalyst by the CVD process. The diameter of FeGe NWs decreases from 200nm to 40 nm with H_2 carrier gas ratio, Accordingly, we are able to control composition and structure of the nanowire. As decreasing diameter of FeGe NW, the crystal structure of the nanowire changed from hexagonal to monoclinic structure. The structural characterization reveals that as-grown FeGe NWs of which diameter is 70 nm is monoclinic phase.

Signature of the helimagnetism in the FeGe NWs can be detected by measuring the field dependent longitudinal magnetoresistance (MR). The magnetic transition from the helimagnetic to the conical helimagnetic state occurs at much higher fields (H_c) than that of the bulk FeGe.[2] A significant magnetoresistance of the NWs is still observed at near room temperature indicating the helimagnetism in FeGe NWs is sustained until the temperature. It may be due to the one dimensional confinement effect that plays a major role to stabilize the helimagnetic state in the FeGe NWs.

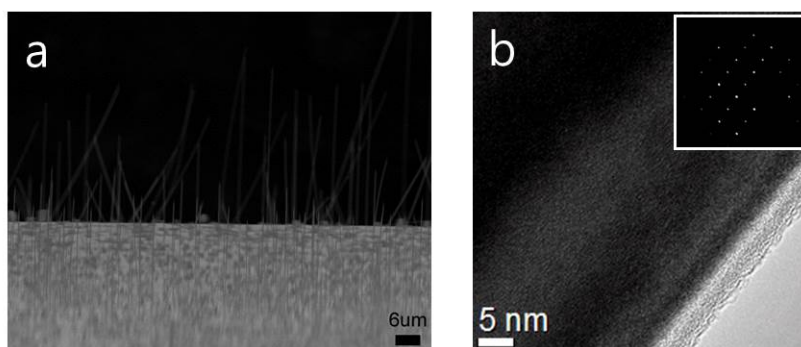


Fig 1. (a) SEM and (b) TEM images of FeGe nanowires synthesized in the study

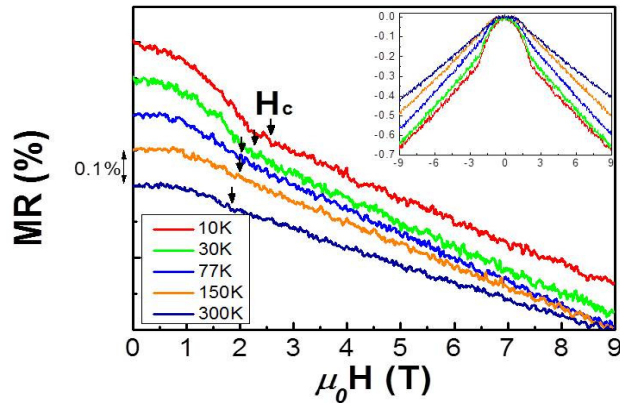


Fig 2. The temperature dependence of magnetoresistance of FeGe nanowires showing the magnetic transitions (H_c) from the helimagnetic to the conical helimagnetic state.

Reference

- [1] Jeremy M. Higgins, Ruihua Ding , John P. DeGrave and Song Jin, Nano Lett., 2010, 10 (5), pp 1605 – 1610 (2010)
- [2] Near room-temperature formation of a skyrmion crystal in thin-films of the helimagnet FeGe, X. Z. Yu, N. Kanazawa, Y. Onose, K. Kimoto, W. Z. Zhang, S. Ishiwata, Y. Matsui & Y. Tokura, Nature Materials 10, 106 – 109 (2011)

용천혈에서 펄스자기장 자극의 영향에 대한 EEG분석

손희정*, 김영진, 황도근, 이현숙[†]
 상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과

Key words: Pulse magnetic field, EEG, 용천혈, 경혈점

1. 서론

펄스 자기장 자극은 비침습적이며 와전류를 발생시켜 신경개선 치료뿐만 아니라, 심부 깊숙이 신경조직 및 근육을 자극할 수 있어 말초 신경 자극이 가능하다고 알려져 있다. 또한 근육질환 등의 치료에 많이 이용되고 있음을 보여주는 연구가 많이 발표되고 있으며, 침습적인 침에 비해 환자의 거부감을 줄임으로 치료효과를 높일 수 있다고 보고되고 있다[1].

한편으로 발 마사지는 제 2의 심장이라 불리는 발을 자극하여 질병과 고통을 자연의 치유능력에 맞추어 조율해주고 복원시켜주는 보완, 대체 요법의 하나로 알려져 있다.

발에 분포하는 전신의 각 부위에 상응하는 반사점 중 용천혈은 족소음신경의 정목혈로 기혈 순환의 통로를 열어 신장을 강화시키며, 혈액순환 및 피로회복에 효과가 좋다고 알려져 있다. 용천혈의 위치는 발바닥을 구부렸을 때 오목하게 들어간 부분의 사람 인자 모양으로 새겨진 부분이다[2]. 본 연구에서는 용천혈에 펄스자기장 자극을 가하여 스트레스 해소와 심신 이완 등의 발 마사지의 효과를 확인하고자 한다.

인체의 각 장기 및 조직은 그물망과 같은 신경조직으로 서로 연결되어 있어 용천혈 자극 시 심신이 편안하게 되고 척추 주변의 근육이 이완되어 척수를 포함하는 중추신경계에 영향을 준다고 보고되었다[3]. 그러므로 본 연구에서는 용천혈에 펄스자기장 자극을 가해 피실험자의 뇌전도(Electroencephalography : EEG) 측정을 통해 자극 전후의 뇌파 변화를 비교하여 용천혈 자극이 중추 신경계의 뇌신경에 영향을 주어 정신활동의 이완성에 어떤 영향을 주는지 FFT 분석을 통해 정량적 평가를 하고자 한다.

2. 실험방법

펄스 자기장 자극에 따른 용천혈의 효과를 관찰하기 위하여 피실험자가 충분한 휴식을 취하게 한 뒤 8개의 EEG센서를 장착하였다. 8채널의 위치는 국제 10-20기준에 의거하여 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4이다.

정확한 실험 결과를 위해 피실험자를 30분정도 안정을 취하게 한 후 외부자극에 영향을 받지 않도록 차폐 실험실에서 실험을 하였다. 펄스 자기장 자극 전후의 효과를 비교하기 위해서 자극 전 휴식 5분, 펄스 자기장 자극 3분, 자극 후 휴식 10분으로 실험 구성을 하여 시간에 따른 뇌파의 변화를 관찰하였다. EEG 측정 시 사용한 장비는 QEEG-8(LAXTHA 사)이며, Telescan을 이용하여 분석하였다. 샘플링 주파수는 256 Hz로 설정하였고, 0.5-50HZ의 밴드패스필터를 적용하였다. 펄스 자기장 자극은 피실험자 왼발의 용천혈 부위 2cm 거리에서 수직으로 인가되었으며 자기장 자극기의 세기는 0.2T, 주기는 1 Hz이다.

자극 전후에 따른 뇌파의 안정화된 정도를 비교하기 위해 측정한 EEG신호를 FFT를 통해 Spectral Edge Frequency-50(SEF-50)와 상대알파파, 상대세타파를 계산하였다. SEF-50란 파워스펙트럼 그래프에서 Low-Edge (주파수축의 왼쪽)부터 특정 주파수 값까지의 면적이 전체주파수 영역에 대한 면적의 50%를 차지하는 해당 특정 주파수 값을 의미하며, 값이 높을수록 고주파 성분이 높아진 상태인 뇌의 각성도나 긴장도로 해석할 수 있다. 상대 세타파는 전체 주파수(4-50Hz)와 θ 주파수(4-8.99Hz)파워의 비를 의미한다.

3. 실험결과

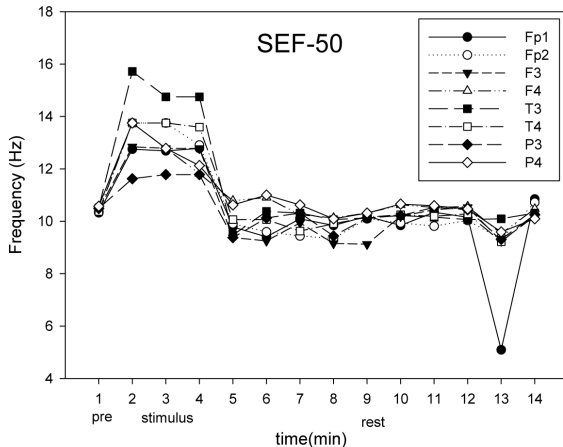


그림 1. SEF-50 calculated using FFT from raw-EEG data

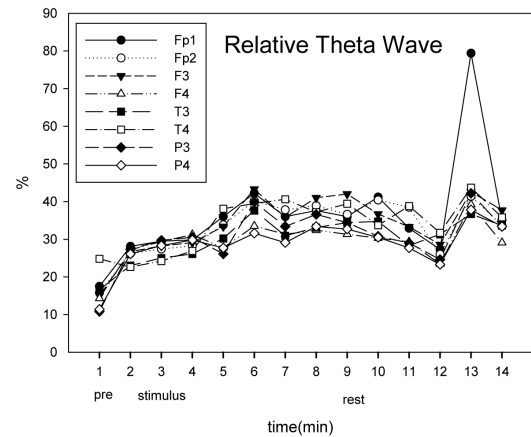


그림 2. Relative Theta Wave obtained the ratio of theta and total wave in power spectrum

그림 1은 자극 전 휴식 5분, 펄스 자기장 자극 3분, 자극 후 휴식 10분 동안 측정된 EEG신호로부터 구한 채널별 SEF-50의 변화를 나타낸다. 자극 전 휴식 5분 데이터를 평균을 내어 자극 전후의 뇌파 비교 기준으로 삼았다.

펄스 자기장 자극을 가한 후, 휴식시간동안의 평균 SEF-50은 자극 전보다 Fp1은 7.4%, Fp2은 5.4%, F3는 6.6%, F4는 1.6%, T3는 3.7%, T4는 3.6%, P3는 4.5%, P4는 1.6%감소함을 보여준다. 이 결과로 보면 자극 전보다 자극 후에 저주파수대의 뇌파가 활성화 되어 뇌의 긴장도가 이완되었음을 알 수 있다.

그림 2는 그림1을 통해 본 SEF-50의 감소를 기반으로 상대 세타파를 구한 것인데 펄스 자기장 자극 전보다 자극 후에 Fp1은 30%, Fp2은 33%, F3는 49%, F4는 15%, T3는 99%, T4는 52 %, P3는 105%, P4는 68.7%로 상대 세타파가 증가함을 볼 수 있다.

세타파는 정서적 안정 상태 또는 수면으로 이어지는 과정의 졸린 상태에서 주로 나타나는 주파수이므로 상대 세타파 비율이 증가했다는 것을 통해 펄스 자기장 자극 전보다 자극 후에 피실험자가 정서적으로 보다 더 안정된 상태라고 해석 할 수 있다.

4. 고찰 및 결론

본 연구는 경혈점 용천혈에 비침습적인 펄스자기장 자극을 가한 후 휴식시간 동안 모든 채널에서 SEF-50의 감소와 상대 세타파의 증가함을 알 수 있었다. 용천혈의 자기장 자극이 상대 세타파를 증가시켜 뇌의 긴장 상태를 이완시킴으로써 안정화 상태를 만들어 준다고 해석할 수 있다. 본 연구에서는 세타파 증가가 대부분 100%이상이었는데 펄스자기장 자극 노출 시간과 자기장 세기의 변화 시켰을 때에 대한 추가적인 연구가 더 필요 하다고 본다. 이 연구를 통해 용천혈에 펄스 자기장 자극이 긴 시간을 요하는 발마사지보다 효과와 시간 측면 모두에서 더 효과적임을 확인했다.

5. 참고문헌

- [1] E. Haker et al. *J. Auton. Nerv. Syst.* **79**, 52-59(2000).
- [2] 조남근, 용천혈(湧泉穴)의 자극(刺戟) 및 애구(艾灸) 시술(施術)이 혈압(血壓)과 국소뇌혈류량(局所腦血流量)에 미치는 영향(影響), 대한침구의학회, 1998
- [3] 정연정, 아로마 발 마사지가 뇌파변화에 미치는 영향, 건국대학교 산업대학원 석사학위논문, 2007

Temperature dependent exchange bias in Co thin films on GaAs(100)

Yooleemi Shin^{1*}, Seungmok Jeon¹, Duong Anh Tuan^{1,2}, Jeongyong Choi¹, and Sunglae Cho^{1†}

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

²Department of General Sciences, Quang Ninh University of Industry, Quang Ninh, Viet Nam

Co is one of ferromagnetic materials which has been used in real applications such as magnetic data storage, spin valve, and microelectronic devices because Co plays an important role due to high spin polarization of carriers at Fermi level. In this work, we report the magnetic properties of Co thin films grown on GaAs(100) substrates grown at 100, 200, 300, and 400 oC using molecular beam epitaxy (MBE). The surface of samples observed in AFM studies showed that the roughness increased from 11.7 to 26.7 nm when the growth temperature increased from 100 to 400 oC. Temperature dependent resistivity showed metallic behavior. The magnetoresistance measured under the out of plane magnetic field showed that a high positive transverse MR effect was observed in Co thin film grown at 100 oC and reduced with the increase in growth temperature. We will discuss in detail about growth temperature dependent magnetic properties in epitaxial Co thin films.

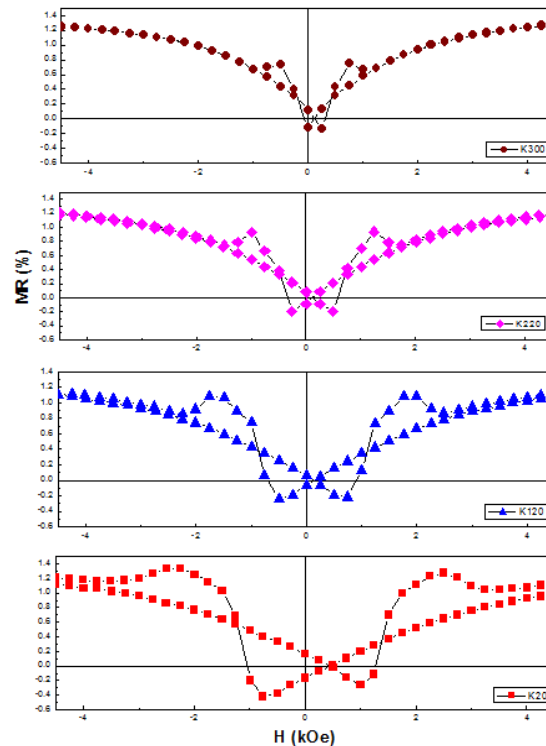


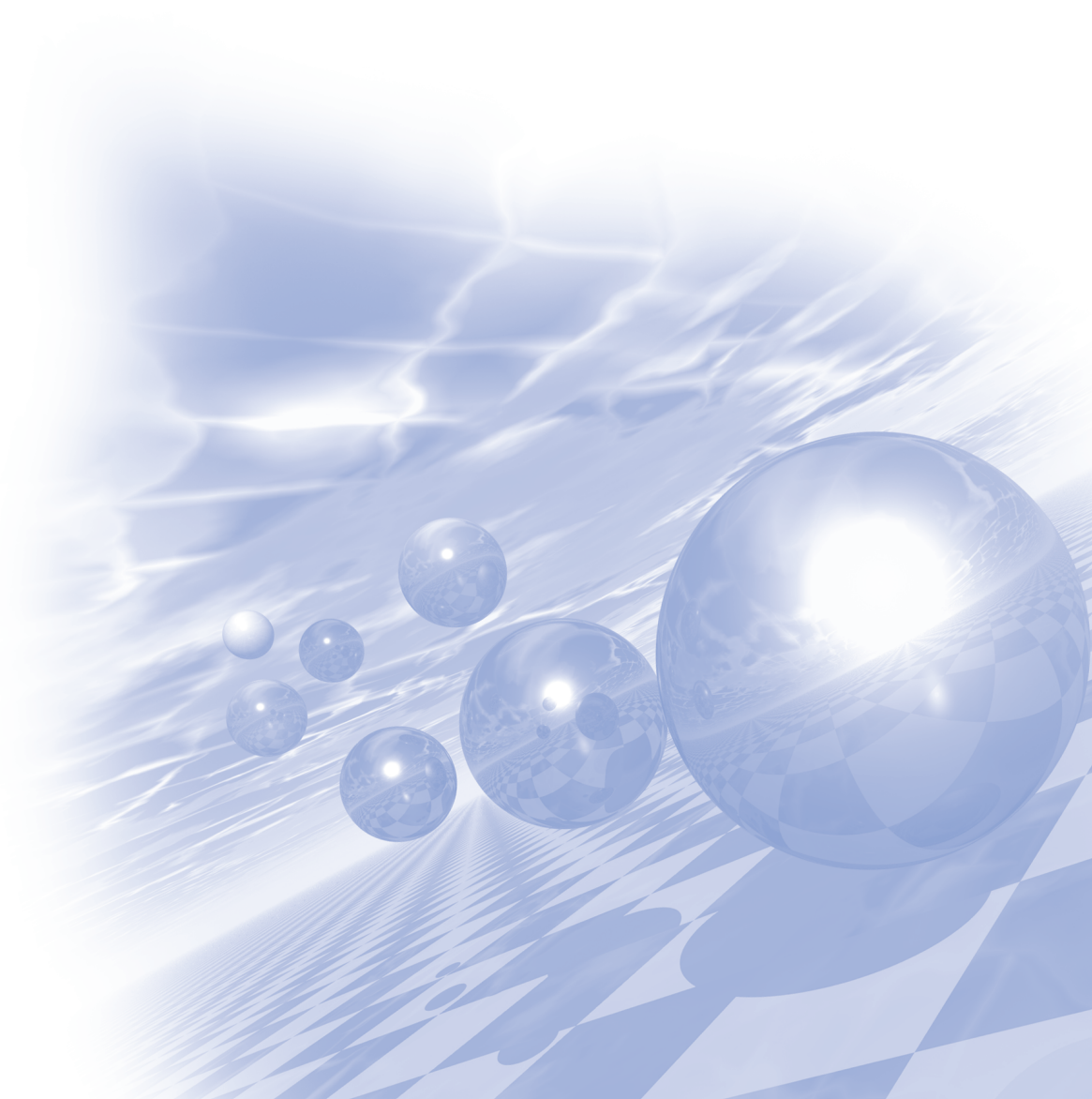
Fig 1. MR curves of Co thin films on GaAs(100) substrate grown at 200 oC.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2013**

Special Session III

'Magnetism in oxide material'



Reversible electronic and magnetic structures in epitaxial strontium cobaltite thin films

Woo Seok Choi^{1,2*}

¹*Department of Physics, Sungkyunkwan University, Suwon, Gyeonggi-do 440-746, Korea*

²*Materials Science and Technology Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, USA*

The redox reaction in solids and the resultant changes in the physical properties are essential ingredient in applications such as solid oxide fuel cells, gas sensors, and many other devices that exploits ionic (or oxygen) transport property as their key function. Transition metal oxide strontium cobaltite (SrCoO_x , SCO) is one of the promising materials for such applications, as it has a rich phase diagram depending on the oxygen content (x). The valence state of the multivalent Co changes with the modification of x , and mainly governs the material's electronic, magnetic and optical properties.

The lattice structures, optical, and electromagnetic properties of SCO epitaxial thin films have been investigated. Real-time optical spectroscopy, x-ray diffraction, x-ray absorption spectroscopy, magnetic measurements, transport measurements, and first principles calculation have been performed. In particular, brownmillerite $\text{SrCoO}_{2.5}$ (BM-SCO) and perovskite SrCoO_3 (PV-SCO) thin films have been studied, where they have distinct crystal structures and valence states. BM-SCO has a one-dimensional oxygen vacancy ordered structure with a common Co^{3+} valence state. On the other hand, PV-SCO has a typical perovskite structure. Both experimental and theoretical results coherently indicated that these two films have drastically different electronic and magnetic ground states as well. Despite such large discrepancy in the physical properties, however, we found that a topotactic transformation between two structurally distinct phases could be readily achieved in high quality epitaxial thin films. The temperature dependent, ambient controlled real-time ellipsometry conspicuously showed that these two topotactic phases could be reversibly obtained at relatively low temperatures. Our study suggests that the electronic structure of SCO can be switched reversibly through oxygen insertion and extraction, simultaneously with the crystal structure and Co valence state. Thus, it provides a valuable insight in studying the link between the fundamental physical properties and its technological applications of transition metal oxide epitaxial thin films.

자성체 산화물 박막의 스트레인에 따른 전자구조 분석

장영준^{1*}

¹서울시립대학교, 물리학과

1. 서론

산화물 박막에서의 흥미로운 물리 현상들은 온도, 자기장, 두께, 스트레인 등의 외부 환경에 의하여 변하며,[1,2,3] 이러한 물성 제어 및 센서 응용가능성 등을 보여주고 있다. 하지만 산화물 박막의 폭넓은 이용을 위해서는 정밀한 전자구조의 이해가 필요하며, 고품질의 박막 합성과 첨단 각도분해능 광전자분광법(ARPES)을 통한 전자구조 측정이 최근 활발히 연구되고 있다.[3,4] 본 연구에서는 스트레인에 따른 자성체 산화물 박막의 전자구조 분석을 실험하였다.

2. 실험방법

대표적인 산화물 자성체 중의 하나인 SrRuO₃ 박막을 격자상수가 서로 다른 세 가지 기판에 Pulsed Laser Deposition (PLD)를 이용하여 성장하였다. 성장된 박막을 초고진공 내의 ARPES 실험장치로 분석하여 밴드구조를 측정하였다.

3. 실험결과

서로 다른 기판 세가지를 사용하여 SrRuO₃ 박막에 각각 -0.59%, +0.41%, +0.97% 정도의 스트레인이 인가되었다. 이렇게 인가된 박막 표면을 초고진공 챔버에 넣고 표면처리를 위하여 100mTorr의 높은 산소분압에서 열처리를 거치면서 표면 원자의 정렬에 의한 전자회절 무늬를 확인할 수 있었다. 이렇게 준비된 세 가지 박막 표면에서 ARPES 측정을 통해, 밴드 구조와 페르미 표면을 측정할 수 있었다.

4. 고찰

산소 열처리된 표면에서 측정된 밴드구조는 정육면체 격자구조에 의해 정사각형의 페르미 표면과 이론계산과 유사한 밴드구조를 보여준다. 그리고 약 1.5%의 스트레인의 효과에도 불구하고, 페르미 표면과 밴드구조는 유사하게 측정되었고, 밴드구조의 미세한 변화에 대해 논의한다. 보다 정밀한 변화를 측정하기 위해서는 공기에 노출시키지 않는 제자리 실험이 추가되어야 할 것이다.

5. 결론

스트레인을 다르게 주는 자성체 산화물 박막에서 방사광가속기 기반의 ARPES를 통해 전자구조 분석을 하였다. 모든 박막에서 전자구조가 성공적으로 측정되었고, 관측된 미세한 변화를 논의한다.

6. 참고문헌

1. Phys. Rev. Lett. 103, 057201 (2009), Young Jun Chang et al.
2. Phys. Rev. B 84, 104101 (2011), Seo Hyoungh Chang, et. al.
3. Phys. Rev. Lett. 111, 126401 (2013), Young Jun Chang, et. al.
4. Phys. Rev. Lett. 110, 087004 (2013), D.E. Shai, et. al.

Coherent THz control of magnetization in orthoferrites

Tae-heon Kim¹, Sun Young Hamh¹, Jeong Woo Han¹, C. Kang², Chul-Sik Kee²,
Seonghoon Jung³, Jaehun Park³, Y. Tokunaga⁴, Y. Tokura^{4,5}, and Jong Seok Lee^{1*}

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

³Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH, Pohang 790-784, Republic of Korea

⁴RIKEN Center for Emergent Matter Science (CEMS), Wako 351-0198, Japan

⁵Department of Applied Physics, University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan

We investigate a detailed process of the precessional switching of the magnetic moment in the canted antiferromagnetic YFeO₃ which is excited by linearly polarized terahertz pulse. By tuning the spectral component of the input THz pulse, we have experimentally clarified the resonance effect in the THz control of the spin states. We could confirm this result from the simulation based on the Landau-Lifshitz-Gilbert equation with two sub-lattice model for the canted antiferromagnet. Based on these results, we discuss a possibility of the complete switching of magnetization to the opposite direction with a tailored THz pulse in its spectral component, pulse duration, and peak intensity.

Co 산화물 박막의 구조 및 전자기적 성질

C. U. Jung^{*}

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

Electric and magnetic properties of perovskite oxides containing multivalent ion change a lot with the oxygen content. SrTiO_3 is good insulator for stoichiometric compound while it becomes quite leaky with small amount of oxygen deficiency. Another good example is SrRuO_3 . The oxygen nonstoichiometry in this compound generated either by growth condition control or post hydrogen plasma treatment drives metal-insulator transition. These two compounds does not changes its crystal structure drastically with oxygen content. SrCoO_x ($2.5 \leq x \leq 3.0$) is very rare example where crystal structure in addition to other physical properties changes significantly with oxygen content. $\text{SrCoO}_{2.5}$ has brownmillerite structure with interesting ordering of oxygen vacancy while SrCoO_3 is metallic perovskite. We successfully grew epitaxial thin film of both compounds. We will discuss its meta-stable physical properties and also the possiblilty as a new device.

Concurrency control of the magnetic and ferroelectric transition in tetragonal-like BiFeO₃

Byung-Kweon Jang^{1*}, Chan-Ho Yang^{1,2}

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

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

The highly-elongated phase of BiFeO₃ has attracted particular attention because of the concomitant multiferroic transition near room temperature [1]. The antiferromagnetic transition temperature of the highly-elongated phase is largely suppressed to ~370 K and moreover the ferroelectric order undergoes a first order transition to another ferroelectric state simultaneously at the magnetic transition temperature indicating strong spin-lattice coupling. To nail the concomitance down, we have examined chemical substitution effects on the multiferroic transition. Here we will introduce our tentative phase diagram investigated by x-ray reciprocal space maps, capacitance measurements, scanning soft x-ray absorption spectroscopy, and Landau phenomenological theory. These findings will provide new insight into magnetoelectric coupling [2].

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

[2] B.-K. Jang *et al.*, Electric-field-induced spin disorder to order transition (in preparation)

Author Index

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
Ahmad A. Awad	ST04	116	H.W.Kwon	HM01	42
Andreas Vogel	초O-II-1	99	Haein Yim	SM05	55
Andrew Pratt	ST05	118	Hae-Woong Kwon	HM02	44
Arim Chu	NM03	145	Hae-Woong Kwon	O-II-7	110
Aru Yan	Invited S-II-4	92	Hakkwan Kim	초S-II-3	91
B. W. Lee	NM05	149	Hashmi Arqum	O-I-4	32
Byong Sun Chun	MT05	141	Ha-Youn Lee	NM02	143
Byong-Guk Park	ST14	129	Ha-Youn Lee	NM03	145
Byoung-Chul Min	NM07	153	Hee Kyung Kang	O-I-2	30
Byoung-Chul Min	O-II-4	105	Heon-Jin Choi	NM07	153
Byoung-Chul Min	ST01	113	Heon-Jin Choi	ST08	122
Byoung-Chul Min	ST09	123	Hermann Stoll	초O-II-1	99
Byoung-Chul Min	ST11	125	Heung Nam Han	SM04	54
Byoung-Chul Min	ST13	128	Hui Eun Kim	SM03	53
Byung-Kweon Jang	초S-III-5	165	Hyo-Jin Kim	SM02	52
Byungnam Kahng	O-II-4	105	Hyo-Jin Kim	SM04	54
C. Kang	초S-III-3	163	Hyo-jinKim	SM03	53
C. U. Jung	초S-III-4	164	Hyo-Jun Kim	HM03	46
Chan-Ho Yang	초S-III-5	165	Hyun Cheol Koo	ST08	122
Chanyong Hwang	MT05	141	Hyung-jun Kim	O-I-2	30
Chanyong Hwang	ST03	115	Hyung-jun Kim	ST08	122
Chaun Jang	ST01	113	Hyun-SikChoi	SM04	54
Chaun Jang	ST09	123	Hyunsung Jung	초O-II-1	99
CheolGi Kim	BM01	35	Hyuntae Kim	BM01	35
Cheol-Soo Park	초O-II-5	106	Hyun-WooLee	총회초청	3
Cheong-Gu Cho	O-II-4	105	Ilgyo Jeong	BM01	35
Chul-Hyun Moon	ST11	125	Imran Khan	ST03	115
Chul-Jin Choi	초S-II-1	89	In Gee Kim	T-1	7
Chul-Sik Kee	초S-III-3	163	J. Chang	ST10	124
Chunli Liu	NM05	149	J. G. Lee, J.H.Yu	HM01	42
D. A. Reddy	NM05	149	J. H. Lee	ST10	124
D. H. Kim	NM05	149	Jaehun Park	초S-III-3	163
D. Odkhuu	초O-I-1	29	Jae-Hwan Cho	초O-II-5	106
Dong Su Son	O-I-3	31	Jae-Hyeok Lee	NM02	143
Dong-Jea Seo	NM07	153	Jae-Hyeok Lee	NM03	145
Dong-Soo Han	초O-II-1	99	Jae-Hyoung You	SM02	52
Duck-Ho Kim	O-II-4	105	Jae-Hyoung You	SM04	54
Duong Anh Tuan	MO01	48	Jaemin Lee	MT01	135
Duong Anh Tuan	OT02	157	Jehyun Lee	NM03	145
Duong Anh Tuan	ST02	114	Jeong Hong Jo	O-I-2	30
Eng-Chan Kim	초O-II-5	106	Jeong Woo Han	초S-III-3	163
Gisela Schütz	초O-II-1	99	Jeongyong Choi	MO01	48
Gu-HyunKim	SM04	54	Jeongyong Choi	OT02	157
Guido Meier	초O-II-1	99	Jicheol Son	O-I-4	32
Gwang-BoChoi	SM04	54	Jihoon Park	MT01	135
H. C. Koo	ST10	124	Ji-Hun Yu	HM02	44

Name	Abstract ID	Page
Ji-Hun Yu	O-II-7	110
JinDongSong	총회초청	3
JinkiHong	총회초청	3
Jin-Kyu Rhee	SA04	77
Jisang Hong	O-I-4	32
Jisang Hong	ST03	115
Johannes Christian Leutenantsmeyer	ST06	119
Jong Seok Lee	초S-III-3	163
Joonyeon Chang	NM07	153
Joonyeon Chang	O-I-2	30
Joonyeon Chang	ST08	122
JoonyeonChang	총회초청	3
Jun Woo Choi	ST01	113
Jun Woo Choi	ST09	123
Jung-Goo Lee	HM02	44
Jung-Goo Lee	O-II-7	110
Junghyun Sok	ST09	123
Jungwook Seo	초S-II-3	91
Junhan Yuh	초S-II-2	90
Jun-Sang Yu	SA04	77
K. Hono	Invited S-II-6	94
K. M. Kim	HM01	42
Kang Ryong Choi	초S-II-3	91
Kang-Heon Hur	MT01	135
Ki Tae Nam	NM03	145
Ki-Seung Lee	ST13	128
Ki-Suk Lee	초O-II-1	99
Ki-Tae Nam	NM02	143
Kun Woo Kim	BM01	35
KungwonRhie	총회초청	3
Kyeong-Dong Lee	ST14	129
Kyoung-Min Lee	ST09	123
Kyoungsuk Jin	NM03	145
Kyoung-Woong Moon	MT05	141
Kyoung-Woong Moon	O-II-4	105
Kyung-Ho Shin	O-II-4	105
Kyung-Ho Shin	ST11	125
Kyung-HoShin	총회초청	3
Kyung-Jin Lee	MT04	139
Kyung-Jin Lee	ST11	125
Kyung-JinLee	ST13	128
Kyungmi Song	MT04	139
Kyung-Suk Jin	NM02	143
Man-Seok Han	초O-II-5	106
Maria Mansurova	ST06	119
MarkJohnson	총회초청	3
Markus Münzenberg	ST06	119
Markus Weigand	초O-II-1	99
Md. Abdul Matin	HM02	44
Mi Yan	Invited S-II-5	93

Name	Abstract ID	Page
Min-Kwan Kim	NM02	143
Min-Kwan Kim	NM03	145
Miyoun Kim	NM03	145
Myoung-Woo Yoo	NM03	145
Myoung-Woo Yoo	O-II-6	108
Nam-Hyun Kang	O-II-7	110
Nam-Kyu Lee	SA04	77
Nguyen Van Quang	MO01	48
NguyenVanQuang	ST02	114
Pardi	BM04	41
Peter Fischer	초O-II-1	99
Prasanta Dhak	NM02	143
Prasanta Dhak	NM03	145
S. C. Hong	초O-I-1	29
S. H. Rhim	초O-I-1	29
Sang ho Lim	NM01	142
Sang Ho Lim	O-I-2	30
Sang Ho Lim	O-I-3	31
Sang-Cheol Yoo	O-II-4	105
Sang-Hyup Lee	HM03	46
Sang-Im Yoo	SM02	52
Sang-Im Yoo	SM04	54
Sang-ImYoo	SM03	53
Sang-Koog Kim	NM02	143
Sang-Koog Kim	NM03	145
Sang-Koog Kim	초O-II-1	99
Sang-Koog Kim	O-II-6	108
Sang-Koog Kim	ST04	116
Sangkyun Kwon	초S-II-3	91
Sang-Myun Kim	HM03	46
Sang-Suk Lee	SA04	77
Sei-Jin Chang	SA04	77
Seonghoon Jung	초S-III-3	163
Seong-rae Lee	NM01	142
Seong-Rae Lee	O-I-3	31
Seo-Won Lee	ST13	128
Seungmok Jeon	OT02	157
ShuLiu	O-II-7	110
Sol Jung	SM05	55
Sug-Bong Choe	O-II-4	105
Suk Hee Han	ST08	122
SukHeeHan	총회초청	3
Sun Young Hamh	초S-III-3	163
Sung Yong An	초S-II-3	91
Sungjae Lee	초S-II-3	91
SungjungJoo	총회초청	3
Sunglae Cho	MO01	48
Sunglae Cho	OT02	157
SunglaeCho	ST02	114
Sungmin Hwang	O-II-4	105
Sung-Yong An	MT01	135

Name	Abstract ID	Page
SungYongAn	SM03	53
Sun-Tae Kim	HM03	46
Tae Young Lee	O-I-3	31
Tae-Eon Park	NM07	153
Tae-heon Kim	초S-III-3	163
Tae-Suk Jang	HM03	46
TaeyuebKim	총회초청	3
Taufik Bonaedy	ST01	113
Venu Reddy	BM01	35
Vladyslav Zbarsky	ST06	119
W. Y. Choi	ST10	124
Won Seok Yun	초O-I-1	29
Woncheol Lee	MT01	135
Wondong Kim	MT05	141
Woo Seok Choi	초S-III-1	161
Xing Hao Hu	BM01	35
Xing Hao Hu	BM03	39
Y. Tokunaga	초S-III-3	163
Y. Tokura	초S-III-3	163
Y. Yamauchi	ST05	118
Yang-Ki Hong	MT01	135
Yooleemi Shin	MO01	48
Yooleemi Shin	OT02	157
Yooleemi Shin	ST02	114
Yoshinobu Honkura	Invited S-II-7	95
Youn Ho Park	ST08	122
Young Chan Won	NM01	142
Young-Wan Oh	ST14	129
고현협	O-II-2	101
구현철	O-II-2	101
권오룡	MT03	138
권윤미	MO02	49
권윤미	SM07	59
김경호	O-II-2	101
김경호	ST12	126
김기하	SM12	69
김덕현	MO02	49
김덕현	SM07	59
김도균	SM12	69
김동영	A05	79
김동영	NM04	147
김동준	ST15	131
김동준	ST16	133
김면우	SM01	50
김민석	O-II-3	103
김민우	A05	79
김삼진	SM10	65
김상일	ST15	131
김상일	ST16	133
김상훈	O-II-3	103
김영근	NM06	151
김영근	SM08	61

Name	Abstract ID	Page
김영근	SM09	63
김영근	SM12	69
김영진	OT01	155
김용진	SA02	73
김용진	SA03	75
김준형	SM01	50
김철기	BM02	37
김철기	BM03	39
김철성	SM01	50
김철성	SM10	65
김철성	SM11	67
김태희	ST05	118
김태희	ST06	119
김혁준	BM04	41
김현규	SM10	65
김현규	SM11	67
김형준	O-II-2	101
김형준	ST07	120
김형준	ST12	126
김휘석	초S-I-2	13
도재원	초S-I-2	13
도재원	초S-I-4	17
류권상	초S-I-7	23
모동진	SM01	50
문정환	MT02	136
민지현	NM06	151
박도영	SA02	73
박범철	SM08	61
박병국	ST15	131
박병국	ST16	133
박상윤	BM04	41
박승영	ST16	133
박승영	ST15	131
박유근	BM04	41
박태영	SA03	75
배유정	ST05	118
배유정	ST06	119
변진규	SA06	81
변진규	SA07	83
변진규	SA08	85
서수교	A05	79
서효원	SM08	61
성동규	SA06	81
성동규	SA07	83
성동규	SA08	85
손대락	초S-I-6	21
손대락	초S-I-7	23
손대락	초S-I-8	25
손희정	OT01	155
송인철	BM02	37
송혜진	SA06	81
송혜진	SA07	83

Name	Abstract ID	Page
송혜진	SA08	85
신재균	O-II-2	101
신재균	ST07	120
신준구	초S-I-6	21
신한수	SA06	81
신한수	SA07	83
신한수	SA08	85
심성아	SA03	75
심성훈	ST12	126
심인보	SM11	67
안부현	SM08	61
안재평	ST07	120
양창섭	초S-I-1	11
엄두승	O-II-2	101
오민욱	O-II-2	101
오선종	BM02	37
우준하	NM06	151
우준화	SM09	63
유상엽	BM02	37
유춘리	SM07	59
윤석수	A05	79
윤석수	NM04	147
윤진식	초S-I-5	20
윤하영	SM09	63
이경동	ST15	131
이경동	ST16	133
이경진	MT02	136
이남규	SA02	73
이년종	ST05	118
이년종	ST06	119
이민영	MO02	49
이민영	SM07	59
이보화	BM04	41
이보화	MO02	49
이보화	SM07	59
이상석	SA01	71
이상석	SA02	73
이상석	SA03	75
이윤희	ST12	126
이장로	SA01	71
이정우	초S-I-4	17

Name	Abstract ID	Page
이지성	SM09	63
이찬혁	SM10	65
이찬혁	SM11	67
이현숙	OT01	155
이호찬	O-II-2	101
임병화	BM02	37
임병화	BM03	39
임선호	초S-I-2	13
임선호	초S-I-4	17
임성동	O-II-2	101
임채승	NM06	151
장영준	초S-III-2	162
장준연	O-II-2	101
장준연	ST07	120
장준연	ST12	126
장진우	NM06	151
장평우	SM06	57
전재진	초S-I-1	11
정규채	초S-I-3	15
정규채	초S-I-6	21
정현주	초S-I-1	11
정희준	초S-I-5	20
조광래	SM01	50
조광래	SM10	65
조광래	SM11	67
조문규	SM08	61
조성언	A05	79
조현아	NM06	151
최광현	SA03	75
최영수	NM06	151
최영수	SM09	63
최재정	SM06	57
최준효	SM12	69
최지훈	SM01	50
카지드마	SA01	71
홍순철	MT03	138
홍유식	SA02	73
홍종일	O-II-3	103
황도근	OT01	155
황병석	SM01	50