

2014년도 한국자기학회 자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014

논문개요집



일시 2014. 11. 27(목) ~ 11. 29(토)

장소 무주 덕유산리조트

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

Digests of the International Symposium on Magnetism and Magnetic Materials 2014
The Korean Magnetics Society

사단법인 한국자기학회

2014년도 한국자기학회

자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014

논문개요집



일시 2014. 11. 27(목) ~ 11. 29(토)

장소 무주 덕유산리조트

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

“이 발표논문집은 2014년도 정부재원으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음”



공지사항

1. 연구발표를 하시는 회원은 아래사항을 지켜주시기 바랍니다.

- 1) 포스터보드 크기는 한 분당 가로 85cm X 세로 115cm 사용할 수 있습니다.
- 2) 포스터 발표자는 발표시간 10분 전에 붙여주시기 바랍니다.

2. 일 정

11월 27일(목)	12:00~	참가자 등록		
	13:00~14:30	강습회 프로그램 (질레탈A)		
	14:30~14:40	Coffee Break		
	14:40~15:20	초청강연 I (질레탈A)		
	15:20~15:30	Coffee Break		
	15:30~17:10	Special Session I '외스바우어분광워크숍' (질레탈A)	구두발표 I (질레탈B)	
	17:10~17:20	Coffee Break		
	17:20~18:00	Special Session I '외스바우어분광워크숍' (질레탈A)		
11월 28일(금)	08:30~	참가자 등록		
	09:00~11:40	구두발표 II (질레탈A)	구두발표 III (질레탈B)	
	11:40~13:00	Lunch		
	13:00~14:20	Special Session II '의과학 자기 연구회' (질레탈A)	Special Session III '희토류와 자성재료 연구동향' 1부 (질레탈B)	
	14:20~14:30	Coffee Break		
	14:30~15:00	초청강연 II (질레탈A)		
	15:00~17:10	Special Session IV 'Current Research Trends in Energy Magnetism' (질레탈A)		
	17:10~17:20	Coffee Break		
	17:20~18:00	총회 특별초청강연 (질레탈A) - Masato Sagawa (Intermetallics Co., Ltd.)		
	18:00~18:30	한국자기학회 정기총회 (질레탈A)		
	18:30~20:30	Dinner (Banquet, 스투바이탈)		
11월 29일(토)	08:30~	참가자 등록		
	09:00~10:15	Special Session V '희토류와 자성재료 연구동향' 2부 (질레탈A)	09:00~11:00	포스터발표 (질레탈B)
	11:00~11:30	Best Poster 시상식 및 폐회 (질레탈B)		

3. 『Best Poster 시상』이 11월 29일(토) 11시에 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여 바랍니다.
 (단, 수상자(발표자)가 불참 시에는 수상이 취소됩니다.)

11월 27일 (목)

시간	프로그램		
12:00 ~	참가자 등록		
	강습회 프로그램 (질레탈A)		
	좌장: 김삼진(국민대)		
13:00~14:30	T-1. 빛을 이용한 자기 현상의 연구		
	김재영(포항가속기연구소)		
14:30~14:40	Coffee Break		
	초청강연 I (질레탈A)		
	좌장: 임상호(고려대)		
14:40~15:20	초O-1. Recent progress in magnetization dynamics and noble magnetic material		
	황찬용(한국표준과학연구원)		
15:20~15:30	Coffee Break		
	Special Session I '외스바우어분광워크숍' (질레탈A) 좌장: 엄영랑(한국원자력연구원)		구두발표 I (질레탈B) 좌장: 홍지상(부경대)
15:30~16:00	초S-I -1. Neutron In-beam 외스바이어 분광법과 그 응용 선광민(한국원자력연구원)	15:30~15:50	초O-I-1. Spin Orbit Torque in Pd/FePd /MgO System 유천열(인하대)
16:00~16:20	초S-I-2. 반도체를 이용한 Mössbauer용 감마선 검출기 개발 서정철(원광대)	15:50~16:10	O-I-2. Nonreciprocal spin-wave pro- pagation induced by interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction 이종민(한국과학기술연구원)
		16:10~16:30	O-I-3. Effect of interstitial doping on atomic structure and magnetic properties of FeCo alloy Imran Khan(부경대)
16:20~16:40	초S-I-3. 우주용 동위원소 열전 전지 개발 현황 김종범(한국원자력연구원)	16:30~16:50	O-I-4. <i>Ab-initio</i> investigation on the magnetization of Pd thin films Tran Van Quang(Hanoi Univeristy of Transport and Communications)
16:40~17:00	초S-I-4. 방사성동위원소의 생산과 응용 (전력회수를 중심으로) 손광재(한국원자력연구원)	16:50~17:10	O-I-5. Thermally stable perpendicular magnetic anisotropy features of Ta/TaOx/Ta/CoFeB/MgO/W stacks via TaOx Underlayer insertion 양승모(한양대)
17:10~17:20	Coffee Break		
	Special Session I '외스바우어분광워크숍' (질레탈A)		
	좌장: 엄영랑(한국원자력연구원)		
17:20~18:00	초S-I-5. 외스바우어 분광학과 그 이용		
	김철성(국민대)		



11월 28일 (금)

시간	프로그램		
08:30 ~	참가자 등록		
	구두발표 II (질레탈A) 좌장: 구현철(KIST) / 임혜인(숙명여대)		구두발표 III (질레탈B) 좌장: 김철기(DGIST) / 홍정일(DGIST)
09:00~09:20	O-II-1. Excited eigenmodes in soft magnetic half- and part-spheres with three-dimensional magnetic vortex 유명우(서울대)	09:00~09:20	O-III-1. 마그네타이트 자성유체의 교류 자화율 특성 윤성현(군산대)
09:20~09:40	O-II-2. Perpendicular-bias-field control of coupled-vortex oscillations in nanodotnetworks 조영준(서울대)	09:20~09:40	O-III-2. Microstructure and magnetic properties of hot deformed NdFeB magnet by spark plasma sintering Liu Shu(재료연구소)
09:40~10:00	O-II-3. Vortex-core reversal dynamics at elevated temperatures 김보성(서울대)	09:40~10:00	O-III-3. Unidirectional motion of bubble domains in magnetic film 문경웅(한국표준과학연구원)
10:00~10:20	O-II-4. The effect of the MgO(001) layer on CuPc-based organic spintronic devices 배유정(이화여대)	10:00~10:20	O-III-4. Synthesis and functionalization of iron oxide nanocubes and their catalytic and bio-sensing applications Mohamed Abbas(National Research Centre)
10:20~10:30	Coffee Break		
10:30~10:50	초O-II-5. Chirality sensitive magnetic field pulse driven domain wall motion with perpendicular magnetic anisotropy 유천열(인하대)	10:30~10:50	O-III-5. Dynamics hysteresis behavior of Co/Pt multilayers Djati Handoko(충북대)
10:50~11:10	O-II-6. Perpendicular Magnetic Anisotropy Features of [Co/Pd] Multilayer Matrix and Related Synthetic Anti-Ferromagnet Structure 이자빈(한양대)	10:50~11:10	O-III-6. Quantitative analysis of magnetization reversal behavior of Co/Pt multilayers using magneto-optical microscopy Duy-Truong Quach(충북대)
11:10~11:25	O-II-7. 이중배리어 자기터널접합의 특성 측정을 위한 개선된 current-in-plane tunneling 모델 이상호(연세대)	11:10~11:25	O-III-7. ZnO DMS fabricated by hydrothermal method under high pulsed magnetic field Hongtao Xu(Shanghai University)
11:25~11:40	O-II-8. Microstructural and Magnetic Behavior of (111)-preferentially Oriented Cobalt Ferrite Thin Films Millaty Mustaqima(한국외대)	11:25~11:40	O-III-8. Template Based Electrochemical Synthesis of Co-rich Nanowires for Barcode Segment M. K. Alam(Bangladesh University of Engineering and Technology)
11:40~13:00	Lunch		

시간	프로그램		
	Special Session II '의과학 자기 연구회' (질레탈A) 좌장: 한만석(강원대)		Special Session III '희토류와 자성재료 연구동향' 1부 (질레탈B) 좌장: 안성용(삼성전기)
13:00~13:20	초S-II-1. 비 접촉 양극산화법을 이용한 Porous Silicon의 구조적·광학 적 특성 분석 나길주(목포과학대)	13:00~13:15	초S-III-1. 희토류 영구자석 최신동향 배 석(LG 이노텍)
13:20~13:40	초S-II-2. 금속 인공음영 감소 재구성 기법이 방사선 치료 계획에 미치는 영향 평가 원희수(분당서울대학교병원)	13:15~13:30	초S-III-2. 차량용 영구자석 개발동향 이재령(현대자동차)
13:40~14:00	초S-II-3. 심장 지방면적과 관상동맥질환 위 험인자와의 연관성 연구 : Low- dose Lung CT 검사를 중심으로 장현철(수성대)	13:30 ~13:45	초S-III-3. ReMat(Recycling & Materialization) for rare earths contained in per- manent magnet 김택수(한국생산기술연구원)
14:00~14:20	초S-II-4. 자체 제작한 팬텀을 이용한 영상비교 및 선량에 관한 고찰 최재혁(국립암센터)	13:45~14:00	초S-III-4. 희토류 자성재료 물질흐름 및 중국동향 홍현선(고등기술연구원)
14:20~14:30		14:00~14:15	초S-III-5. 중희토류 자원문제 해결을 위한 영구 자석소재 개발기술 이정구(재료연구소)
	Coffee Break		
	초청강연 II (질레탈A)		
			좌장: 조성래(울산대)
14:30~15:00	초O-2 Theoretical limit of Maximum Energy Product of Rare-earth Free Core-Shell Nanomagnets 홍양기(The University of Alabama)		
	Special Session IV 'Current Research Trends in Energy Magnetism' (질레탈A) 좌장: 최판규((주)MTI)		
15:00~15:30	(Invited) S-IV-1. Research and Development of measuring technique of Loss and Heat for HV motor Tsutomu Hosoi(Nippon Soken, Inc.)		
15:30~16:00	(Invited) S-IV-2. Current trends in magnetic cooling at room temperature Asaya Fujita(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)		
16:00~16:10	Coffee Break		
16:10~16:40	(Invited) S-IV-3. Current status of development of Dy-free Nd-Fe-B for high-temperature applications Satoshi Hirosawa(National Institute for Materials Science)		
16:40~17:10	(Invited) S-IV-4. Consideration about Coercivity Mechanism in Nd-Fe-B Sintered Magnets Based on the Surface Domain Structure Observations Kurima Kobayashi(Shizuoka Institute of Science and Technology)		
17:10~17:20	Coffee Break		
17:20~18:00	총회 특별초청강연 (질레탈A) 좌장: 이우영(연세대) Thirty Four Years with Nd-Fe-B; Invention, Development, and Future Masato Sagawa(Intermetallics Co., Ltd.)		
18:00~18:30	한국자기학회 정기총회 (질레탈A)		
18:30~20:30	Dinner (Banquet, 스투바이탈)		



11월 29일 (토)

시간	프로그램		
08:30 ~	참가자 등록		
	Special Session V '희토류와 자성재료 연구동향' 2부 (질레탈A) 좌장: 이정구(재료연구소)		포스터 발표 (질레탈B) 좌장: 유천열(인하대) / 김미영(숙명여대)
09:00~09:15	초S-V-1. 무선전력전송 모듈용 전자기파차폐 소재 및 상용화 이상원(LG이노텍)	09:00~11:00	Session MT[Magnetic theory and calculations] Session MD[Magnetization dynamics] Session HM[Hard-magnetic Materials] Session SM[Soft-magnetic Materials] Session SS[Semiconductor spintronics] Session SO[Spin orbit coupling and related phenomena] Session NM[Nano-structured materials] Session MO[Magnetic Oxides and Multiferroics] Session BM[Biomedical Magnetism] Session SA[Sensor and Applications] Session OT[Others]
09:15~09:30	초S-V-2. 극이방 NdFeB 소결자석의 제조 및 모터응용 김효준(자화전자)		
09:30~09:45	초S-V-3. 희토류 분리정제 생산 실증화 기술 개발 연구 현황 이고기(포항산업과학연구원)		
09:45~10:00	초S-V-4. 희토류 영구자석용 스트립의 조성에 따른 미세구조와 자기적 특성 임경묵(한국생산기술연구원)		
10:00~10:15	초S-V-5. 희토류 광상 탐사 및 생산 실증화 기술개발 현황 김재영(삼성전기)		
11:00~11:30	Best Poster 시상식 및 폐회 (질레탈B)		

CONTENTS

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014

11월 28일(금) 17:20~18:00
Session : 총회 특별초청강연

질레탈A

✿ 좌 장 : 이우영(연세대)

총회초청 17:20 Thirty Four Years with Nd-Fe-B; Invention, Development, and Future 3
Masato Sagawa*

11월 27일(목) 13:00~14:30
Session : 강습회 프로그램

질레탈A

✿ 좌 장 : 김삼진(국민대)

T-1 13:00 빛을 이용한 자기 현상의 연구 7
김재영*

11월 27일(목) 14:40~15:20
Session : 초청강연 I

질레탈A

✿ 좌 장 : 임상호(고려대)

초O-1 14:40 Recent progress in magnetization dynamics and noble magnetic material 11
Chanyong Hwang*

11월 27일(목) 15:30~17:00
Session : Special Session I '뫼스bauer분광워크숍'

질레탈A

✿ 좌 장 : 엄영량(한국원자력연구원)

초S-I-1 15:30 Neutron In-beam 뫼스bauer 분광법과 그 응용 15
선광민*

초S-I-2 16:00 반도체를 이용한 Mössbauer용 감마선 검출기 개발 16
최정완, 서정철*

초S-I-3 16:20 우주용 동위원소 열전 전지 개발 현황 17
김종범*

초S-I-4 16:40 방사성동위원소의 생산과 응용 (전력회수를 중심으로) 18
손광재*

11월 27일(목) 15:30~17:10
Session : 구두발표 I

질레탈B

✿ 좌 장 : 홍지상(부경대)

초O-I-1	15:30	Spin Orbit Torque in Pd/FePd/MgO System	21
		Hwang-Rae Lee, Kyujoon Lee, Jaehun Cho, Young-Ha Choi, Chun-Yeol You*, Myung-Hwa Jung, Frederic Bonell, Yoichi Shiota, Shinji Miwa, Yoshishige Suzuki	
O-I-2	15:50	Nonreciprocal spin-wave propagation induced by interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction	22
		Jong Min Lee*, Chaun Jang, Kyung-Jin Lee, Byoung-Chul Min, and Joonyeon Chang	
O-I-3	16:10	Effect of interstitial doping on atomic structure and magnetic properties of FeCo alloy	23
		Imran Khan*, Jicheol Son, Jisang Hong	
O-I-4	16:30	<i>Ab initio</i> investigation on the magnetization of Pd thin films	24
		Tran Van Quang*, Hanchul Kim, and Miyoung Kim	
O-I-5	16:50	Thermally stable perpendicular magnetic anisotropy features of Ta/TaOx/Ta/CoFeB/MgO/W stacks via TaOx Underlayer insertion	25
		Seung Mo Yang*, Ja Bin Lee, Gwang Guk An, Jae Hong Kim, Woo Seong Chung, and Jin Pyo Hong	

11월 27일(목) 17:20~18:00
Session : Special Session I '뫼스바우어분광워크숍'

질레탈A

✿ 좌 장 : 엄영량(한국원자력연구원)

초S-I-5	17:20	뫼스바우어 분광학과 그 이용	29
		김철성*	

11월 28일(금) 09:00~11:40
Session : 구두발표 II

질레탈A

✿ 좌 장 : 구현철(KIST) / 임혜인(숙명여대)

O-II-1	09:00	Excited eigenmodes in soft magnetic half- and part-spheres with three-dimensional magnetic vortex	33
		Sang-Koog Kim [†] , Myoung-Woo Yoo*, and Jae-Hyeok Lee	
O-II-2	09:20	Perpendicular-bias-field control of coupled-vortex oscillations in nanodot networks	34
		Dong-Soo Han, Young-Jun Cho*, Han-Byeol Jeong, and Sang-Koog Kim [†]	
O-II-3	09:40	Vortex-core reversal dynamics at elevated temperatures	35
		김보성*, 유명우, 이제현, 김상국	

O-II-4	10:00	The effect of the MgO(001)layer on CuPc-based organic spintronic devices 37 Yu Jeong Bae*, Nyun Jong Lee, Jessica Wade, Ji-Seon Kim, and Tae Hee Kim	37
초O-II-5	10:30	Chirality sensitive magnetic field pulse driven domain wall motion with perpendicular magnetic anisotropy 38 J.-S. Kim, Y. Yin, J. H. Franken, J. Cho, C.-Y. You*, B. Koopmans, H. J. M. Swagten	38
O-II-6	10:50	Perpendicular Magnetic Anisotropy Features of [Co/Pd] Multilayer Matrix and Related Synthetic Anti-Ferromagnet Structure 39 Ja Bin Lee*, Gwang Guk An, Seung Mo Yang, Jae Hong Kim, Woo Seong Chung, and Jin Pyo Hong	39
O-II-7	11:10	이중배리어 자기터널접합의 특성 측정을 위한 개선된 current-in-plane tunneling 모델 41 이상호*, 배태진, 홍종일	41
O-II-8	11:25	Microstructural and Magnetic Behavior of (111)-preferentially Oriented Cobalt Ferrite Thin Films 43 Millaty Mustaqima*, Deok Hyeon Kim, and Chunli Liu	43

11월 28일(금) 09:00~11:40
Session : 구두발표 III

질레탈B

✿ 좌 장 : 김철기(DGIST) / 홍정일(DGIST)

O-III-1	09:00	마그네타이트 자성유체의 교류 자화율 특성 47 윤성현*	47
O-III-2	09:20	Microstructure and magnetic properties of hot deformed NdFeB magnet by spark plasma sintering 48 ShuLiu*, Ji-Hun Yu, Nam-Hyun Kang, Jung-Goo Lee	48
O-III-3	09:40	Unidirectional motion of bubble domains in magnetic film 49 Kyoung-Woong Moon [†] , Duck-Ho Kim [†] , Sang-Cheol Yoo, Soong-Geun Je, Byong Sun Chun, Wondong Kim, Byoung-Chul Min, Chanyong Hwang*, and Sug-Bong Choe*	49
O-III-4	10:00	Synthesis and functionalization of iron oxide nanocubes and their catalytic and bio-sensing applications 50 Mohamed Abbas*, HeeYoon Noh, CheolGi Kim	50
O-III-5	10:30	Dynamics hysteresis behavior of Co/Pt multilayers 51 Djati Handoko*, Duy Truong Quach, Sang-Hyuk Lee, Je-Ho Shim, and Dong-Hyun Kim [†]	51
O-III-6	10:50	Quantitative analysis of magnetization reversal behavior of Co/Pt multilayers using magneto-optical microscopy 52 Duy-Truong Quach*, Djati Handoko, Sang-Hyuk Lee, Je-Ho Shim, and Dong-Hyun Kim [†]	52

O-III-7	11:10	ZnO DMS fabricated by hydrothermal method under high pulsed magnetic field	53
			Hongtao Xu*, Min Zhong, Ying Li, Mingyuan Zhu, Yemin Hu, and Muhammad Tariq
O-III-8	11:25	Template Based Electrochemical Synthesis of Co-rich Nanowires for Barcode Segment	55
			M. K. Alam*, T. S. Ramulu, S. S. Yoon, C. G. Kim

11월 28일(금) 13:00~14:20

Session : Special Session II '의과학 자기 연구회'

질레탈A

✿ 좌 장 : 한만석(강원대)

초S-II-1	13:00	비 접촉 양극산화법을 이용한 Porous Silicon의 구조적 · 광학적 특성 분석	59
			나길주*, 한만석, 박병석, 전민철, 원희수
초S-II-2	13:20	금속 인공음영 감소 재구성 기법이 방사선 치료 계획에 미치는 영향 평가	61
			원희수*, 박철수, 권순무, 최재혁, 장현철
초S-II-3	13:40	심장 지방면적과 관상동맥질환 위험인자와의 연관성 연구 : Low-dose Lung CT 검사를 중심으로	63
			장현철*, 조재환, 서정민, 나길주, 황도근
초S-II-4	14:00	자체 제작한 팬텀을 이용한 영상비교 및 선량에 관한 고찰	65
			최재혁*, 박철수, 서선열, 김기홍, 황도근

11월 28일(금) 13:00~14:15

Session : Special Session III '희토류와 자성재료 연구동향' 1부

질레탈B

✿ 좌 장 : 안성용(삼성전기)

초S-III-1	13:00	희토류 영구자석 최신 동향	69
			배 석*, 이상원
초S-III-2	13:15	차량용 영구자석 개발동향	70
			이재령*
초S-III-3	13:30	ReMat (Recycling & Materialization) for rare earths contained in permanent magnet	71
			H.J.Choi, S.J.Seo, Kyung-Tae Park, Bum Sung Kim, and Taek-Soo Kim*
초S-III-4	13:45	희토류 자성재료 물질흐름 및 중국동향	72
			홍현선*
초S-III-5	14:00	중희토류 자원문제 해결을 위한 영구자석소재 개발기술	73
			이정구*, 유지훈

11월 28일(금) 14:30~15:00
Session : 초청강연 II

질레탈A

✿ 좌 장 : 조성례(울산대)

초O-2	14:30	Theoretical limit of Maximum Energy Product of Rare-earth Free Core-Shell Nanomagnets	77
		Yang-Ki Hong* and Jihoon Park**	

11월 28일(금) 15:00~17:10

Session : Special Session IV
'Current Research Trends in Energy Magnetics'

질레탈A

✿ 좌 장 : 최판규((주)MTI)

Invited S-IV-1	15:00	Research and Development of measuring technique of Loss and Heat for HV motor	81
		Tsutomu Hosoi*, Ryotaro Okamoto, Hirohito Matsui, Daisuke Miyata, Yasuyuki Haseo, Muneo Yorinaga, Naoki Tanaka, Masashi Inaba, Yasutaka Kamiya	
Invited S-IV-2	15:30	Current trends in magnetic cooling at room temperature	82
		Asaya Fujita*	
Invited S-IV-3	16:10	Current status of development of Dy-free Nd-Fe-B for high-temperature applications	83
		Satoshi Hirosawa*	
Invited S-IV-4	16:40	Consideration about Coercivity Mechanism in Nd-Fe-B Sintered Magnets Based on the Surface Domain Structure Observations	85
		Kurima Kobayashi*	

11월 29일(토) 09:00~10:15

Session : Special Session V
'희토류와 자성재료 연구동향' 2부

질레탈A

✿ 좌 장 : 이정구(재료연구소)

초S-V-1	09:00	무선전력전송 모듈용 전자기차폐소재 및 상용화	89
		이상원*, 염재훈, 김소연, 배석	
초S-V-2	09:15	극이방 NdFeB 소결자석의 제조 및 모터응용	90
		김효준*	
초S-V-3	09:30	희토류 분리정제 생산 실증화 기술개발 연구 현황	91
		이고기*, 이창규, 조성구	

초S-V-4	09:45	희토류 영구자석용 스트립의 조성에 따른 미세구조와 자기적 특성 92 임경묵*
초S-V-5	10:00	희토류 광상 탐사 및 생산 실증화 기술개발 현황 93 김재영*, 최강룡, 여정구, 안성용

11월 29일(토) 09:00~11:00
Session : 포스터발표

질레탈B

✿ 좌 장 : 유천열(인하대) / 김미영(숙명여대)

○ Session MT[Magnetic theory and calculations]

MT01	Poster	Ni(111)/Graphene/Co(111): Transport characteristics of Magnetic asymmetric Junction 97 Jicheol Son*, Umar Farooq, Jisang Hong [†]
MT02	Poster	Analysis for Orbit Calculation and Focal Spot Size of Electron Beam According to the Shape of Focusing X-ray Tube 98 Tae-Young Park, Purevdorj Khajidmaa, Munkhbat Bolormaa, Sang-Suk Lee*, Ki-Seon Kim, Rae-Jun Park
MT03	Poster	Magnetism of FeRh(001) thin films with different thickness and surface-termination 100 Soyoung Jekal*, Sooncheol Hong, Alexander B. Shick
MT04	Poster	Current-induced gyration of single skyrmion confined in a nanodisk 101 Takayuki Shiino*, Ki-Suk Lee, B. G. Park
MT05	Poster	Ultrafast spin switching in antiferromagnet and canted antiferromagnet driven by pulsed THz radiations 103 Taeheon Kim*, Jongseok Lee
MT06	Poster	코일 모델링에 따른 MR 유체를 이용한 가변 인덕터의 누설자속밀도 계산 비교 104 성동규*, 변진규
MT07	Poster	무선전력전송 시스템에 노출된 인체모델의 위치변화에 따른 인체유도전류밀도 계산 106 박영민*, 변진규

○ Session MD[Magnetization dynamics]

MD01	Poster	Al-Cu 또는 Mn-Cu를 첨가한 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조 및 자기적 특성 최적화 연구 108 김태훈*, 이성래, 김효준, 이민우, 장태석
MD02	Poster	Dy-X (X= Cu or Mn) 합금분말을 이용하여 infiltration 처리된 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성 연구 110 공주영*, 김태훈, 이성래, 김효준, 이민우, 장태석

MD03	Poster	Magnetic Properties of MnBi thin film grown by UHV sputtering 112 Hongjae Moon*, Sumin Kim, Min-jung Song, and Wooyoung Lee [†]
MD04	Poster	Effect of external field on current-induced skyrmion dynamics in a nanowire 113 Seung-Jae Lee*, Jung-Hwan Moon, and Kyung-Jin Lee

○ Session HM[Hard-magnetic Materials]

HM01	Poster	Mechanochemical synthesis of Nd ₂ Fe ₁₄ B particles with high coercivity from precursors prepared by spray drying process 115 Chun-Qiang Chen*, Dongsoo Kim, Youngtaek Seo, Chuljin Choi
HM02	Poster	Nd-Fe-B 소결자석의 산소농도에 따르는 Dy 입계확산 거동에 관한 연구 116 배경훈*, 이성래, 김효준, 이민우, 장태석
HM03	Poster	HDDR 처리한 Nd-Fe-B계 재료의 보자력의 재현성 118 김경민*, 권해웅, 이정구, 유지훈
HM04	Poster	Magnetic properties of DyF ₃ -doped Nd-Fe-B-type hot-deformed magnet 120 J. Y. Kim*, H. W. Kwon, J. G. Lee, J. H. Yu
HM05	Poster	Magnetic Properties of rare-earth-free permanent magnets : MnBi 121 Sumin Kim*, Hongjae Moon, Minjeong Song and Wooyoung Lee [†]

○ Session SM[Soft-magnetic Materials]

SM01	Poster	큰 유도자기이방성을 가지는 Co-Fe-Pd-B 박막의 자기적 특성 122 김정우*, 남윤재, 임상호
SM02	Poster	Magnetic properties of Zn-substituted strontium W-type hexaferrites 124 Jae-Hyoung You*, SungJoon Choi, Sunwoo Lee, and Sang-Im Yoo [†]
SM03	Poster	Fabrication and characterization of Fe metal powder coated with iron phosphate 125 Hui Eun Kim*, Jae-Hyoung You, Sungjoon Choi, SunWoo Lee, Sang-Kyun Kwon, and Sang-Im Yoo
SM04	Poster	Magnetic properties of TiO ₂ -coated Fe powder 126 Sunwoo Lee*, Sungjoon Choi, Hui Eun Kim, Sang-Kyun Kwon, Sang-Im Yoo [†]
SM05	Poster	Synthesis and characteristics of TiO ₂ -coated Fe alloy powder 127 SungJoon Choi*, SunWoo Lee, Hui Eun Kim, Sang-Kyun Kwon, and Sang-Im Yoo
SM06	Poster	FeCoTiZrB 연자성 비정질 리본의 자성 특성 분석 128 한보경*, 임혜인
SM07	Poster	CoFeB 박막 재료의 두께에 따른 강자성 공명 특성 129 김동영*, 윤석수

SM08	Poster	Spin Transport in Heavily-Phosphorus Doped Si Nanowires with CoFeB/MgO Contacts 130	Tae-Eon Park*, Byoung-Chul Min, Younho Park, Moon-Ho Jo, Heon-Jin Choi, Joonyeon Chang
SM09	Poster	Detection of spin precession angles in various crystalline directions and its application for complementary spin logic devices 131	Youn Ho Park*, Hyung-jun Kim, Joonyeon Chang, Heon-Jin Choi and Hyun Cheol Koo [†]
SM10	Poster	Rietveld's analysis of zinc ferrite prepared by hydrothermal and Sol-gel method 132	Kiki Rezki Lestari*, Pilsun Yoo, Deok Hyon Kim, and Chunli Liu
SM11	Poster	Thickness dependence of magnetic moments in CoSiB/Pd multilayers with perpendicular anisotropy 133	Sol Jung*, Haein Yim
SM12	Poster	[Co/Pd]/Cu/[Co/Pd] ₄ 스핀 밸브 구조를 기반으로 한 작은 보자력을 갖는 수직 자기저항에 대한 연구 135	이정섭*, 윤정범, 강물빛, 유천열
SM13	Poster	Tumbling motions of [NH ₂ (CH ₃) ₂] ⁺ ions in [NH ₂ (CH ₃) ₂] ₂ CoCl ₄ determined by ¹ H MAS NMR spectroscopy in the rotating frame 137	Nam Hee Kim*, Min Surk Hyung, Ae Ran Lim

○ Session SS[Semiconductor spintronics]

SS01	Poster	Sol-Gel Synthesis of LaMnO ₃ and PVA Effect on the Magnetic Properties 138	Pardi Sampe Tola*, Deok Hyeon Kim, Pil Sun Yoo, Min Young Lee, and Bo Wha Lee
SS02	Poster	강자성체/부도체/반도체 터널 접합 구조를 통한 실리콘으로의 스핀 주입에서 어닐링에 의한 스핀 주입 신호의 변화 139	박준영*, 백승현, 이경동, 박병국
SS03	Poster	Perpendicular magnetic tunnel junctions with Hf/Pt composite capping layers ... 141	Hee-Gyum Park*, Chul-Hyun Moon, Byoung-Chul Min, and Kyung-Ho Shin
SS04	Poster	비정질 FeNiSiB 층을 삽입한 CoFeSiB/Pd 다층박막의 수직자기이방성 연구 143	김용진*, 김도균, 김기하, 김영근

○ Session SO[Spin orbit coupling and related phenomena]

SO01	Poster	Magneto-conductance change induced by the Rashba effect at an oxide interface 145	Taeyueb Kim*, Shin-Ik Kim, Seung-Hyub Baek, Jinki Hong, Hyun Cheol Koo
SO02	Poster	Switching mode of nanomagnet with perpendicular magnetic anisotropy 146	Kyungmi Song*, Kyung-Jin Lee

SO03	Poster	Influence of a Hf interlayer on the perpendicular magnetic anisotropy of the MgO/Hf/CoFeB structure	148
		Kyoung-Min Lee*, Taufik Bonaedy, Byoung-Chul Min, Junghyun Sok, and Jun Woo Choi	
SO04	Poster	Hybrid Planar Hall Resistance sensor for low magnetic field and spin detection ...	149
		송인철*, Souleymane KAMARA, Ferial TERKI, 김철기	
○ Session NM[Nano-structured materials]			
NM01	Poster	반강자성체 결정립의 용이축 분포에 따른 교환 결합 특성	151
		김동영*, 윤석수	
NM02	Poster	Uniaxial magnetic anisotropy in epitaxial Fe/MgO layers on InAs(001)	153
		Jeong Hong Jo*, Hyung-jun Kim, Joonyeon Chang, and Sang Ho Lim	
○ Session MO[Magnetic Oxides and Multiferroics]			
MO01	Poster	Magnetic and thermoelectric properties of Fe _{3-x} Co _x O ₄ thin films on MgO (100)	154
		Quang Van Nguyen*, Christian Meny, Duong Anh Tuan, Yooleemi Shin, Nguyen Thi Minh Hai, and Sunglae Cho [†]	
○ Session BM[Biomedical Magnetism]			
BM01	Poster	The Characteristics on the metamorphosis of cell application for Transcranial Magnetic Stimulation	155
		Whi-Young Kim*	
BM02	Poster	펄스자기장 자극에 따른 경락 진단 가능 평가	158
		신연섭*, 정유한, 황도근, 이현숙	
BM03	Poster	Signal Detection by Using GMR-SV Biosensor for the Magnetic μ -Beads Attached to Red Blood Cell	161
		Jae-Yeon Lee, Moon-Jong Kim, Purevdorj Khajidmaa, Munkhbat Bolormaa, Sang-Suk Lee*	
○ Session SA[Sensor and Applications]			
SA01	Poster	인공위성용 탐지코일 마그네토미터 개발에 관한 연구	163
		정다혜*, 조영훈, 손대락	
SA02	Poster	Tendon의 인장응력에 따른 자기이력곡선 특성의 측정	165
		강선주*, 조창빈, 이정우, 손대락	

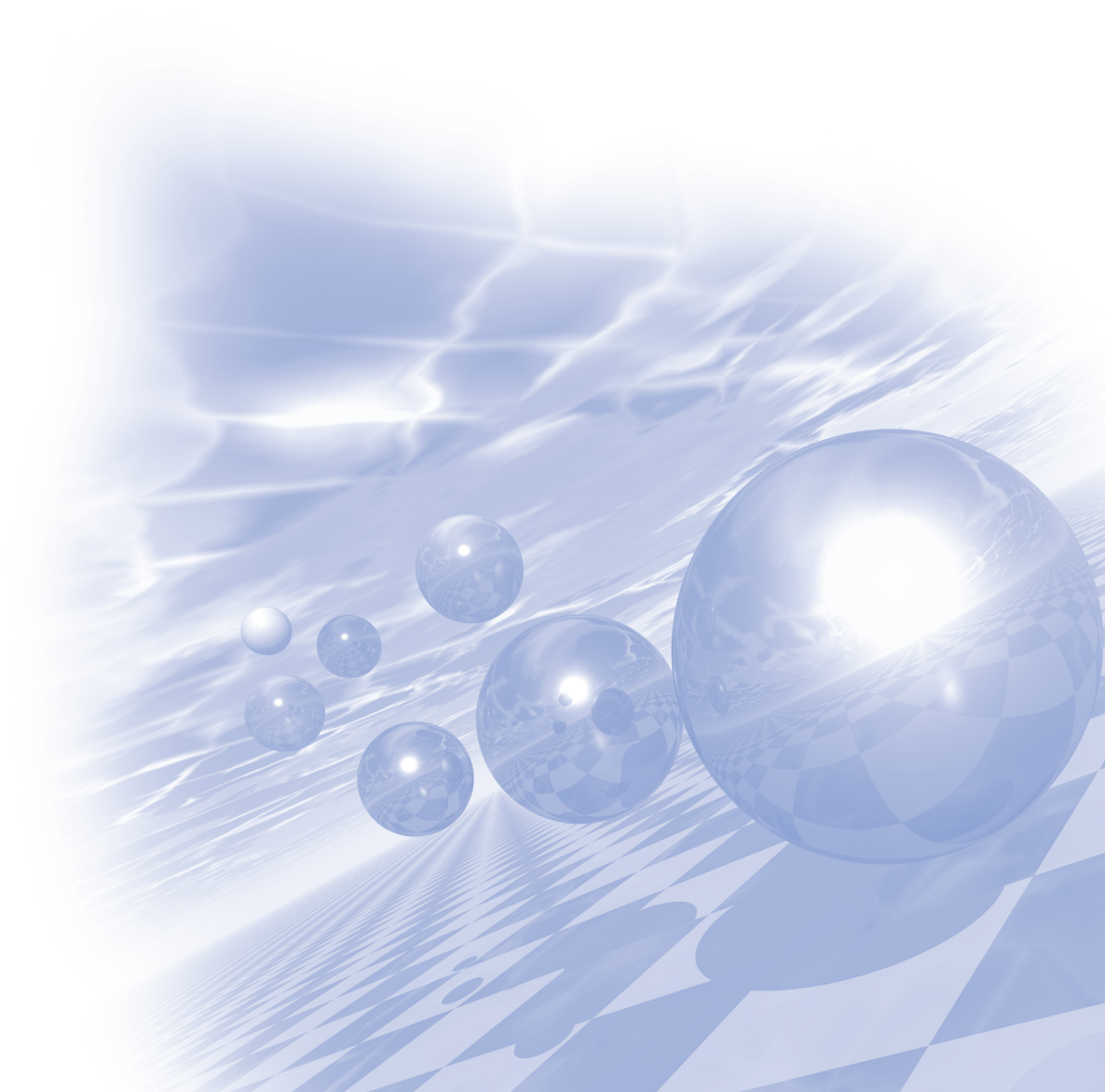
○ Session OT[Others]

OT01	Poster	Effects of the Ar pressure on the magnetic and magnetocaloric properties of sputtered Er-Co thin films 167
		Miri Kim*, Myung-Hwa Jung, Chung Man Kim, and Sang Ho Lim
OT02	Poster	Substrate Effect on Magnetothermoelectricity of CoFeB/Pt Heterostructures 168
		Kyeong-Dong Lee*, Dong-Jun Kim, Byong-Guk Park, Jong-Ryul Jeong, Hyon-Seok Song, Jeong-Woo Sohn, and Sung-Chul Shin
OT03	Poster	Magneto-transport and thermoelectric properties of MBE-grown MnP films on GaAs (100) 170
		Duong Anh Tuan*, Yooleemi Shin, Nguyen Van Quang, Nguyen T.M. Hai, and Sunglae Cho
OT04	Poster	CoFe _{1.5} Al _{0.5} O ₄ 물질의 결정학적 및 자기적 특성 연구 171
		명보라*, 김삼진, 임정태, 김철성
OT05	Poster	BaCo _{1.25} Zn _{0.75} Fe ₁₆ O ₂₇ 의 뢰스바우어 분광 연구 172
		김현규*, 김영일, 김재환, 신승준, 지민정, 현정민, 임정태, 김철성
OT06	Poster	LiFePO ₄ 의 spin reorientation 특성 연구 173
		방소연*, 최현경, 김연준, 김주현, 김효진, 유규향, 이성룡, 한종대, 김문환, 김철성
OT07	Poster	Fe계 촉매의 결정학적 및 자기적 특성 연구 174
		임정태*, 천동현, 박지찬, 김삼진, 심인보, 김철성
OT08	Poster	플라즈마 처리를 한 Fe ₃ O ₄ 나노입자의 자기적 특성 175
		최현경*, 최정훈, 이상준, 이종욱, 차승환, 최승태, 하윤주, 황진원, 김성백, 한은주, 김철성
OT09	Poster	⁶³ Ni in beta voltaic battery 176
		Jin Joo Kim*, Young Rang Uhm, and Kwang Jae Son
OT10	Poster	Mössbauer 분광기를 활용한 Dietary supplement 연구 177
		임재청*, 엄영랑
OT11	Poster	Synthesis of Co diffused Cu for Mössbauer source 178
		Sang Moo Choi*, Young Rang Uhm



International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014

총회 특별초청강연



Thirty Four Years with Nd-Fe-B; Invention, Development, and Future

Masato Sagawa^{*}

Intermetallics Co., Ltd., Kyoto 615-8245, Japan

The details about the invention of the Nd-Fe-B magnets, discovery of Dy to cope with their poor temperature stability, and industrialization of the new products are explained. After the big success in their industrialization, I have been working for ultimate Nd-Fe-B magnets ever since. A new production process called pressless process or PLP for short developed for such ultimate Nd-Fe-B magnets is introduced. Finally, I discuss a direction of the research aiming at new magnets exceeding the Nd-Fe-B magnets.

Birth in 1943

1972 : Dr. Eng. from Tohoku University

1972-1982 : Fujitsu Ltd.

1982-1988 : Sumitomo Special Metals Co., Ltd.

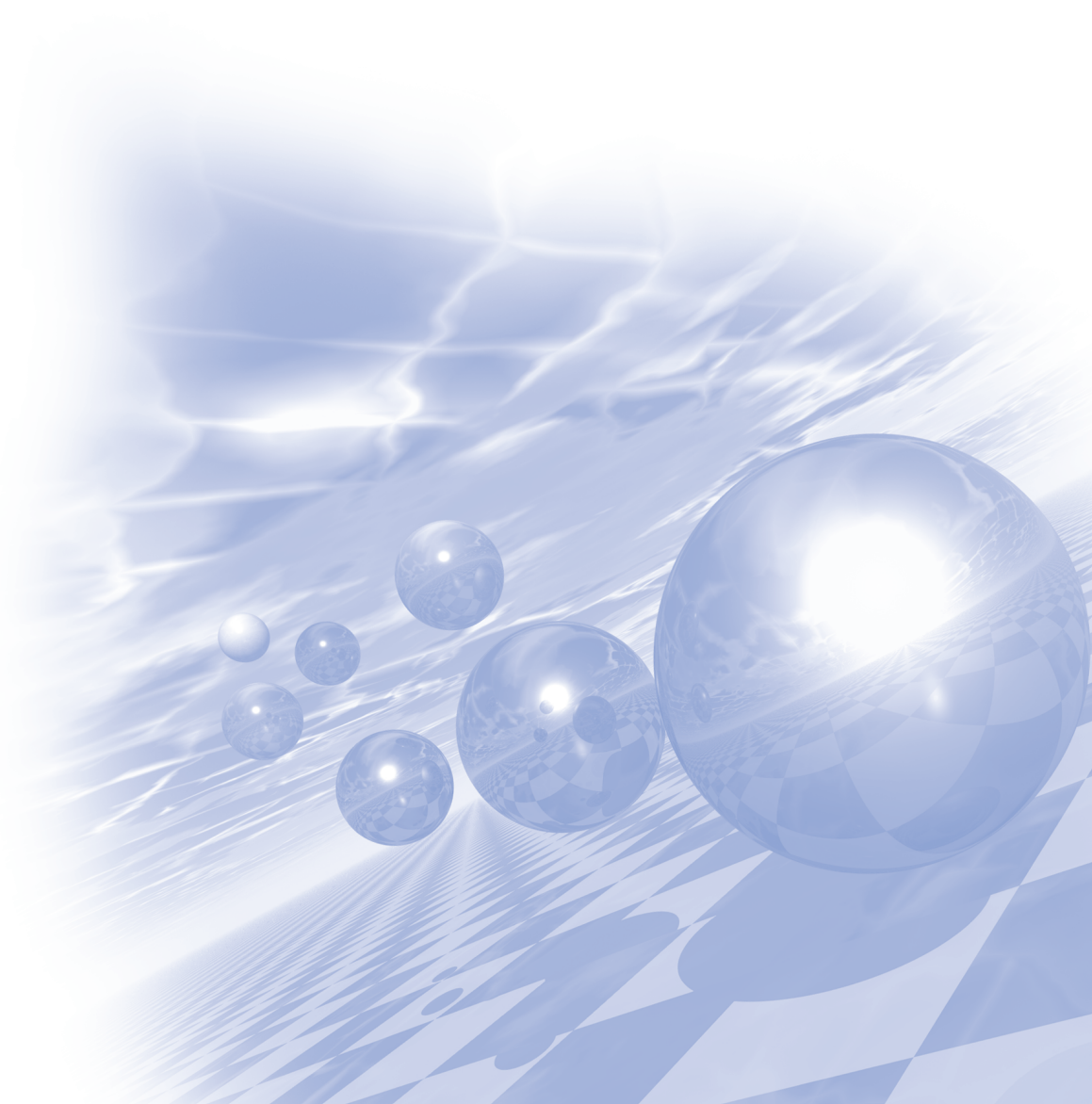
1988-2012 : President, Intermetallics Co., Ltd.

2012- : Adviser, Intermetallics Co., Ltd.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

강습회 프로그램



빛을 이용한 자기 현상의 연구

김재영*

포항가속기 연구소

이 강연에서는 빛과 물질 내부의 전하 및 스핀간의 상호작용을 이용하여 자기현상을 연구하는 방법인 MOKE (Magneto-Optical Kerr Effect), XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism), XRMS (X-ray Resonant Magnetic Scattering)에 대한 소개를 하고자 한다. 강의의 구성은 먼저 각 측정방법들의 간단한 원리 및 실험장치의 구성 / 측정방법 및 분석방법 / 그리고 적용사례로 구성할 예정이다. 측정원리 부분은 직관을 바탕으로 최대한 수식을 배제함으로써 이 실험방법들의 물리적인 원리를 이해하게 하는데 초점을 둔다. 이를 위해서 빛의 편광 및 전자궤도의 대칭성, 그리고 X-ray Absorption spectroscopy (XAS)의 원리를 설명하는 것으로부터 강의를 시작할 것이다. 이 부분에서는 특히 포항가속기에 설치되어 있는 MOKE, XMCD, XRMS 실험장치들의 구성을 바탕으로 앞에서 설명한 원리들이 어떻게 적용되는지 보여줄 것이다.

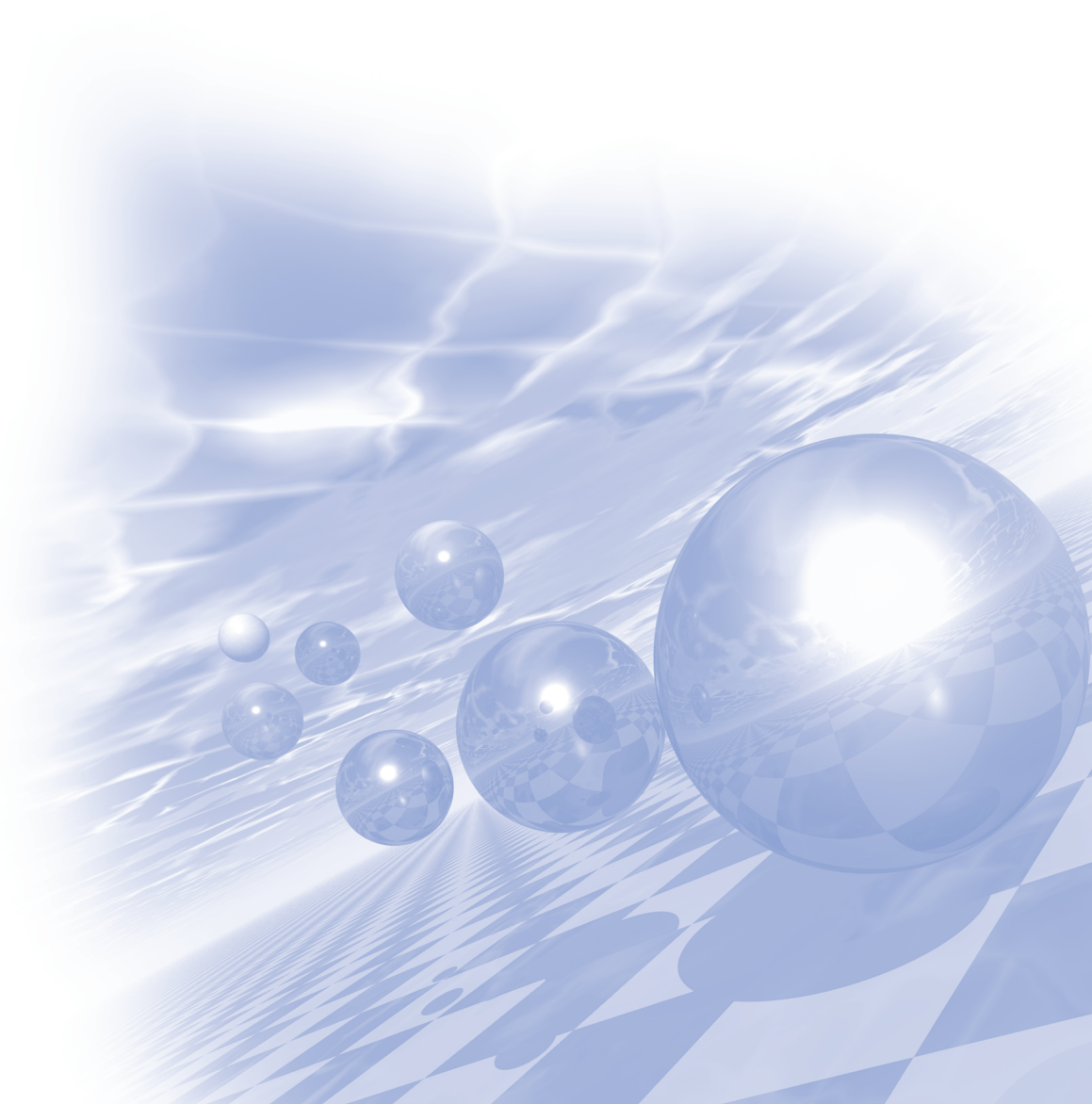
측정방법 부분에서는 이 장치들의 다양한 측정 모드들을 설명하고 각각 특화된 실험목적 및 장단점을 설명할 것이다. 그리고, XMCD 분석을 위한 sum rule의 원리 및 실제 분석 과정 등을 보여줄 예정이다. 특히, XMCD를 통해 MOKE 정보를 얻을 수 있는 방법까지 설명할 것이다.

적용사례 부분에서는 자성박막, 희박자성반도체, 망간화합물, 스피넬, 다강체 등의 대표적인 자성물질 및 자성구조에 대해 이 측정방법들이 연구에 응용된 다양한 사례를 보여줌으로써 다른 자성 측정법들과 어떤 차이점이 있는지를 이해하도록 하는데 중점을 둘 예정이다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

초청강연 I



Recent progress in magnetization dynamics and noble magnetic material

Chanyong Hwang^{*}

Korea Research Institute of Standards and Science, Center for Nano-metrology

Recently the importance of dynamic properties of nano-magnetic materials has drawn a lot of attention. Experimental approaches such as time-resolved MOKE or time resolved PEEM-XMCD enable the proof of the numerical results based on micro-magnetic simulation. In addition, the FEL is expected to be a unique tool for the magnetization dynamics in the near future. In addition to the magnetization dynamics, new magnetic systems such as Skyrmion, spin-orbit interaction based materials, and the noble non-d&f magnetic systems such as nano-sclaeagraphene are expected to be very important for the era of spintronics. Several studies on magnetization dynamics and noble magnetic materials will be presented.

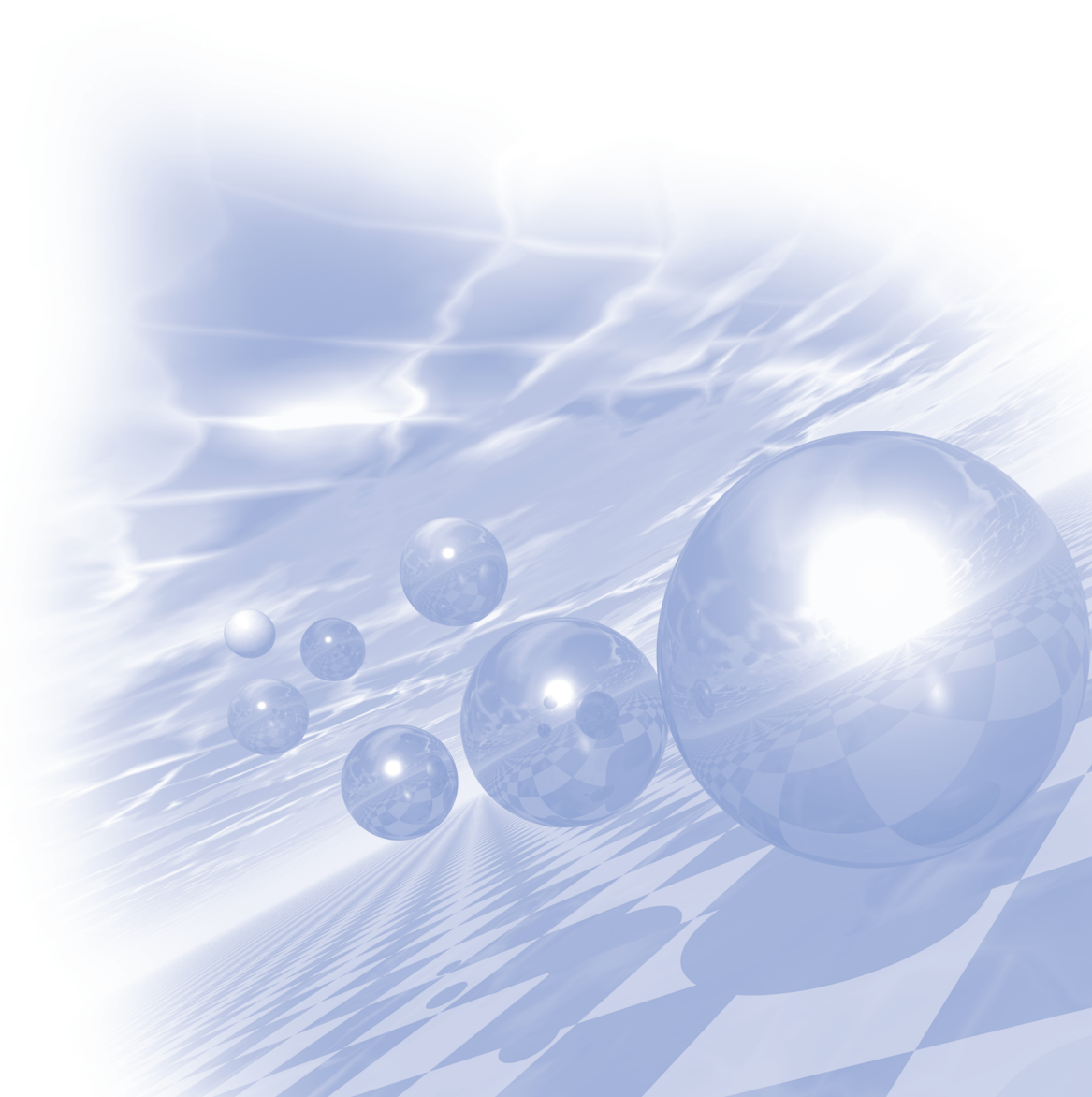
1. Synthetic Skyrmion and its topolocal properties in Co/Ni/Cu(100)
2. Magnetism of graphenenano ribbon
3. Non-linear behavior of magnetic vortex core reversal
4. Exchange-bias revisited



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

Special Session I

‘뫼스바우어분광워크숍’



Neutron In-beam 뫼스바이어 분광법과 그 응용

Neutron In-beam Mössbauer Spectroscopy and Its Applications

선광민*

한국원자력연구원 중성자응용기술부

2009년 한국원자력연구원 하나로에는 액체수소를 사용하는 냉중성자원이 설치되었으며 총 7개의 냉중성자 가이드가 설치되어 있으며 그중 CG2B 가이드의 말단에는 중성자포획반응을 이용하는 즉발감마선 방사화분석 장치(Prompt Gamma Activation Analysis)가 개발되어 운영되고 있으며 이와 함께 중성자의 포획 반응에 의해 생성되는 핵종에서 방출되는 즉발감마선 및 지발감마선을 사용하는 In-beam 뫼스바우어 분광기의 개발을 계획 중에 있다. In-beam 여기과정에 의해 생성되는 즉발감마선 방출 핵종으로서 Gd-157, Gd-155, Er-167, Dy-161, Hf-177, Dy-163, Hf-179, Yb-171, Gd-154, Yb-173, Dy-160, W-182, Fe-56, Zn-66, K-39, 연속 방사화에 의해 생성되는 단반감기 핵종으로서 Er-153, Er-166, Lu-175, Os-186, Ir-191,192, Pt-195, Au-197, 또한 장반감기 핵종으로서 Pr-141, I-127, I-129, Ta-181, W-182 등이 뫼스바우어 분광법에 이용 가능하다. In-beam 뫼스바우어 분광법은 생체 (K-40), 촉매(Ir-193, Pt-196, Au-197), 초전도체(Pr-141, Dy), 지질 및 자성 박막(Gd, Er, Dy, Yb), 핵폐기물의 화학적 거동(I-129), 원자력발전소 및 전통적 발전소에서의 부식(Co-57), 방사선에 의한 화학적 변화(Fe-57 즉발감마선 핵종)와 같은 다양한 산업 및 연구 분야에 활용할 수 있을 것이다.

반도체를 이용한 Mössbauer용 감마선 검출기 개발

최정완¹, 서정철^{1*}

¹원광대학교 반도체.디스플레이학부

1. 서론

그동안 Mössbauer 측정에서 감마선검출기는 가스를 사용한 비례계수기가 가장 대중적으로 사용되었다. 그러나 근래에 획기적으로 발전된 반도체 기술로부터 포토다이오드의 성능이 향상되어 감도와 측정 속도에 있어 가스검출기의 성능을 능가하고 있다. 더구나 크기를 매우 작게 줄일 수 있어 탐사용 등에서는 반드시 사용되어야 하는 상황이다[1,2]. 본 연구에서는 포토다이오드를 사용한 감마선 검출기를 구성하여 그 성능과 특성을 연구하였다.

2. 실험방법과 결과

포토다이오드를 사용한 감마선 검출기에서 감마선에 의한 신호와 주변의 노이즈가 동시에 발생되는데 이를 구분하는 문제가 가장 중요하다. 본 실험에서는 일반 포토다이오드와 Avanch Photodiode(APD)를 이용하여 각각에 맞는 인가전압 및 신호 검출 회로를 찾아 구성하고 그에 따른 검출 결과를 분석 연구한다.

일반 포토다이오드의 경우에는 감마선의 에너지가 1Mev 정도에서 검출 가능한 신호가 발생하고 있으나 APD 에서는 그보다 50배 이상 신호가 가능하여 주변의 노이즈가 심한 경우에도 측정이 가능한 결과를 보여주었다.

3. 고찰

탐사용 Mössbauer 장비를 제작하는데 있어 포토다이오드를 사용한 검출기는 필수적이며 감마선 원의 세기가 약해질 경우에도 측정이 가능하도록 매우 감도가 커야 할 것이다. 본 연구의 결과로는 APD를 사용한 검출기가 이상적인 것으로 보인다.

4. 결론

탐사용 Mössbauer 장비에서는 APD 센서를 이용한 감마선 검출기가 가장 이상적인 것으로 보며 이에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] D. S. Rodionova, B. G. Klingelhoferb, E. N. Evlanova, M. Blumersb, B. Bernhardt, J. Gironesb, J. Maulb, I. Fleischerb, O. F. Prilutskii, A. F. Shlyka, V. M. Linkina, and C. d'Ustond, SOLAR SYSTEM RESEARCH Vol. 44 No. 5 2010.
- [2] Klingelhöfer, G., et al., Athena MIMOS II Mössbauer Spectrometer investigation, J. Geophys. Res., 108(E12), 8067, 2003

우주용 동위원소 열전 전지 개발 현황

김종범*

한국원자력연구원 동위원소이용연구부

방사성 동위원소 열전 전지는 심 우주와 같이 태양광을 에너지원으로 사용하기 어려운 환경에서 장시간 임무를 수행하기 위한 장치의 동력원으로 사용될 수 있다. 이와 같은 이유로 미국, 러시아와 같은 우주 개발 강국은 우주 개발 초창기부터 동위원소 열전 전지를 개발하여 사용하여 왔다. 미국의 경우 1960년대부터 시작하여 46개의 동위원소 전지를 Viking1,2호 및 Galileo 등의 우주 탐사 선에 사용하였다. 우주용 방사성 동위원소 열전 전지는 열을 발생시키는 방사성 동위원소와 열전 발전기로 구성되어있으며, 동위원소에서 발생된 열이 열전재료를 통해서만 외부로 전달되도록 하여 열전발전기에 온도차를 발생시켜 최적의 효율로 전기생산이 되도록 구성되어있다.

방사성 동위원소 열원은 주로 알파 방출체인 Pu-238을 사용한다. Pu-238은 반감기가 87.4년으로 단위 그램 당 약 0.56W의 열 출력을 낼 수 있다. 미국에서 개발된 Pu-238열원은 우주선 사고 상황시 안전성이 유지되도록 다중 캡슐에 보호되도록 설계됐다. 우주용 전지에 사용되는 초기의 열전 발전기는 고온에서 동작되는 SiGe계 열이 사용되었으며, 이후에는 PbTe 등의 중온용 열전재료가 사용되었다. 미국의 Cassini RTG program에서는 4kW 열 출력의 선원에 대해 572개의 SiGe 열전 couple을 이용하여 300W급의 전기 출력의 열전 발전기를 개발하였으며, 이후 768개의 PbTe 열전 couple을 사용하는 110W급 Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator를 개발하여 사용하고 있다.

국내의 경우 정부에서 착륙선, 로버 등을 달에 보내는 달탐사 사업을 준비하고 있으며 이의 시행을 위해 우주항공연구원에서 실무를 주관하고 있다. 이러한 달 탐사 사업에는 탐사 장비 탑재용 동위원소 열전 발전 시스템을 개발하고 실증하는 계획이 포함되어있다. 이러한 계획의 일환으로 한국원자력연구원 및 전기연구원에서는 달탐사 사업에 참여하여 열 출력 100W, 전기출력 10W급으로 10년이상 지속될 수 있는 방사성 동위원소 열전 전지를 개발하고 있다. 현재 연구는 초기단계로서 한국형 동위원소전지 개념 설계, 시험용 RTG 개발, 지상 데모용 RTG 개발, RTG 설계 최적화 프로그램 개발 등을 수행하고 있다.

방사성동위원소의 생산과 응용 (전력회수를 중심으로)

손광재*

한국원자력연구원 동위원소이용연구부

방사성동위원소 (RI, Radioisotope) 생산은 연구로 이용의 중요한 한 분야로서 국내에서는 1963년 TRIGA-Mark II 원자로의 가동과 함께 시작되었다. 이후 1974년 TRIGA Mark III 원자로가 가동됨에 따라 TRIGA-Mark II를 이용하여 개발한 I-131과 Au-198과 같은 방사성동위원소를 보다 많이 공급하게 되었으며, 저 용량이지만 Ir-192 산업용 선원도 제조할 수 있게 되었다. 이러한 일련의 연구결과는 국내 핵의학 및 관련 산업발전에 크게 기여하여 왔다. 하지만 이러한 소형연구로의 한계점과 노후화로 인해 그 이용의 효율성이 감소됨에 따라 새로운 중형급 원자로의 필요성이 대두되게 되었다. 1984년 ‘하나로’의 건설이 시작되어 10년간에 걸친 공사를 거쳐 1995년 4월 7일 첫 임계에 도달하게 되었고 현재는 30MW 최고 열출력으로 운전되고 있다. 더불어 ‘하나로’의 부대시설인 동위원소 생산시설이 1996년 완공되어 ‘하나로’에서 생산되는 대량의 방사성동위원소를 처리할 수 있게 되었다. 이러한 정부의 연구 인프라에 대한 투자는 바로 본격적인 연구개발로 이어졌으며, 그 결과 다수요 방사성동위원소의 생산기술 개발과 일부 핵종이나마 국내 수요를 충족할 수 있는 역량을 갖추게 되었다.

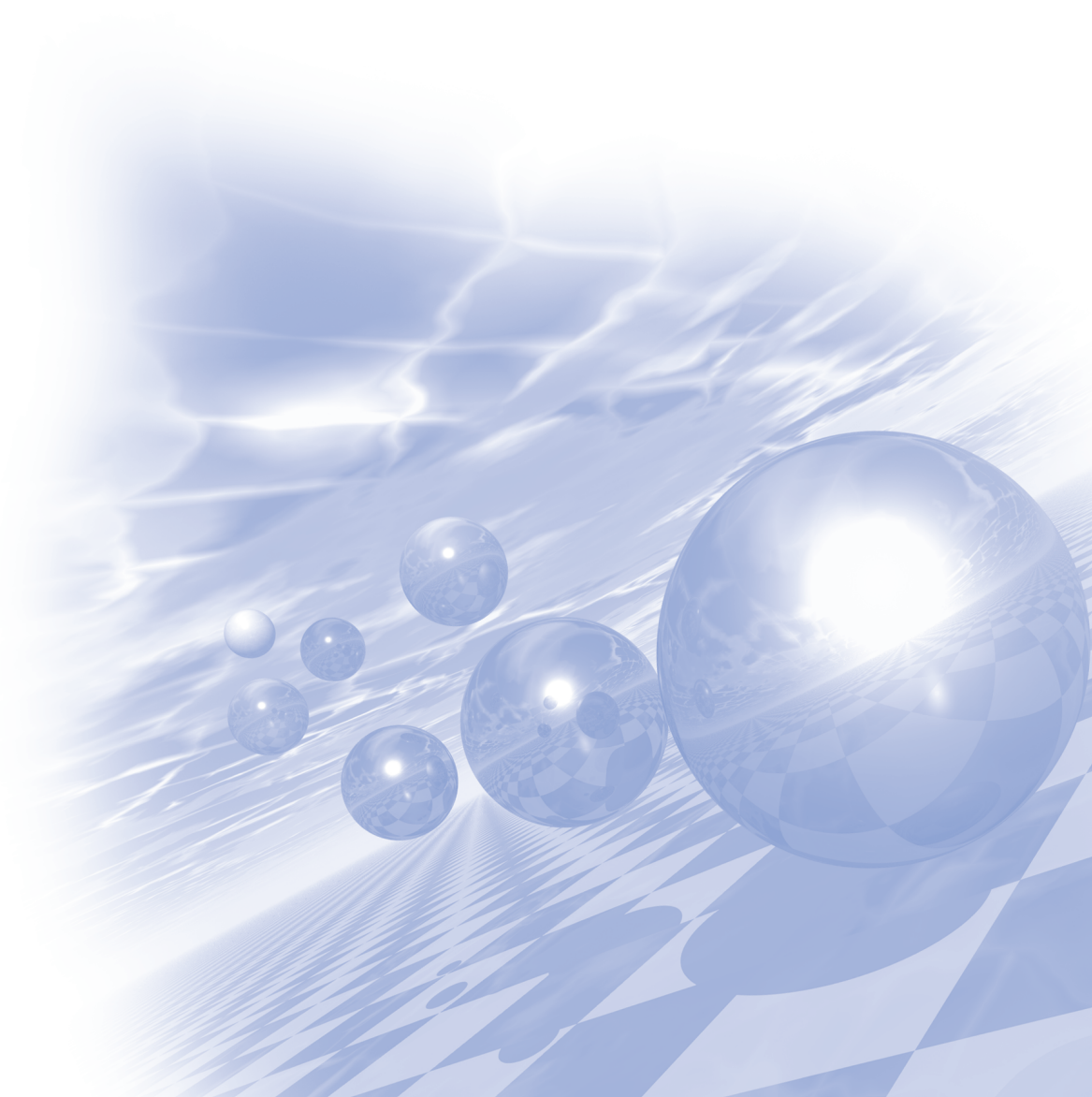
방사성동위원소는 산업, 의료, 환경 및 첨단 과학 분야에서 널리 사용되고 있다. 특히 핵의학, 방사선종양학 등 의료분야와 산업계측 및 비파괴검사의 일부분에서는 독점적인 지위를 차지하고 있을 뿐만 아니라 다양한 응용분야로 그 이용이 확대되고 있다. 산업분야에서 가장 대표적인 방사성동위원소 이용분야는 각종 구조물의 결함을 검출하여 파손, 붕괴 등의 위험으로부터 안전을 확보하게 하는 비파괴검사이다. 의료분야에서는 각종 종양의 치료에는 외과적 수술, 약물을 이용한 화학요법 그리고 방사선치료가 주로 사용되며 경우에 따라서는 이들 기술을 병용하여 사용하기도 한다.

방사성동위원소는 극한환경에서도 그 특성이 변하지 않을 뿐만 아니라 자체에너지를 보유하고 있다. 여기에 더해 반감기가 긴 핵종을 사용하고 열전기술을 접목할 경우 우주, 극지, 심해 등 극한 환경에서 사용이 가능한 장수명의 전력원에 응용될 수 있다. 또한, 단위 질량당 에너지 밀도가 높아 베타볼테익 등의 기술을 응용하여 초소형 장수명 배터리를 개발할 수 있다. 이러한 기술은 국가 전략사업인 우주개발 등의 기반기술로 활용되어 국격을 높이는데 기여할 수 있을 것이며 MEMS 기술에 접목되어 기술의 진보를 이루는데 큰 역할을 할 수 있을 것이다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

구두발표 I



Spin Orbit Torque in Pd/FePd/MgO System

Hwang-Rae Lee¹, Kyujoon Lee², Jaehun Cho¹, Young-Ha Choi², Chun-Yeol You^{1*},
Myung-Hwa Jung², Frederic Bonell³, Yoichi Shiota³, Shinji Miwa³, Yoshishige Suzuki³

¹Department of Physics, Inha University, Korea

²Department of Physics, Sogang University, Korea

³Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Japan

Recently, spin orbit torque (SOT) is actively studied due to its rich physics and possible applications in the magnetization switching or domain wall motion mechanism [1]. Since SOT have several possible physical origins including spin Hall effect (SHE) and Rashba effect, the careful measurements and analysis are require to obtain quantitative results. We investigate the SOT in Pd/FePd/MgO system, where the bulk perpendicular anisotropy (PMA) played important role. In order to investigate the thickness dependent SOT in bulk PMA Pd/FePd/MgO system, we varied the thickness of FePd. We used harmonics technique [2] in the SOT measurements with careful analysis method by considering possible artifacts such as planar Hall effect, Joule heating, and anomalous Nernst-Ettingshausen effects [3], and found the thickness dependent SOT for longitudinal and transverse directions. Our experimental results strongly suggest the SOT has a finite bulk term, which probably came from the structural gradient [4].

References

- [1] H.-R. Lee, *et al.* “Spin-orbit torque in a bulk perpendicular magnetic anisotropy Pd/FePd/MgO system”, Sci. Rep. **4**, 6548 (2014).
- [2] Pi, U. *et al.* “Tilting of the spin orientation induced by Rashba effect in ferromagnetic metal layer”, Appl. Phys. Lett. **97**, 162507 (2010).
- [3] J. Kim, *et al.* “Layer thickness dependence of the current-induced effective field vector in Ta|CoFeB|MgO”, Nature Mater. **12**, 240–245 (2013).
- [4] M. Jamali, *et al.* “Spin-orbit torques in Co/Pd multilayer nanowire”, Phys. Rev. Lett. **111**, 246602 (2013).

Nonreciprocal spin-wave propagation induced by interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction

Jong Min Lee^{1*}, Chaun Jang¹, Kyung-Jin Lee^{1,2}, Byoung-Chul Min¹, and Joonyeon Chang¹

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

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

Fax: +82-(2)-958-6851 E-mail address: jmlee@kist.re.kr

The magnetization can retain its spatially uniform alignment owing to the symmetric exchange interaction. On the other hand, there is anti-symmetric component of exchange interaction which can cause chiral magnetic order. The anti-symmetric interaction was proposed by Dzyaloshinskii to explain the weak ferromagnetism, and a related theory was developed by Moriya with a correction of spin-orbit coupling in Hamiltonian. Recently, the Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) has attracted an intense interest in the field of spintronics due to its great effect in magnetic dynamics such as, for instance, in magnetic domain wall motion in ferromagnetic thin films, where the interfacial DMI arises from spin-orbit coupling and broken inversion symmetry at the interfaces.

In this work, we show the nonreciprocal spin-wave propagation in ferromagnetic thin film induced by interfacial DMI. The spin-wave propagation is measured by a vector network analyzer. The presence of interfacial DMI leads to a nonreciprocity in the spin-wave propagation, and spin-wave frequency depends on the propagation direction. The frequency shift of spin wave provides an access to a quantitative measurement of interfacial DMI energy [1]. This approach using nonreciprocal spin-wave propagation can be extended to quantify the interfacial DMI energy in various ferromagnetic systems.

Reference

- [1] J.-H. Moon, S.-M. Seo, K.-J. Lee, K.-W. Kim, J. Ryu, H.-W. Lee, R. D. McMichael, and M. D. Stiles, *Phys. Rev. B* 88, 184404 (2013).

Effect of interstitial doping on atomic structure and magnetic properties of FeCo alloy

Imran Khan^{*}, Jicheol Son, Jisang Hong
Department of Physics, Pukyong National University

We have investigated the magnetocrystalline anisotropy of carbon and nitrogen interstitially doped FeCo alloy by means of full potential-linearized augmented plane-wave method within the generalized gradient approximation. By impurity doping we found a tetragonal distortion in FeCo lattice. The local magnetic moment of Fe atom around the impurity site was highly suppressed, while no pronounced change was found in the local magnetic moment of Co atom. Using the torque method we found a magnetocrystalline anisotropy constant of 0.65 and 0.58 MJ/m³ for C and N doped bulk FeCo. This was mainly due to the tetragonal distortion induced by C and N impurity and not because of hybridization effect with Fe or Co atom because no substantial changes in magnetocrystalline anisotropy constant was found even without C and N impurity in the lattice distorted systems. Additionally, the estimated maximum energy product and coercive field were 81.4, 72.5 MGOe and 600, 530 kA/m for C or N doped FeCo, respectively. These investigations show a broader perspective for the role of interstitial doping on atomic structure and magnetic properties of FeCo alloy.

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

Ab initio investigation on the magnetization of Pd thin films

Tran Van Quang^{1*}, Hanchul Kim², and Miyoung Kim²

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

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

Strain induces magnetization on the Pd which is non-magnetic in its bulk form. Depending on the substrate, the pseudo-morphically grown Pd surfaces can exhibit an induced magnetic moment even with the scarce interfacial hybridization, solely due to the strain effect. In this study, we report our first-principles investigation on the Pd magnetization in various environments. The effects of strain, substrate, and the external electric field on the electronic and magnetic properties are examined from the electronic structure calculations in the framework of DFT (Density Functional Theory) within both the local density approximation and the generalized gradient approximation. Different behavior of the surface and interfacial Pd atoms especially in their magnetic properties will be discussed.

Thermally stable perpendicular magnetic anisotropy features of Ta/TaO_x/Ta/CoFeB/MgO/W stacks via TaO_x Underlayer insertion

Seung Mo Yang^{1*}, Ja Bin Lee¹, Gwang Guk An¹, Jae Hong Kim²,
Woo Seong Chung³, and Jin Pyo Hong^{1,2}

¹*Novel Functional Materials and Devices Lab, Department of Physics,
Hanyang University, Seoul 133-791, South Korea*

²*Division of Nano-Scale Semiconductor Engineering,
Hanyang University, Seoul 133-791, South Korea*

³*Nano Quantum Electronics Lab, Department of Electronics and Computer Engineering,
Hanyang University, Seoul 133-791, South Korea*

1. Introduction

Spin-Transfer-Torque Magnetoresistive Random Access Memory (STT-MRAM) has garnered considerable attention as a promising next generation nonvolatile memory due to extremely low power consumption, and high-speed performance.¹⁻² In particular, STT-MRAM, including out-of-plane magnetized tunnel junctions (p-MTJ) is highly promising, because it suggests it is possible to achieve the thermal stability factor Δ , which determines memory retention and write current density (J_c).³ A critical issue for Ta/CoFeB/MgO stacks, which is one of key structures for p-MTJ, is PMA feature degradation during annealing temperatures greater than 300 °C, which is equivalent to the annealing temperature used in a standard CMOS integrated process. Therefore, we describe an effective Ta atom diffusion sponge approach to create thermally stable Ta/CoFeB/MgO stacks that involves use of a TaO_x underlayer.

2. Experimental Details

Two stack samples were prepared by utilizing a radio-frequency magnetron sputter-system. One sample was Si/SiO₂/Ta (1)/Co₂Fe₆B₂ (1.2)/MgO (2)/W (3) [Sample A] while the other was Si/SiO₂/Ta (1)/TaO_x (1)/Ta (1)/Co₂Fe₆B₂ (1.2)/MgO (2)/W (3) [Sample B]; numbers in parentheses refer to the thickness of each layer in nanometers. The TaO_x layer was grown by mixing an extremely small amount of O₂ gas (1 % of Ar) into the Ar gas atmosphere during Ta sputtering. To monitor diffusion of Ta atoms toward the CoFeB layer or TaO_x under-layer, a post-annealing process was carried out for both samples; this involved incubation at 250 °C and 350 °C for 1 hour under vacuum at a pressure below $\sim 1 \times 10^{-3}$ Torr and a perpendicular magnetic field of ~ 2 kOe. Finally, in-plane and out-of-plane magnetic properties were measured by vibrating sample magnetometry (VSM) and XPS measurements were taken.

3. Results and Discussion

The insertion of TaO_x layer clearly shows the enhanced annealing stability for Ta/CoFeB/MgO stacks, which was confirmed by hysteresis loops. This behavior can be explained by the fact that TaO_x layer suppressed Ta diffusion into the CoFeB/MgO interface. This diffusion behavior was confirmed by XPS depth profile analysis.

Moreover, the role of TaO_x layer for the diffusion-suppressor was explained and also confirmed by XRD analysis.

4. Conclusion

In conclusion, we evaluated a simple TaO_x underlayer approach as an alternative solution to stabilize the PMA features of CoFeB/MgO free layer stacks. Different oxygen amounts in the TaO_x underlayer had a significant impact on magnetic responses, likely due to variation of pre-existing grain boundaries. XPS analysis indicated that the TaO_x underlayer functioned as a diffusion sponge due to partial impregnation of Ta atoms into this layer during thermal annealing; this was supported by XRD analysis. Our approach represents a useful and simple route for generation of highly stable free layer stacks.

5. References

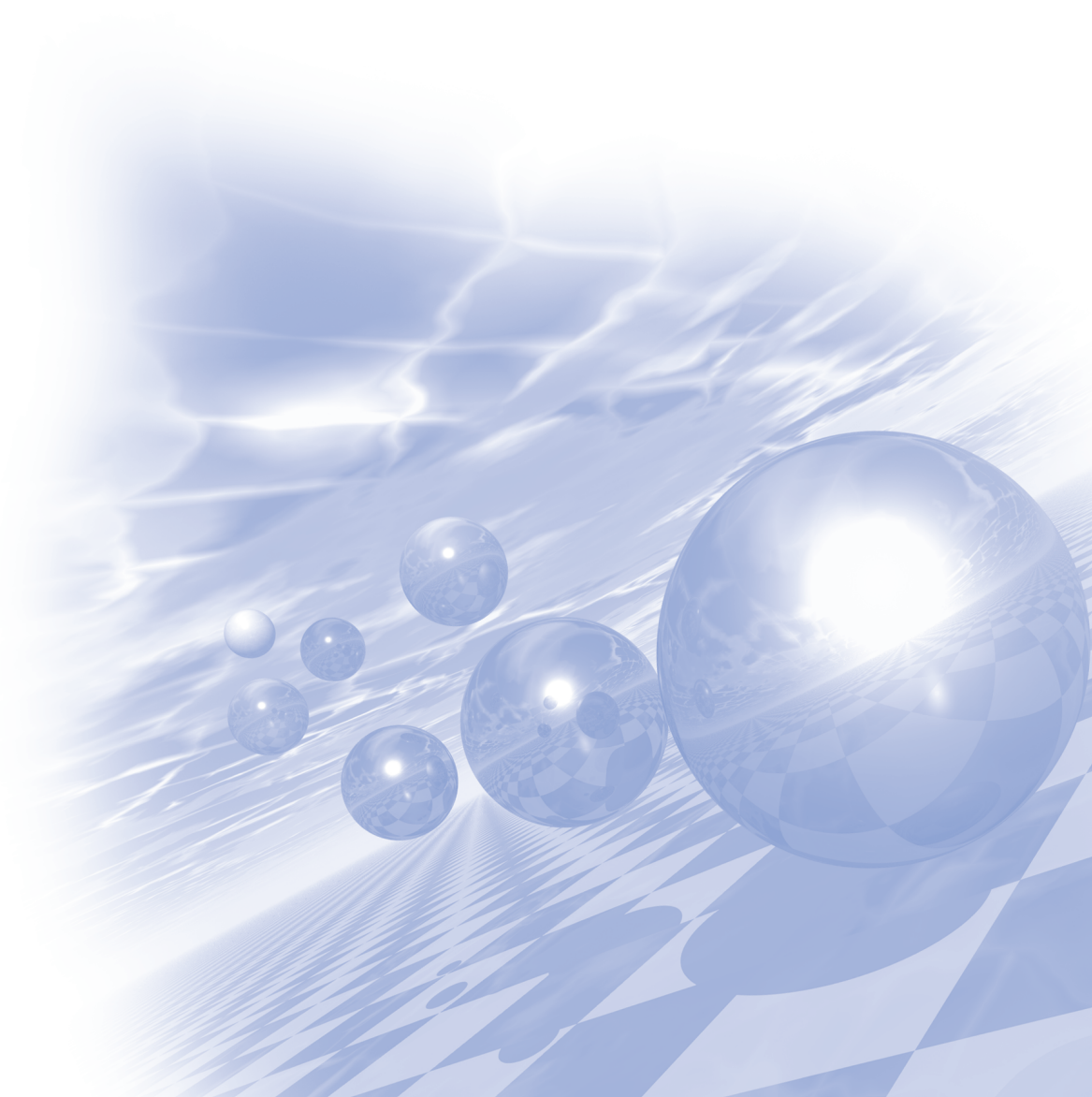
- [1] S. A. Wolf, D. D. Awschalom, R. A. Buhrman, J. M. Daughton, S. von Molnar, M. L. Roukes, A. Y. Chtchelkanova, and D. M. Treger, *Science* **294**, 1488 (2001)
- [2] Takayuki Kawahara, Riichiro Takemura, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Shoji Ikeda, Young Min Lee, Ryutaro Sasaki, Yasushi Goto, Kenchi Ito, Toshiyasu Meguro, Fumihiro Matsukura, Hiromasa Takahashi, Hideyuki Matsuoka, Hideo Ohno, *IEEE. J. Solid-State Circuits* **45**, 869 (2010)
- [3] S. Mangin, D. Ravelosona, J. A. Katine, M. J. Carey, B. D. Terris, Eric E. Fullerton, *Nature Mater.* **5**, 210 (2006)



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

Special Session I

‘뫼스바우어분광워크숍’



뫼스바우어 분광학과 그 이용

김철성*

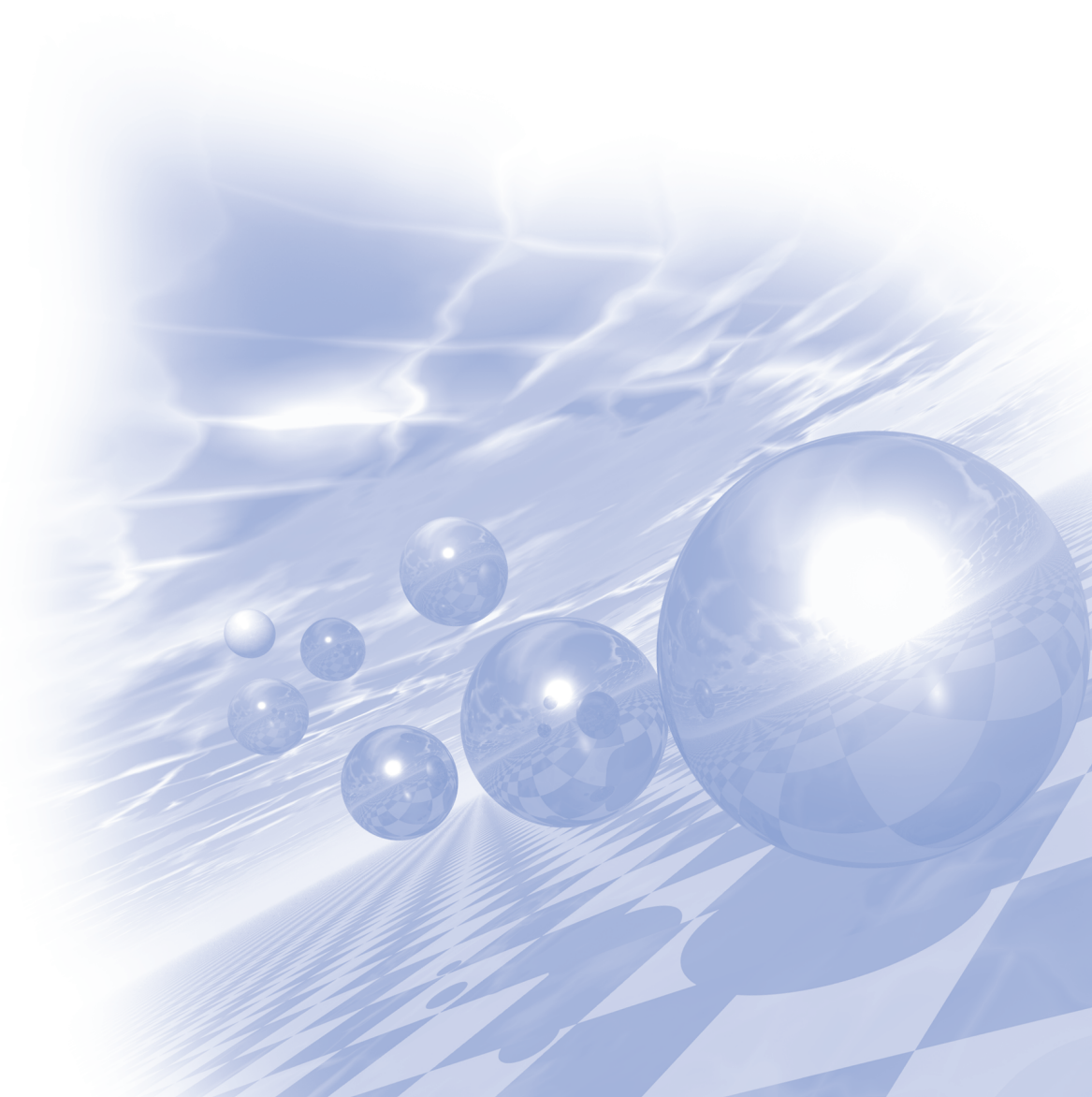
국민대학교 물리학과

뫼스바우어 감마선 핵공명 현상은 1961년 노벨 물리학상 수상 업적으로, 하이젠버그의 불확정성원리를 만족시키는 여러 학문 분야에서 꼭 필요한 실험 방법으로 그 이용은 매우 다양하다. 최근 인공위성 탑재체 및 NASA, 중국 등의 화성 탐사선에 뫼스바우어 장비를 장착하여 물의 존재 가능성을 제시함에 따라 학계에서 높은 관심을 받았다. 또한 뫼스바우어 연구를 통해 우리나라의 고유한 고려청자의 색도와 진위여부가 가능하며, 연대별, 지역별 고려청자 출토 지역의 소지와 유약의 성분비에 따른 Fe 분포도를 연구함으로써, 고려청자의 재현성을 높일 수 있다. 이처럼 Fe 이온 또는 전기사중극자 분열 및 초미세 자기장을 이용한 자기적 성질을 연구함에 따라, 각종 철화합물의 물리화학적 특성을 볼 수 있다. 독보적인 뫼스바우어 분광 측정 기술력은 리튬이차전지, 희토류 자석, 페라이트 자성물질, 나노 입자를 이용한 hyperthermia, 산화물 안테나 등의 연구에 이용되어 크게 각광받고 있다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

구두발표 II



Excited eigenmodes in soft magnetic half- and part-spheres with three-dimensional magnetic vortex

Sang-Koog Kim[†], Myoung-Woo Yoo^{*}, and Jae-Hyeok Lee

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

Recently, nontrivial spin textures such as the magnetic skyrmion [1] have been intensively and extensively studied. Novel dynamic features, such as excited eigenmodes of complex magnetic configurations in three-dimensional (3D) geometrical confinements, have been identified. However, the understanding of those features has been based mostly on 2D magnetic simulations, which approach is unsuitable for the study of complicated 3D nanostructures having a rich variety of shapes. Thus, it is necessary to utilize 3D calculations to reveal additional detailed features or new underlying physics of their static and dynamic properties. In this manuscript, we report findings on novel 3D dynamic features of excited eigenmodes in special geometrical confinements, namely half- and part-spheres,[2] which could not be obtained using 2D approaches.

2. Results and Conclusion

We studied the ultrafast magnetization dynamics of the characteristic excited eigenmodes in special geometrical confinements (i.e., soft magnetic half- and part-spheres with a three-dimensional (3D) magnetic vortex [3]) using 3D micromagnetic numerical calculations.[4] We found additional fine features of the zeroth- and first-order gyrotropic modes and asymmetric $m = +1$ and $m = -1$ azimuthal spin-wave modes, which detailed information is unobtainable from 2D numerical calculations. Moreover, we examined the perpendicular bias field dependence of those eigenmodes, which data provides for an efficient means of control over the excited modes. Such 3D numerical calculations offer additional details or new underlying physics on the dynamic features of the 3D vortex structure in arbitrary-shape magnetic nano-elements such as half- and part-spheres.

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. 2014001928).

3. References

- [1] T.H.R. Skyrme, Nucl. Phys. **31**, 556 (1962); A. A. Belavin and A. M. Polyakov, JETP Lett. **22**, 245 (1975).
- [2] R. P. Boardman, H. Fangohr, and S. J. Cox, J. Appl. Phys. **95**, 7037 (2004); R. P. Boardman, J. Zimmermann, and H. Fangohr, A. A. Zhukov and P. A. J. de Groot, *ibid.* **97**, 10E305 (2005).
- [3] T. Shinjo, T. Okuno, R. Hassdorf, K. Shigeto, and T. Ono, Science **289**, 930 (2000); A. Wachowiak, J. Wiebe, M. Bode, O. Pietzsch, M. Morgenstern, and R. Wiesendanger, *ibid.* **298**, 577 (2002).
- [4] D. Suess, and T. Schrefl, FEMME: Finite Element MicroMagnEtics 5.0.8 (SuessCo, <http://suessco.com/>).

Perpendicular-bias-field control of coupled-vortex oscillations in nanodot networks

Dong-Soo Han, Young-Jun Cho^{*}, Han-Byeol Jeong, and Sang-Koog Kim[†]

National Creative Research Initiative Center for Spin Dynamics and Spin-Wave Devices, Nanospinics Laboratory, 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

We studied, by combined micromagnetic numerical simulations and analytical derivations, coupled vortex dynamics in one-dimensional (1D) arrays composed of two or more dipolar coupled-vortex-state disks under perpendicular bias fields. We derived explicitly analytical expressions that could provide physical insights into the observed dynamic behaviors. The effects of perpendicular bias fields on the interaction strengths between the coupled-vortex oscillators and their characteristic band structures were solved in terms of field strength and direction; the implication here was that the normal modes and dispersion relations of collective vortex gyration as well as the signal-transfer rate can be tailored according to the derived explicit forms. The band width and gap of 1D coupledvortex oscillator magnonic crystals, for example, are essential to the control of gyration-signal transfer in vortexstate dot networks. All of the analytical calculation results showed quantitatively good agreement with the micromagnetic simulation results, indicating that the perpendicular-bias-field dependence of coupled-vortex gyrations can be expressed simply as a function of the dynamic parameters under the zero field, and the field strength and direction. This work provides not only a fundamental understanding of the effects of perpendicular bias fields on coupled-vortex oscillators but also an efficient practical means of dynamic manipulation of collective vortex gyrations.

References

- [1] J. Shibata and Y. Otani, Phys. Rev. B **67**, 224404 (2003); J. Shibata and Y. Otani, Phys. Rev. B **70**, 012404 (2004).
- [2] S. Sugimoto *et al.*, Phys. Rev. Lett. **106**, 197203 (2011).
- [3] A. Vogel *et al.*, Phys. Rev. Lett. **106**, 137201 (2011).
- [4] H. Jung *et al.*, Sci. Rep. **1**, 59 (2011); H. Jung *et al.*, Appl. Phys. Lett. **97**, 222502 (2010); D. -S. Han *et al.* Sci. Rep. **3**, 2262, (2013)
- [5] K.-S. Lee *et al.*, J. Appl. Phys. **110**, 113903 (2011); M. -W. Yoo *et al.*, J. Appl. Phys. **109**, 63903 (2011)
- [6] O. V. Sukhostavets, J. González, and K. Y. Guslienko, Phys. Rev. B **87**, 094402 (2013).

Vortex-core reversal dynamics at elevated temperatures

김보성^{1*}, 유명우¹, 이제현¹, 김상국¹

¹Research Center for Spin Dynamics and Spin-Wave Devices, and Nanospinics Laboratory,
Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Republic of Korea

1. 서론

현재 널리 사용되고 있는 전하 제어 방식 소자의 한계를 극복하고자, 스핀 동역학이 활발히 연구되고 있다. 특히 패턴된(patterned) 자성 박막에서 형성되는 자기소용돌이(magnetic vortex) 구조는 핵의 자화 방향과 회전 방향에 따라 네 가지로 구분되는 안정한 구조를 가지고 있어 정보 저장과 논리 소자로의 응용에 많은 관심을 끌고 있다. 자기소용돌이는 핵의 공명 현상을 이용하여 적은 에너지로도 피코에서 나노초 수준의 빠른 작동이 가능하다는 장점을 가지고 있어, 차세대 소자로의 응용이 기대된다.[1]

한편, 소자의 크기의 소형화됨에 따라 주변 온도와 주열 발열(Joule heating)을 더 이상 무시할 수 없게 되었다. 특히 자성 재료 내에서는 온도에 의해 자화 벡터들이 불규칙하게 요동을 하게 되는데, 이것은 자성 물질을 기반으로 한 소자의 오작동이나 저장된 정보의 손실, 수명의 단축 등의 문제를 일으키는 주요 원인이 되기 때문에 소자구현에 앞서 반드시 선행되어야 하는 연구이다. 이런 맥락에서 온도가 자기소용돌이의 거동에 미치는 영향이 꾸준히 연구되어왔지만,[2,3] 온도가 자기소용돌이 핵의 반전에 미치는 영향은 아직 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 온도에 따라 자기소용돌이 핵의 반전에 일어나는 변화를 미소자기 전산모사를 통해 알아보았다.

2. 실험방법

본 전산모사에서는 지름 150nm, 두께 20nm의 원기둥 형 퍼멀로이(permalloy, $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) 내부에서 일어나는 스핀의 거동을 FEMME 프로그램을 이용하여 0K, 100K, 200K, 300K 각 온도에서 관찰하였고, 결과의 분석을 위해 자기소용돌이 핵 반전의 기준으로 알려진 핵의 속도(v)와 자화 구덩이(m_z, dip), 교환에너지 변화(ΔE_{ex})를 온도에 따라 살펴보았다.[4-6] 다양한 온도 환경을 반영하기 위해 온도에 의한 외부 자기장 \mathbf{H}_{th} 항이 포함된 stochastic Landau-Lifshitz-Gilbert 방정식을 사용하였으며, 자기소용돌이를 여기 시키기 위해 핵의 고유진동수와 같은 1.07GHz의 반 시계-면 방향 회전 자기장을 외부에서 인가하였다.

3. 결과 및 고찰

전산모사 결과, 온도가 상승하였을 때에도 0K에서와 마찬가지로 핵의 반전이 vortex-antivortex의 형성과 소멸 과정을 통해 일어남을 확인하였다. 그리고 0K에서 핵의 반전이 항상 일어나는 조건임에도 온도가 상승하였을 때에는 핵의 반전이 확률적으로 일어나며, 핵의 반전을 100% 확률로 일으키기 위한 임계 자기장의 세기가 온도가 상승할수록 증가하는 것을 관찰하였다. 한편 핵의 속도는 핵의 반전 여부와 관계 없이 모두 임계 속도(v_{cri})에 도달하는 반면, 자화 구덩이와 교환에너지 변화는 핵의 반전이 일어나는 경우에만 각각의 임계 점 $m_z, \text{dip} = -p$, $\Delta E_{\text{ex}} = 8\pi A_{\text{ex}}L$ 에 도달하는 것을 알 수 있었다. 이는 온도가 증가할수록 스핀들을 무질서하게 만드는 \mathbf{H}_{th} 의 증가로 인해 자화 구덩이가 임계 점에 도달하지 못하기 때문이다.

4. 결론

본 연구를 통해 다양한 온도에서 자기소용돌이 핵 반전의 과정을 살펴보았다. 임계 값 이하의 외부자기장

이 인가되었을 때 자기소용돌이 핵의 반전이 확률적으로 일어나며, 임계 자기장의 세기는 온도가 상승할수록 점차 커지는 것을 확인하였다. 또한 자기소용돌이 핵의 반전의 기준은 임계속도가 아닌 자화 구덩이와 교환에너지 변화이며, 온도 상승이 야기하는 스핀의 불규칙한 요동의 심화가 핵 반전을 위한 자기장의 세기를 점차 증가시킨다는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 자기소용돌이 기반 소자의 제작에 앞서 온도로 인한 소자의 에너지 증가, 오작동, 수명 등을 예측하는데 필요한 제반 지식을 제공하는데 의의가 있다.

5. 참고문헌

- [1] K. Y. Guslienکو *et al.*, J. Appl. Phys. **91**, 8037 (2002)
- [2] J.-G. Zhu, J Appl. Phys **91**, 7273 (2002)
- [3] X. W. Yu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **106**, (2011)
- [4] K.-S. Lee *et al.*, Phys. Rev. Lett. **101**, (2008)
- [5] K. Y. Guslienکو *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, (2008)
- [6] S. Gliga *et al.*, J. Phys.: Conference Series **303**, 012005 (2011)

The effect of the MgO(001) layer on CuPc-based organic spintronic devices

Yu Jeong Bae^{1*}, Nyun Jong Lee¹, Jessica Wade², Ji-Seon Kim², and Tae Hee Kim¹

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

²Department of Physics, Imperial College London, London, UK

*E-mail: taehee@ewha.ac.kr

Spin transport phenomena in organic semiconductors (OSCs) has been explored actively for developing next-generation memory devices based on various advantages of OSCs [1,2]. One of the major hindrances in this organic spintronic field is to control interface properties between OSCs and ferromagnetic metals (FMs) for improving the device efficiency.

In this work, we focus on the effect of thin MgO(001) layer on the interface properties of FM Fe and OSC Cu-Phthalocyanine (CuPc). Systematic studies of spin-dependent transport were performed in Fe(001)/MgO(001)/CuPc/Co magnetic tunnel junctions (MTJs) with a 1.6 nm thick MgO and thin CuPc films of various thicknesses (0 ~ 5 nm). We observed tunneling magneto-resistance (TMR) higher than 200% at 77 K in MTJs with 1~2 nm thick CuPc layers. However, no MR was observed in Fe(001)/CuPc/Co structure without the MgO layer. In order to understand the effect of the MgO(001) layer on spin transport, we studied polymorphs of the CuPc molecules by Raman spectroscopy. While CuPc molecules of the 1st monolayer strongly adsorb on Fe(001) surface, subsequent molecules have different polymorphs. These surface analysis results indicate that the structure ordering of CuPc molecules could be strongly related to competition between interface (surface) interaction and intermolecular interaction. Thus, CuPc molecules on MgO(001) form the rather well-ordered structure due to the predominant intermolecular interaction than the CuPc/ MgO(001) interface interaction.

References

- [1] K. V. Raman et al., Nature 493, 509 (2013)
- [2] S. Sanvito, Nature Physics 6, 562 (2010)

Chirality sensitive magnetic field pulse driven domain wall motion with perpendicular magnetic anisotropy

J.-S. Kim¹, Y. Yin¹, J. H. Franken¹, J. Cho², C.-Y. You^{2,*}, B. Koopmans¹, H. J. M. Swagten¹

¹Department of Applied Physics, Center for Nano Materials,
Eindhoven University of Technology, PO Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands

²Department of Physics, Inha University, Incheon 402-751, Republic of Korea

Recently, broken inversion symmetry has a great attention for future spintronic memory and logic devices since an inversion symmetry breaking system can lift the chiral degeneracy such as spin spirals and skyrmions through the Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI). The DMI stabilizes chiral Neel type domain walls (DWs) whose spin configuration is significantly effective for current-induced DW motion. However, there is a lack of technique to distinguish the spin configurations of DWs such as Neel wall (NW) or Bloch wall (BW).

We here investigate the in-plane magnetic field pulse driven Bloch and Neel type DW dynamics with a strong perpendicular anisotropy (PMA). Since the precession torque to the NW and BW due to an in-plane magnetic field exerts to rotate the DW in one direction, this torque leads to the DW displacement. The direction of the DW displacement only depends on the chiralities of NW or BW and the magnetic field. According to this method, we can directly distinguish NW and BW by applying in-plane field pulses since a NW or BW only reacts the in-plane field along the y- or x- direction.

As a new approach to manipulate DW with PMA, the dynamics in-plane field pulse driven DW motion can open the high velocities and large displacements of the DW motion. Finally, synchronous multiple NW motions affected by the DMI can be observed, which can open new ways for future non-volatile memory and logic devices.

Perpendicular Magnetic Anisotropy Features of [Co/Pd] Multilayer Matrix and Related Synthetic Anti-Ferromagnet Structure

Ja Bin Lee^{1*}, Gwang Guk An¹, Seung Mo Yang¹,
Jae Hong Kim², Woo Seong Chung³, and Jin Pyo Hong^{1,2}

¹*Novel Functional Materials and Devices Lab, Department of Physics,
Hanyang University, Seoul 133-791, South Korea*

²*Division of Nano-Scale Semiconductor Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, South Korea*

³*Nano Quantum Electronics Lab, Department of Electronics and Computer Engineering,
Hanyang University, Seoul 133-791, South Korea*

1. Introduction

Perpendicular spin torque transfer magnetic random access memories (*p*-STT MRAMs) are increasingly becoming one of the most reliable candidates for use in practical devices.¹ In past years, among various PMA materials including a $L1_0$ alloy, multilayer (ML), and rare earth-transition metal (RE-TM) alloy, the artificial ML matrix consists of ferromagnetic metals and noble metals, such as Co/Pd, Co/Pt, Fe/Pd, and Fe/Pt,²⁻⁴ and their alloy compositions⁵⁻⁷ have been widely explored due to its large PMA features.

2. Experimental Details

Various [Co/Pd] MLs with Ta/Ru/Pd seed layers were prepared by utilizing a DC/RF-magnetron sputtering system on oxidized Si substrates at room temperature. After the different thicknesses of the Co and Pd layers were tested within a nominal thickness range from 1 Å to 9 Å, the optimized thicknesses were selected for subsequent evaluation in this work. Two samples were prepared as follows: subs./Ta /Ru /Pd /[Co /Pd]₇/Pd (Sample A) and subs./Ta /Ru /Pd /[CoO /Pd]₂/[Co /Pd]₇/Pd (Sample B). The CoO layer was grown by a reactive sputtering method, while the other Co layer was fabricated under only an Ar ambient. Finally, post thermal annealing was carried out at various temperatures under perpendicular magnetic field of 3 Tesla.

3. Results and Discussion

The ordinary ML matrix (Sample A) revealed an anisotropic energy of around 3 Merg/cc, while the modified [Co/Pd] ML matrix (Sample B) provided a significantly higher K_U value of 7.43 Merg/cc after annealing. By utilizing the high-resolution x-ray diffraction (HR-XRD) θ - 2θ scan, all the samples have been confirmed to have a (111) crystal orientation. The Rocking curve measurement showed that the crystal orientation quality of annealed Sample B seems to be better than that of Sample A. Therefore, we expect that the difference in the main peak location, peak shift, and FWHM widths between Sample A and B may be associated with the induced lattice strain in the Sample B under annealing. The x-ray photoelectron spectroscopy (XPS) suggests an evidence for the presence of Co-O bonding states and annealing dependent oxygen atom diffusion event, along with HR-XRD results.

4. Conclusion

In summary, we present thermally stable behaviors of $[\text{Co/Pd}]_n$ ML matrix incorporated with a $[\text{CoO/Pd}]_m$ bottom layer. Post thermal annealing even at the higher temperature of 450°C allows for a proper diffusion process of oxygen atoms associated with initially formed Co-O binding during deposition. The diffused oxygen atoms may lead to structural reconfiguration in the ML matrix by providing proper lattice strains in the $[\text{Co/Pd}]$ ML framework. The ordinary ML matrix revealed an effective anisotropic energy of around 1.25Merg/cc, while the modified $[\text{Co/Pd}]$ ML matrix provided a significantly higher K_{eff} value of 3.40Merg/cc after annealing.

5. References

- [1] S. A. Wolf, D. D. Awschalom, R. A. Buhrman, J. M. Daughton, S. von Molnar, M. L. Roukes, A. Y. Chtchelkanova, and D. M. Treger, *Science* 294, 1488 (2001)
- [2] H. J. G. Draaisma, W. J. M. de Jonge, and F. J. A. den Broeder, *J. Magn. Magn. Mater.* 66, 351 (1987)
- [3] P. F. Carcia, *J. Appl. Phys.* 63, 5066 (1988)
- [4] F. J. A. den Broeder, D. Kuiper, H. C. Donkersloot, and W. Hoving, *Appl. Phys. A* 49, 507 (1989)
- [5] B. M. Lairson, M. R. Visokay, R. Sinclair, and B. M. Clemens, *Appl. Phys. Lett.* 62, 639 (1993)
- [6] M. R. Visokay and R. Sinclair, *Appl. Phys. Lett.* 66, 1692 (1995)
- [7] V. Gehanno, A. Marty, B. Gilles, and Y. Samsonj, *Phys. Rev. B* 55, 12552 (1997)

이중배리어 자기터널접합의 특성 측정을 위한 개선된 current-in-plane tunneling 모델

이상호*, 배태진, 홍종일
연세대학교 공과대학 신소재공학과

1. 서론

Current-in-plane tunneling (CIPT) 측정법[1]은 다양한 팁 간 거리를 가지고 있는 4-point probe 를 이용하여 자기터널접합(magnetic tunnel junction, MTJ)의 특성을 확인하는 방법이다. 최초의 CIPT 모델은 이중배리어 자기터널접합(double-barrier MTJ, DMTJ)의 특성을 분석하는 것이 불가능하였고, Clement[2]에 의해 DMTJ를 위한 CIPT 모델이 제안되었다. 이 모델로 DMTJ의 터널자기저항비(tunnel magnetoresistance, TMR)을 예측하는 것은 가능하였지만, 두 터널 배리어 층의 저항면적곱(resistance-area product)이 비슷한 경우에는 박막 전체의 정보를 얻어내는 것이 거의 불가능하였다. 본 연구에서는 DMTJ를 위한 CIPT 분석 모델을 개선하고 이를 통하여 박막의 특성을 정확하게 예측 가능함을 입증한다[3].

2. 실험방법

DMTJ 박막은 2×10^{-9} torr 미만의 진공도를 가진 UHV 스퍼터링 시스템을 이용하여 Ta 5/Ru 50/Ta 5/PtMn 15/CoFe 2.5/Ru 0.8/CoFeB 3/MgO 2.5 (barrier 2)/CoFeB 3/MgO 2.5 (barrier 1)/CoFeB 3/Ru 0.8/CoFe 2.5/PtMn 15/Ta 5/Ru 10 nm의 구조로 증착하였다. 필자가 기존에 제안했던 간단한 CIPT 공정법[4]을 이용하여 박막 위에 4-point probe를 구현하였고, 6에서 1000 μm 의 팁 간격을 가지는 4-point probe에서 측정한 면저항(sheet resistance)과 cip-MR을 Clement의 CIPT 모델[2]에 대입하여 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

단일배리어 자기터널접합(single-barrier MTJ, SMTJ)와 달리, DMTJ의 자화 배열 상태는 평행, 반평행 상태 외에도 두 가지의 중간 상태가 더 존재한다. 기존에 제안한 간단한 CIPT 공정법[4]을 이용하면, 이 모든 상태의 정보를 한 번의 측정으로 얻어내는 것이 가능하며, 더 많은 데이터를 사용하여 커브 피팅을 진행함으로써 결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

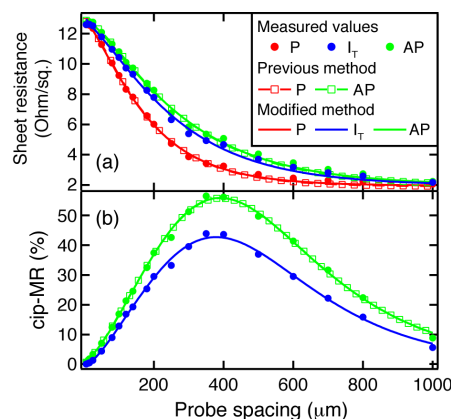


그림 1. DMTJ의 (a) 면저항 및 (b) cip-MR. 원은 측정된 값을, 사각형은 기존의 방법을 이용한 커브 피팅 결과를 나타내며, 실선은 개선된 방법을 이용한 커브 피팅 결과를 보여준다.

그림 1은 측정된 결과 및 피팅 결과를 나타낸다. 기존의 방법을 이용하여 평행과 반평행 상태에서 얻은 데이터만 피팅한 경우에는 barrier 1의 자기저항비가 1729%, barrier 2의 자기저항비가 -88%로 불가능한 결과를 얻게 된다. 반면, 두 가지 중간 상태 중 한 가지 상태만 추가하여 커브 피팅을 진행한 경우에도 barrier 1과 2의 자기저항비가 242%와 125%로, 매우 정확한 피팅 결과를 보여주며 실제로 패턴 공정을 진행하여 측정한 데이터와도 일치하였다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 분석 방법에서 배제되어 있던 DMTJ의 중간 상태를 활용하여 CIPT 측정법의 정확도를 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 제안된 CIPT 분석 방법을 이용하면 DMTJ의 특성을 쉽고, 빠르고, 정확하게 얻어내는 것이 가능하므로, 제한된 환경에서 DMTJ를 연구하는 연구자에게 특히 유익할 것으로 사료된다.

5. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(No. 10044723)와 KSRC 지원 사업인 미래반도체소자 원천기술개발사업의 연구 결과로 수행되었으며, 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2013R1A1A2013745).

6. 참고문헌

- [1] D. C. Worledge and P. L. Trouilloud, Appl. Phys. Lett. **83**, 84 (2003).
- [2] P. Y. Clement, C. Ducruet, C. Baraduc, M. Chshiev, and B. Dieny, Appl. Phys. Lett. **100**, 262404 (2012).
- [3] S. Lee, T. Bae, J. Hong, Appl. Phys. Lett. **104**, 263502(2014).
- [4] S. Lee, Y. Han, T. Bae, J. Hong, J. Shim, E. Kim, and K. Sunwoo, J. Appl. Phys. **108**, 093902 (2010).

Microstructural and Magnetic Behavior of (111)-preferentially Oriented Cobalt Ferrite Thin Films

Millaty Mustaqima*, Deok Hyeon Kim, and Chunli Liu

*Department of Physics and Oxide Research Center,
Hankuk University of Foreign Studies, YongIn, Gyeonggi 449-791, Korea*

Due to Its large magnetocrystalline anisotropy ($K_1=+2\times 10^6$ erg/cm³), high coercivity (5400 Oe), moderate saturation magnetization (about 80 emu/g), remarkable chemical stability, and mechanical hardness [1-4], the cobalt ferrites (CoFe₂O₄) have been utilized for biological and device applications. The cobalt ferrite is an inverse spinel, in which the divalent Co²⁺ ions occupy the octahedral (B) site, while half of the Fe³⁺ ions occupy the tetrahedral (A) site, and the other half fill the octahedral (B) site. In this work, we have synthesized nanocrystalline CoFe₂O₄ thin films which have (111)-preferred orientation. The stable sol solution for CoFe₂O₄ thin films were prepared from the aqueous solution of Co(NO₃)₂·6H₂O and Fe(NO₃)₂·9H₂O, then deposited on Pt(111)/TiO₂/SiO₂/Si substrates by spin-coating technique with three stages of heating: drying (170⁰C, 10 min), pre-annealing (400⁰C, 10 min), and post-annealing (700⁰C, 1 h). The thickness of the films was adjusted by controlling the concentration of the solutions as 0.1, 0.2, and 0.3 M, and the number of coatings as 5, 8, and 10 layers. X-ray diffraction spectra showed that when the precursor concentration was higher than 0.1 M, the films were preferentially oriented in <111> direction. The CoFe₂O₄ thin films prepared with 0.2 M solution and 5-layers had the smoothest surface as revealed by Scanning electron microscopy, and magnetic anisotropy as evidenced from the vibrating sample magnetometer measurement. Interestingly, the sol-gel CoFe₂O₄ films showed stable and repeatable unipolar resistive switching behavior, indicating that CoFe₂O₄ can be used as a promising oxide material with both magnetic and resistance switching properties.

Keywords: CoFe₂O₄, sol-gel, preferred orientation, magnetic anisotropy

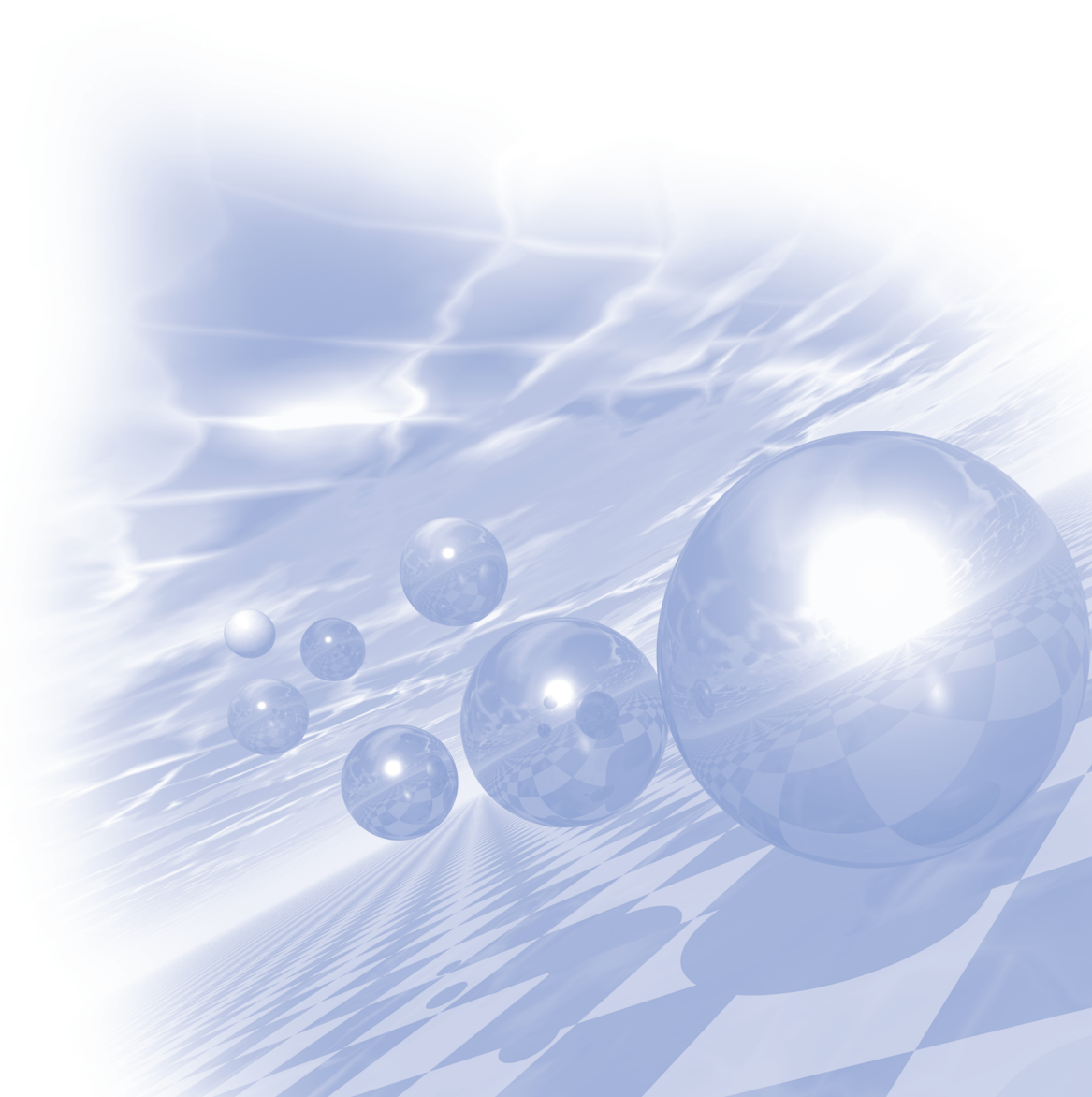
References

- [1] N. C. Pramanik, T. Fujii, M. Nakanishi, and J. Takada, J. Mater. Sci. 40, 4169 (2005).
- [2] J. G. Lee, J. Y. Park, Y-J. Oh, and C. S. Kim, J. Appl. Phys. 84, 2801 (1998).
- [3] J. D. dos S. Duque, M. A. Macedo, N. O. Moreno, J. L. Lopez, and H.-D. Pfanes, J. Magn. Magn.Mater.226, 1424 (2001).
- [4] B. Zhou, Y.-W.Zhang, C.-S.Liao, and C.-H. Yan, J. Magn. Magn.Mater.247, 70 (2002).



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

구두발표 III



마그네타이트 자성유체의 교류 자화율 특성

윤성현*

군산대학교 물리학과

마그네타이트 자성유체를 분산상태와 건조상태에서 각각 ac-susceptibility의 온도 의존성을 측정하여 비교하였다. 두 샘플의 허수성분 susceptibility에서 두 개의 서로 다른 완화효과에서 기인하는 피크가 공존하는 것을 관측하였다. 이들의 온도 의존성을 Neel-Arrhenius 관계식과 Vogel-Fulcher 관계식으로 분석하였으며, 각각 독립적인 입자와 cluster 입자에서 발생하는 것으로 설명할 수 있었다.

Microstructure and magnetic properties of hot deformed NdFeB magnet by spark plasma sintering

ShuLiu^{1,2*}, Ji-Hun Yu¹, Nam-Hyun Kang², Jung-Goo Lee¹

¹*Powder & Ceramics Division, Korea Institute of Materials Science, 797 Changwondaero, Changwon 642-831, Korea*

²*Department of Materials Science and Engineering,
Pusan National University, 30 Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea*

For hot deformed NdFeB magnets, good magnetic properties together with exceptional corrosion, thermal stability, and fracture toughness can be obtained. It is well known that the grains of NdFeB magnet hot deformed by die-upsetting or extruding are elongated normal to the press direction with platelet-shaped and oriented in such a way that the c-axis of the NdFeB grains is normal to the platelet. Until now comprehensive investigations for further development of these kinds of magnets have been conducted on their processing conditions, microstructure as well as magnetic properties. Their preparation technique however is still a major concern since their magnetic properties deteriorate dramatically due to excessive grain growth during the densification and deformation processes by conventional methods.

The Spark Plasma Sintering (SPS) technique has been widely concerned as a new pressure sintering process to consolidate Nd-Fe-B powders to full density at relatively lower temperatures in a short period of time. One of the important advantages of SPS is the high sintering speed, which can effectively restrain the grain growth over the critical nanosize and allows the preparation of high-density fine crystalline materials. Hot deformed Nd-Fe-B compact with nanocrystallite texture has been successfully fabricated by SPS and a combination of SPS and hot deformation processes, respectively. However many points of the microstructure evolution have not yet been explained clear and the microstructural evolution mechanism during hot pressing and die upset need further studies. In the present work, commercially available Dy-free MQU-F melt spun ribbons with optimized composition $\text{Nd}_{13.6}\text{Fe}_{73.6}\text{Co}_{6.6}\text{Ga}_{0.6}\text{B}_{5.6}$ have been first hot compacted at 650°C in vacuum for 3 min and then followed by die upset by SPS. The effect of two stage processes on the magnetic properties was discussed, focusing on the microstructure after the deformation.

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.

Keywords: NdFeB magnets, hot deformation, SPS, coercivity, microstructure

Unidirectional motion of bubble domains in magnetic film

Kyoung-Woong Moon^{1*}, Duck-Ho Kim^{2*}, Sang-Cheol Yoo^{2,3}, Soong-Geun Je², Byong Sun Chun¹, Wondong Kim¹, Byoung-Chul Min³, Chanyong Hwang^{1*}, and Sug-Bong Choe^{2*}

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

²CSO and Department of Physics, Seoul National University, Seoul 151-742, Republic of Korea

³Center for Spintronics Research, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Republic of Korea

The magnetic domain wall motions especially in patterned wire structures were studied intensively due to developments for next generation memory and logic devices. In the wire structures, the data bits stored as ‘up’ or ‘down’ domains can move along the wire direction thus only one-dimensional data transfer occurs. Here, we demonstrate two-dimensional data transfer by shifting bubble domains in the perpendicular anisotropy film. Tilted-uniaxial magnetic field was applied to break the symmetry of wall energy that result in asymmetric motion of domain wall due to Dzyaloshinskii–Moriya interaction [1]. After one-cycle of magnetic field oscillation, the bubble domains transfer to the field tilting direction through asymmetric bubble breathing. This bubble shift is a proof-of-principle experiment for magnetic-bubble cluster memory for two-dimensional data processing.

Reference

- [1] S.-G. Je *et al.*, *Phys. Rev. B* **88**, 214401 (2013).

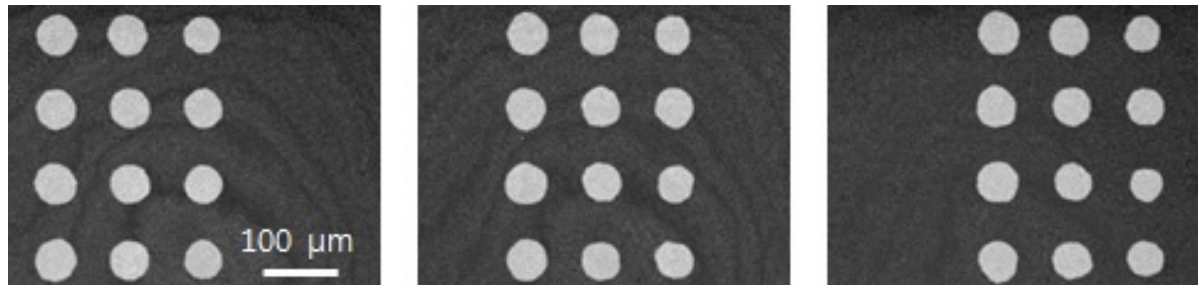


Fig. 1. Unidirectional motion of bubble domain array induced by tilted-uniaxial magnetic field oscillation.

Synthesis and functionalization of iron oxide nanocubes and their catalytic and bio-sensing applications

Mohamed Abbas^{2*}, HeeYoon Noh¹, CheolGi Kim¹

¹Department of Emerging Material Science,

Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST), Daegu, Korea

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

Functional magnetic nanoparticles have a great importance in various fields of applications, including nanoscience, nanotechnology, environmental chemistry and bio-applications. In this respect, and at first, a novel sonochemical approach was developed for the synthesis of size controlled high magnetization magnetite (Fe_3O_4) nanocubes as a core. After that, we have functionalized the magnetite nanocubes surface with various inorganic materials including, silica (SiO_2), Titania (TiO_2), Carbon (C) and Gold (Au). For functionalization of magnetite nanocubes surface, a facile time-reducing sol-gel and sono-chemical approach were developed. Interestingly, the time of the total coating process in case of the sol-gel approach is only two hours with respecting to the reported work which takes more than 20 hours. Noteworthy, in case of the second developed approach of sonochemical method, we used a single reaction for the synthesis and functionalization of magnetite nanocubes to get the core/shell nanostructures. The core/shell nanocubes samples were characterized by X-ray diffractometry (XRD), transmission electron microscopy (TEM), energy dispersive spectrometer (EDS), fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and vibrating sample magnetometer (VSM). The produced functionalized magnetite nanocubes showed excellent efficiency for catalytic applications and also high biocompatibility.

Dynamics hysteresis behavior of Co/Pt multilayers

Djati Handoko^{*}, Duy Truong Quach, Sang-Hyuk Lee, Je-Ho Shim, and Dong-Hyun Kim[†]

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

[†]donghyun@chungbuk.ac.kr

We report our experimental study on the dynamic hysteresis scaling behavior of Co/Pt multilayers with perpendicular magnetic anisotropy. The dynamic hysteresis measurement was carried out with variation of sweeping rate of cycling field by means of a polar magneto-optical Kerr effect (P-MOKE) and analyzed base on Steinmetz law[1]. It has been observed that there exist dynamics scaling behaviors for the loop area, as shown in figure 1, as well as the coercive field, the nucleation field, and the saturation field. Analytic model regarding the microscopic domain patterns are adopted to predict scaling factors, which is consistent with the experimental observations.

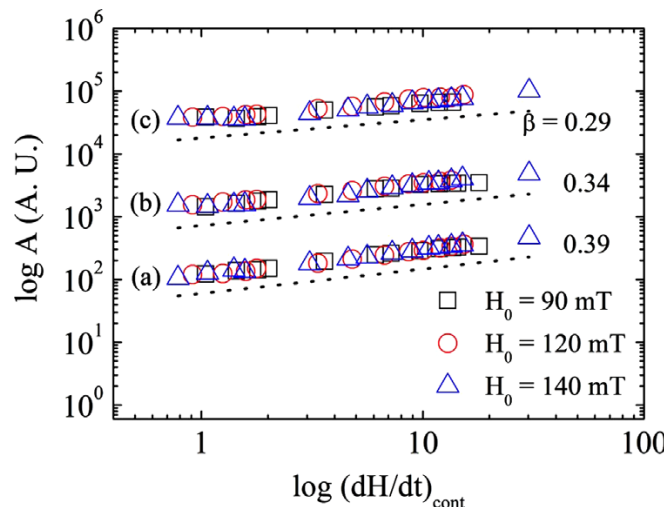


Fig. 1. The loop area scaling behavior with respect to the sweep rate for different Co layer thickness

Reference

- [1] D. Handoko, S. -H. Lee, K. M. Lee, J. -R. Jeong, and D. -H. Kim, J. Magn. Magn. Mater. **351** (2014) 82.

Quantitative analysis of magnetization reversal behavior of Co/Pt multilayers using magneto-optical microscopy

Duy-Truong Quach^{*}, Djati Handoko, Sang-Hyuk Lee, Je-Ho Shim, and Dong-Hyun Kim[†]

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

[†]donghyun@chungbuk.ac.kr

We have investigated magnetization reversal of Co/Pt multilayers with perpendicular magnetic anisotropy using the microscopy. We have particularly examined the demagnetization processes of the film with direct observation domain structures as in Fig. 1, where a microscopic demagnetization degree to evaluate efficiency of the processes is introduced [1]. We have also studied the magnetization reversal of the film, beginning with pre-existing nucleation sites, where a strong correlation between the number of nucleation sites and half reversal time has been observed. In addition, symmetry of magnetization behavior along the increasing and decreasing hysteresis branch is also systematically explored [2].

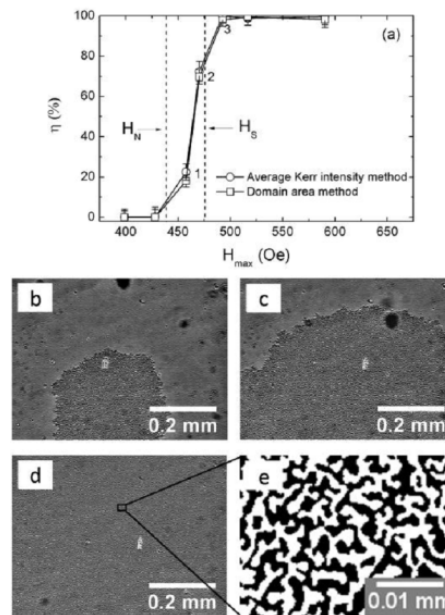


Fig. 1. (a) Variation of demagnetization degree with respect to the demagnetizing field amplitude.

Domain patterns of final states after the demagnetization corresponding to

(b) point 1, (c) point 2, and (d) point 3 in (a). (e) Zoomed-in view of domain structure of (d).

References

- [1] Duy-Truong Quach et al., IEEE Trans. Magn. 50(6), 6500204 (2014); Duy-Truong Quach et al., accepted in IEEE Trans. Magn. (2014).
- [2] Duy-Truong Quach et al., BQ-14, MMM (Hawaii, 2014).

ZnO DMS fabricated by hydrothermal method under high pulsed magnetic field

Hongtao Xu^{1*}, Min Zhong¹, Ying Li¹, Mingyuan Zhu¹, Yemin Hu¹, and Muhammad Tariq¹

¹Laboratory for Microstructures/School of Materials Science and Engineering,
Shanghai University, 149 Yanchang Road, 200072 Shanghai, P.R. China

Diluted magnetic semiconductors (DMS), which refer to semiconductors with nonmagnetic ions partially substituted by transition-metal(TM) elements, have attracted much attention due to their potential applications in spin electronics and magnetic devices^[1-2]. ZnO is one of the most promising oxide semiconductors with a direct wide band gap of 3.37eV and a relatively large exciton binding energy at room temperature^[3], and has been popularly selected as a host semiconductor for DMS studies. In our work, Cr-Ni co-doped ZnO nanoparticles were fabricated by a hydrothermal method assisted by a high pulsed magnetic field of 4 T. The most obvious effect of the magnetic field was observed from the magnetic properties of the prepared ZnO: (Cr, Ni) nanoparticles. The nanoparticles prepared with the pulsed magnetic field during the hydrothermal reaction showed much higher saturation magnetization and coercivity (Figure 1). Additionally, the morphology was changed from hexagonal tripods with no pulsed magnetic field to flower like nanostructures with the assistance of the pulsed magnetic field (Figure 2). With detailed characterization using XRD, TEM, XPS, and Raman spectroscopy, we will discuss the effect of pulsed magnetic field on the structural and magnetic properties of ZnO: (Cr, Ni) nanoparticles.

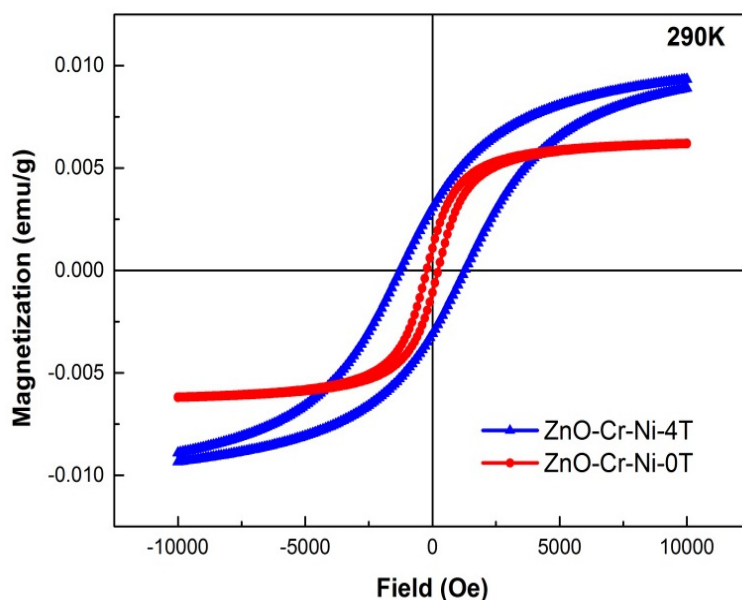


Fig. 1. M-H curves of Cr-Ni co-doped ZnO at 290 K:(up) Cr-Ni co-doped ZnO fabricated with 4T pulsed magnetic field ; (down) Cr-Ni co-doped ZnO fabricated with no magnetic field.

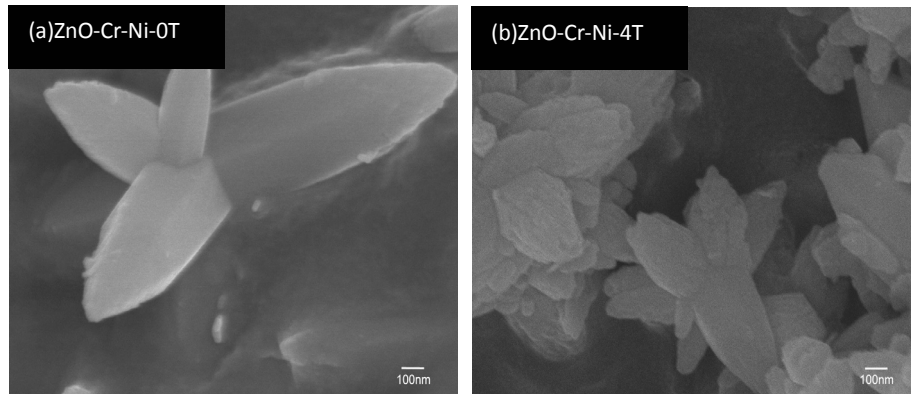


Fig. 2. SEM images of Cr-Ni co-doped ZnO samples: (a) Cr-Ni co-doped ZnO fabricated with no magnetic field and (b) Cr-Ni co-doped ZnO fabricated with 4T pulsed magnetic field

References

- [1] H. Ohno, Science. 281, 951 (1998).
- [2] T. Miyazaki et al., Appl Phys. Lett. 86, 261910 (2006).
- [3] J. H. Lim et al., Adv. Mater. 18(2006) 2720-2724

Template Based Electrochemical Synthesis of Co-rich Nanowires for Barcode Segment

M. K. Alam^{1*}, T. S. Ramulu², S. S. Yoon³, C. G. Kim²

¹Department of Physics, Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka-1000, Bangladesh

²Department of Emerging Materials Science,
Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, Daegu, 711-873, South Korea

³Department of Physics, Andong National University, Andong 760-749, South Korea

Sequential template electrochemical synthesis of multisegment nanowires with magnetic and non-magnetic segments have been extremely significant for barcoding, multiplexing and biosensing applications. Especially, Hard magnetic segment with high saturation magnetization and remanence materials are more convenient for multiplexing biological applications. We have synthesized three different types of magnetic nanowires CoNiP, CoPtP and CoFeP for a magnetic segment of barcode nanowires by electrochemical deposition technique using a polycarbonate membrane with a diameter of 50 nm. The length of all the nanowires was found to be around 6 μm . We compared the magnetic properties of all the synthesized materials and found that the CoPtP magnetic nanowires have higher saturation and remanence. In order to demonstrate the decoding of barcode nanowires using the magnetoresistance sensor in flow cytometry, we have calculated the spatial distribution of the stray magnetic field produced by the barcode nanowire by means of finite element method using the commercial Maxwell software. The CoPtP shows most higher spatial variation compared to the CoFeP and CoNiP, which means CoPtP is most advantageous composition for the hard magnetic segment of barcode nanowires.

References

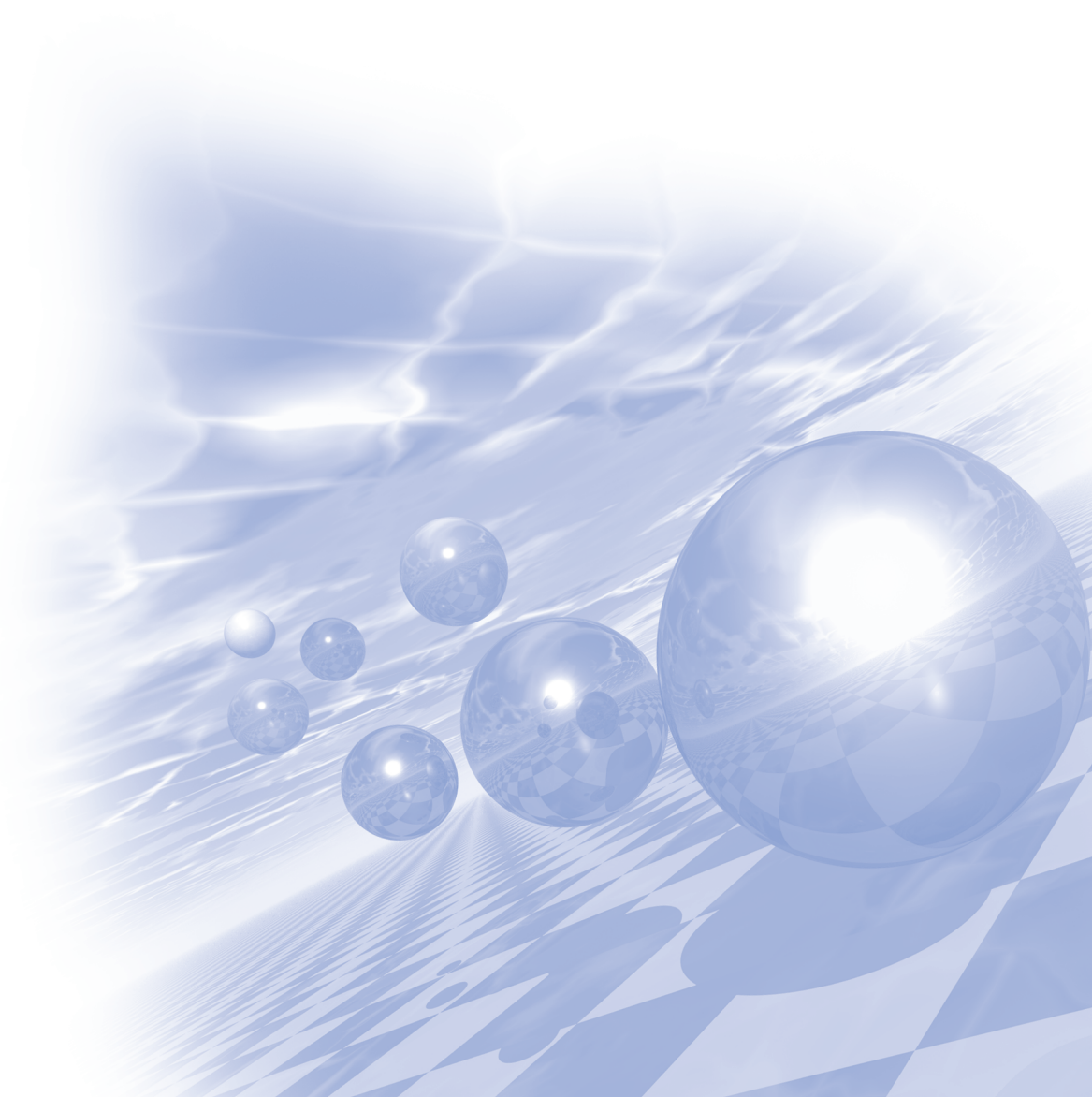
- [1] S. Anandakumar, V. Sudharani, T.S. Ramulu, H.J. Yang, B.H. Lim, J. Kim, S.S. Yoon, and C.G. Kim, *J. Electrochem. Soc.* **158**, E124-E128 (2011).
- [2] T.S. Ramulu, R. Venu, S. Anandakumar, V. Sudharani, S.S. Yoon, C.G. Kim, *Thin Solid Films* **520**, 5508-5511 (2012)
- [3] S.R. Nicewarner-Pena, R.G. Freeman, B.D. Reiss, L. He, D.J. Pena, I.D. Walton, R. Cromer, C.D. Keating, M. J. Natan, *Science* **294**, 137-141 (2001)



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

Special Session II

‘ 의과학 자기 연구회 ’



비 접촉 양극산화법을 이용한 Porous Silicon의 구조적 · 광학적 특성 분석

나길주^{1*}, 한만석², 박병석³, 전민철⁴, 원희수⁵

¹목포과학대학교 방사선학과, ²강원대학교 방사선학과, ³삼성서울병원 방사선종양학과,

⁴충남대학교병원 영상의학과, ⁵분당서울대학교병원 방사선종양학과

1. 서론

현재까지의 암치료는 대략 3단계로 수술적 치료, 항암치료, 방사선치료가 있다. 이제까지 방법을 단독 또는 함께 사용하여 암을 치료 중에 있으나 기존 치료법들에 많은 부작용으로 다양한 치료요법과 신약개발로 암을 극복하는 방법이 진화하고 있다. 이에 따라 암세포에만 적용이 가능한 표적치료로 광열치료에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 광열치료의 효율을 높이기 위해서는 생체 내 투과성이 높은 근적외선 영역 부근의 빛을 잘 흡수하는 광감응제 사용이 필수적인데 특히 Porous Silicon 입자는 광열성이 매우 우수하며 생체에 적합하고 생체 분해성, 표면 기능화도 쉽게 제어할 수 있는 특성 등을 가지고 있어 생체 의학 응용에 관련 여러 해 동안 약물전달 적용을 위해 연구되어져 왔다. 따라서 본 논문에서는 Porous Silicon 제조의 최적조건 도출을 위해 Silicon 표면의 금속물질을 제거하는 후속공정을 없애고, 대량생산에도 적용할 수 있도록 비 접촉방식 양극산화법을 이용하여 구조적·광학적 특성을 도출 하고자 하였다.

2. 실험방법

준비된 기판은 표면의 잔류 오염물질을 제거하기 위해 다음과 같은 과정으로 세척되었다. 실온에서 60min 간 Aceton 이용하여 초음파 세척기로 세척 후 동일 조건으로 Methyl alcohol 이용한 초음파 세척기로 세척한 후 50℃, 60min간 DI water 초음파로 세척하여 3단계로 시행하였다. 상기의 세척과정이 완료된 후 N2 Blowing 으로 빠르게 수분을 제거하고 100℃의 건조기에서 완전히 건조하였다. 이후 양극산화를 공정 전에 자연적으로 생긴 산화막을 HF 10%의 수용액에서 제거한 후 공정을 실시하였다. 전압 및 전류의 가변범위는 각각 0~21V, ~1A였다. 또한 Porous Silicon의 적용 어플리케이션 범위를 넓히기 위하여 Silicon 기판에 물질을 증착하지 않고 anode와 cathode을 기판 양쪽에 배치하는 비 접촉방식으로 진행하였다.(Pt전극: Mesh형태)

3. 결과 및 고찰

100nm 직경의 pore가 관찰되었으며 HF 농도가 그 이상시 pore 형상이 사라졌다. 공정시간 1h, HF 농도 20%, 전극간 거리 2cm 고정하고 전류밀도를 10~40mA/cm² 가변한 결과 20mA/cm²를 넘은 경우 array가 점차 줄어들고 pore 경계가 뚜렷하지 못하고 뭉개지는 현상이 나타났다.

공정시간을 가변하여도 pore의 직경에는 영향을 미치지 않고 array의 길이가 길어졌다. 또한 전극간 거리는 1cm에서 2cm로 늘렸을 때 Ethanol 순환이 원활하고 균일도가 개선되었고 3cm일때는 array가 무너지는 현상이 나타났다.

4. 결론

양극산화법에 의해 Porous Silicon을 제조할 경우 HF농도, 인가전류, 공정시간 및 전극간 거리는 다공성 형성에 여러 가지 요인이 된다.

(1) HF농도가 높아지는 경우, 표면의 식각반응이 활발해져 전해연마가 일어나는 것처럼 보일수 있으나 수

nm~수백nm정도의 작은 pore이 형성되려면 20%의 HF농도가 제한적이다. 인가전류가 증가함에 따라 pore의 직경이 증가하여 본 논문에서 확보한 최대 pore 직경은 평균 1.8 μ m였다.

- (2) 공정시간에 의존하여 array가 결정되고 2h 공정시 최대 array는 15 μ m였다.
- (3) 비 접촉방식의 양극산화법은 전극간 거리가 기존 접촉방식 양극산화법과 큰 차이가 나타났다. 이는 전극과 기판이 되는 Silicon과의 간격 내에 pore의 균일성을 유지하는 Ethanol 공급의 차이인 것으로 사료되며 최적의 거리는 2cm이다.
- (4) 반사도 즉 흡수도를 증가시킬 수 있는 light scattering 효과는 pore의 직경크기에 비례할 뿐 array의 길이와 상관이 없는 것으로 분석된다.

5. 참고문헌

- [1] G. Jori, J. D. Spikes, J. Photochem. Photobiol. B: Biol. (1990) 6, 93.
- [2] I. L. Maksimova, G. G. Akchurin, B. N. Khlebtsov, G. S. Terentyuk, G. G. Akchurin, I. A. Ermolaev, A. A. Skaptsov, E. P. Soboleva, N. G. Khlebtsov, V. V. Tuchin, Med. LaserAppl. (2007) 22, 199.
- [3] E. B. Dickerson, E. C. Dreaden, X. Huang, I. H. El - Sayed, H. Chu, S. Pushpanketh, J. F. McDonald, M. A. El - Sayed, Cancer Letters (2008) 57, 269,
- [4] C. Lee, H. Kim, Y. Cho, W. I. Lee, The properties of Porous Silicon as a therapeutic agent via the new photodynamic therapy, J. Mater. Chem. (2007) 17, 2648-2653.
- [5] C. Lee, H. Kim, C. Hong, M. Kim, S. S. Hong, D. H. Lee, et al., Porous Silicon as an agent for cancer thermotherapy based on near-infrared light irradiation, J. Mater. Chem. (2008) 18, 4790-4795.

금속 인공음영 감소 재구성 기법이 방사선 치료 계획에 미치는 영향 평가

원희수^{1*}, 박철수², 권순무³, 최재혁⁴, 장현철⁵

¹분당서울대학교병원 방사선종양학과, ²한림성심대학교 방사선학과, ³대구보건대학교 방사선학과,
⁴국립암센터 양성자치료센터, ⁵수성대학교 방사선학과

1. 서론

방사선 치료에 사용되는 CT (Computed Tomography) 영상은 종양의 위치, 크기, 모양, 그리고 주변 정상조직과의 경계를 명확하게 나타낼 뿐만 아니라 치료 계획 시 정상조직의 선량과 종양조직의 선량분포를 나타내는데 매우 중요한 역할을 한다. CT 영상은 HU (Hounsfield Unit)의 CT 번호로 표현된다. 그리고 CT 번호는 전자 밀도로 변환이 되고 방사선 치료 계획 시 불균질 조직들의 밀도 차를 이용하여 선량 계산을 한다[1, 2]. 정확한 선량분포를 위하여 가능한 정확한 CT 영상을 구현 하여야 한다. CT 영상의 질에 영향을 미치는 요소로는 노이즈, 공간 분해능, 대조도 분해능, 그리고 인공음영 등으로 인체에 수술이나 처치 또는 여러 가지 이유로 인한 고 밀도의 물질이 삽입되어 있는 상태에서 CT 촬영을 하면 금속물로 인한 인공음영(Metal Artifact)이 발생하여 영상을 질을 저하시키고 미세부분의 관찰 능력을 감소시킨다[3].

이에 본 연구는 새롭게 적용된 Philips의 Metal Artifact Reduction for Orthopedic Implants (O-MAR) 재구성 알고리즘이 방사선 치료 계획에 적합한지 검증하기 위하여, 팬텀을 가지고 금속 인공음영을 감소시키는 O-MAR 알고리즘이 방사선 치료 계획에 미치는 영향에 대해 평가 하고자 한다.

2. 실험방법과 결과

Gammex 467 팬텀의 CT 영상을 획득하여 CT 번호, 체적, 그리고 방사선 선량 분포를 측정하여 비교 분석하였다. CT 번호는 관심영역을 10 mm로 설정하여 데이터를 획득하여 비교 하였고, 체적 측정은 팬텀의 영상을 방사선 치료 계획 시스템 (Radiation Treatment Planning System, RTP)에 전송하여 평균 CT 번호를 기준으로 $\pm 30\%$ 값을 설정하여 Auto Contouring하여 측정하였다. 그리고 선량분포는 팬텀의 영상을 RTP를 이용하여 방사선 선량계산을 하고 2차원 선량 분포를 Dicom RT Dose 형태로 추출하여 계산된 선량 분포와 선형가속기와 MapCHECK™ (Sun nuclear, USA, Melbourne)을 이용하여 실제 측정하여 비교 분석하였다.

금속 인공음영이 없는 Original 영상에 O-MAR를 적용한 CT 번호는 통계적으로 평균값에 차이는 있었지만 수치상으로 큰 차이를 나타나지 않았으나 금속 인공음영 영상에 O-MAR를 적용하면 CT 번호에 변화를 가져왔다. 체적 분석 결과 Original 영상에 O-MAR를 적용하였을 때는 체적은 수치상으로 거의 변화가 없는 것으로 나타났으나, 금속 인공음영 영상에 O-MAR를 적용하면 감소된 체적이 기존의 체적과 유사하게 나타났다. 또한 금속 인공음영이 없는 영상은 O-MAR를 적용하기 전 영상의 선량 분포가 실제 측정한 선량 분포 보다 0.2 ~ 0.7% 일치하는 것으로 나타났고, 금속 인공음영이 있는 영상의 선량 분포는 O-MAR를 적용한 영상이 선량 분포가 좀 더 일치하는 것으로 나타났다.

3. 고찰

본 연구에 사용된 팬텀은 내부에 16개의 조직 등가 물질을 삽입할 수 있는 구조로 구성되어 있어 인위적으로 팬텀에 금속을 삽입하여 인공음영 영상을 획득하고 CT 장치의 O-MAR 재구성 알고리즘 적용여부에 따른 CT 번호, 체적, 그리고 방사선 선량 분포의 변화를 측정하는데 효과적으로 이용할 수 있었다. CT 번호의 변화

정도는 CT 장치의 운영 컴퓨터를 통하여 신속하게 분석할 수 있었고, 체적의 변화는 전산화 치료계획 시스템을 이용하여 정량적인 분석이 가능하였다. 또한 실제 측정된 선량 분포와 계획된 선량 분포의 MapCHECK™을 이용하여 정확하게 비교 분석할 수 있었다.

Philips의 O-MAR 재구성 알고리즘은 금속으로 인한 인공음영을 감소시켜 관심 부위의 미세 부분을 좀 더 정확하게 경계를 구분 지을 수 있었다. 그리고 방사선의 선량 분포 또한 임상적으로 허용 가능한 수준이기는 하였으나 오차를 줄여 방사선 치료의 효율성을 높일 수 있는 것으로 연구 결과를 얻었다. 하지만 금속 인공음영이 없는 CT 영상에 O-MAR를 적용하면 작은 수치지만 기존의 CT 번호를 최대 1.9까지 변화 시키는 오류를 범한다. 그리고 금속 인공음영이 있는 영상이라 할지라도 인공음영으로 변화된 CT 번호를 향상시키는 효과와 더불어 기존의 CT 번호 보다 좀 더 오차가 생기는 현상도 함께 나타났다. 또한 방사선 치료 계획 시 인공음영이 없는 영상에 O-MAR를 적용한 CT 영상을 이용하여 치료 계획을 하면, 실제 측정된 선량 분포와 비교하였을 때 임상적으로 유의한 수준은 아니었으나 정확성이 최대 0.7 % 떨어졌다.

4. 결론

방사선 치료 계획 시 CT 영상에 인공음영이 발생 하지 않았을 때는 O-MAR를 적용하지 않을 것을 권고하고, 인공음영이 있는 영상은 치료 부위나 주변의 관심 영역을 고려하여 O-MAR 적용 여부를 판단하고 치료 계획에 이용해야 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] S. YOO. and FF. Yin. International Journal of Radiation Oncology. 66, 5 (2006).
- [2] C. Coolens. and PJ. Childs. Physics in medicine and biology. 48, 11 (2003).
- [3] JF. Barrett. and N. Keat. Radiographics. 24, 6 (2004).

심장 지방면적과 관상동맥질환 위험인자와의 연관성 연구 : Low-dose Lung CT 검사를 중심으로

장현철^{1*}, 조재환², 서정민³, 나길주⁴, 황도근⁵

¹수성대학교 방사선학과, ²한림국제대학원대학교 국제방사선학과, ³대원대학교 방사선학과,

⁴목포과학대학교 방사선학과, ⁵상지대학교 한방의료공학과

1. 서론

최근들어 심장지방(심장외막지방 ; epicardial fat)에 대한 관심이 많으며, 임상에서는 다양한 연구들이 진행이 되고 있다. 심장지방 측정 방법에 있어서 심장 초음파, 심장 MRI, 심장 CT 검사를 통해 심장의 두께와 부피를 측정하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 건강검진 과정에서 폐암, 폐결절 등의 발견을 목적으로 활용하는 Low-dose Lung CT 검사를 활용하여 측정된 심장 지방면적과 관상동맥질환 위험인자와의 관계를 파악하여 연관성을 알아보고자 하였다.

2. 실험방법과 결과

1) 실험방법

건강검진센터를 방문하여 Low-dose Lung CT 검사를 시행한 건강한 성인 200명을 대상으로 하였다. 대상자의 개인적 특성 변수와 혈액검사를 통한 변수를 조사 및 분석하였다. 심장 지방면적 측정을 위해 64-MDCT를 활용하여 영상을 얻었으며, 심장 지방면적 측정이 가능한 프로그램인 Aquarius workstation을 이용하여 분석하였다.

심장 지방면적과 관상동맥질환 위험인자들 간의 연관성을 알아보기 위해 상관분석 및 다중회귀분석, 각 인자들이 심장 지방면적에 미치는 영향을 파악하기 위해 이분형 로지스틱 회귀분석을 하였다.

2) 결과

심장 지방면적에 영향을 미치는 인자들을 알아보기 위해 다중회귀분석을 실시한 결과 나이, 몸무게, 체질량지수, 허리둘레, 체지방률, 총 콜레스테롤, 중성지방, 헤모글로빈, 아스파테이트 아미노전이효소(AST), 알라닌 아미노전이효소(ALT) 증가함에 따라 심장 지방면적이 유의하게 증가하였다

($p<0.05$). 심장 지방면적에 미치는 영향으로 비흡연군에 비해 흡연군이 2.57배, 체질량지수, 허리둘레, 체지방률은 각각 정상 군에 비해 비만 군이 1.54배, 1.23배, 1.10배 심장 지방면적이 유의하게 증가하였다 ($p<0.05$).

3. 결론

Low-dose Lung CT 검사를 활용하여 측정된 심장 지방면적은 관상동맥질환 위험인자와 연관성이 있음을 알 수 있었으며, 이로써 심장 지방면적은 관상동맥질환의 위험인자로 작용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후 관상동맥질환의 위험인자에 미치는 효과에 대한 전향적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

- [1] Mehmet Sedat Durmaz., Hakan Demirtas., et al, Evaluation of myocardial fat deposition by multislice computed tomography, Asian Cardiovascular & Thoracic Annals, 2012:1-6.
- [2] Cheng Victor Y., Damini Dey., Balaji Tamarappoo., et al. Pericardial Fat Burden on ECG-Gated

Noncontrast CT in Asymptomatic Patients Who Subsequently Experience Adverse Cardiovascular Events, Jacc: Cardiovascular Imaging, 2010;3(4):352-360.

- [3] Iacobellis G., Leonetti F. Epicardial adipose tissue and insulin resistance in obese subjects, J Clin Endocrinol Metab, 2005;90:6300-6302.

자체 제작한 팬텀을 이용한 영상비교 및 선량에 관한 고찰

최재혁^{1*}, 박철수², 서선열³, 김기홍⁴, 황도근⁵

¹국립암센터 양성자치료센터, ²한림성심대학교 방사선학과, ³을지대학교 방사선학과,

⁴춘해보건대학교 방사선학과, ⁵상지대학교 한방의료공학과

1. 서론

종양에는 최대한의 선량을 부여하고 주변의 정상조직에는 최소한의 선량이 조사되도록 부작용을 줄이는 목적으로 방사선 치료기술이 발전함에 따라 다양한 치료계획 및 치료 방법이 개발 되고 있다. 방사선 치료 시 전산화 단층촬영과 자기공명영상의 융합은 종양에 선량을 전달하는데 커다란 역할을 한다. 본 연구의 목적은 치료계획 시 자체 제작한 팬텀을 이용하여 전산화 단층촬영영상과 자기공명영상과의 융합을 통해 영상의 재현성 및 유용성을 평가하고 획득한 영상에서 타겟 선량을 비교, 분석해보고자 한다.

2. 실험방법과 결과

자체 제작한 팬텀을 이용하여 전산화단층촬영을 하고, 자장의 세기가 다른 1.5T 와 3.0T 자기공명영상촬영을 하여 영상을 획득한다. 전산화단층촬영을 한 팬텀의 영상과 각기 다른 자장의 세기로 촬영한 팬텀의 자기공명영상에서 팬텀 내에 존재하는 작은 홀의 크기 및 용적의 재현성을 비교하고, 임의의 타겟에서 선량 변화를 비교, 분석한다.

3. 고찰

13개의 작은 홀 직경은 전산화 단층촬영에서 최대 31mm, 최소 27.54mm를 나타냈으며, 실제 제작한 것과 비교하여 평균 29.28mm 1% 이내로 측정되었다. 전산화 단층촬영과 1.5T 자기공명영상퓨전에서는 최대 31.65mm, 최소 24.3mm를 나타냈으며, 평균28.8mm 1% 이내로 측정되었다. 전산화 단층촬영과 3.0T 자기 공명 영상퓨전에서는 최대 30.2mm, 최소 27.92mm를 나타냈으며, 평균 29.41mm 1.3% 이내로 측정되었다. 타겟의 조사된 선량변화는 전산화 단층촬영에서 95.9-102.1%, 1.5T 자기공명영상 퓨전에서 93.1-101.4%, 3.0T 자기공명영상 퓨전에서는 96-102% 의 선량변화를 보였다.

4. 결론

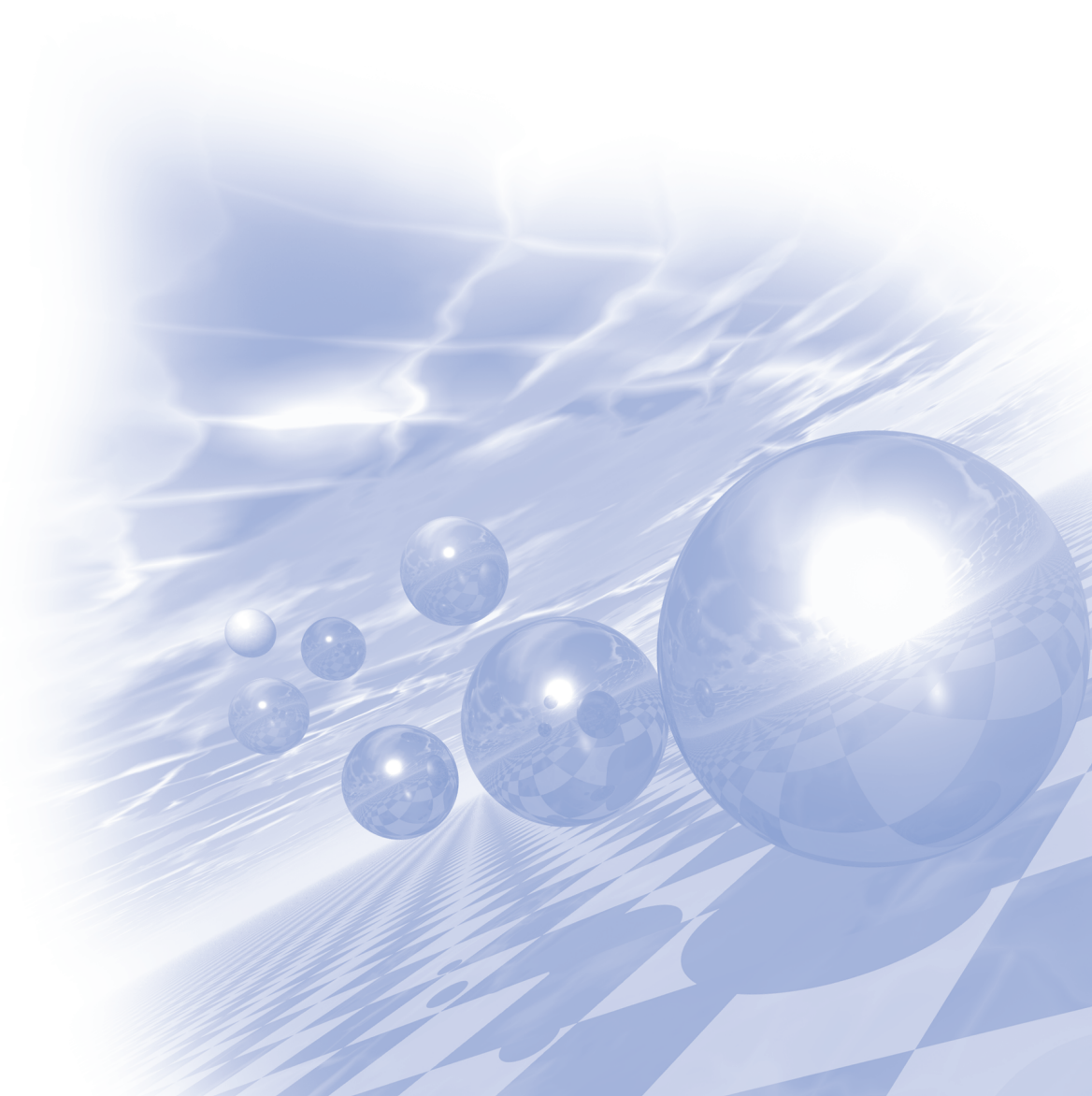
전산화 단층 촬영 및 자기공명영상은 영상획득 시 다른 알고리즘이 적용된다. 인체의 장기마다 각기 다른 밀도를 가지고 있으므로 영상 획득 시 이미지 왜곡이 발생할 수 있다. 정확한 영상의 묘사는 타겟의 용적범위 및 선량에 영향을 주기 때문에 정확한 타겟의 용적과 위치는 불필요한 선량이 조사되는 것을 방지하며, 치료계획 시 오차를 방지할 수 있다. 전산화 단층촬영과 자기공명영상이 가지고 있는 영상 표출 알고리즘의 장점을 이용하여 치료계획에 적용해야 할 것이다.



International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014

Special Session III

‘희토류 광상 탐사 및
실증화 기술개발’ 1부



희토류 영구자석 최신 동향

배 석*, 이상원

기능소재 Part, 선행부품연구소, R&D 캠퍼스, LG이노텍(주)

*sbae@lginnotek.com, Tel. 031-436-7044

최근 에너지저감 및 환경친화형 녹색성장사업이 새로운 이슈로 급부상 하면서 자동차산업에서는 화석원료를 사용하는 내연기관을 모터와 병행하여 사용하는 하이브리드 카(HEV) 혹은 환경친화형 에너지원인 수소 등을 대체에너지로 활용하여 전기를 발생시키고 모터를 구동하는 연료전지차(FCEV)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 환경친화형 자동차들은 전기에너지를 이용하여 구동되기 때문에 영구자석형 모터 및 발전기가 필연적으로 채용되므로 영구자석 측면에서는 에너지 효율을 더욱 향상시키기 위하여 우수한 경자기 성능을 나타내는 희토류 자석과 고성능 Ferrite 자석의 기술적 수요가 증가하는 추세이다.

희토류 자석 및 Ferrite 자석은 자동차, 가전, IT, 의료산업 등 다양한 응용 제품분야와 함께 그들 응용제품의 특성 향상을 위해 자기적 특성은 물론, 열, 반자장 및 기계적 충격 등 외적인 환경에서도 자기적 특성이 유지되는 내환경 특성이 요구되고 있다. 즉, 우수한 영구자석 소재로 사용되기 위해서는 높은 잔류자속밀도(Br)와 높은 보자력(Hc)이 동시에 요구되고 있다. 전자의 잔류자속밀도는 자석합금 소재를 구성하는 고유 물질에 의존하지만, 후자의 보자력은 자석합금의 소결, 결정립의 미세화 및 배향기술 등의 제조 공정조건에 의하여 결정된다. 특히 자동차에 사용되는 영구자석은 200℃ 정도에서 견딜 수 있어야 되기 때문에 높은 보자력(25KOe 이상)이 요구될 뿐만 아니라, 소형경량화를 위해서도 우수한 경자기 특성이 중요하다.

Nd-Fe-B 자석은 현존하는 강자성소재 중 가장 특성이 우수하여 하이브리드/전기자동차의 구동모터는 물론 각종 전장용 모터의 고성능/고효율화, 소형/경량화에 최적인 소재이다. 최근 희토류를 사용하지 않는 자석을 개발하려는 움직임이 있으나, Nd-Fe-B 자석에 대적할만한 경제성을 갖춘 자성소재의 출현은 실질적으로 어려울 것이라는 것이 현장기술자들의 중론이며, 희토류 자석 대체용 고성능 Ferrite자석을 도입하여 자석과 모터 구조를 최적화하는 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.

따라서 고성능/고효율화를 추구하는 친환경 자동차의 구동모터에 필수불가결한 소재라 여겨지는 Nd-Fe-B 자석과 Ferrite 자석에 대한 최근 이슈와 연구동향에 대해 살펴보고, 향후 펼쳐질 시장의 변화를 고찰해보고자 한다.

차량용 영구자석 개발동향

이재령*

현대자동차 책임연구원

차량 편의 및 안전 장치 소형화까지 확대되고 있으며 파워트레인 배기규제 및 연비 강화 추세로 인해서 차량 전동화(모터 사용) 증가 추세이다.

차량 내 공간 확보를 위해 모터 소형화가 필요하고 연비 향상을 위한 모터 효율 향상 및 경량화 기술이 중요하게 요구되고 있다.

또한, HEV/EV구동모터는 고가의 NdFeB영구자석이 적용 중이며 중희토류 성분 저감에 의한 원가절감도 중요시 되고 있다.

차량 관점에서 영구자석 개발 현황에 대해 기술하고자 한다.

ReMat (Recycling & Materialization) for rare earths contained in permanent magnet

H.J.Choi, S.J.Seo, Kyung-Tae Park, Bum Sung Kim, and Taek-Soo Kim*

Rare metal Center, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, South Korea

Dept. of Rare Materials Engineering, University of Science & Technology, Korea

*Contact Address (tskim@kitech.re.kr, Tel :+82 32 8500 409, Fax : +82 32 8500 304)

Rare earths are widely used in various industries such as voice coil motors in hard disk drive, magnetic generators for magnetic resonance imaging and electrical motors equipped in future vehicles. They have been stood in the center of issues not only due to the industrial reason, but also the political due to the drastic increase of the instability in prices and criticality. Even though a lot of approaches continue to assure the rare earths, recycling regards as a strong alternative in the aspect of energy consumption and environment. So that convergence in the processes is proposed by these authors, so called REMAT (recycling & Materialization), as shown in Figure below. It means that the materials in-put for recycling move to industry without disposal.

In this investigation, a brief result REMAT process from the rare earth (Nd-Fe-B) magnets will be introduced using a low melting point element. And the comparison in the purity and magnetic property is also shown.

Keywords: Rare earth magnet, Recycling, Materialization, Low melting point element, Selective extraction

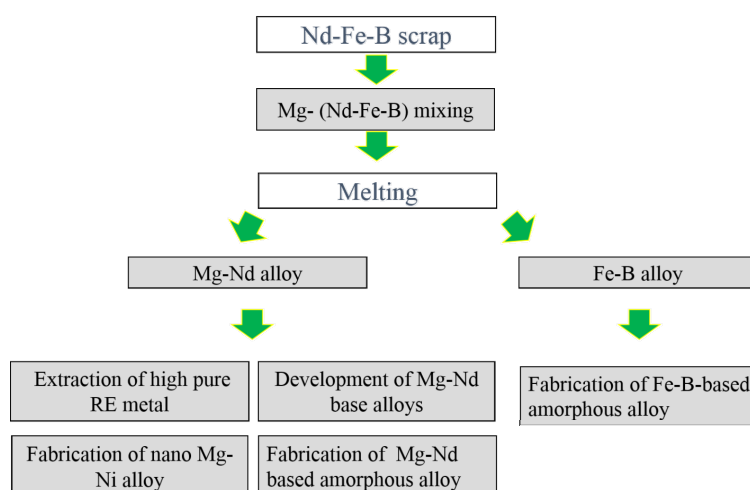


Fig. Flow of REMAT for zero emission

희토류 자성재료 물질흐름 및 중국동향

홍현선*

고등기술연구원 신소재공정센터

현재 우리나라의 산업이 고도화 되면서 희토류를 포함하는 희소금속 소재의 중요성이 부각되고 있으며 소재 확보 및 개발에 대한 요구가 커지고 있다. 특히 우리나라는 희토류 산업의 동향에 따라 산업에서 필요한 희토류자원의 안정적 수급이 사회 이슈화되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 자성재료로 쓰이는 희토류 금속의 국내 물질흐름분석 (Material Flow Analysis)을 통해 자성재료 관련 국내 산업 value chain을 분석하고, 각 value chain에 자리 잡은 기업들을 파악한 후 물동량을 분석하고자 하였다. 또한 희토류 금속의 희토류의 최대 생산국인 중국의 희토류 금속 자원현황, 희토류 산업현황, 희토류 관련 정책과 자원개발 국제협력 동향에 대하여 살펴보려고 하였다.

중희토류 자원문제 해결을 위한 영구자석소재 개발기술

이정구*, 유지훈

한국기계연구원 부설 재료연구소 (KIMS)

최근 지구온난화 같은 환경문제 해결을 위한 ‘저탄소 사회실현’에 대한 관심이 고조되고 있다. 이를 위해서는 화석연료의 소비를 줄이기 위한 에너지 생산과 소비방식의 패러다임 변화가 필요하다. 즉 에너지 생산 방식에서는 화석연료를 연소하는 발전방식에서 풍력, 태양발전과 같은 신재생에너지 발전방식으로, 에너지 소비방식에서는 에너지 소비와 관련된 각종 부품의 에너지 효율을 극대화하는 것이 중요하다. 특히, 에너지를 소비하는 기기의 효율의 향상과 가장 밀접하게 관계되는 기기가 모터이다. 그리고 여기에 사용되는 핵심소재가 바로 영구자석이다. 특히, 저탄소 사회 실현에 필요한 하이브리드 자동차(HEV), 전기자동차(EV)와 같은 친환경 자동차, 에너지효율이 매우 높은 가전 등에서 핵심기술의 하나가 바로 모터용 Nd-Fe-B계 희토류 영구자석소재이다. 또한 이러한 고특성 희토류 영구자석이 적용된 고성능 모터는 HEV, EV의 구동모터 뿐만 아니라 에어컨용 압축기모터, 세탁기 드럼 구동모터, 공작기기와 산업로봇용 모터에 이르기까지 다양하게 사용되고 있다. 또한 최근에는 풍력발전기에 적용되는 양이 급증하고 있다. 그러나, 희토류 영구자석은 현재 심각한 자원리스크에 직면해 있다. 특히 고온 환경 하에서 작동하는 친환경자동차 구동모터용 희토류 영구자석에 필수 원소인 Dy와 같은 중희토류 자원문제는 매우 심각하여 차세대 산업에서 필요한 고성능 모터 공급에 큰 장애요인이 될 것으로 예상된다. 따라서 이러한 문제 해결을 위해서는 고특성 희토류 영구자석에서 Dy와 같은 중희토류 원소를 저감, 궁극적으로 제로화하는 기술과 나아가서는 희토류 대체 영구자석재료를 개발이 하는 것이 매우 시급하다.

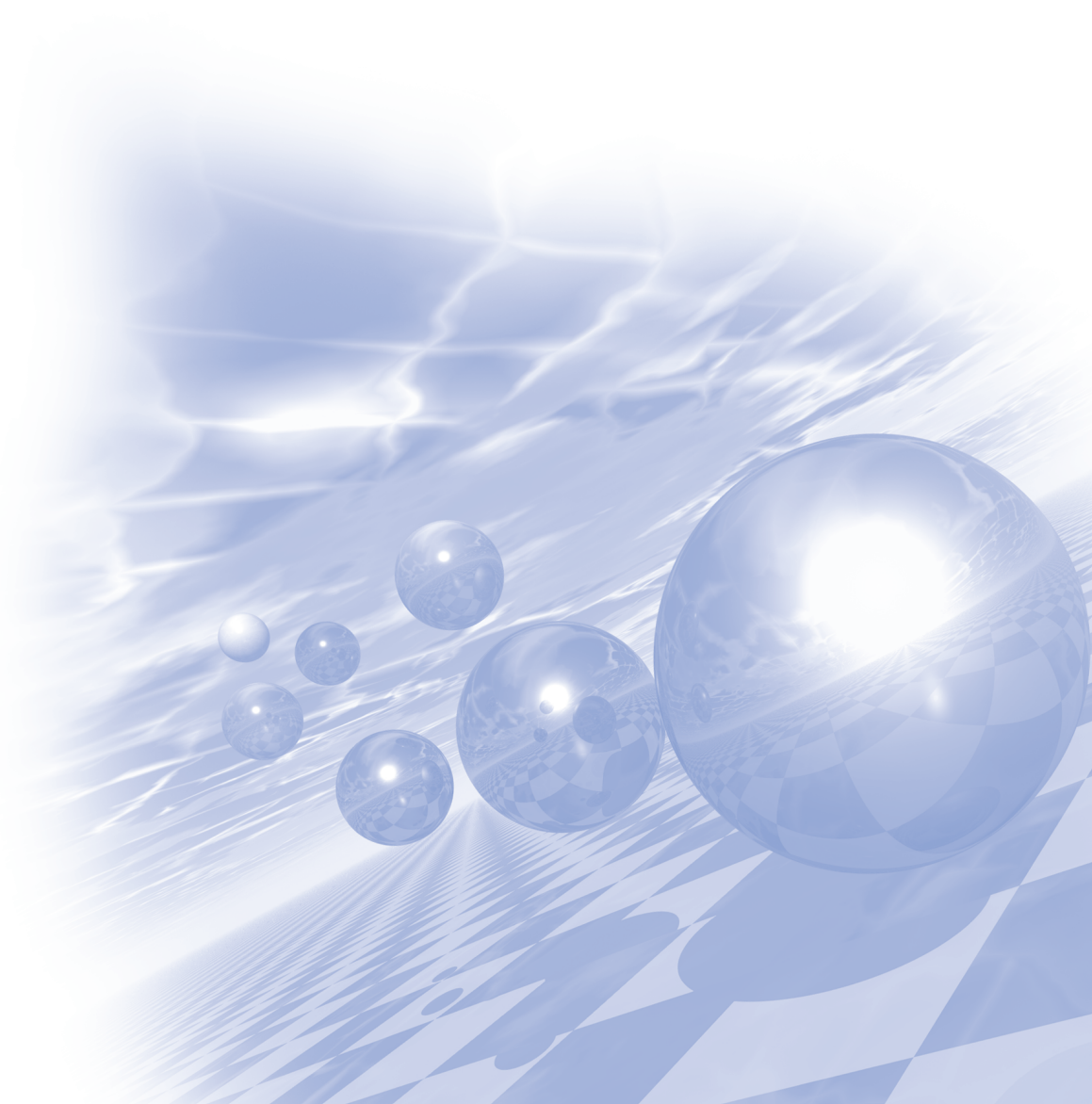
본 발표에서는 이러한 중희토류 자원문제 해결방안인 미세구조 제어기술 개발 동향에 대해서 살펴보고자 한다.

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 2014**

초청강연 II



Theoretical limit of Maximum Energy Product of Rare-earth Free Core-Shell Nanomagnets

Yang-Ki Hong* and Jihoon Park**

*Professor and E. A. “Larry” Drummond Endowed Chair and Graduate Program Director

**Ph.D. Graduate Research Assistant Department of Electrical and Computer Engineering and MINT Center

*Professor of Materials Science Ph.D. Program The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama 35487, USA

Theoretical calculation of maximum energy product, $(BH)_{\max}$, of core-shell nanomagnet, that a magnet designer needs, is lacking. Therefore, first-principles calculations were performed for ordered MnBi [1], MnBi-Co(Fe) [2], τ -MnAl [3], and strontium ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) [4,5], to calculate the saturation magnetization (M_s), effective anisotropy constant (K_{eff}), and Curie temperature (T_c). These materials are magnetically hard, thereby core material candidates. Linear-augmented plane wave (FLAPW) and linear-muffin-tin-orbital (LMTO) calculations based on density functional theory (DFT) within the local spin density approximation (LSDA) are used to obtain magnetic properties of the core materials.

With regards to calculation of $(BH)_{\max}$ of core-shell nanomagnet, we have used both Hong-Bae’s analytical model [6], which is based on the magnetic anisotropy constant (K), and Hong-Park’s model based on the intrinsic coercivity (H_{ci}) [7].

It was found that the $(BH)_{\max}$ of core-shell was increased by 129% for core MnAl, 308% for MnBi, and 206% for $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Nano-manufacturing of core-shell nanomagnets is challenging.

References

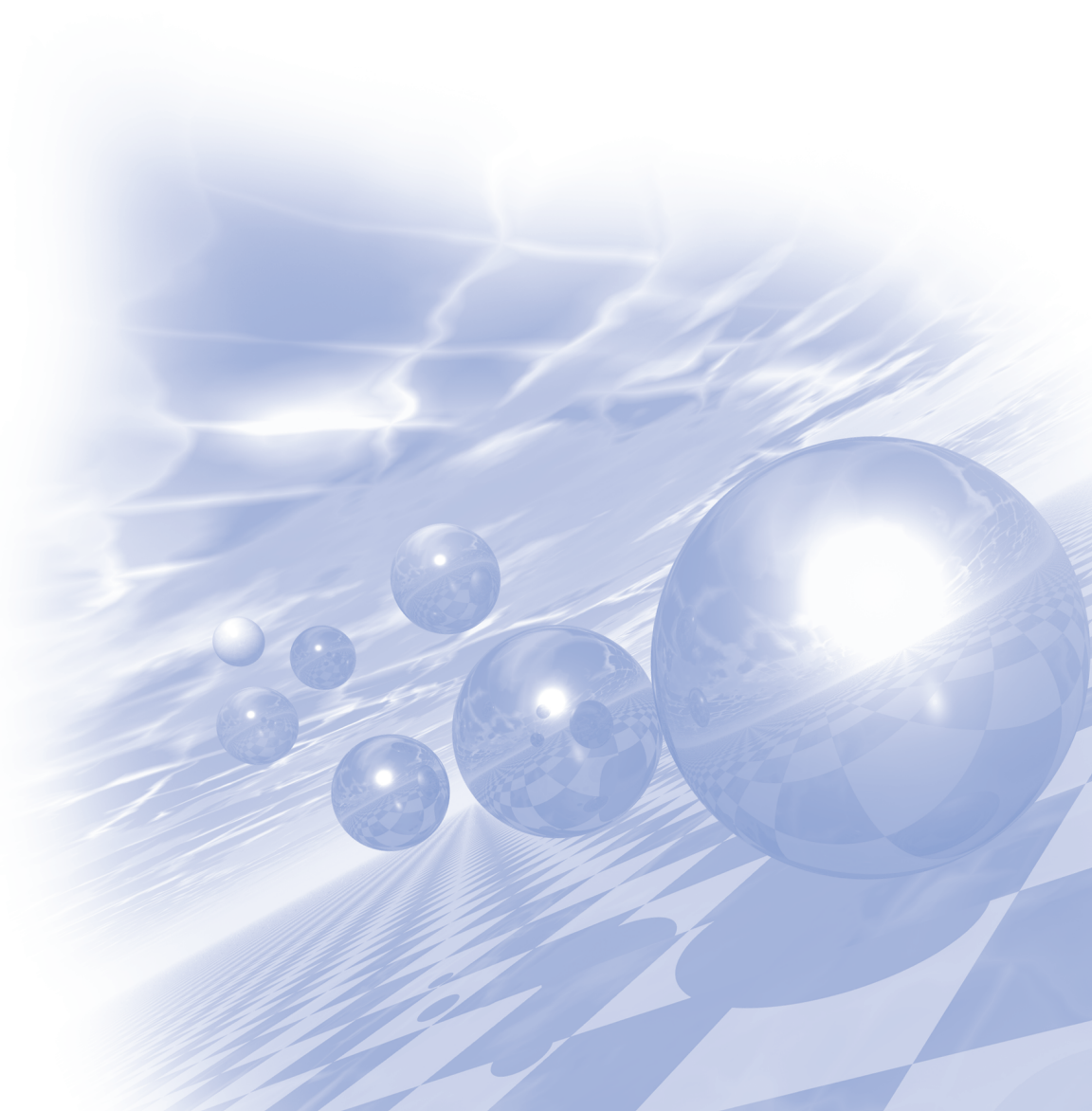
- [1] J. H. Park, Y. K. Hong, J. J. Lee, W. Lee, S. G. Kim, and C. J. Choi “Electronic structure and maximum energy product of MnBi (invited),” *Metals* **4**, 455 (2014)
- [2] Y. K. Hong, J. H. Park, Oleg N. Mryasov, S. G. Kim, Jaejin Lee, G. S. Abo, C. J. Choi, and J. G. Lee “Magnetic properties of MnBi based alloys: First-principles calculations for MnBi-Co and MnBi-Co-Fe cases,” *AIP Advances* **3**, 052137 (2013)
- [3] J. H. Park, Y. K. Hong, S. Bae, J. J. Lee, J. Jalli, G. S. Abo, N. Neveu, S. G. Kim, C. J. Choi, and J. G. Lee “Saturation magnetization and crystalline anisotropy calculations for MnAl permanent magnet,” *Journal of Applied Physics* **107**, 09A731 (2010)
- [4] J. H. Park, Y. K. Hong, S. G. Kim, S. H. Kim, L. S.I. Liyanage, J. J. Lee, W. C. Lee, G. S. Abo, K. H. Hur, and S. Y. An “Maximum energy product at elevated temperatures for hexagonal strontium ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) magnet,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **355**, 1 (2014)
- [5] L. S. I. Liyanage, S. H. Kim, Y. K. Hong, J. H. Park, S. C. Erwin, and S. G. Kim, “Theory of magnetic enhancement in strontium hexaferrite through Zn-Sn pair substitution” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **348**, 75 (2013)
- [6] Y. K. Hong and S. Bae, “Magnetic exchange coupled core-shell nanomagnets,” **US Patent** 2013/0342297 A1, issued 26 December 2013 and **WO Patent** 2012068178 A1, issued 24 May 2011
- [7] Y. K. Hong and J. H. Park, “Hong-Park’s analytical model for calculation of $(BH)_{\max}$ of magnetic exchange coupled core-shell nanomagnets,” in preparation for publication (2014)



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

Special Session IV

‘Current Research Trends in Energy Magnetics’



Research and Development of measuring technique of Loss and Heat for HV motor

Tsutomu Hosoi^{1*}, Ryotaro Okamoto¹, Hirohito Matsui¹, Daisuke Miyata¹, Yasuyuki Haseo¹,
Muneo Yorinaga¹, Naoki Tanaka², Masashi Inaba², Yasutaka Kamiya²

¹NIPPON SOKEN, INC., Nishio 445-0012, Japan

²DENSO CORP., Kariya 448-8661, Japan

We established the measurement technique of magnetic flux density on permanent magnet surfaces when IPM motor operates using small and thin 2 type sensors.

This technique was applied to the HV motor for driving. The frequency component and generating area of the eddy current loss were clarified.

Education

Mar. 2006 B.Eng. in Department of Electrical Engineering Faculty of Science & Technology,
Tokyo University of Science (東京理科大学)

Mar. 2008 M.Eng. in Department of Electronics and Applied Physics,
Tokyo Institute of Technology (東京工業大学)

Work Experience

Apr. 2008 Joined DENSO CORPORATION (㈱デンソー)

Sep. 2008 Assigned NIPPON SOKEN, INC (Current Department)
(㈱日本自動車部品総合研究所)

Current trends in magnetic cooling at room temperature

Asaya Fujita^{*}

Green Magnetic Material Research Center,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Chubu Center)
Anagahora 2266-98, Simo-Sidami, Moriya-ku, Nagoya, 463-8560, Japan

Recently, magnetic compounds undergoing a first-order phase transition are expected to realize room-temperature magnetic refrigeration, because the first-order transition is followed by a large magneto caloric effect (MCE). The NaZn₁₃-type La(Fe_xSi_{1-x})₁₃ system has attracted attention owing to its large MCE associated with a magnetic field-induced itinerant electron meta magnetic (IEM) transition. The MCE performance of this system is superior or comparable to those of other magneto caloric compounds such as Gd₅Ge₂Si₂, MnFe(As,P) and Ni-Mn-based Heusler alloys. One of the origins for occurrence of the first-order transition is a magneto structural transition, which is a discontinuous change of lattice structure followed by a magnetic phase change. This magneto structural transition is observed in Gd₅Ge₂Si₂ and Ni-Mn-based alloys. On the other hand, no structural change appears at the transition in MnFe(As,P) and La(Fe_xSi_{1-x})₁₃. Especially, only an isotropic volume change occurs at the IEM transition of the latter.

Owing to the itinerant character in La(Fe_xSi_{1-x})₁₃, the transition feature was controlled in terms of electronic-structure modification, together with magneto volume effect, which is another key feature of the itinerant-electron magnetism. For example, the Curie temperature T_C of the first-order transition is controlled around room temperature by chemical pressure induced by hydrogen absorption. In addition, transition hysteresis, which is one of the demerits in usage of the first-order transition, is reduced with maintaining MCE effect by combining the hole doping and volume reduction in the complex substitution of Al and Pr.

Introduction

Asaya Fujita (Dob: 1968 17th March) is a Japanese researcher of materials physics and engineering. He received his Ph.D in magnetism and magnetic materials from Tohoku University in 1997. After completing postdoctoral studies in the magnetic phase transition, he joined the faculty member of the materials science department at Tohoku University in 2000. His research on magnetic phase transition has opened the door to new usage of metallic magnetism for such as magnet strictive materials, magnetic sensors and magnetic refrigerants. At the present, from this April, he moved to a new position as the team leader of Analyses and Innovation team in the Green Magnetic Material Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. He is the author of more than 200 peer-reviewed publications in scientific journals and his h-index is 34. Especially, his PRB paper on magneto caloric effect of Fe-based system is cited 563 times. He is an elected member of Advisory Board of the international conference of magnetic cooling. He is now trying to serve to bridge the gap between magneto caloric materials research and magnetic refrigeration machines.

Current status of development of Dy-free Nd-Fe-B for high-temperature applications

Satoshi Hirosawa*

Director, Elements Strategy Initiative Center for Magnetic Materials
National Institute for Materials Science
1-2-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-0047, Japan

When the critical elements need to be excluded, we are forced to develop high coercivity materials on the basis of compounds that have only marginal magnetic hardness. To accomplish this task, atomistic characterization of grain boundaries and interfaces becomes indispensable to clarify the most fundamental aspect of coercivity. Elements strategic approach for development of high-performance permanent magnets free from critical elements that have possibility to replace the current Nd-Dy-Fe-B sintered magnets will be discussed and recent developments will be presented.

CURRICULUM VITAE

Dr. Satoshi Hirosawa

Present position

Director,
Elements Strategy Initiative Center for Magnetic Materials
National Institute for Materials Science
1-2-1 Sengen, Tsukuba, 305-0047 Ibaraki, Japan
Telephone: 81-29-851-3354-Ext. 3725
Facsimile: 81-29-859-2701
E-mail: HIROSAWA.Satoshi@nims.go.jp

Date of Birth

August 4th, 1953, Kyoto, Japan

Education:

Dr. Engineering, Kyoto University, 1981, Japan.
M. Sc. Engineering, Kyoto University, 1978, Japan
B. Sc. Engineering, Kyoto University, 1976, Japan

Professional Experience:

2012-present, Director, Elements Strategy Initiative Center for Magnetic Materials, NIMS
2008-2012, Chief Engineer, NEOMAX Co., Hitachi Metals, Ltd.
2007-2008, Senior Research Manager, NEOMAX Co., Hitachi Metals, Ltd.
2004-2007, Senior Research Manager, NEOMAX Co., Ltd.

1991-2004, Research Manager, Sumitomo Special Metals Co., Ltd.

1984-1991, Researcher, Sumitomo Special Metals Co., Ltd.

1983-1984, Research Associate, Carnegie-Mellon University, PA, United States

1981-1984, Research Associate, University of Pittsburgh

Honors:

- Achievement Award, Magnetism Society of Japan, 2009
- Technology Award (Fujimori Award) The Rare Earth Society of Japan, 2009
- Distinguished Paper Award from Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 2007-
- MSJ Outstanding Research Award from Magnetism Society of Japan, 2004
- Advanced Research Award from Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, 2004
- Technological Development Award, Japan Institute of Metals, 1987
- Distinguished Paper Award, The Japan Society of Applied Physics, 1987

Educational and Social Activities:

- Appointed Lecturer on Permanent Magnetism, Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan (1998-2012)
- Invited Professor, Graduate School of Technology Management, Ritsumeikan University (2005-2007)
- Planning Committee member, Magnetism Society of Japan(1995-1998)
- Editorial Committee member, Magnetism Society of Japan(1992-1995)

Academic and Industrial Activities

More than 170 papers in credited academic journals and books.

More than 200 patent applications and more than 20 patents.

Consideration about Coercivity Mechanism in Nd-Fe-B Sintered Magnets Based on the Surface Domain Structure Observations

Kurima Kobayashi*

Shizuoka Institute of Science and Technology, Japan

Nd-Fe-B sintered magnet is one of the most interesting materials especially for applications in EV and HV motor parts. This presentation deeply concerns to coercivity of the magnets, and that also relates to the serious Dy resource problem being watched recently. We investigated the magnetization and demagnetization mechanisms in Nd-Fe-B sintered magnets using EBSD, MFM, and Cs-TEM. The orientation of crystal grains mainly on c-plane (EBSD), domain structures of magnetized and demagnetized regions including the intermediate states (MFM), and the chemical composition and crystal and micro-structures including the thickness (Cs-TEM), all at the same position in the same magnet sample were studied. The propagation of magnetized and demagnetized regions surrounding the miss-orientated small number of grains was observed. The grain boundaries (GB) between (A) magnetized-magnetized grains and between (B) magnetized-demagnetized grains are similar thickness of 1.2-2.0 nm and similar amorphous structure including about 30% of Fe, except the different oxygen contents of 10% (A) and 40% (B) in the case of commercial NEOMAX-48 magnet. The relationship between microstructures and domain structures in the Nd-Fe-B sintered magnets are investigated using direct observations of incremental polished plane (each step; $\sim 1\mu\text{m}$ thickness) and domain structure observation using MOKE on the plane, both on the same c-plane surface.

As conclusion, the magnetic states of surface grains are mainly governed by the magnetic flux from the inside grains, and the GBs ((A) and (B)) have no specific different characteristics as chemical composition and crystal structure (especially in the case of commercial NEOMAX-48 magnet).

Biographical sketch of Kurima Kobayashi;

Born in 1952 at Sapporo.

1974 Waseda University, Dept. of Science and Technology, (B. Eng.)

1982 Tokyo Institute of Technology, (Dr. Eng.)

1982 Asahi chemical Industry Co., Ltd. (Central Research Labo.)

1984-1985 Scholar-ship from French government in 1984.

(CNRS ; Lab. Solid Chemistry, Bordeaux)

1985-1993 Asahi chemical Industry Co., Ltd. (Research Labo.)

1993-1995 Research-fellow (com. E. T. S. Walton) of Trinity College of Dublin (Ireland)

(Prof. J. M. D. CoeyLabo.)

1995-1996 Visiting researcher in Lab. Louis Néel (CNRS) (present; Labo.Néel(CNRS))

(Prof. Dominique Givord Group)

1996-present Shizuoka Institute of Science and Technology (2005~ Professor)

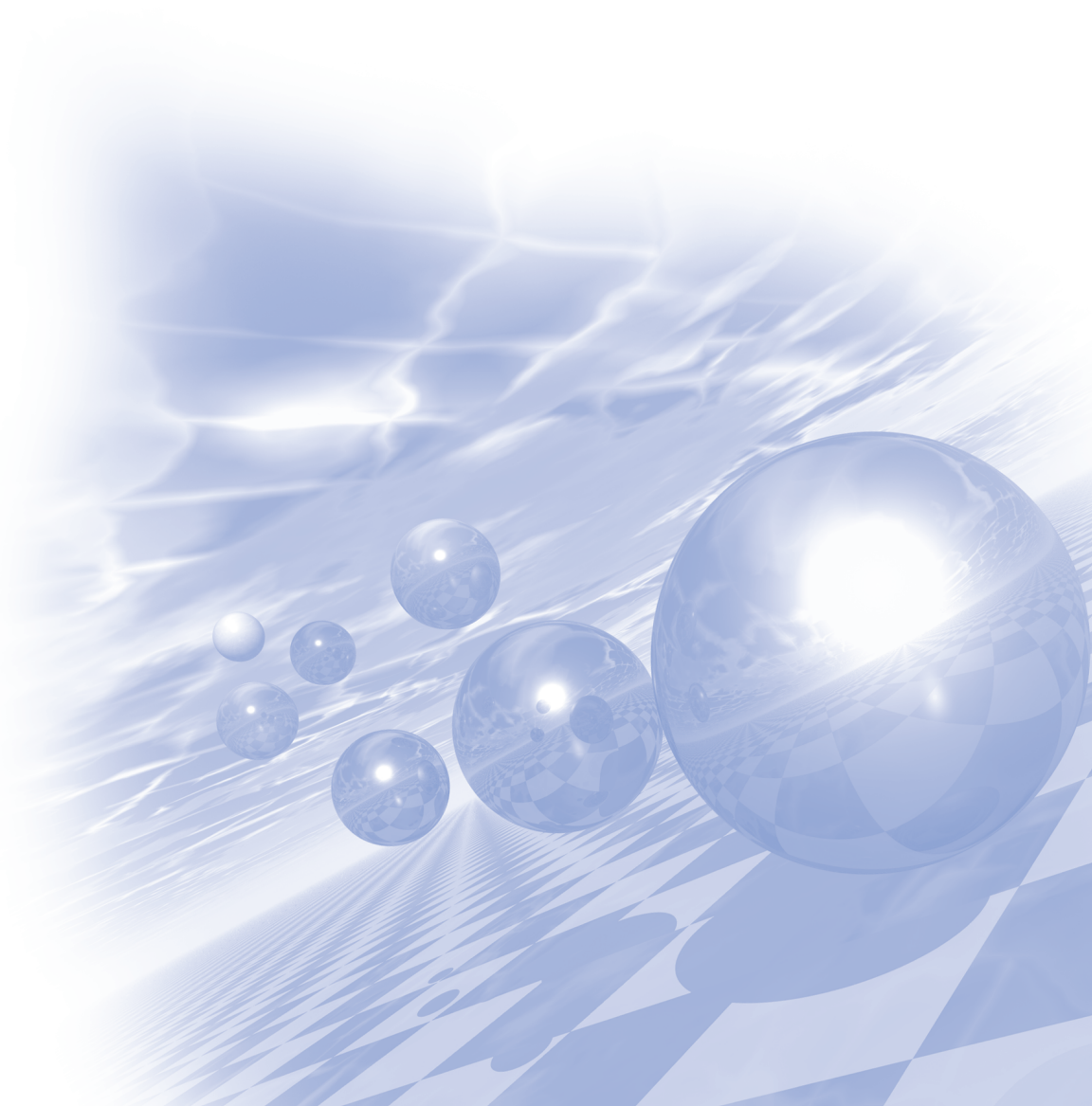
(Prof. of Dept. of Materials and Life Science)



International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014

Special Session V

**‘ 희토류 광상 탐사 및
실증화 기술개발’ 2부**



무선전력전송 모듈용 전자기차폐소재 및 상용화

이상원*, 염재훈, 김소연, 배 석

기능소재 Part, 선행부품연구소, R&D 캠퍼스, LG이노텍(주)

*bestlee@lginnotek.com, Tel. 031-436-7131

무선전력전송(WPC; wireless power conversion)을 통한 휴대용 디바이스의 충전방식은 최근의 각광받는 새로운 기술분야로 주목 받고 있다. 무선충전 방식은 크게 자기유도 방식과 자기공진 방식, 전자기파 방식으로 세분화되며, 상용화 관점에서는 자기유도 방식이 가장 빠르게 발전하고 있으며, 자기공진 방식이 뒤를 따르고 있다. 디바이스 기기의 구성으로는 송신부(Tx)와 수신부(Rx)로 이루어지며, 두 기기 사이의 전자기적 에너지 전달과정에서의 누설자속(또는 누설 에너지)의 손실을 최소화하여 충전되는 효율을 극대화하려는 목적으로 전자기차폐 소재가 적용되어 왔다. 주로 사용되는 자성소재로는 FeSiCr, FeSiAl (=sendust) 등이 있으며, 대부분의 경우 얇은 시트의 형태로 적용된다. 더 나아가 무선전력 전송의 목적뿐만 아니라 근거리 무선통신(NFC; near field communication) 용도의 전자기차폐 시트도 이미 상용화 되었으며, 고분자/레진 등과의 혼합을 통한 Composite 형태가 가장 일반적인 제품이다. 무선전력 전송의 효율을 높이기 위해 투자율(실수부)이 높은 재질을 선호하고 있으나, NFC는 투자율의 허수부, 즉 손실율이 작을수록 유리하므로, 이 두 가지 특성을 잘 조절하여 최적점을 찾는 것이 기술의 관건이라 할 수 있겠다. 본 연구에서는 무선전력 전송 및 근거리 무선통신용 전자기차폐 소재/시트와 관련한 기술적 핵심사항과 최근의 상용화 제품을 통한 트렌드를 알아보고자 한다.

모바일 무선충전 (G3, 4.0W)



NFC용 WPC only용

Table I. Magnetic properties for the generally used soft magnetic materials [11-14]

Name	Composition	$\mu_{100-1000}$	μ_r^*	B_r (T)	T_c (°C)	H_c (Oe)	δ (g/cc)	ρ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$)
Ni-Zn ferrite	$\text{Ni}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1$)	15-1500	0.3-0.5	150-450	0.3-0.5	4.5-5.0	1014-15	
Mn-Zn ferrite	$\text{Mn}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1$)	750-10 k	0.3-0.5	100-300	0.04-0.25	4.5-5.0	107-8	
Silicon steel (Oriented)	Fe_3Si	800	1.8-1.9	750	0.4-0.5	7.65	45-50	
Silicon steel (Non-oriented)	Fe_3Si	400	1.6-1.7	750	0.5-0.6	7.65-7.7	40-45	
Super core	$\text{Fe}_{0.9}\text{Si}_{0.1}$	800	1.3	700	0.56	7.6	82	
Fe powder	Fe	4-100	2.2	770	5-9	7.2	10	
Permalloy	$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	5 k*	0.7	450	0.3	8.5	60	
High flux	$\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$	14-160	1.5	360	1	8	32	
MPP	$\text{Ni}_{60}\text{Fe}_{40}\text{Si}_{0.5}\text{Mo}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Si}_{0.5}$	12 k-200 k*	0.66-0.82	455	0.02-0.04	8.73	59	
Sendust	$\text{Fe}_{25}\text{Si}_{10}\text{Al}_5$	26-125	1	740	0.5	6.15	85	
FeSiCr	$\text{Fe}_{25}\text{Si}_{10}\text{Cr}_2$	20-70	1.2-1.4	740	1	6.5	110-120	
Metglas 2605	$\text{Fe}_{78}\text{Si}_{16}\text{B}_{11}$	5 k*	1.56	399	0.4-0.6	7.32	130	
Metglas 2714	$\text{Co}_{46}\text{Si}_{13}\text{B}_{14}\text{Fe}_{28}\text{Ni}_1$	10-15 k*	0.57	225	0.15-0.35	7.59	142	
Finemet	$\text{Fe}_{73}\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Nb}_3\text{Cu}_1$	15 k*	1.23	570	0.01-0.03	7.3	110-120	

※ 자료 출처: 한국자기학회지, 23(2), pp.1-9 (2013)

WPC-NFC 복합용

극이방 NdFeB 소결자석의 제조 및 모터응용

김효준*

자화전자(주) 연구소

모터의 여러 가지 부하조건, 온도 조건에 있어서도 영구자석의 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 자속밀도의 향상과 더불어 감자에 대한 대책이 영구자석 소재 분야에서는 중요한 연구과제다. 소재의 이방화 방법 가운데 극이방화(Polar anisotropic)는 영구자석의 자기특성 및 형상의 자유도가 높아 레디알 이방화(Radial anisotropic)가 자석이 가지는 축방향 길이의 한계를 극복하기에 효과적이다. 또한 표면자속이 높고 동작점이 높아 코일감자계에 대한 안정성을 향상시킬 수 있으며 파형도 정현파에 가까운 등 모터의 설계측면에서는 장점들이 많다. 그러나 제조상의 제약도 있어 NdFeB 영구자석에 적용하기에는 많은 연구가 필요하다. 본 강연에서는 유한요소법(Finite Element Method, FEM)을 이용한 극이방화 자기회로 구성을 NdFeB 원통형 영구자석에 적용한 실험을 보임으로써 다양한 극이방 NdFeB 자석의 구현 가능성을 확인하고, 극이방 NdFeB 자석이 적용된 모터의 특징을 소개하고자 한다.

Acknowledgment

This work was supported by the Strategic Core Material Technology Development Program (No. 10043780) funded by the Ministry of Trade Industry Energy (MOTIE, Korea).

희토류 분리정제 생산 실증화 기술개발 연구 현황

이고기^{1*}, 이창규¹, 조성구²

¹비철금속연구센터, 포항산업과학연구원

²재무투자본부, 포스코

희토류는 자석, 형광체, 촉매, 연마재 등 다양한 분야에 사용되고 있는 필수적인 제품으로 유사원소인 스칸듐, 이트륨 및 원자번호 57에서 71인 란타넘 계열의 15원소를 합친 17원소를 총칭하는 것이다. 희토류는 중국의 독점 및 자원무기화에 따라 국가 전략자원으로서 중요성이 높아지고 있으며, 특히 영구자석에 많이 사용되는 네오디뮴(Nd, Neodymium)은 하이브리드 및 전기자동차의 구동모터와 풍력발전에 적용되면서 주목을 받고 있다. 그러나 국내는 희토류 원료 및 소재부품 유관산업 부재로 인하여 전량 수입에 의존하고 있으며, 이를 극복하기 위하여 국내에서 영구자석 제조용 원료인 산화물을 제조하기 위한 희토류 분리정제 생산 실증화 기술개발에 대한 연구를 소개하고자 한다.

희토류 영구자석용 스트립의 조성에 따른 미세구조와 자기적 특성

임경묵*

한국생산기술연구원

희토류 영구자석의 특성은 스트립캐스팅 공정에서 비자성상인 α -Fe를 억제하고 강자성상인 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}_1$ 의 입계에 Nd-rich상이 분포하는 형태의 미세하고 수직한 방향의 형상으로 만드는 것이 가장 핵심인 요소이다. 본 연구에서는 Nd-Fe-B계 스트립 미세조직 및 자기적 특성에 미치는 Pr 및 Dy 첨가 효과를 조사하였다. 스트립캐스팅을 통하여 일정한 냉각 속도에 따라 주조된 스트립은 [001]방향으로 정렬된 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}_1$ 주상의 입자 성장이 이루어진다. 이러한 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}_1$ 주상의 결정립 배향은 $V=4\text{m/s}$ 의 휠 속도에서 가장 잘 이루어진다. $V=4\text{m/s}$ 의 휠 속도에서 제조된 스트립은 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}_1$ 주상의 입계에 Nd-rich상이 잘 분포되어 최적의 미세조직을 형성하였다. 첨가 원소로써 Dy의 첨가 시 비자성상을 억제시키고 입자크기 미세화에 효과적이었으며 Pr첨가 시에는 α -Fe형성을 촉진시켰다. 자기적 특성에 대한 영향은 Pr과 Dy의 첨가는 포화자화를 감소시켰지만 보자력은 향상되었다.

희토류 광상 탐사 및 생산 실증화 기술개발 현황

김재영*, 최강룡, 여정구, 안성용

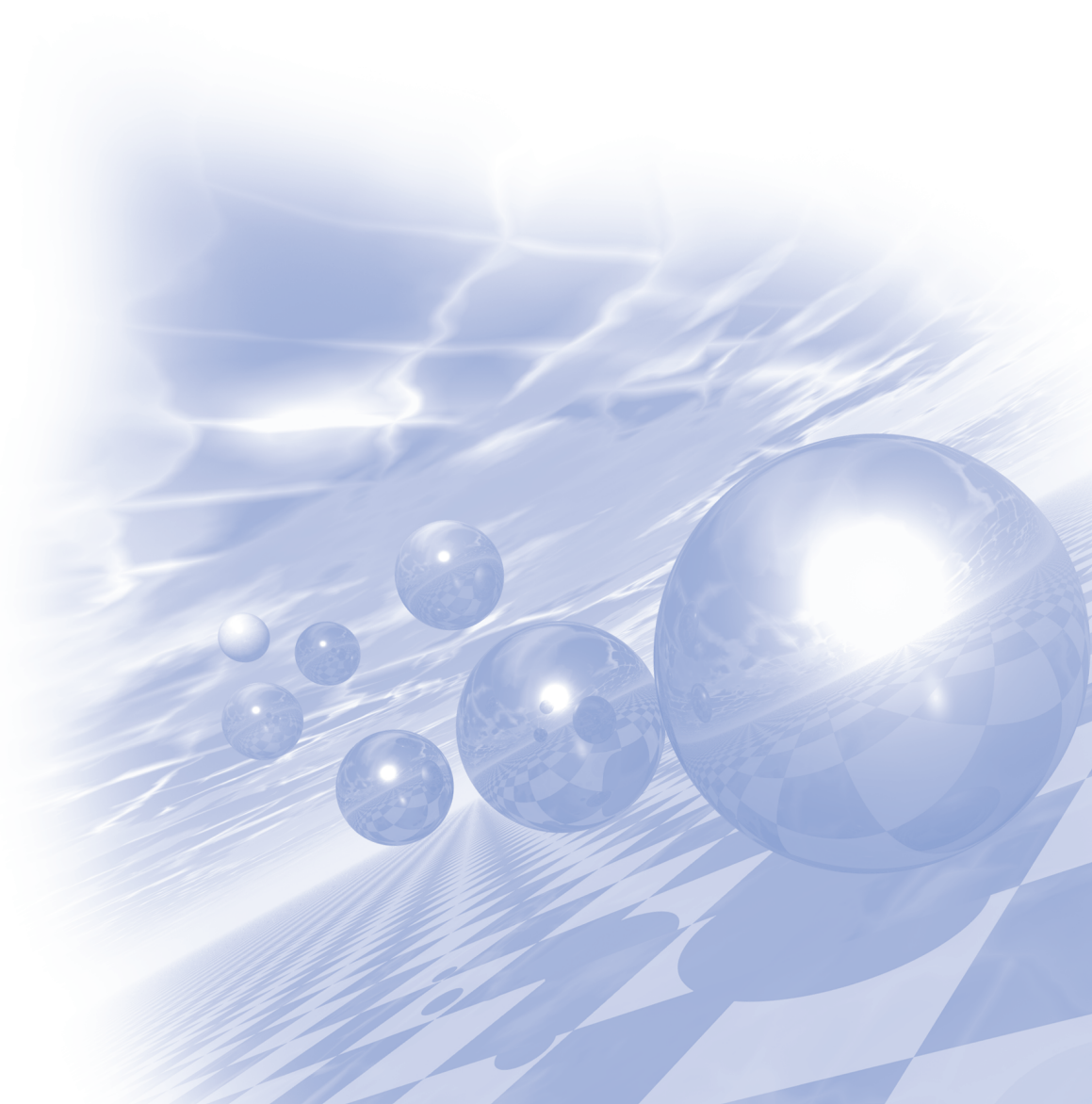
삼성전기 중앙연구소, 경기도 수원시 영통구 매영로 150, 443-743

중국의 희토류 자원문제로 인한 원자재 수입 불안정을 해소하고자 희토류 광상 탐사부터 정제련 및 응용 소재인 영구자석 제조까지의 선순환 supply chain을 확보하기 위하여, POSCO에서 정제련된 Nd금속을 이용하여 45 MGOe급의 희토류 영구자석을 제조, 특성 분석을 하였다. 모합금 Nd-Fe-B strip cast alloy를 HD처리하여 조분쇄한 후 jet-mill을 이용하여 $\sim 5 \mu\text{m}$ 의 미분을 제조하였고, 자장중 성형기를 이용하여 자석의 형태로 성형한 후 진공 소결로에서 열처리를 수행했다. 조분쇄부터 진공소결까지 시편의 산화를 방지하기 위해 질소 분위기를 유지하여 산소 접촉을 최소로 하였고, 자성 특성 측정은 B-H curve tracer를 이용하였다. 제조된 Nd-Fe-B계 소결 영구자석은 최대자기에너지적($(BH)_{\text{max}}$) 44 MGOe의 잔류자속밀도 B_r 값 13 kG, 보자력 B_H 값이 13 kOe였다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2014**

포스터 발표



Ni(111)/Graphene/Co(111): Transport characteristics of Magnetic asymmetric Junction

Jicheol Son^{*}, Umar Farooq, Jisang Hong[†]

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

For several years the electronic structure properties of the graphene are studied very well in last decade and the electron transport across magnetic metal-graphene junctions is a very interesting topic regarding the spintronic application. We have studied the spin dependent transport of asymmetric junction of Ni-Graphene-Co, using the non-equilibrium Green's function (NEGF), embedded with density functional theory (DFT) in ferromagnetic configurations. The transmission spectra and I/V curve have shown that the current at very low bias is generated by the minority spin.

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

Analysis for Orbit Calculation and Focal Spot Size of Electron Beam According to the Shape of Focusing X-ray Tube

Tae-Young Park¹, Purevdorj Khajidmaa¹, Munkhbat Bolormaa¹, Sang-Suk Lee^{1*}
Ki-Seon Kim², Rae-Jun Park²

¹Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

²XL Co. Ltd., Wonju 220-120, Korea

A small mobile orthopedic for mobile devices required using high-resolution such as dental, bone density measurement. The equipment is used for making rotating anode X-ray tube to make, the focusing cup was designed by OPERA-3D program. We simulated the X-ray thermal electrons emitted from filament with the trajectory of the focal distribution and focal spot size having a value of about 50 μm on target. Fixed variables include the voltage across the anode and cathode filament of the work function, the temperature, and the parameters included of the focusing tube has the form of a converging tube wall thickness as the width, length and the like. Analysis of the finite element analysis model was used. Many variables depending on the thermionic emission of hot electrons from the target trajectory and the focusing tube will be contributed the real design of X-ray.

회전양극 엑스선관은 엑스선을 발생시키는 진공관으로 크게 Fig. 1(a)과 같이 양극, 음극(필라멘트), 집속관으로 구성되어있다. Fig. 1(b)의 필라멘트에 2000 K ~ 4000 K의 고온을 가해주었을 때 필라멘트에서 열전자가 방출된다. 방출된 전자들은 높은 전압으로 대전된 양극으로 향한다. 전자들이 양극에 도달하여 타겟을 때리면 타겟의 에너지 준위가 낮아지게 되면서 엑스선을 방출한다. 열전자가 타겟을 때려 생기는 초점의 크기에 따라 발생하는 엑스선의 선질과 영상에서의 해상도가 다르게 나타난다. Fig. 1(c)처럼 치과용, 골밀도 측정용, 소형 모바일용, 정형외과 모바일용 등에 적용되는 회전양극 엑스선관은 열전자의 초점이 60 μm ~ 50 μm 이며, 이와 같은 초점을 구현해 내기 위하여 전자빔 궤적 시뮬레이션을 통해 집속관을 설계하였다.

모델-1의 해석 결과에서 Fig. 2(b)의 집속관의 너비가 길수록 초점이 작게 형성되는 것을 발견하여, 모델-2에서는 집속관을 필라멘트를 중심으로 하여 두 부분으로 나누어 설계하였다. 따라서 OPERA-3D를 활용하여 집속관의 형태의 변화에 따른 열전자의 방출 궤적과 타겟에서의 열전자 초점을 비교한 결과, 50 μm 의 초점 크기를 구현하기 위해서는 집속관 폭의 충분한 길이가 필요로 한다, 이는 전자빔의 초점을 미세화 하여 타겟에 충돌할 때 저 에너지영역의 산란 엑스선을 줄이고 해상도 향상에 기여할 것 이다. Fig. 2(a) 또한 모델-1에서와 같이 집속관의 형상을 다르게 하는 변수를 사용하여 최적의 초점을 형성하는 변수를 찾아내도록 설계하였다.

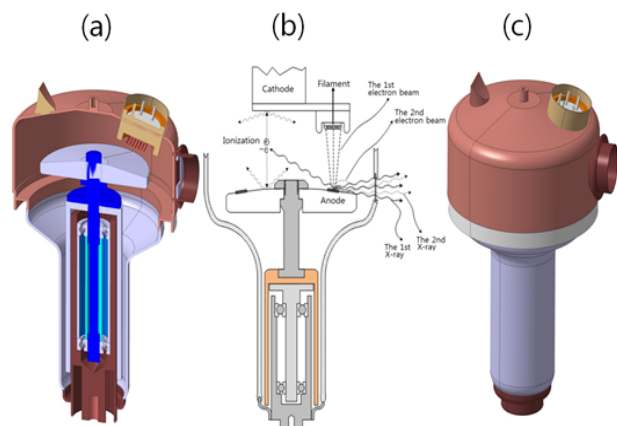


Fig. 1. (a) Internal model of the rotating anode X-ray tube, (b) schematic diagram of X-ray emission models, and (c) rotating anode X-ray tube model of the completed.

Fig. 2(b) 모델-2에서의 해석결과는 Fig. 3의 전자빔 분포 스펙트럼에서 보여주듯이 $65\ \mu\text{m} \sim 45\ \mu\text{m}$ 로 평균 $50\ \mu\text{m}$ 의 초점크기를 가졌으며 모델-1보다 약 $50\ \mu\text{m}$ 의 초점크기를 크게 감소시킬 수 있었다. 본 연구에서는 더 이상적인 열전자 초점을 구현하기 위하여 엑스선관의 집속관을 설계 및 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 프로그램으로는 OPERA-3D/SCALA SW를 사용하였으며 음극과 양극인 텅스텐 타겟에 인가한 전압, 온도, 필라멘트의 일함수 등의 조건을 고정시킨 후 다양한 집속관 형상에 따른 전자빔의 궤적과 타겟에서의 열전자의 초점을 유한요소 해석법을 통하여 분석하였다. 집속관은 Table.1과 같은 제원을 가졌다. 집속관의 모델-1에서는 평균 $100\ \mu\text{m}$ 크기의 열전자 최소 초점이 나타났으며 다양한 변수의 실험으로 집속관 홈의 너비 Fig.3 에서의 width.2가 길수록 초점의 크기가 작게 나타나는 것을 발견하였다. 집속관 모델-2에서는 집속관에서의 width.2 너비를 최대화 하기 위하여 집속관을 필라멘트를 중심으로 두 부분으로 나누었다. 이를 통하여 열전자의 초점은 평균 $50\ \mu\text{m}$ 를 얻을 수 있었으며 모델-1에서의 열전자의 초점보다 약 $50\ \mu\text{m}$ 크기의 초점이 줄어드는 것을 시뮬레이션 결과로 확인 할 수 있었다. 이와 같은 시뮬레이션 결과는 엑스선관의 집속관 설계에 있어서 미세 초점을 구현하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

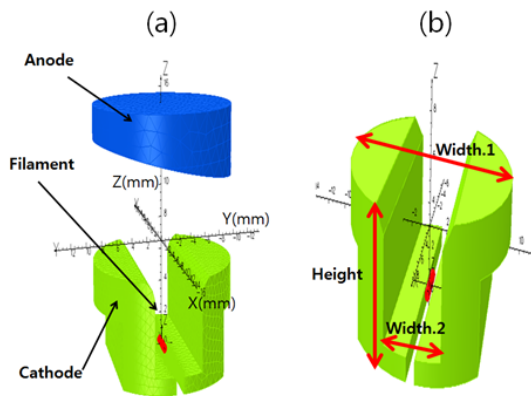


Fig. 2. (a) Shape of focusing cup in Model-2.
(b) The variable focusing tube in Model-2.

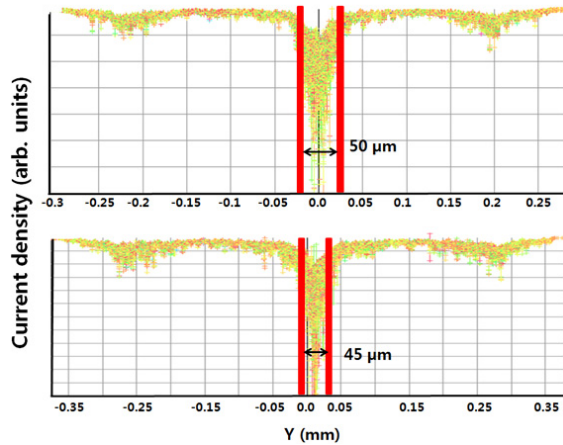


Fig. 3. The current density distribution of thermal electrons for the focusing cup and tube applied by Model-2. The focusing values of electron beams decrease to $50\ \mu\text{m}$ and $45\ \mu\text{m}$.

감사의 글

이 논문은 강원광역경제권선도산업 육성사업 전자의료기기 프로젝트 (제목 : 마이크로포커스 회전양극 엑스선관 개발)와 한국산업단지공단 생산기술사업화 지원사업 (과제명 : 소형 고출력 회전양극 엑스선관)으로 수행된 연구결과 이다.

Magnetism of FeRh(001) thin films with different thickness and surface-termination

Soyoung Jekal^{*}, Sooncheol Hong, Alexander B. Shick¹
University of Ulsan, department of Physics. ¹ASCR, Institute of Physics.

FeRh, which is one of the promising magnetocaloric effect (MCE) materials[1], shows G-type antiferromagnetic (G-AFM) ordering [2] in bulk. In this study, we report magnetic properties of FeRh (001) thin films with different thickness from 3-monolayers (ML) to 15-ML. Two type of surface of FeRh film are considered: (i) Fe-terminated and (ii) Rh-terminated. The Fe-terminated films show a G-AFM like bulk regardless of thickness. But, the Rh-terminated case exhibits ferromagnetic (FM) ordering for films thinner than 15-ML. We also report calculated magnetocrystalline anisotropies and Curie temperatures as functions of film thickness. From this study, we expect that more efficient MCE properties of FeRh can be obtained by tailoring its thickness and surface.

References

- [1] M. P. Annaorazov, S. A. Nikitin, A. L. Tyurin, K. A. Asatryan, and A. K. Dovletov, J. Appl. Phys. **79**, 1689 (1996).
- [2] J. A. Ricodeau and D. Melville, J. Phys. F: Met. Phys. **2**, 337 (1972).

Current-induced gyration of single skyrmion confined in a nanodisk

Takayuki Shiino^{1*}, Ki-Suk Lee², B. G. Park¹

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

²School of Materials Science and Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan 689-798, Republic of Korea

1. Introduction

Recent micromagnetic simulation studies have suggested that a single magnetic skyrmion can be nucleated and stabilized in a nano-sized magnetic disk in the presence of Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) [1, 2]. Based on these previous works and micromagnetic simulations, we observed skyrmion gyrotropic motion in a nanodisk by applying sinusoidal oscillating current. Throughout this study, we assume that spin Hall effect (SHE) is the main force to drive skyrmions. These works help us to understand skyrmion dynamics induced by alternating current (AC).

2. Simulation Scheme

We conducted simulations of skyrmion gyrotropic motion using the OOMMF code[3] with the DMI extension code[2]. In this study, we consider an ultrathin, 0.6-nm-thickness magnetic circular disk with 80 nm diameter, sandwiched by a heavy metal of large spin-orbit interaction and nonmagnetic insulator. We assume material parameters as follows; saturation magnetization $M_s=1.13 \times 10^6$ A/m, exchange stiffness constant $A=1.6 \times 10^{-11}$ J/m, DMI constant $D=3.0 \times 10^{-3}$ J/m², perpendicular magnetocrystalline anisotropy energy $K_u=1.28 \times 10^6$ J/m³, and damping constant $\alpha=0.015$. The mesh size is $1.0 \times 1.0 \times 0.6$ nm³.

In terms of driving force, we assume that the skyrmion is driven mainly by SHE, namely spin-orbit torque (SOT) and other driving forces such as spin transfer torque (STT) and external magnetic field are not considered. The governing equation is the Landau-Lifshitz-Gilbert equation with SOT as follows,

$$\frac{\partial \vec{m}}{\partial t} = -\gamma_0 \vec{m} \times \vec{H}_{\text{eff}} + \alpha \vec{m} \times \frac{\partial \vec{m}}{\partial t} + \gamma_0 \vec{m} \times (\vec{m} \times H_{\text{SHE}} \sin(2\pi f t) \vec{e}_y) \quad (1)$$

where $\vec{m} = \vec{m}(t, x)$ is the dimensionless unit vector of local magnetization, γ_0 is the gyromagnetic ratio ($=2.21 \times 10^5$ (A/m)⁻¹s⁻¹), f is the frequency of sinusoidal alternating current, H_{eff} is the effective magnetic field which derives from exchange, anisotropy and DMI energy terms. The third term of the right side of the equation (1) indicates the SOT term assuming that the oscillating current is applied along x direction and H_{SHE} is a time-independent parameter defined as below[4],

$$H_{\text{SHE}} = \frac{\hbar \theta_{\text{SH}} j_a}{2\mu_0 e M_s t_z} \quad (2)$$

where θ_{SH} is the spin Hall angle of the adjacent heavy metal layer, μ_0 is the permeability of vacuum, e is the elementary charge, t_z is the thickness of the magnetic layer ($t_z=0.6$ nm in our simulations), and j_a is the

amplitude of oscillating current density flowing in the heavy metal layer.

3. Result and Discussion

We observed gyration motion of the single skyrmion induced by harmonic oscillating current along x -axis. Figure 1 shows the trajectory of the gyrotropic motion of a skyrmion with driving frequency of $f=6.0\text{GHz}$ and amplitude $H_{\text{SHE}}=2.69\times 10^4\text{A/m}$ which is equivalent to $j_a=6.96\times 10^{11}\text{A/m}^2$ with $\theta_{\text{SH}}=0.1$. Here the gyration frequency is 0.32GHz .

Also we observed that the skyrmion periodically repeated shrinking and swelling during its motion. Figure 2 shows the time dependence of the skyrmion size. It is remarkable that the graph indicates the beginning of steady gyration clearly and the period of the size fluctuation is 6.32GHz , which is different from the driving frequency 6.0GHz .

In terms of the characteristic frequencies, i.e. driving frequency, gyration frequency and size-oscillation frequency, we found that the following relation :

driving resonant frequency =size oscillation frequency - gyration frequency.

And this relation satisfies for various values of $D=2.4, 2.7, 3.0\text{ mJ/m}^2$.

This relation might be a clue to understand the resonance effect of skyrmion gyration.

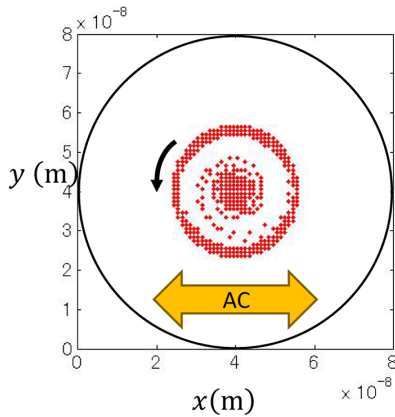


Fig. 1. The trajectory of single skyrmion gyration. The resonant frequency is 6.0GHz for $\approx 3.0\text{ mJ/m}^2$.

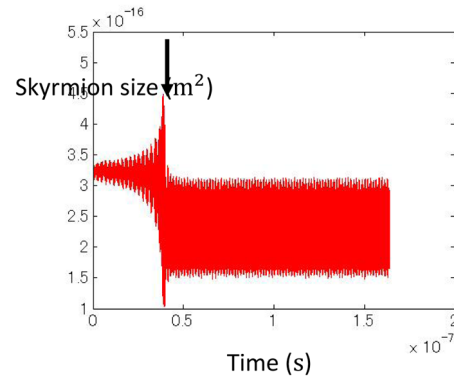


Fig. 2. Skyrmion size vs. time. The bold arrow indicates the start of the steady gyration. During the steady gyration, the skyrmion size is altered periodically and the frequency is 6.3GHz for $D=3.0\text{ mJ/m}^2$.

4. References

- [1] J. Sampaio et al. Nature Nanotechnology 8, 839-844 (2013).
- [2] S. Rohart and A. Thiaville Phys. Rev. B 88, 184422 (2013).
- [3] M.J. Donahue and D.G. Porter, OOMMF User's Guide, Version 1.0, Interagency Report NISTIR 6376, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (Sept 1999).
- [4] Eduardo Martinez et al. Appl. Phys. Lett. 103, 072406 (2013).

Ultrafast spin switching in antiferromagnet and canted antiferromagnet driven by pulsed THz radiations

Taeheon Kim^{1*}, Jongseok Lee¹

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

From the two sub-lattice model based on the Landau-Lifshitz-Gilbert equation, we show that the spin state in antiferromagnetic NiO and canted antiferromagnetic YFeO₃ can be switched all-optically on a picosecond time-scale using THz pulses of square or oscillating shapes. Whereas we clarified that the oscillating THz pulse with a spectral component resonant with the magnetic excitations can make a magnetization switching at the lower magnetic field strength, we check the possibility to further reduce the threshold field strength necessary for the magnetization switching by examining the influences of variations in the anisotropy energy and Dzyaloshinskii-Moriya interaction upon the switching behaviors.

Keywords: canted antiferromagnet, antiferromagnet, NiO, YFeO₃, THz switching, ultrafast switching

코일 모델링에 따른 MR 유체를 이용한 가변 인덕터의 누설자속밀도 계산 비교

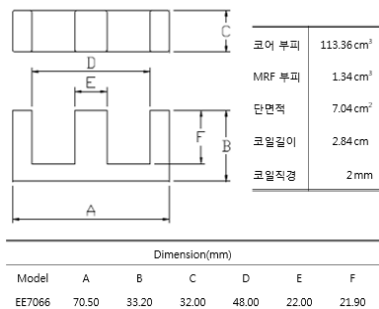
성동규*, 변진규
승실대학교 전기공학과

1. 서론

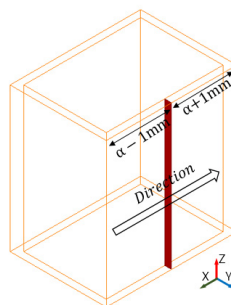
본 논문에서는 DC/DC 컨버터에 사용되는 MR 유체를 사용한 가변 인덕터와 단순 공극을 이용한 가변 인덕터의 누설자속 특성을 비교 한다. 이 때, 유한요소법을 사용한 시뮬레이션을 사용하는데 가변 인덕터 코일 모델링에 따른 계산 결과의 차이를 분석해보고자 한다.

2. 누설자속밀도 해석방법

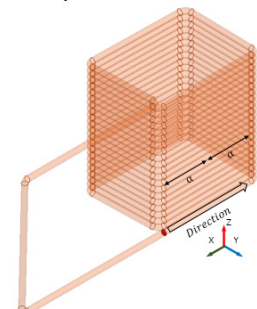
본 실험은 유한요소법을 사용하여 [그림 1]의 제원을 가진 페라이트 코어를 모델링하여 공극이 Air일 때와 MR 유체일 때의 자속밀도 B(uT) 값을 비교한다. 그리고 각각의 인덕터에 대해 [그림 2]와 같이 코일을 간략하게 모델링한 경우와 [그림 3]과 같이 21턴의 단선 유사 코일로 모델링 했을 경우 누설 자속의 계산 결과가 어떻게 달라지는지 비교한다.



[그림 1] 코어 제원

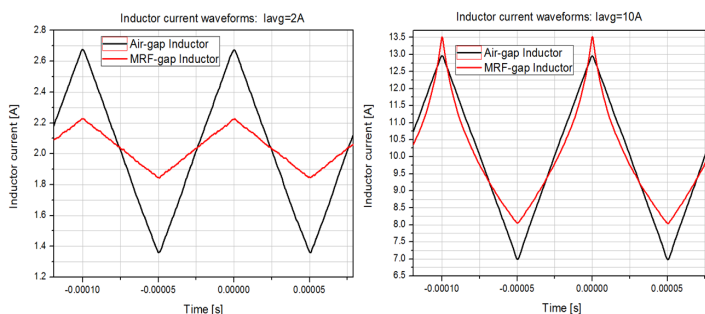


[그림 2] 직사각형단면 코일모델

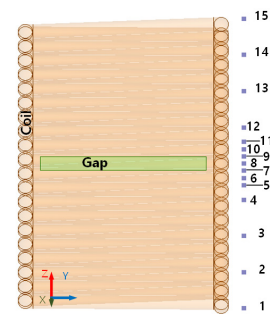


[그림 3] 유사코일모델

MR 유체와 페라이트 코어의 B-H곡선은 실험을 통해 얻어진 값을 사용하였고, 입력전류파형은 [그림 4]로 실제 DC/DC 컨버터의 가변 인덕터에 흐르는 전류 측정된 값을 사용하였다. 누설 B 측정위치는 [그림 5]에 나타나 있다.



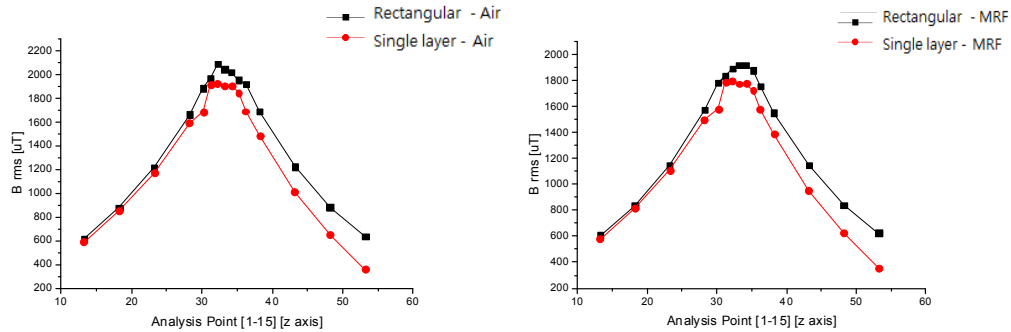
[그림 4] 2A, 10A 전류



[그림 5] B 측정위치

3. 누설자속 해석결과

[그림 6]은 10A 전류의 측정 결과로 직사각형단면 코일모델(Rectangular)과 유사 코일모델(Single layer)을 비교한 그래프이다. 유사코일모델에서 누설자속 계산값이 더 작은 것을 알 수 있다.

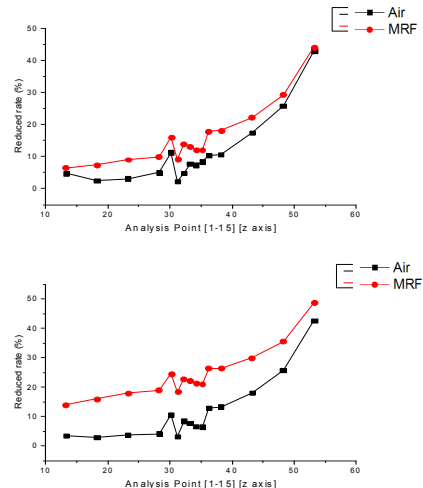


[그림 6] 직사각형단면 코일모델과 유사코일모델 B rms 비교

[표 1]과 [그림 7]에 유사코일모델을 사용했을 때 직사각형단면 코일모델 대비 누설 자속의 감소율을 나타내었다.

[표 1] 유사코일모델의 누설자속 감소율
(단위 [%])

위치 [mm]	$i_{Lavg}=2A$		$i_{Lavg}=10A$	
	Air	MRF	Air	MRF
13.2	4.7407	6.4662	3.5129	13.9585
18.2	2.4465	7.4057	2.9244	15.9801
23.2	3.1298	9.0226	3.7025	17.9418
28.2	4.9684	9.9107	4.1629	18.9176
30.2	11.2279	16.0240	10.5621	24.5292
31.2	2.2838	9.1094	3.2430	18.4275
32.2	4.9068	13.8947	8.4077	22.7767
33.2	7.6667	13.2101	7.6844	22.2391
34.2	7.3295	12.1272	6.5367	21.2281
35.2	8.3861	11.9502	6.4373	21.0548
36.2	10.3229	17.9373	12.9240	26.3697
38.2	10.6046	18.0879	13.2956	26.4369
43.2	17.3666	22.2826	18.0869	29.9417
48.2	25.7725	29.2831	25.7820	35.5632
53.2	42.9879	44.1791	42.7384	48.8087



[그림 7] 유사코일모델의 누설자속 감소율 비교
($i_{Lav}=2A$ (상), $i_{Lav}=10A$ (하))

4. 결론

두 코일모델의 누설자속분포를 비교하면 직사각형단면 코일모델의 입력전류는 직사각형 단면 전체에 가해 지므로 공극 기준으로 누설 B rms가 대칭으로 감소하지만 유사코일모델은 비대칭으로 감소하는 형태를 보인다. 향후 본 계산결과를 실제 자기장 측정 결과와 비교하여 코일 모델링의 정확성을 확인할 필요가 있다.

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)

무선전력전송 시스템에 노출된 인체모델의 위치변화에 따른 인체유도전류밀도 계산

박영민*, 변진규
승실대학교 전기공학과

1. 서론

무선전력전송(Wireless Power Transfer, WPT) 기술은 기존에 전선을 이용해 전달하던 전기에너지를 전자기파, 자기유도 또는 자기공진 형태로 전달하는 기술로써 공간적 제약이 적다는 장점이 있다. 무선전력전송은 가전제품, 자동차, 로봇, 의료기기, 휴대폰 등 전원이 필요한 모든 분야에 적용될 수 있어 전 세계적으로 많은 관심을 받고, 활발한 연구가 진행 중이다. 그 중 자기유도방식의 짧은 전송 거리와 전자기파 방식의 효율성과 인체유해성 문제를 해결할 수 있는 공진형 무선전력전송 기술이 등장하며 상용화의 기대가 높아지고 있다. 하지만 아직 인체안전성에 대한 연구결과가 충분하지 않아 다양한 각도에서의 연구가 필요하다.

본 논문에서는 공진형 무선전력전송 시스템의 인체영향을 분석하기 위해 150kHz 공진주파수 대역을 가지는 이중 루프형태의 공진형 무선전력전송 시스템을 모델링하고, 시스템의 자기장에 노출된 인체모델의 위치에 따른 인체유도전류밀도의 변화를 계산하고 이를 인체보호기준과 비교하였다.

2. 공진형 무선전력전송 시스템 설계

총 4개의 코일로 구성된 이중루프형태의 무선전력전송 시스템을 설계하였다. 안쪽 코일 직경은 0.46m이며 코일간의 거리 0.92m, 입력전력은 1 W, 공진주파수는 150kHz이다. 모델의 위치에 따른 인체유도전류밀도 계산을 위해 IEC-62311 표준에 제시된 머리와 몸통으로 이루어져 있는 균질 인체모델을 사용하였으며, 근육과 동일한 도전율과 비유전율을 사용하였다 [1]. 그림 1과 같이 무선전력전송 송수전 코일 사이에 존재하는 인체모델의 위치를 이동시키며 유도전류밀도를 계산하였다.

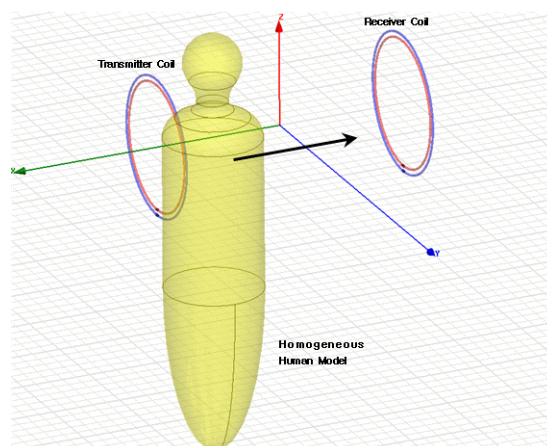


그림 1. 공진형 무선전력 시스템에 노출된 균질 인체모델

3. 인체모델 위치변화에 따른 유도전류 계산

인체모델 위치변화에 따른 인체유도전류 계산을 위해 모델이 송전코일에 가장 근접한 경우부터 점차적으

로 수전코일 측으로 모델을 이동시키며 해석하였다.

본 논문에서 설계한 무선전력전송 시스템의 자기장분포는 공진주파수 150kHz에서 그림 2와 같이 송전코일과 수전코일에서 높은 값을 가지고 두 코일의 중간 위치에서 줄어드는 형태이다. 이와 같은 자기장에 의해 인체모델 내부에 유기되는 유도전류는 그림 3에 나타나 있으며 자기장이 강한 송전코일 쪽에서 많은 유도전류가 형성되었다.

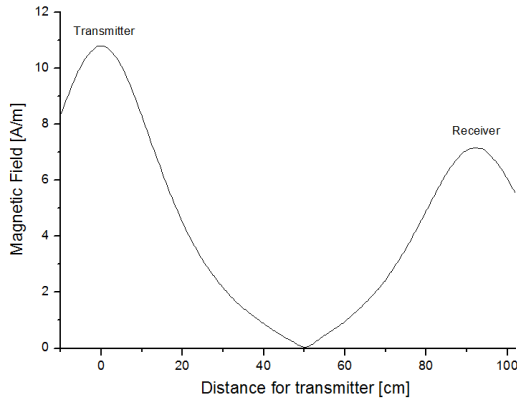


그림 2. 무선전력전송 시스템의 자기장 분포

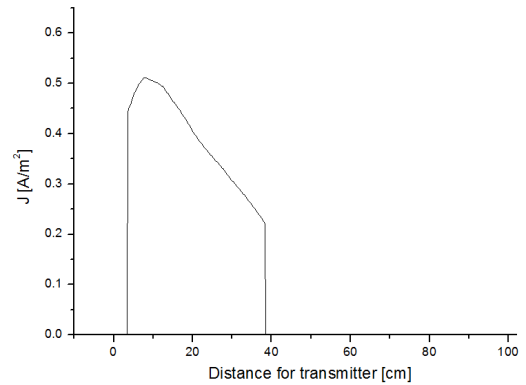


그림 3. 송전코일에 가장 근접한 경우 유도전류분포

그림 4와 표 1은 인체모델의 가장자리가 송전코일에서 3.5cm 떨어져 있는 경우부터 5cm 간격으로 수전코일 측으로 모델을 이동시키며 인체유도전류의 최대값을 계산한 것이다. 자기장의 분포가 가장 큰 3.5cm 지점에서 0.5112A로 가장 높은 전류가 유기되었으며 최소값은 38.5cm 지점에서 0.0951A이다. ICNIRP 1998년 기준에서는 자기장노출에 의한 인체유도전류밀도를 직업인 1.5A/m², 일반인 0.3 A/m²으로 정하고 있다[2]. 따라서 송전코일에 가까운 3.5cm와 8.5cm 지점의 경우 일반인 기준을 초과하는 것을 관찰할 수 있다.

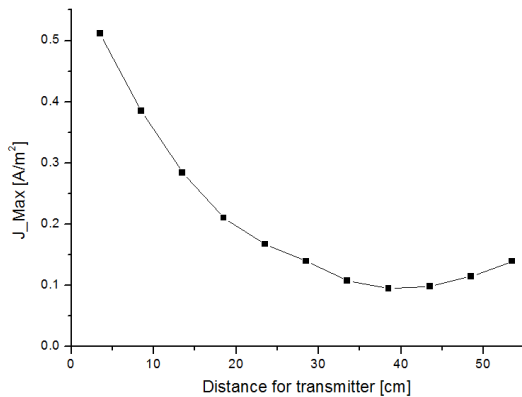


그림 4. 모델의 위치에 따른 인체유도전류 최대값

송전코일에서의 거리 [cm]	인체유도전류밀도 [A/m²]
3.5	0.5112
8.5	0.3849
13.5	0.2840
18.5	0.2105
23.5	0.1675
28.5	0.1397
33.5	0.1080
38.5	0.0951
43.5	0.0980
48.5	0.1146
53.5	0.1397

표 1. 모델의 위치에 따른 인체유도전류 최대값

4. 참고문헌

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC-62311, (2007).
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Vol.74, No.4, pp.494-522, (1998).

Al-Cu 또는 Mn-Cu를 첨가한 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조 및 자기적 특성 최적화 연구

김태훈^{1*}, 이성래¹, 김효준², 이민우³, 장태석³

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

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

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

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석에 Cu와 같은 Nd-rich 상의 용점을 낮출 수 있는 저용점 원소를 첨가하고 열처리 하면, Nd-rich 입계상의 연속성 및 균질도가 향상되어 보자력이 증가한다 [1, 2]. 또한, 열처리 (500 °C) 동안에 Cu가 과량 응집된 Nd-rich 상 (20 ~ 45 at.% Cu)이 형성되는데, Nd-rich 상에 대한 Cu의 과량 응집으로 인해서 준안정 C-Nd₂O₃ 상이 안정화 되고, Nd-rich 상의 비자성성이 향상되어 열처리 이후에 보자력이 증가한다 [1, 2]. 사전 연구결과에 의하면, 소결자석의 보자력 향상에 기여하는 Cu가 과량 응집된 Nd-rich 상의 형성 기구는 약 500 °C 에서 형성되는 Nd-Cu간의 공정분해 반응이다 [1, 2]. 따라서, 상대적으로 Cu의 응집도가 낮은 Nd-rich 상의 형성이 불가피한데, 미량의 Cu가 응집된 Nd-rich 입계상은 연속성 및 비자성성이 좋지 않을 뿐만 아니라 안정한 h-Nd₂O₃로 형성되기 때문에 보자력 향상에 기여하지 못한다 [2]. Cu와 함께 다른 저용점 원소 (Al 또는 Mn)를 Nd-Fe-B 소결자석에 첨가하고 적절히 열처리함으로써 Cu가 미량 응집된 Nd-rich 상의 구조/화학적 특성을 향상시키면, 소결자석의 보자력 향상 효과를 극대화 할 수 있다. 본 연구에서는 Al/Cu 또는 Mn/Cu 동시첨가에 의한 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조 및 자기적 특성의 변화를 연구 하였다.

2. 실험방법

조성이 29.0Nd-3.0Dy-bal.Fe-1.0B-2.0M (wt.%, M = Co, Nb) 인 분말에 Mn (0.1 wt.%) -Cu (0.1wt.%) 또는 Al (0.3wt.%) -Cu (0.3wt.%) 분말을 첨가하여 1050 °C에서 4시간동안 소결을 진행하였다. 비교를 위해 Cu만 0.3 wt.% 첨가된 소결자석을 준비 하였다. 준비된 소결자석을 790 ~ 530 °C 에서 2시간동안 1차 열처리 하였다. 이후에, 530 °C에서 2시간, 500 °C에서 2시간 동안 2차, 3차 열처리를 진행하였다. 각 시편의 미세구조 변화는 주사전자현미경 (JXA-8500F)과 투과전자현미경 (FEI TecnaiF20)을 이용하여 관찰 하였으며, EPMA (JXA-8500F Electron Probe Micro Analyzer), SADP (FEI TecnaiF20)를 이용 하여 상변화 및 상분포를 관찰 하였다.

3. 결과 및 고찰

동일한 열처리 조건 (소결 : 1050 °C - 1차 열처리 : 790 °C - 2차 열처리 : 530 °C - 3차 열처리 : 500 °C) 하에서 제조된 소결자석의 경우, Cu만 첨가 된 소결자석과 비교하여 Al-Cu를 첨가한 소결자석의 보자력은 약 0.5 kOe 증가하였지만, Al-Mn을 첨가한 소결자석의 보자력은 거의 차이가 없었다. 두 자석 모두 잔류자화 값의 변화는 없었다. 미세구조 분석 결과, Al-Cu 첨가 자석 내의 Al은 Cu가 미량 응집된 Nd-rich 상 (Cu^{low}-rich 상)에만 응집되어 있었다 (4~5 at.% Al). 하지만, Mn-Cu 첨가 자석 내의 Mn은 Cu^{low}-rich 상과 Cu가 과량 응집되어 있는 Nd-rich 상 (Cu^{high}-rich 상) 내에 고르게 분포하고 있었다 (2~3 at.% Mn). Mn-Cu 이원계 상평형도를 살펴보면, Mn은 Cu에 대한 용해도가 매우 높다 [3]. 따라서, Mn은 Cu의 응집도에 상관없이 Nd-rich 상에 고르게 분포한다. 하지만, Al의 경우에는 Cu에 대한 용해도가 거의 없기 때문에 상대적으로 Cu의 응집도가 낮은 Cu^{low}-rich 상에만 선택적으로 분포한다. 이 결과, Al/Cu 첨가자석의 Cu^{low}-rich 입계상의 비자성성 및 연속성이 향상되어 보자력이 소폭 향상 되었다. 하지만, Cu^{low}-rich 상의 결정구조를 h-Nd₂O₃ 상에서 C-Nd₂O₃ 상으로 개

선 할 정도로 Al의 응집도가 높지는 않기 때문에 Al-Cu 첨가자석의 보자력 향상 폭이 크지 않다. 그림 1은 1차 열처리 온도 변화에 따른 Al-Cu 또는 Mn-Cu 첨가자석의 보자력 변화를 나타낸다. Al-Cu 첨가자석과 Mn-Cu 첨가자석 모두 1차 열처리 온도가 각각 Al-Nd, Mn-Nd 간의 공정 분해 반응 온도일 때 보자력이 향상되었다. Cu만 첨가한 자석과 비교하여, Al-Cu 첨가 자석의 경우 약 1.2 kOe, Mn/Cu 첨가 자석의 경우 약 0.5 kOe의 보자력 향상 효과가 있었다. 미세구조 분석 결과, Al-Cu 첨가 자석의 경우 Al이 과량 응집된 Cu^{low}-rich 삼중점상 (Nd_{45.0}Al_{11.4}Cu_{4.7}Co_{6.4}O_{32.5}) 및 입계상이 형성되었다. Mn-Cu 첨가 자석의 경우에도 Mn의 응집도가 높은 Cu^{low}-rich 삼중점상 (Nd_{42.9}Mn_{14.3}Cu_{8.9}Co_{5.7}O_{28.2}) 및 입계상이 관찰되었다. Al 또는 Mn이 과량 응집된 Cu^{low}-rich 삼중점상 및 입계상의 결정구조 분석 결과 준안정한 C-Nd₂O₃였다. Al-Nd 또는 Mn-Nd 간의 공정 분해 반응을 통해서 Al 또는 Mn의 Cu^{low}-rich 삼중점상 및 입계상으로의 응집도가 향상되었고, 이로 인해 입계상의 연속성 및 비자성성 개선 효과가 극대화 되어 그림 1과 같이 보자력이 향상되었다.

4. 결론

Al-Cu 또는 Mn-Cu 가 동시 첨가된 Nd-Fe-B 소결자석의 1차 열처리 온도 변화에 따른 미세구조 및 자기적 특성의 변화를 관찰 하였다. 기존의 1차 열처리 온도 (790 °C)에서 열처리한 소결 자석의 경우, Al-Cu 첨가 자석은 보자력이 소폭 증가했지만 (0.4 kOe), Mn-Cu 자석의 경우에는 보자력의 변화가 없었다. 소결자석 내의 Al은 자발적으로 Cu의 응집도가 낮은 Cu^{low}-rich 상으로 응집되기 때문에 Al-Cu 첨가 자석의 Cu^{low}-rich 상의 미세구조가 개선되어 보자력이 소폭 향상되었다. 흥미로운 점은, 1차 열처리 온도가 Al-Nd 또는 Mn-Nd 간의 공정 분해 반응 온도 일 때, 두 자석 모두 보자력이 향상 되었다. 각각의 공정 분해 반응으로 인해서, 소결자석 내 Cu^{low}-rich 상의 Al 또는 Mn의 응집도가 약 2 ~ 3배 증가하였다. 이 결과, 과량의 Al 또는 Mn의 응집으로 인해서 Cu^{low}-rich 입계상의 결정구조가 C-Nd₂O₃ 상으로 변태되었고, 연속성 및 비자성성이 향상되었다. Al-Cu 또는 Mn-Cu 동시첨가 및 1차 열처리 온도 최적화를 통해서, 저용점 원소 첨가를 통한 Nd-Fe-B 소결자석의 보자력 향상 효과를 극대화 할 수 있다.

5. 참고문헌

- [1] W. F. Li, T. Ohkubo, and K. Hono, Acta. Mater. 57, 1337 (2009).
- [2] Tae-Hoon Kim, Seong-Rae Lee, Min-Woo Lee, Tae-Suk Jang, Jin Woo Kim, Young Do Kim, and Hyo-Jun Kim, Acta Mater. 66, 12 (2014).
- [3] Binary Alloy Phase Diagrams. 2, 1713 (1986).

6. 감사의 글

본 연구는 2014년도 지식경제부 지원의 기술 혁신사업(No.10043780)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

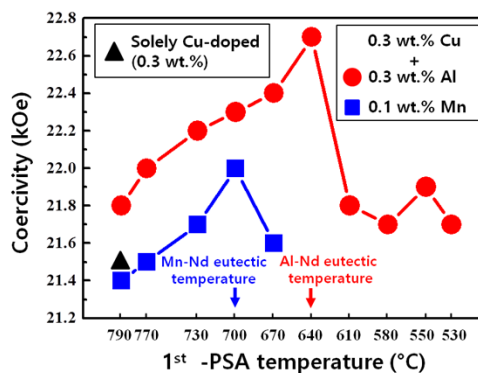


그림 1. Al-Cu (원) 또는 Mn-Cu (사각형)가 첨가된 Nd-Fe-B 소결자석의 1차 열처리 온도 변화에 따른 보자력의 변화.

Dy-X (X= Cu or Mn) 합금분말을 이용하여 infiltration 처리된 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성 연구

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

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

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

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

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 함량을 저감하기 위한 가장 효율적인 방법은 DyH₂를 이용한 입계 확산 공정이다 [1]. 하지만, DyH₂ 화합물을 이용한 입계 확산 공정은 자석 표면으로부터의 Dy 확산 깊이가 제한되는 단점이 있다 [2]. 상대적으로 DyH₂ 화합물보다 낮은 용점을 가지는 Dy-함유 합금을 설계하여 Dy를 자석내부로 용이하게 확산시킴으로써, Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 확산 깊이를 향상시킬 수 있다. 특히, 공정 조성인 Dy₈₆Cu₁₄ (wt. %) 합금을 이용하면 metallic Dy의 용점 (1412 °C)과 비교하여 매우 낮기 때문에 Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 확산 깊이를 향상시킬 수 있다 [3]. 하지만, 1차 열처리 온도 변화에 따른 Dy₈₆Cu₁₄-infiltration Nd-Fe-B 자석의 Dy 확산 거동과 미세구조 및 자기적 특성 변화는 아직 분명히 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는, Dy₈₆Cu₁₄-infiltration 공정분해 처리된 Nd-Fe-B 소결자석의 미세구조와 자기적 특성을 알아보기 위하여, 1차 열처리 온도에 변화를 주었다. 특히, 미세구조의 명확한 기구를 알아보기 위하여 Dy₈₈Mn₁₂, DyH₂ infiltration/diffusion 처리된 시편과 비교 분석하였다.

2. 실험방법

조성이 Nd_{27.0}Dy_{3.0}Fe_{bal.}B_{1.0}M_{2.4}(wt.%, M=Cu, Al, Co, and Nb)인 분말을 준비하여 자장성형 후 1060°C에서 4시간 동안 소결하였다. 10×10×5 mm³크기로 가공한 소결자석을 KOH 및 HNO₃용액을 이용하여 탈지 및 에칭처리 하여 표면에 존재하는 이물질 및 산화층을 최소화 하였다. 각각의 표면 처리된 시편을 Dy₈₆Cu₁₄ 및 Dy₈₈Mn₁₂ 용액에 각각 담근 후, 진공 분위기에서 ultrasonic을 이용하여 자석표면에 균질하게 코팅되도록 유도하였다. Dy의 확산을 위한 1차 열처리는 900°C에서 2시간, 미세구조 개선을 위해 2차 열처리를 500°C에서 2시간 동안 진행하였다. 자기적 특성과 미세구조 분석은 BH loop tracer (Permagraph C-300, Magnet-Physik), SEM (Hitachi S-4300), EPMA, Line profile (JXA-8500F), HRTEM (FEI Tecnai F20)을 이용하여 미세구조 변화 및 자기적 특성 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 un-dipped 시편과 Dy의 용점을 효과적으로 낮출 수 있는 Dy₈₆Cu₁₄, Dy₈₈Mn₁₂ 합금분말을 이용하여 infiltration 시킨 후, 1차 열처리 온도 변화에 따른 자기적 특성을 나타낸다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 1차 열처리 온도 증가 (800 → 870 °C)에 따라 Dy₈₆Cu₁₄ (22.3 → 24.8 kOe), Dy₈₈Mn₁₂ (21.5 → 24.0 kOe) infiltration 된 두 시편 모두 보자력이 증가하였다. 특히, 1차 열처리 온도 870 °C에서 Dy₈₆Cu₁₄ infiltration 시편은 un-dipped 시편 대비 약 16.3 %로 Dy₈₈Mn₁₂보다 3.6 % 증가율을 보였다. 그 이유는, Dy₈₆Cu₁₄-infiltration 처리된 시편은 Dy의 용점을 효과적으로 낮추고 (1412 → 790 °C), 동일한 열처리 온도조건에서 Dy의 확산 깊이가 향상되기 때문이다. 또한, Cu는 입계를 위주로 확산되면서, Dy의 입계확산을 도와주는 역할을 하였다 [4]. 하지만, Mn 첨가의 경우, Dy를 소모하는 RE-rich (Nd, Dy, O)상과 결합하면서 새로운 RE-rich (Nd, Dy, O,

Mn) 상을 형성하였다. 1차 열처리 온도 900 °C 에서는 $\text{Dy}_{86}\text{Cu}_{14}$ (24.8 → 23.9 kOe), $\text{Dy}_{88}\text{Mn}_{12}$ (24.0 → 22.6 kOe) 두 시편 모두 보자력이 감소하였다. 미세구조 분석 결과, 1차 열처리 온도가 (800 → 900 °C) 로 증가함에 따라, $\text{Dy}_{86}\text{Cu}_{14}$ infiltration 시킨 자석은 Dy 확산 깊이가 400 μm 로 증가하여 $\text{Dy}_{88}\text{Mn}_{12}$ (300 μm)과 DyH_2 (350 μm) 시편보다 향상 되었다. 더불어, Nd-rich 입계상의 용점을 감소시킴으로써, DyH_2 와 $\text{Dy}_{88}\text{Mn}_{12}$ 보다 Dy 확산 이 상대적으로 용이하다. 하지만, Nd-rich 상에 Cu 가 응집되면, Nd-rich 상의 용점 및 상 변태 온도가 감소한다 [4]. 따라서, 900°C 부근에서는 fcc-NdO 상으로 형성되기 쉽다 [4]. 1차 열처리에서, h- Nd_2O_3 상의 형성은 2차 열처리 동안 Cu 분리에 의해 안정화 될 수 있는 C- Nd_2O_3 상 형성에 필수 요소이다. 따라서, 900°C 1차 열처리 시 보자력 향상에 기여하는 C- Nd_2O_3 상이 형성되기에는 너무 높은 온도라고 볼 수 있다. 그러므로, 870 °C 에서 1차 열처리온도는 효율적인 core-shell 미세구조 발달과 함께 Nd-rich 상의 개선을 위한 최적의 조건이다.

4. 결론

입계확산 공정 효과의 극대화를 위해서, Dy-X (Cu or Mn) 공정조성을 이용하여 1차 열처리 온도 변화에 따른 미세구조 및 자기적 특성 변화를 관찰하였다. 최적의 자기적 특성을 나타내는 1차 열처리 온도는 870 °C 이며, $\text{Dy}_{86}\text{Cu}_{14}$ infiltration 처리된 시편이 가장 높은 보자력을 나타내었다 (+ 3.48 kOe). $\text{Dy}_{86}\text{Cu}_{14}$ infiltration 처리된 시편은 Dy 이 결정립계를 따라서 분포하였고 Nd-rich 입계상의 분포가 향상되었다. $\text{Dy}_{86}\text{Cu}_{14}$ 저융점 합금분말의 첨가는 Dy 의 확산 깊이를 증가시켰으며 (~350 μm), 삼중점 상 및 결정립계에서의 C- Nd_2O_3 상 형성으로 보자력을 효과적으로 증가시켰다.

5. 참고문헌

- [1] K. H. Bae, T. H. Kim, S. R. Lee, S. Namkung, and T. S. Jang, IEEE. Tran. Magn., 49, 3251 (2013).
- [2] N. Oono, M. Sagawa, R. Kasada, H. Matsui, A. Kimura, J. Magn., 323, 297-300 (2011).
- [3] Binary Alloy Phase Diagrams 2014;35:208-219.
- [4] T. H. Kim, S. R. Lee, M. W. Lee, T. S. Jang, J. W. Kin, Y. D. Kim and H. J. Kim, Acta Mater., 66, 12-21 (2014).

6. 감사의 글

본 연구는 2014년도 지식경제부 지원의 기술 혁신사업(No.10043780)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

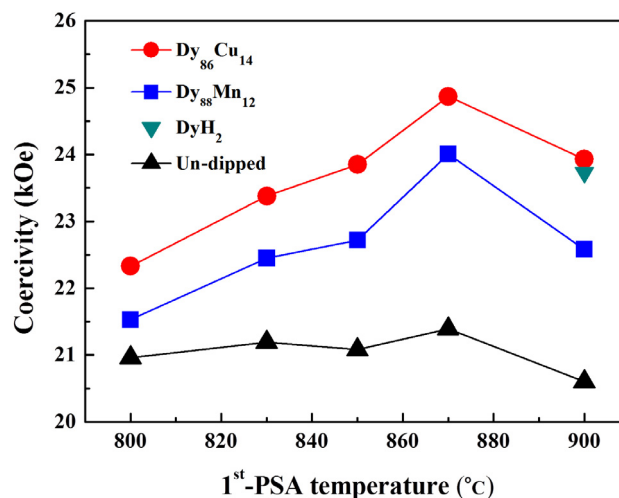


Fig. 1. 합금분말 DyCu, DyMn 공정 조성을 이용하여 1차 열처리 온도변화에 따른 보자력 변화.

Magnetic Properties of MnBi thin film grown by UHV sputtering

Hongjae Moon^{1*}, Sumin Kim¹, Min-jung Song¹, and Wooyoung Lee^{1†}

¹*Department of Materials Science and Engineering,
Yonsei University, 262 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea*

[†]E-mail: wooyoung@yonsei.ac.kr

MnBi is a ferromagnetic intermetallic compound with a hexagonal NiAs structure and it is potentially used as a permanent magnet material. Over the last decades, MnBi has attracted research interests mainly due to its high magnetocrystalline anisotropy in low-temperature phase (LTP) and large Kerr rotation angle in quenched high temperature phase. The LTP MnBi has a larger coercivity than that of the Nd₂Fe₁₄B magnet at high temperature, showing high potential as a material that can be used in high temperature. We report MnBi intermetallic thin films with high coercivity prepared by multilayer deposition using UHV sputtering and annealing. The sputtering power and annealing temperature for maximizing the low-temperature phase structure was optimized. We obtained c-axis orientation of MnBi which is perpendicular to substrate by sputtering of Bi with the low deposition rate less than 3nm/s. We also optimized the synthesizing condition for LTP-MnBi by vacuum annealing of Bi/Mn multilayers at temperature of 350C for two hours. By observing SEM image, XRD analysis, and EDS analysis, the shape and constituent of MnBi thin film was observed.

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

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

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

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

1. Introduction

In magnetic systems with an inversion asymmetry and large spin-orbit coupling, the antisymmetric exchange interaction called the DM interaction is arisen [1,2]. It was predicted theoretically that the Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interaction is partially responsible for the magnetic skyrmion [3].

The DM interaction contributes to make nano-sized skyrmions which are topological spin textures. It has been expected to have higher potential as information unit in ultrahigh density storage and logic devices [4]. Up to now, most studies have focused on current-driven case, but case in the presence of both field and current has lacked. In this work, we investigate effect of the magnitude/direction of external field on current-induced skyrmion motion in a nanowire, based on micromagnetic simulations.

2. Simulation Scheme

We investigate skyrmion velocity using Landau-Lifshitz-Gilbert equation with an spin hall spin transfer torque with current density and external field as variables. We assume following parameters; nanowire width is 40 nm, thickness is 1 nm, cell size is $1 \times 1 \times 1 \text{ nm}^3$, saturation magnetization is 1000 emu/cm^3 , exchange stiffness constant is $1.2 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$, DM constant is 2 erg/cm^2 , spin hall angle is 0.3, perpendicular magnetocrystalline anisotropy K_u is $1 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$.

3. Result and Discussion

Figure 1(a) shows the velocity of skyrmion is quasi-linear function of current density at various values of external perpendicular magnetic field \mathbf{H}_z . This behavior can be understood by skyrmion size [4,5], which depending on magnitude/direction of \mathbf{H}_z field and current density, as shows in Fig. 1(b).

Figure 2 shows the maximum velocity of skyrmion, which is obtained before the annihilation of skyrmion at nanowire edge, can change by in-plane magnetic field \mathbf{H}_x and \mathbf{H}_y , and change more sensitively by \mathbf{H}_y rather than \mathbf{H}_x . In contrast to \mathbf{H}_z , the external magnetic field \mathbf{H}_y shifts skyrmion core to $-y$ direction. This shift of skyrmion core may be seemed that \mathbf{H}_y acts like a force acting along $-y$ direction. By this force, the maximum velocity of skyrmion can be increase with higher critical velocity.

Our results show that not only spin-orbit spin transfer torque but also external field can affect skyrmion motion in a different way.

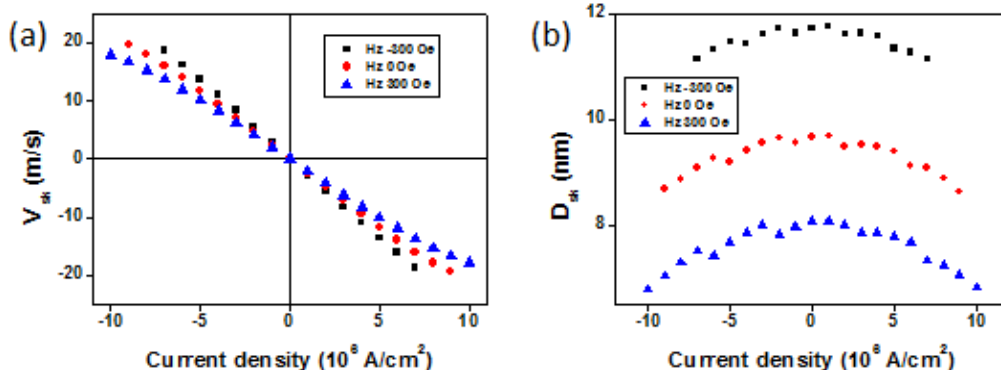


Fig. 1. (a) Skyrmion velocity (V_{sk}) versus current density for different H_z ,
(b) Skyrmion diameter (D_{sk}) versus current density for different H_z .

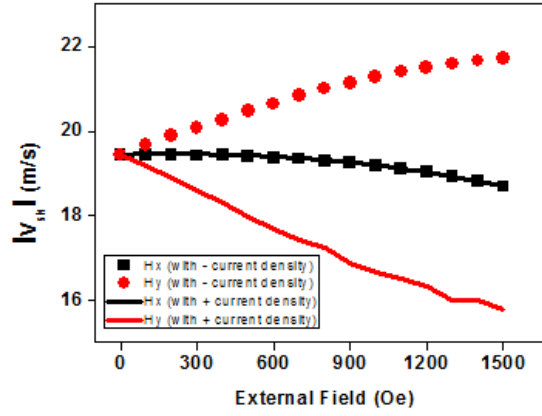


Fig. 2. Maximum speed of skyrmion ($|V_{sk}|$) as a function of magnitude of external magnetic field, in cases of external magnetic field direction is $+\hat{x}$ (black line and symbols), and external magnetic field direction is $+\hat{y}$ (red line and symbols).

4. References

- [1] I. E. Dzyaloshinskii, Sov. Phys. JETP 5, 1259 (1957)
- [2] T. Moriya, Phys. Rev. 120, 91 (1960)
- [3] U. K. Rößler, A. N. Bogdanov and C. Pfleiderer, Nature 442, 797 (2006)
- [4] A. Fert, V. Cros & J. Sampaio, Nature Nanotechnology 8, 152–156 (2013)
- [5] M. E. Knoester, Jairo Sinova, and R. A. Duine, Phys. Rev. B 89, 064425 (2014)

Mechanochemical synthesis of Nd₂Fe₁₄B particles with high coercivity from precursors prepared by spray drying process

Chun-Qiang Chen^{1,2,*}, Dongsoo Kim¹, Youngtaek Seo¹, Chuljin Choi¹

¹Powder & Ceramics Division, Korea Institute of Materials Science, Changwon, Korea

²Department of Advanced Materials, Korea University of Science and Technology, Daejeon, Korea

Since Nd₂Fe₁₄B was first discovered by Sagawa et al.^[1], many kinds of methods have been developed to fabricate Nd-Fe-B magnets, such as powder metallurgical, rapidly quenching and reduction-diffusion (R-D) process. Nowadays powder metallurgical and rapidly quenching methods are commonly used to fabricate Nd-Fe-B magnets. But, both of them consume additional energy and increase the production cost due to the use of high purity metals as raw materials. Meanwhile, the R-D technique which has been successfully used in producing SmCo₅ and Nd₂Fe₁₄B, proved to have many advantages in terms of energy consumption and production cost. In our study, Nd₂Fe₁₄B alloy particles with high coercivity of more than 10kOe were successfully synthesized by adjusting the amount of Calcium(Ca) in R-D process. Calcium oxide (CaO) and unreacted Ca remained after R-D process in particles prepared by heat treatment in Hydrogen (H₂) atmosphere. In the ratio of 0.4 of Ca to powders(Ca/powders, wt%), residual Ca was not detected from X-ray diffraction pattern after R-D. On the other hand, Ca appeared above the ratio of 1.0 and below the ratio of 0.2, amount of Ca was not enough to reduce Nd oxide^[2]. Moreover, excess Ca affected magnetic property of final products obtained after washing, because residual Ca gave rise to evolution of H₂ gas during disintegration in water and it led to the formation of Nd₂Fe₁₄BH_x (x=1-5).

It is difficult to find a proper washing solvent which can remove by-product, CaO and to keep magnetic properties of Nd-Fe-B particles. We develop de-oxygen washing system which can remove dissolved oxygen in washing solvent. De-oxygenized water, dilute acetic acid solution, and alkaline solution were used as washing solvent. Influence of different washing solvent on phase, morphologies, microstructures, composition, and magnetic properties of the powders were investigated.

Acknowledgement

We would like to acknowledge the financial support from the R&D Convergence Program of MSIP (Ministry of Science, ICT and Future Planning) and ISTK (Korea Research Council for Industrial Science and Technology) of Republic of Korea (Grant B551179-11-01-00).

References

- [1] M. Sagawa, S. Fujimura, M. Togawa, H. Yamamoto, Y. Matsuura, New material for permanent magnets on a base of Nd and Fe. *J. Appl. Phys* 1984. 55: 2083-2087
- [2] Chun-Qiang Chen, Dongsoo Kim, Chuljin Choi. Influence of Ca amount on the synthesis of Nd₂Fe₁₄B particles in reduction-diffusion process. *J.Magn.Magn. Mater.* 2014, 355, 180-183.

Nd-Fe-B 소결자석의 산소농도에 따른 Dy 입계확산 거동에 관한 연구

배경훈^{1*}, 이성래¹, 김효준², 이민우³, 장태석³

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

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

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

1. 서론

Nd-Fe-B 소결자석의 Dy 함량을 저감하기 위해서는 core-shell 미세구조를 구현해야 하며, 이를 위한 가장 효율적인 방법은 입계확산공정(Grain Boundary Diffusion Process)이다 [1, 2]. 그러나, 자석 표면에서 내부로의 Dy 확산 깊이가 매우 제한적이어서 자석 전체의 보자력 향상 효과를 기대하기는 어렵다 [2]. 특히, 산소함량이 높은 소결자석에서 입계확산 처리 시, 입계상을 생성하지 않고, Dy를 소모 시키는 RE-rich (Nd-Dy-O)상의 형성을 돕고, 표면에서부터 내부로 Dy 확산을 억제 시킨다. 따라서 Dy 원자의 확산도를 향상시키기 위해서는, 자석 내에 존재하는 산소함량을 최소화해야 한다. 하지만, 산소 함량 차이에 따른 Nd-Fe-B 자석의 Dy 입계확산 거동에 따른 미세구조 및 자기적 특성변화는 아직 분명히 밝혀지지 않았다. 본 연구는, 저산소 공정을 이용하여, 상대적으로 낮은 산소 함량인 Nd-Fe-B 소결 자석을 제조하여 입계확산 공정 처리에 따른 자기적 특성과 미세구조와의 상관관계를 분석 하였다.

2. 실험방법

조성이 $\text{Nd}_{30.0}\text{Dy}_{3.0}\text{Fe}_{\text{bal.}}\text{B}_{1.0}\text{M}_{2.4}$ (wt.%, M=Cu, Al, Co, and Nb)인 분말을 일반 공정과 저산소 공정에서 동일하게 1050°C 4시간 동안 소결하였다. $10 \times 10 \times 5 \text{ mm}^3$ 크기로 가공한 소결자석을 KOH 용액을 이용하여 탈지처리 하였다. 이후에 1 wt.%의 HNO_3 용액을 이용하여 자석의 표면을 50초 동안 에칭 하였다. 표면 처리된 시편을 DyH_2 용액에 담근 후, 진공분위기에서 총 3분동안 ultrasonic을 이용하여 자석표면에 균질하게 코팅되도록 유도하였다. Dy의 확산을 위한 1차 열처리에는 900°C에서 2시간, 미세구조 개선을 위해 2차 열처리를 500°C에서 2시간 동안 진행하였다. 미세구조와 자기적 특성 분석은 HRTEM, EPMA, Line profile (JXA-8500F) (Electron Probe Micro Analyzer), BH loop tracer를 이용하여 미세구조 변화 및 자기적 특성 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Nd-Fe-B 소결자석의 산소함량을 분석 한 결과, 저산소 공정을 통해 소결자석을 제조함으로써 자석내의 산소 함량이 ~3000에서 ~1500 ppm으로 매우 감소하였다. Fig.1은 공정 차이에 따른 입계확산 처리된 Nd-Fe-B 소결자석의 자기적 특성 변화를 보여 주고 있다. 자기적 특성을 비교하여 보면, 저산소 공정 자석의 경우, DyH_2 입계확산 처리 후 보자력이 23.59 kOe으로 가장 높은 보자력을 나타내었다. 일반 공정과 비교하여 보자력 증가율은 13.4에서 18.1%로 4.7%이상 증가 하였다. 또한, 잔류자화도 13.02에서 12.89 kG로 일반 공정 자석보다 감소폭이 낮다. 일반 자석의 경우, 입계상이 불연속적으로 형성 되었고 산화물상의 부피가 매우 크다. 반면, 저산소 소결 자석의 미세구조 분석 결과, 산화물상의 부피가 감소하였으며, 입계상이 매우 연속적으로 형성 되어 있다. 공정 차이에 따른 소결체의 Nd-Cu-Co-O rich (Cu-rich) 삼중점상을 HRTEM 이용하여 분석한 결과, 일반 자석의 경우, Cu-rich 삼중점상의 결정구조는 $\text{fcc-Nd}_{42}\text{Cu}_{8.7}\text{Co}_6\text{O}_{43.3}$ 으로 산소함량이 매우 높았다. 반면, 저산소 자석의 경우, dhcp-Nd₈₈Cu₁₂구조로 산소가 존재하지 않는 metallic-Nd 상으로 형성 되어 있었다. Nd-O 상

태도에서 산소 함량이 감소할수록 액상선의 온도가 낮아진다 [3]. 결국, 산소함량의 감소는, 1050℃ 소결 시, 상대적으로 낮은 온도에서부터 액상소결이 가능해짐으로써 산소 함량이 높은 자석보다 입계상이 개선되는 효과를 얻었다. 그로인해, DyH₂ 입계확산 처리 후 Dy 확산 깊이를 분석 해본 결과, 저산소 공정을 이용한 자석의 Dy 확산 깊이가 350 μm 로 일반 공정 자석 보다 150 μm 향상 되었다. 저산소 공정을 이용한 자석으로 입계확산 처리함으로써, 연속적인 입계상 형성과 산화물상의 형성 억제로 인해, Dy 확산 깊이가 증가하여 자기적 특성이 향상 되었다.

4. 결론

저산소 공정을 이용한 Nd-Fe-B 소결자석은, DyH₂ 용액을 이용한 입계확산 이후, 잔류자화 감소 없이 23.59 kOe로 최대 보자력을 나타내었다. 저산소 공정으로 제조된 소결자석의 Dy 입계확산에 미치는 영향은 다음과 같이 요약 할 수 있다. 첫째, 최적화된 Dy 내부 확산 깊이, 둘째, 낮은 산소 함량으로 인한 산화물상 억제 그리고 셋째, 연속적인 입계상 형성으로 인한 보자력 향상이다.

5. 참고문헌

- [1] K. Hirota, H. Nakamura, T. Minowa, and M. Honshima, IEEE. Tran. Magn. 42, 10 (2006).
- [2] H. Nakamura, K. Hirota, M. Shima, T. Minowa, and M. Honshima, IEEE. Tran. Magn. 41, 10 (2005).
- [3] S. Nishio, S. Sugimoto, R. Goto, M. Matsuura and N. Tezuka, Mater. Trans. 50, 723 (2009).

6. 감사의 글

본 연구는 2014년도 지식경제부 지원의 기술 혁신사업(No.10043780)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

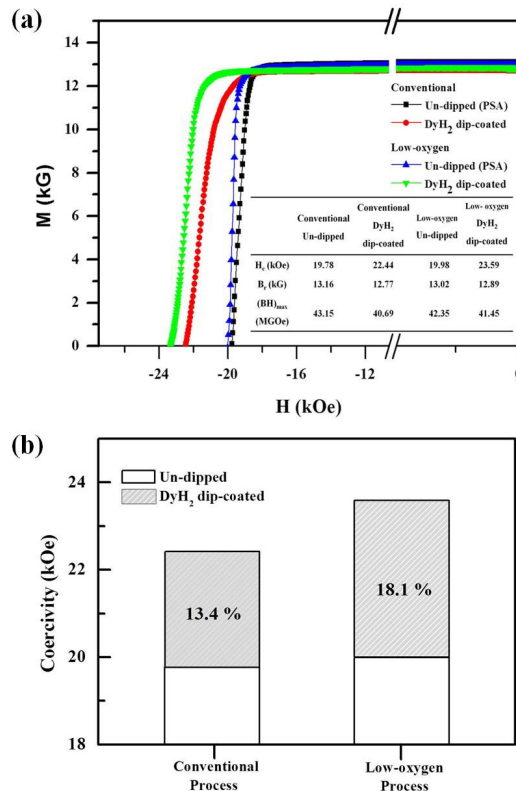


Fig. 1. 공정 차이에 따른 DyH₂-입계확산 처리된 Nd-Fe-B 소결자석의 자기적 특성의 변화.

HDDR 처리한 Nd-Fe-B계 재료의 보자력의 재현성

김경민^{1*}, 권해웅¹, 이정구², 유지훈²

¹부경대학교 재료공학과

²한국재료연구소

1. 서론

Nd-Fe-B계 영구자석은 우수한 자기적 특성으로 인하여 친환경자동차와 신재생에너지 분야에서의 사용이 확대되고 있으며 그 수요도 급증할 것으로 예상된다. 대부분의 Nd-Fe-B계 영구자석은 고밀도의 bulk 형태로 사용되지만 분말형태의 재료로 사용되는 경우도 대단히 많다. 고성능의 Nd-Fe-B계 영구자석 분말을 제조하는 가장 효과적인 방법중에 하나가 HDDR 공정이다. HDDR 공정은 Nd-Fe-B계 영구자석재료합금에 수소를 반응시켰다가 탈수소하는 간단한 공정이다. 이 공정으로 얻어진 분말은 대단히 미세한 결정립으로 구성되어 높은 자기적특성, 특히 높은 잔류자화와 높은 보자력을 보여, 이 공정으로 제조된 분말은 이미 상용화 되어 bonded 자석 등에 널리 응용되고 있다. HDDR 공정에서의 실질적인 어려움은 제조된 분말의 특성이 공정제어에 대단히 민감하여 특성의 재현성이 대단히 낮다는 점이다. 본 연구에서는 HDDR 처리한 Nd-Fe-B계 영구자석재료 보자력의 재현성과 HDDR 공정 변수와의 상관관계를 조사하였다.

2. 실험방법

strip cast한 $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ 합금을 HDDR 처리분말제조에 사용하였다. HDDR 실시 전 이 합금에 대하여 사전 HD(hydrogen decrepitation; 수소파쇄)를 실시하고, 그 분말에 대하여 HDDR 처리를 시행하였다. 사전 HD(수소파쇄) 처리한 분말을 진공 중에서 가열하여 수소분해(disproportionation) 온도에 도달하는 즉시 수소를 도입하여 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ 상의 분해를 유도하였다. 분해가 완료된 재료는 일반적인 탈수소(desorption) 및 재결합(recombination)과정을 통하여 HDDR 처리를 완료하였다. HDDR 처리한 재료의 보자력 재현성을 향상시키기 위하여 사전 HD(수소파쇄) 처리한 분말을 진공 중에서 가열하여 수소분해(disproportionation) 온도로 가열하는 도중 580 °C - 620 °C 온도 범위에서 소정시간 동안 진공 중에서 유지한 후 분해온도로 계속해서 가열하였다. 그 이후 공정은 일반적인 HDDR 공정과 동일하게 유지하여 수소분해 온도를 향하여 가열하는 도중 중간 온도 범위에서 진공 중 유지시간이 HDDR 처리재의 보자력의 재현성에 미치는 영향을 정밀하게 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 HDDR 처리시 사전 HD(수소파쇄) 처리한 분말을 진공 중에서 가열하여 수소분해(disproportionation) 온도로 가열하는 도중 중간온도 범위에서 진공 중 유지 처리하지 않는 기존의 HDDR 공정으로 처리한 재료의 보자력과 중간온도 범위에서 진공 중 유지 처리한 재료의 보자력 재현성을 비교하여 보여 준다. 중간온도 범위에서 진공 중 유지 처리 유무를 제외하면 전체 HDDR 처리공정은 동일한 조건에서 실시하였으며, 동일 조건에서 3개의 시편을 제조하여 그 보자력의 재현성을 조사한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 사전 HD(수소파쇄) 처리한 분말을 진공 중에서 가열하여 수소분해(disproportionation) 온도로 가열하는 도중 600 °C 에서 10분동안 진공 중에서 유지한 후 HDDR 처리를 실시한 재료의 보자력은 그 처리를 시행하지 않는 기존의 공정으로 제조한 재료의 비하여 보자력의 재현성이 크게 향상된다. 사전 HD(수소파쇄) 처리한 분말을 진공 중에서 가열하여 수소분해(disproportionation) 온도로 가열하는 도중 중간온도 범위에서 진공 중 유지 처리한 재료는 그 처리를 하지 않은 재료와 비교하여 HD(수소파쇄)후 잔류수소의 함량 및 수소 흡입 및

탈수소로 인한 미세균열의 발생 정도에 차이가 있을 것으로 생각 되며, 중간온도 범위에서 진공 중 유지 처리한 재료는 처리하지 않은 재료에 비하여 HDDR 반응 전 조직 및 반응의 균일성이 향상되고 그로 인하여 HDDR 처리한 최종 재료의 보자력 재현성이 향상되는 것으로 판단된다.

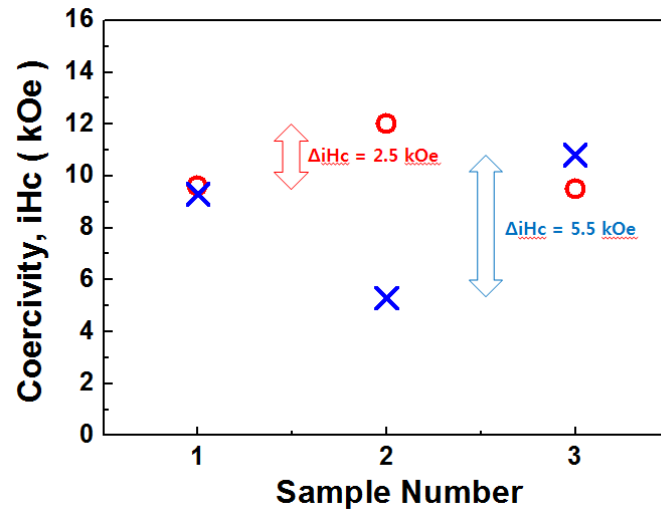


Fig 1. Comparison of reproducibility of coercivity for the Nd-Fe-B-type material treated with(O)/without(X) vacuum heating (600 °C, 10 min) before HDDR treatment.

Magnetic properties of DyF₃-doped Nd-Fe-B-type hot-deformed magnet

J. Y. Kim^{1*}, H. W. Kwon¹, J. G. Lee², J. H. Yu²

¹*Pukyong National University, Busan, Republic of Korea 608 739*

²*Korea Institute of Materials Science, Changwon, Republic of Korea 642 832*

1. INTRODUCTION

One of the critical issues of recent Nd-Fe-B-type magnet industry is an enhancement of coercivity for high temperature applications, such as the traction motors in hybrid and electrical vehicles and wind turbine generators. It has been generally accepted that the key requirements for achieving high coercivity in Nd-Fe-B-type magnet are having a fine Nd₂Fe₁₄B grain structure, ideally the size comparable to the critical single domain size of the Nd₂Fe₁₄B phase (~300 nm). As the hot-deformed (die-upset) magnet is prepared from starting melt-spun material with ultra-fine grain structure, the hot-deformed magnet is featured with fine microstructure consisting of nano-scale grains. However, even with such a fine grain structure the hot-deformed magnet still has rather low coercivity. As an effective means for enhancing the coercivity, grain boundary diffusion process using heavy rare earth salt (DyF₃, TbF₃...) has been widely investigated. For the Nd-Fe-B-type hot-deformed magnet, DyF₃ doping has been extensively exploited to improve the high temperature performance by taking an advantage of enhancing the coercivity and electrical resistivity. In this study, decomposition of DyF₃ and its effect on the magnetic performance of the hot-pressed magnet and hot-deformed magnet of melt-spun Nd-Fe-B-type material were investigated.

2. EXPERIMENTAL WORK

Starting material used in the present work was commercial melt-spun flakes (MQU-F : Nd_{13.6}Fe_{73.6}Co_{6.6}Ga_{0.6}B_{5.6}) supplied by the Magnequench (Molycorp). Crushed flakes (150 μm – 300 μm) were mixed with 1.6 wt% DyF₃ in cyclohexane to avoid oxidation, and then hot-pressed with 100 MPa at the temperature ranging from 610 °C to 735 °C in a vacuum to prepare fully dense compact. The prepared hot-pressed compacts were hot-deformed at 735 °C with 75 % height reduction (strain = 0.75) with strain rate of 1.25 x 10⁻²/s in a vacuum. Magnetic characterization was performed along the pressing direction using SQUID (max. field = 5 T) and VSM.

3. RESULTS AND DISCUSSION

DyF₃ was thermally decomposed above 660 °C, and this decomposition was linked closely to the coercivity enhancement. When the DyF₃ doped flakes were hot-pressed above the decomposition temperature of DyF₃ the diffusion of Dy into the flakes was promoted, and leading to profound coercivity enhancement. Coercivity of the hot-pressed magnet was further enhanced by post-hot-press annealing, and coercivity as high as 24.5 kOe was obtained after the optimum annealing. The DyF₃ doped hot-deformed magnet exhibited enhanced magnetic performance (iH_c = 17.5 kOe, Br = 12.8 kG, (BH)_{max} = 37.6 MGOe) with respect to the un-doped magnet without sacrificing significant remanence. Coercivity was improved by 30 %. In magnet in which the decomposition of DyF₃ and Dy diffusion were fully accomplished the region originally occupied by added DyF₃ was completely replaced by NdF₃.

Magnetic Properties of rare-earth-free permanent magnets : MnBi

Sumin Kim^{1*}, Hongjae Moon¹, Minjeong Song¹, and Wooyoung Lee^{1†}

¹*Department of Materials Science and Engineering,
Yonsei University, 262 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea*

[†]E-mail: wooyoung@yonsei.ac.kr

The low-temperature-phase(LTP) of MnBi is one of the promising candidates for a potential rare-earth-free permanent magnetic material. It has large magneto-crystalline anisotropy at room temperature, $K \approx 10^7$ ergs/cc and unusual increase of coercivity with increasing temperature. However Mn and Bi are difficult to alloy because of the large difference in their melting points. Moreover it is generally recognized that it is too difficult to obtain a single-phase of LTP-MnBi because there are peritectic reactions over wide temperature and Mn reacts readily with oxygen. In this study, high purity LTP-MnBi of 95.1% was obtained by arc-melting, melt-spinning, annealing and magnetic separating. The starting alloy contained 5% excess of Mn compared with the normal composition of Mn₅₀Bi₅₀ to compensate for losses of Mn due to soots during arc-melting and melt-spinning. Different compositions, heat treatment, ball milling time and bulk magnet fabrication processes were found to have large effects on the large product of the bulk magnet.

큰 유도자기이방성을 가지는 Co-Fe-Pd-B 박막의 자기적 특성

김정우^{1,*}, 남윤재², 임상호¹

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

²SK하이닉스 R&D 부서, 경기도 이천시 SK하이닉스, 467-701

1. 서론

유도자기이방성은 자기적 특성을 제어하기 용이하기 때문에 대표적인 자기적 특성으로 각광받아왔다. 공명 진동수는 자기이방성 크기에 비례하기 때문에, 큰 유도자기이방성을 갖는 물질이 고주파 응용에 있어서 중요하다. 따라서 큰 유도자기이방성을 갖는 물질을 찾는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해 Co-Fe-Pd-B 박막의 조성변화를 통해 이들의 자기적 특성을 조사하였다.

2. 실험방법과 결과

Co-Fe-Pd-B 박막은 DC magnetron sputtering으로 증착되었으며, 박막의 조성을 변화시키기 위해 Co-Fe-B 타겟에 Pd chip 개수를 변화시켜가며 증착하였다. 증착은 Si(001)기판 위에 진행하였고, 초기 진공은 5×10^{-7} mTorr이며 Ar 분압을 1, 5, 10 mTorr로 바꾸어서 증착하였다. 스퍼터링 중 면내방향으로 400 Oe의 자장을 가하여 유도자기이방성을 형성하였다. 포화자화(M)값과 이방성자계(H_k) 값은 VSM을 이용하여 측정하였다.

3. 고찰

본 실험에서 증착된 박막의 미세구조는 기본적으로 비정질 구조를 띄고 있다. 또한 자기적 특성 중 포화자화는 그림 1에서 보이는 것과 같이 Co와 Fe의 함량에 비례하여 커지는 것이 확인된다. 그러나 Ar 분압에 의한 포화자화는 변화하지 않는 것으로 나타났다. 포화자화와 다르게, 유도자기이방성은 그림 2에서 보이는 것과 같이 Pd의 함량에 비례해서 커지는 경향을 보였다. 가장 큰 이방성 자계의 크기는 Pd 조성이 64 at%인 지점에서 148 Oe로, 비슷한 특성을 가지는 Co-Al-O 박막이나 Co-Zr-O 박막등의 이방성자계와 비교해봤을 때 비교적 큰 값을 나타낸다[1, 2]. 또한 같은 Pd 조성에서 Ar 분압이 높을수록 이방성자계의 크기가 큰 경향을 보임을 알 수 있는데, 이는 Ar 분압이 높을수록 상대적으로 무거운 Pd 이 상대적으로 많이 증착되어서 이방성자계 값에 영향을 주었다고 분석할 수 있다.

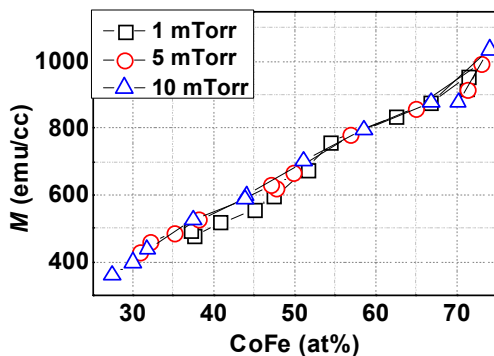


그림 1. Co-Fe 조성에 따른 포화자화값의 변화

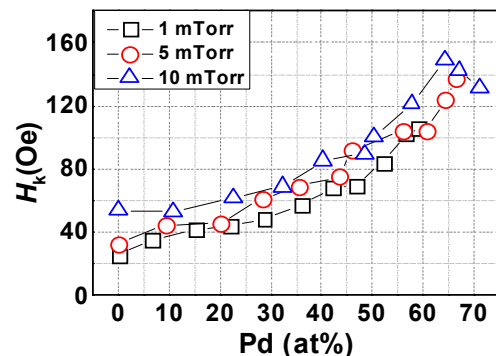


그림 2. Pd 조성에 따른 이방성 자장의 변화

4. 결론

다양한 조성의 Co-Fe-Pd-B 박막에서의 자기적 특성을 조사한 결과 Pd의 조성에 따라 유도자기이방성의 크기가 달라짐을 알 수 있었다. 이와 같이 Pd의 첨가는 방향성 규칙에 의하여 이방성자계를 향상시킬수 있기 때문에 향후 고주파 자기소자 응용에 적합할 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- [1] S. Ohnuma, H. Fujimori, S. Mitani, and T. Masumoto, *J. Appl. Phys.* 79, 5130 (1996)
- [2] S. Ohnuma, H. J. Lee, N. Kobayashi, H. Fujimori, and T. Masumoto, *IEEE Trans. Mag.* 37, 2251 (2001)

Magnetic properties of Zn-substituted strontium W-type hexaferrites

Jae-Hyoung You^{*}, SungJoon Choi, Sunwoo Lee, 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 hexaferrite (SrW) is stable at the high temperature region of 1350-1440°C in air, it is hard to obtain a pure phase of SrW at room temperature. There have been many reports arguing that the pure SrW phase could be stabilized by a substitution of the Fe²⁺ ions with other divalent metal ions such as Mn, Zn, Co, and Ni. However these reports are on the full substitution for the Fe²⁺ sites. Thus, the effect of a partial substitution of divalent metals for the Fe²⁺ sites on the magnetic properties has never been reported. We tried to prepare the Zn-substituted SrW bulk samples with the compositions of SrFe_(2-x)Zn_xFe₁₆O₂₇ (0.0 ≤ x ≤ 2.0) in a reduced oxygen atmosphere. We could successfully fabricate partially Zn-substituted SrW hexferrites at the sintering temperature region of 1100-1350°C for 2 h in 1000 ppm O₂ (P_{O₂} = 10⁻³ atm) atmosphere and subsequent furnace-cooling. The effects of Zn-substituted SrW hexferrites on their magnetic properties will be presented for a discussion.

Fabrication and characterization of Fe metal powder coated with iron phosphate

Hui Eun Kim^{1*}, Jae-Hyoung You¹, Sungjoon Choi¹, SunWoo Lee¹,
Sang-KyunKwon², and Sang-Im Yoo¹

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

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

Iron (Fe)metal powder have been used as the core materials of inductors and transformers for high frequency applications. To minimize an eddy current loss, Fe metal powder have been coated with an insulating material. For the same purpose, we tried to fabricate a core-shell structure composed of Fe core and iron phosphate shell. The iron phosphate coating was performed by the phosphating method with acetone solvent. The conditions of the iron phosphate coating, such as the reaction time and the concentration of phosphoric acid, were controlled in order to obtain a uniform coating layer, and the solutions were stirred using a mechanical stirrer andan ultrasound treatment to avoid the agglomeration of Fe powder. The magnetic properties of Fe metal powder coated with iron phosphate were sensitive to these processing conditions. Details will be presented for a discussion.

** This research was supported by a Grant from Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd..*

Magnetic properties of TiO₂-coated Fe powder

Sunwoo Lee^{1*}, Sungjoon Choi¹, Hui Eun Kim¹, Sang-Kyun Kwon², Sang-Im Yoo^{1†}

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

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

^{*} 131-407, Seoul National University, Daehak-dong, Gwanak-gu, Seoul, 151-744, Korea; siyoo@snu.ac.kr

Iron (Fe) metal powder is a soft magnetic material with high saturation magnetization and low coercivity. For this reason, it has been used as the material of cores of inductors and transformers for high frequency applications. However, the eddy current is generated because of metallic property of Fe under AC field and, at high frequencies, it becomes a critical issue. It has been reported that insulating coating on soft magnetic powder can be used for a barrier of inter-particle eddy current paths under AC magnetization. The core-shell structure of TiO₂-coated Fe powder was fabricated to minimize the eddy current in this study. TiO₂-coating on Fe powder was enabled by a sol-gel method using titanium but oxide (TBOT) as the precursor. The coating parameters, such as the coating time and the concentration of TBOT, were controlled to achieve a uniform coating layer of TiO₂ on the Fe particle surfaces. Magnetic properties of TiO₂-coated Fe powder, including permeability and Q factor, will be presented for a discussion.

Keywords: Fe metal powder, TiO₂ coating, insulating coating, eddy current loss

Synthesis and characteristics of TiO₂-coated Fe alloy powder

SungJoon Choi^{1*}, SunWoo Lee¹, Hui Eun Kim¹, Sang-Kyun Kwon², and Sang-Im Yoo¹

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

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

In recent years, the soft magnetic composites (SMC) have attracted great interest because of its potential applications like power inductor. Among AC losses of hysteresis and eddy current, the eddy current loss can be reduced by coating magnetic powder with an insulating material. For this purpose, we tried to fabricate a coated powder composed of a Fe alloy core and shell layer of TiO₂ via the sol-gel method using titanium butoxide (TBO) as the precursor. A uniform coating of the Fe alloy core with TiO₂ was successfully achievable by properly controlling the coating conditions such as reaction time and concentration of TBO. Magnetic properties of TiO₂-coated Fe alloy powder were also sensitive to the coating conditions of TiO₂. Details will be presented for a discussion.

This work was supported by a Grant from *Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd.*

FeCoTiZrB 연자성 비정질 리본의 자성 특성 분석

한보경^{1*}, 임혜인¹

¹숙명여자대학교 물리학과

Fe계 연자성 비정질 금속 합금은 결정질 금속 합금과 달리 단일상으로 존재하기 때문에 결정학적인 결함들이 존재하지 않고 균질 하여 낮은 결정자기이방성과 빠른 자기 응답 특성을 갖는다. 또한 비저항이 수배 크기 때문에 적은 에너지 손실을 갖는다. 이와 같은 자성 특성뿐만 아니라 높은 강도와 탄성, 내식성 등 우수한 기계적 특성을 가지므로 연자성 소재 응용분야에서의 활용이 촉망된다. 일반적으로 비정질 형성능을 향상시키기 위해 합금 조성에 메탈로이드 원소 (B, Si, P 등)를 첨가하지만 메탈로이드의 첨가량이 높아짐에 따라 포화자화값이 낮아지는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 메탈로이드 합금 원소를 최소화하면서 비정질 형성능을 개선할 수 있는 합금 조성의 개발이 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 Fe-Co-Ti-Zr-B 계 비정질 합금을 설계하고 B를 Fe과 대체함으로써 비정질 형성능을 개선하며 연자성 특성을 최대화 할 수 있는 조성을 분석하였다. Fe, Co, Ti, Zr, B 원소를 아크 용해로를 이용하여 모합금을 제조하였고, 모합금을 melt spinner를 이용하여 균질한 리본 시편으로 제조하였다. 리본의 비정질 형성 여부를 확인하기 위하여 X선 회절분석실험(XRD)을 실시하였다. 제조된 시편의 열적 특성은 시차주사열량측정법(DSC)을 이용하여 측정되었다. Fe계 비정질 연자성 시편의 자성 특성인 포화자화도(M_s)와 보자력(H_c)은 VSM을 이용하여 측정하였다.

References

- [1] A. Inoue, T. Zhang, H. Koshiba, and A. Makino, J. Appl. Phys. **83**, 6326-6328
- [2] C. T. Chang, B. L. Shen, and A. Inoue, Mater. Sci. Eng. A **449**, (2007), 239-242.
- [3] S. J. Pang, T. Zhang, K. Asami, and A. Inoue, Acta Mater. **50**, (2002), 489-497.
- [4] S. F. Guo, L. Liu, N. Li, and Y. Li, Scri. Mater. **62**, (2010), 329-332.
- [5] B. L. Shen, C. T. Chang, T. Kubota and A. Inoue, J. Appl. Phys. **100**, (2006), 013515.
- [6] BoKyeong Han, Young Keun Kim, and Hhaein Choi-Yim, Current Applied Physics, **14**, (2014).

CoFeB 박막 재료의 두께에 따른 강자성 공명 특성

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 경동로 1375, 760-749

최근 스마트폰과 같이 정보 통신용 전자 기기가 급속히 보급되고 있다. 이들 전자 기기의 소형화에 따라 기기에 사용되는 전자 부품들의 소형화가 요구하고 있다. 특히 이동 통신용 부품의 소형화를 위하여 고주파 투자율이 큰 연자성 재료의 사용이 고려되고 있다. 이러한 연자성 재료는 마이크로파 대역에서 고투자율 특성을 유지하여 강자성 공명주파수가 마이크로파 부품의 운용주파수 보다 월등히 커야만 할 뿐만 아니라 고주파 손실 특성이 작아야 한다. 따라서 고주파수 투자율 및 손실 특성 분석은 마이크로파 부품의 소형화를 위하여 필요한 연구 분야이다. 연자성 재료의 고주파 투자율 및 공명 주파수는 연자성 재료의 이방성 상수 및 포화자화량에 의하여 결정되므로 부품의 소형화를 위하여 재료의 물성 분석이 필수적으로 요구된다.

본 연구에서 포화 자화량이 크고 이방성 특성이 작은 비정질 CoFeB 시료를 고진공 DC 스퍼터링 챔버에서 Si기판 위에 상온 증착하였다. 이때 하부층으로는 Ta(5 nm)를 사용하였으며, 시편의 산화를 방지하기 위한 상부층으로 Ta(5 nm)를 증착하였다. 시료의 적층구조는 Ta/CoFeB(t nm)(5 nm)/Ta로 제작하였으며, CoFeB의 두께는 10~400 nm였다. 자기장의 세기에 따른 강자성 공명(ferromagnetic resonance, FMR) 신호는 9.89 GHz (X-band)의 고정 주파수에서 측정하였다. 박막 재료의 수평면(in-plane)에서 자기 이방성 자기장 및 강자성공명 선폭(ΔH_{pp})을 분석하기 위하여 자기장의 방향에 따른 FMR신호를 측정하였으며, Landau-Lifshitz-Gilbert 이론에 기초한 FMR 신호 분석 방법 통하여 CoFeB의 두께에 따른 고주파 투자율 특성을 분석하는 연구를 수행하였다. 특히 공명신호의 선폭은 두께의 증가에 따라서 증가 또는 두 개의 첨두를 보였으며, 이러한 특성은 CoFeB 박막 재료의 두께에 따라 재료 내부의 이방성 에너지 특성 변화에 기인함을 이론적인 분석을 통하여 알 수 있었다.

Spin Transport in Heavily-Phosphorus Doped Si Nanowires with CoFeB/MgO Contacts

Tae-Eon Park^{1*}, Byoung-Chul Min¹, Younho Park^{1,2}, Moon-Ho Jo³,
Heon-Jin Choi², Joonyeon Chang^{1,4}

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

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

³Center for Artificial Low-Dimensional Electronic System (Institute of Basic Science), Pohang, Korea

⁴Department of Nanomaterials Science and Engineering,
Korea University of Science and Technology, Daejeon, Korea

Semiconductor spintronics aims to manipulate the spin degree of freedom of electrons in an attempt to search for next generation electronic devices beyond Silicon based complimentary metal oxide semiconductors (CMOS). One of the challenges for semiconductor spintronics is to find a suitable spin transport channel with long spin relaxation time by which spin polarized electrons injected from a spin source travel in a substantial distance without spin dephasing to a spin drain. Silicon (Si), the mainstream semiconductor, is advantageous for semiconductor spintronics owing to weak spin-orbit coupling, long spin diffusion length, and compatibility with the CMOS process. The Si nanowire featured with the one-dimensional confinement, single crystallinity, and clean surfaces is expected to be an outstanding platform to study the role of the dimensionality and size effects in spin injection, transport and detection in semiconductor. However, there is few report on spin transport in Si nanowire to date. Here we show the electrical spin transport in heavily-phosphorus doped Si nanowires with an enhanced spin injection and detection efficiency using an MgO tunnel barrier. We also discuss the effect of nanowire geometry on the detected spin signals.

Heavily-phosphorus doped Si nanowires used in the spin transport experiments were synthesized using vapor-liquid-solid (VLS) mechanism with silane (SiH₄), phosphine (PH₃), and Au catalyst in a low pressure chemical vapor deposition (CVD) system. It is found that the Si nanowires are degenerate *n*-type semiconductor with low resistivity of $\approx 13 \text{ m}\Omega\cdot\text{cm}$ at room temperature. We employed the lateral spin-valve geometry with ferromagnetic CoFeB/MgO contacts for the spin transport. The enhanced non-local spin signal (ΔR) as high as 4 k Ω and a clear memory effect were observed while sweeping the applied magnetic field at 1.8 K. It is noted that the curved base line of non-local spin signal is found, which is resulted from local magnetization of CoFeB/MgO contacts on a cylindrical shape of Si nanowire. The contribution of the geometry of Si nanowire to the observed spin signals will be discussed in detail.

Detection of spin precession angles in various crystalline directions and its application for complementary spin logic devices

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

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 a semiconductor channel spin-orbit interaction field is divided into two terms, Rashba and Dresselhaus fields. The Rashba field is induced by the structural inversion symmetry and is the Dresselhaus field results from bulk inversion asymmetry. These two effects are phenomenologically inseparable so extraction of individual field is not simple. The Rashba field is always perpendicular to the wavevector but the orientation of the Dresselhaus field depends on the crystal orientation of channel [1]. Thus, these two spin-orbit interaction parameters can be separately extracted by measuring the Shubnikov-de Haas oscillations for the various crystalline orientations. The spin field effect transistor (spin-FET), proposed by Datta and Das [2], the demonstration is one of the major concern in the field of spin transport devices because in can be utilized for switching and logic devices. Using InAs quantum well system, gate control of conductance oscillation was experimentally presented [3]. Due to the different alignment between Rashba and Dresselhaus fields (B_R and B_D), the spin precession behavior depends on the crystal direction in a spin-FET structure. For example, the total field can be expressed as $B_R + B_D$ for the [110] direction and as $B_R - B_D$ for the [1-10] direction. When the channel length is 1 μm , the precession angle is 550° for the [110] direction and 460° for the [1-10] direction, respectively. Using the two spin transistors with different crystal directions, which play roles of n - and p -type transistors in conventional charge transistors, we propose a complementary logic device.

References

- [1] Y. H. Park et al., Appl. Phys. Lett. 103, 252407 (2013).
- [2] S. Datta, B. Das, Appl. Phys. Lett. 56, 665 (1990).
- [3] H. C. Koo et al., Science, 325, 1515 (2009).

Rietveld's analysis of zinc ferrite prepared by hydrothermal and Sol-gel method

Kiki Rezki Lestari*, Pilsun Yoo, Deok Hyon Kim, and Chunli Liu

Department of Physics and Oxide Research Center,
Hankuk University of Foreign Studies, Yongin, Gyeonggi 449-791, Korea

The effects of difference method on the magnetic properties of ZnFe_2O_4 nanocrystalline have been studied. ZnFe_2O_4 nanoparticles were prepared using both a hydrothermal method at 200°C and a sol-gel method followed by annealing at 550°C . Products from both preparation processes were confirmed by XRD as single phase with a spinel structure. The size of the nanoparticles prepared by sol-gel sample is a little bit larger than that of hydrothermal sample, presumably due to the much higher annealing temperature used during the annealing process. The saturation magnetizations at 1 Tesla measured by the M - H curve at room temperature were 34.37 emu/g and 3.31 emu/g for zinc ferrite prepared by hydrothermal and sol-gel method, respectively. By comparing the integration intensity for peaks (220) and (222) and analyzing the XRD spectra by Rietveld refinement, we show the much enhanced magnetization in hydrothermal ZnFe_2O_4 nanoparticles can be attributed to the cation inversion caused by the inverse filling of Zn cations at the octahedral site and Fe cations at the tetrahedral sites. The result of Rietveld refinement analysis show that the hydrothermal sample actually possess a mixed spinel structure, whereas the sol-gel sample is very close to the normal spinel structure.

Keywords: Nanocrystalline, hydrothermal, sol-gel method, Rietveld refinement, mixed spinel

Thickness dependence of magnetic moments in CoSiB/Pd multilayers with perpendicular anisotropy

Sol Jung^{1*}, Haein Yim¹

¹Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742

1. Introduction

Materials with perpendicular magnetic anisotropy (PMA) have large anisotropy energies more than that with in-plane magnetic 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]. 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 Co-based crystalline materials show PMA for a certain range of thickness of layer and number of periods with noble metals such as Pt, Pd, and Au [5-9].

Therefore, we studied the magnetic moments 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.

2. Experiments

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

3. Result

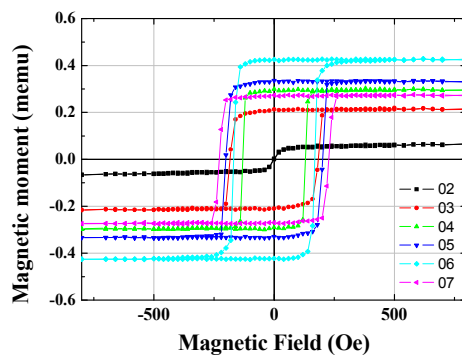


Fig. 1. The hysteresis loops of [CoSiB (2, 3, 4, 5, 6, 7) Å/Pd 14 Å]₅ multilayers with perpendicular magnetic anisotropy

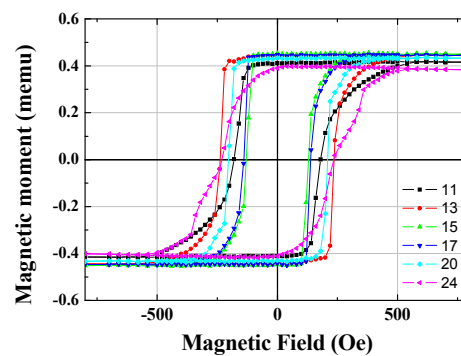


Fig. 2. The hysteresis loops of [CoSiB 7 Å/Pd (11, 13, 15, 17, 20, 24) Å]₅ multilayers with perpendicular magnetic anisotropy

The magnetic moment and the shape of hysteresis loop depend on the CoSiB and Pd thickness, respectively.

4. Discussion and Conclusion

The magnetic moment and the shape of hysteresis loop depend on the CoSiB and Pd thickness, respectively. The magnetic moment and the shape of hysteresis loop have a lot of information about the analysis of magnetic multilayers. A quantitative interpretation of the correlation of these informations of CoSiB/Pd multilayer are studied in this article. The further study of this interpretation is an issue to be addressed in the future.

5. References

- [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. Valeeuw, 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).

[Co/Pd]/Cu/[Co/Pd]₄ 스핀 밸브 구조를 기반으로 한 작은 보자력을 갖는 수직 자기저항에 대한 연구

이정섭*, 윤정범, 강물빛, 유천열
인하대학교 물리학과

1. 서론

21세기에 들어서면서 글로벌 자동차 시장에서는 단순히 완성차에 적용되는 높은 수준의 기계적 사양과 품질기준을 제시 하는 것 뿐만 아니라, 친환경적이며 사용자 편의 중심적이며 높은 안전기준을 충족시키기 위해 다양한 센서들이 적용되고 있다. 그 예로 자기센서는 자기장의 유무, 방향, 세기 등을 측정하는 기능뿐만 아니라, 이를 이용하여 회전속도, 정밀각도, 개폐, 거리, 모양, 결함 등을 측정에 사용되고 있다. 특히, GMR소자를 이용한 자기 센서는 소자의 우수한 특성, 가격경쟁력의 우월성, 소형화의 장점으로 활발한 연구가 진행되고 있다[1]. 하지만 GMR소자는 소자에 수직한 방향으로 갖는 큰 보자력으로 인해 작은 수직 자기장에 대한 센서로서는 적합하지 않았다[2]. 우리는 TiO₂ 씨앗층으로 한 [Co/Pd] 이층박막구조에서 수직자기이방성을 확인한 바 있다. [Co/Pd] 다층박막의 두께를 조절하여 연자성층과 강자성층을 만들고, 그 사이에 금속층의 두께를 조절하여 수직자기이방성을 갖는 GMR소자를 만들었다. 이 논문은 van der pauw method를 이용하여 수직자기이방성을 갖는 GMR소자의 자화반전과 자기저항 특성에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

본 실험은 Base pressure가 10⁻⁸ Torr의 초고진공 챔버에서 DC/RF 마그네트론 스퍼터를 사용하여 12×12 mm² 크기의 Egle2000 glass, Si 기판 위에 [Co/Pd]구조에서의 두께를 조절하여 수직자기이방성을 가진 연자성층과 강자성층을 만들고, 비자성층에 Cu를 이용하여 TiO₂(5)/[Co(0.6)/Pd(t_{Pd})]/Cu(t_{Cu})/[Co(0.4)/Pd(1.1)]₄/Ta(3) 구조를 가지는 스핀밸브를 제조하였다. (박막의 두께 단위는 nm이다). TiO₂층의 증착은 200 °C의 기판 온도를 유지하며 Ar과 O₂의 분압 비를 8:2로 조절하여 1.5 m Torr 작업 압력 하에 TiO₂ 타겟을 이용해서 100W의 RF 스퍼터로 증착하였고, 스핀밸브 구조 박막의 증착은 실온에서 3 m Torr 작업 압력 유지하며 DC 스퍼터링을 이용하였다. 이때 Co, Pd, Ta의 DC 스퍼터링 파워는 각각 50, 50, 100 W이다. t_{Pd}(0.8 ~ 1.1 nm), t_{Cu}(2.1 ~ 2.5 nm)를 변화시키며 시료를 제작하였고, 제작된 시료의 자기적 특성은 시료진동 자력계와 CIP(Current In Plane)방식의 4-point probe 자기저항(Magneto resistance; MR)측정 장비를 이용하여 상온(300K)에서 박막 면에 수직한 방향의 자기장에 대한 자기 이력곡선 및 자기 저항비를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

시료진동 자력계와 자기저항 측정 결과로부터 스핀밸브 구조를 Si, Glass 기판의 TiO₂ 씨앗층 위에 증착함으로써 동일한 측정결과를 얻을 수 있었으며, TiO₂는 [Co/Pd] 자유층이 연자성 효과를 갖게 함과 동시에 수직 자기이방성이 뚜렷해짐을 확인하였다. 이것은 산소의 2p 오비탈과 Co의 3d₂₂ 오비탈의 혼성결합에 의한 것으로 알려진다[3]. 그림 1에서는 t_{Pd}의 변화에 따라 보자력은 증가하며, 저기 저항비가 진동하는 결과를 얻었다. 자기 저항 측정 결과로부터 강자성층의 보자력은 약 700 Oe 으로 두께 변화에 대하여 변함이 없었다. 특히, 그림 2에서 t_{Pd}와 t_{Cu}가 각각 0.9 nm, 2.3 nm 일 때 10 Oe 미만의 자기장에 연자성층이 자화 반전되고 1.6 %의 MR ratio가 관측되었다.

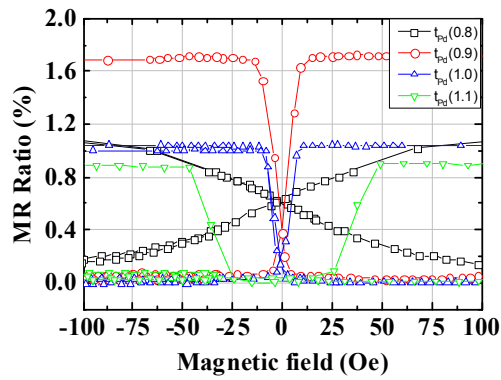


그림 1. The MR curve of Glass/TiO₂(5)/[Co(0.6)/Pd(t)]/Cu(2.3)/[Co(0.4)/Pd(1.1)]₄/Ta(3) sample

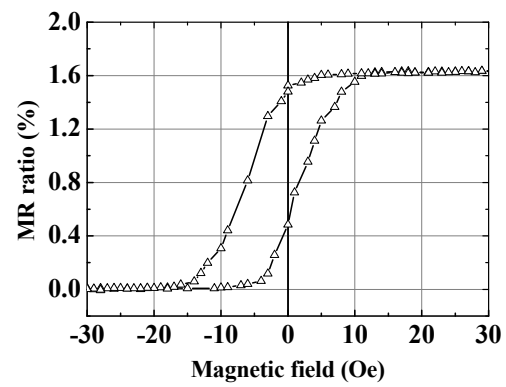


그림 2. The minor MR loops of Glass/TiO₂(5)/[Co(0.6)/Pd(0.9)]/Cu(2.3)/[Co(0.4)/Pd(1.1)]₄/Ta(3) sample

4. 결론

우리는 작은 보자력(< 10 Oe)을 갖는 수직자기이방성 GMR 구조를 찾았으며, TiO₂는 [Co/Pd] 자유층의 연자성 효과를 갖게 하는 역할을 하였다. 또한 Pd과 Cu의 두께변화를 통하여 수직자기이방성 GMR 소자의 보자력과 자기 저항비를 조절 할 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] C. Reig, D. Ramirez, H.H. Li and P.P. Freitas. Low-current sensing with specular spin valve structures. IEE Proc. Circuits Dev. Syst. **152** 307-311 (2005).
- [2] F. B. Mancoff, J. Hunter Dunn, B. M. Clemens, and R. L. White, Appl. Phys. Lett. **77** 1879 (2000).
- [3] P. Bruno, Phys. Rev. B **39** 865 (1989).

Tumbling motions of $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]^+$ ions in $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_2\text{CoCl}_4$ determined by ^1H MAS NMR spectroscopy in the rotating frame

Nam Hee Kim^{b,*}, Min Surk Hyung^a, Ae Ran Lim^{a,b}

^a*Department of Science Education, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea*

^b*Department of Carbon Fusion Engineering, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea*

The structure and phase transition temperatures of $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_2\text{CoCl}_4$ were determined using x-ray diffraction and differential scanning calorimetry (DSC), respectively. While the structure for the $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_2\text{CoCl}_4$ crystals determined using x-ray diffraction is consistent with the previously reported results, the phase transition temperatures using DSC are not. It is possible that the phase transition temperatures of $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_2\text{CoCl}_4$ vary according to the conditions of crystal growth. The local structure was studied using ^1H MAS NMR spectroscopy: the chemical shifts and the spin-lattice relaxation time $T_{1\rho}$ in the rotating frame for the ^1H nucleus in $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_2\text{CoCl}_4$ were observed. The results show that the structural change due to chemical shifts does not occur with a change in the temperature. The temperature dependence of the $T_{1\rho}$ values for ^1H reflect the modulation of the inter- NH_2 and inter- CH_3 dipolar interactions due to $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]^+$ motions. The $T_{1\rho}$ values of materials containing paramagnetic ions are shorter than those of pure materials; the influence of the paramagnetic ions is predominant. The relaxation time should be inversely proportional to the square of the magnetic moment of the paramagnetic ions. Therefore, $T_{1\rho}$ of materials containing Co^{2+} ions is shorter than those of materials without paramagnetic ions. Therefore, the ^1H spin-lattice relaxation is driven by the fluctuations of the magnetic dipole of the Co^{2+} paramagnetic ions. A shorter $T_{1\rho}$ indicates that the transfer of energy from the nuclear spin system to the surrounding environment is more facile. On the other hand, $T_{1\rho}$ for ^1H in $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_2\text{CoCl}_4$ showed a minimum, and it is apparent that the $T_{1\rho}$ values for ^1H are governed by the tumbling motions. The long $T_{1\rho}$ for ^1H above T_{C1} may be due to the breakage and replacement of two hydrogen bonds in the dimethylammonium ions. This hypothesis is supported by the results of the x-ray diffraction of $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_2\text{CoCl}_4$. The activation energy was determined from the results of the $T_{1\rho}$ NMR relaxation experiments. The activation energy for ^1H nuclei is lower above T_{C1} than below T_{C1} . The protons exhibit high mobility, and which thus have great potential as proton conductors. In future work, the structural properties of N(1) and N(2) in two inequivalent $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]^+$ groups will be discussed on the basis of high field FT NMR results.

Sol-Gel Synthesis of LaMnO_3 and PVA Effect on the Magnetic Properties

Pardi Sampe Tola^{*}, Deok Hyeon Kim, Pil Sun Yoo, Min Young Lee, and Bo Wha Lee

Department of Physics and Oxide Research Center,
Hankuk University of Foreign Studies, YongIn, Gyeonggi 449-791, South Korea

Lanthanum-based perovskite-type oxides (LaMO_3) containing transition metals ($M = \text{Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu}$), are well known as functional inorganic materials having wide applications such as electrodes for fuel cells, gas sensors, ion sensors, catalysts and various biomedical materials. LaMnO_3 has been reported to show interesting magnetic properties and also broad electric properties induced by oxygen vacancies. In this work we have successfully synthesis LaMnO_3 nanoparticle by sol-gel method, and investigated the effect of poly(vinyl alcohol) (PVA). La and Mn precursor dissolve in mixing solvent of acetic acid + methanol with a ratio of 4:1. After get clear and spinnable precursor solution, 6 wt% PVA with different volume (0, 5, 10, and 15 ml) was added. The final product was obtained by annealing at 700°C for 2 h. XRD spectrum show all the powder show cubic structure with particle size 20 ± 2 nm calculated using the Debye–Scherrer equation. The morphology of the LaMnO_3 nanoparticles became more porous with the increase of PVA volume in the reaction solution. Regarding the magnetic property, the assistance of PVA induced superparamagnetic behavior in the LaMnO_3 nanoparticles, which showed a weak paramagnetic characteristic when no PVA was used.

강자성체/부도체/반도체 터널 접합 구조를 통한 실리콘으로의 스핀 주입에서 어닐링에 의한 스핀 주입 신호의 변화

박준영^{1*}, 백승현^{1,2}, 이경동¹, 박병국¹

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

²Department of Electrical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701

스핀트로닉스 소자 중 하나인 스핀 트랜지스터의 구동을 위해서는 스핀 주입, 스핀 탐지 및 스핀 제어의 세 가지가 원활하게 이루어져야 한다. 스핀 주입의 방법에 대해서는 여러 가지 연구가 이루어져 왔으나, 전기적인 스핀 주입이 집적 회로를 구성하는 데 적절하기 때문에 전기적 스핀 주입에 대한 연구가 이루어져 왔고, 아직까지는 효율을 높이는 방법에 대한 완벽한 이해가 이루어지지 않고 있다. 전기적인 스핀 주입에서 강자성체/부도체/반도체 터널 접합에 전류를 통과시키면 강자성체에서 스핀 분극된 전류가 반도체로 주입될 수 있기 때문에 이와 같은 구조가 널리 사용되고 있다. 이렇게 주입된 스핀에 대한 탐지는 그림 1과 같은 3전극 구조에서 터널 접합에 일정한 전류를 흘리며 외부에서 자기장을 가했을 때 변하는 전압을 측정하는 소위 Hanle 측정 [1]이라고 불리는 방법을 통해 이루어지게 된다. 여러 연구 결과에 따르면 스핀 주입 신호는 터널 접합의 계면 상태에 영향을 받아[2],[3] 스핀 주입된 양, 주입된 스핀의 수명이 바뀌어 신호의 크기 및 폭이 바뀔 수 있다. 이에 따라 보다 나은 계면 상태를 만들어 그 효율을 높이기 위해 계면 상태에 변화를 가할 수 있는 어닐링에 대한 연구가 필요하여 본 연구에서는 어닐링에 의한 Hanle 신호의 크기의 변화에 대해 알아보았다.

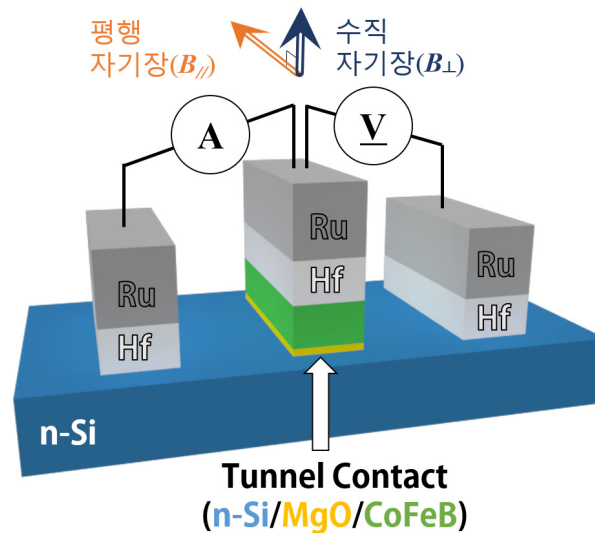


그림 1. 측정에 사용된 1개의 터널 접합을 가진 3전극 구조.

스핀 주입은 n-type 실리콘 기판 위에 증착된 MgO(1nm)/CoFeB(10nm) 터널 접합을 이용하여 이루어졌다. 수직 자기장 하에서의 스핀 신호는 그림 2(a)에서 보이듯이 바이어스의 크기에 따라 부호가 반전되는 현상이 관측되었으며, 200°C 어닐링 후(그림 2(b))에는 어닐링 전의 샘플에서 높은 바이어스에서 관측되던 Hanle 신호만이 측정되었다. 또한 어닐링 후에는 동일 바이어스에서의 Hanle 신호의 크기도 증가하는 것을 보여주었다. 이로부터 관측된 스핀 신호는 서로 반대 부호를 가진 두 가지의 스핀 신호가 섞여 있는 것을 알 수 있었다. 다시 말하면, 어닐링에 의해 Hanle 신호는 증가한다고 볼 수 있으며, 그 반대 부호를 가진 신호는 제거되는

것이라고 볼 수 있다. 한편, 강자성체의 자화 방향에 평행한 방향의 자기장 하에서는 어닐링을 함에 따라 신호의 크기가 급격하게 줄어들음을 보였다. 수직과 평행 자기장 하에서의 어닐링 전후의 스핀 신호의 변화는 어닐링에 의해 터널 접합의 경계면 상태가 바뀌어 경계면의 결함이 줄어들어, 계면에서의 국부적인 에너지 상태를 통한 터널링 확률이 감소하기 때문으로 여겨진다. 따라서 수직 자기장 하에서는 이 영향이 감소하여 신호의 부호가 바뀌는 현상이 사라질 뿐만 아니라 크기도 증가하였으며, 평행 자기장 하에서는 이 영향의 감소로 인해 신호의 크기가 감소한 것이다. 더 높은 온도에서 어닐링 된 경우에는, Hanle 신호의 크기가 감소하여 측정되지 않는 현상을 보여주었다. 너무 높은 온도에서의 어닐링은 계면 결함의 감소뿐만 아니라 계면의 혼잡으로 인해 원활한 스핀 주입이 이뤄지지 않은 것으로 볼 수 있다. 이를 통해 스핀 신호 중 하나는 적당한 온도에서의 어닐링에 의해 제거될 수 있다는 것을 알았으며, 시편에 어닐링을 하여 측정하는 것은 복잡한 스핀 신호에서 한 가지의 제거가 가능하기 때문에 보다 정확한 분석에 도움이 될 수 있다.

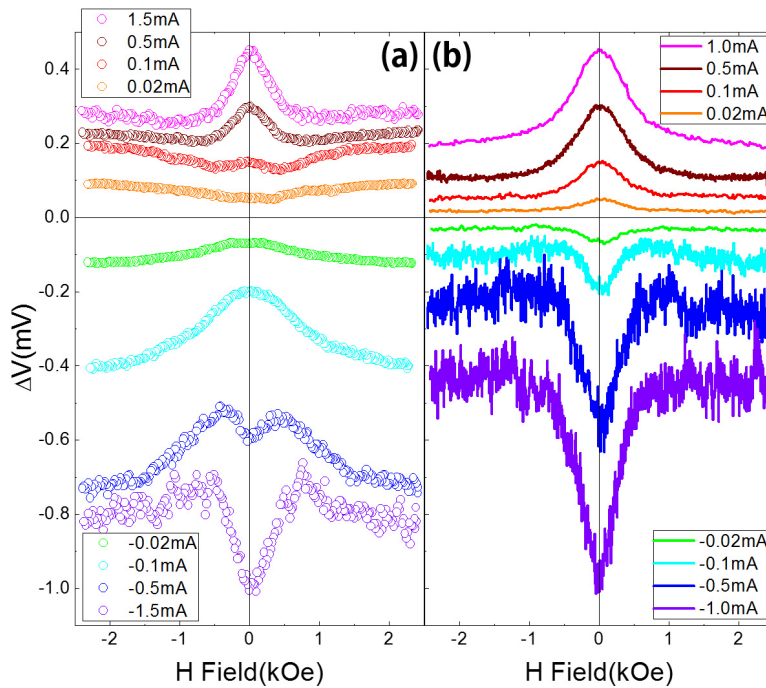


그림 2. (a) 어닐링 전과 (b) 어닐링 후의 수직 자기장 하에서의 바이어스에 따른 스핀 신호의 변화.

References

- [1] S. P. Dash, S. Sharma, R. S. Patel, M. P. de Jong and R. Jansen, Nature 462, 491 (2009).
- [2] M. Tran, H. Jaffrès, C. Deranlot, J.-M. George, A. Fert, A. Miard, and A. Lemaître, Phys Rev. Lett. 102, 036601 (2009).
- [3] C. H. Li, O. M. J. van't Erve and B. T. Jonker, Nat. Commun. 2, 245 (2011).

Perpendicular magnetic tunnel junctions with Hf/Pt composite capping layers

Hee-Gyum Park^{1,2*}, Chul-Hyun Moon^{1,3}, Byoung-Chul Min^{1,2}, and Kyung-Ho Shin¹

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

²University of Science and Technology of Korea (UST), Daejeon 305-350, South Korea

³Korea University, Seoul 136-701, South Korea

Perpendicular magnetic tunnel junctions (p-MTJs) are the key building blocks of promising non-volatile magnetic memories because of its high thermal stability and low critical current in comparison with those of in-plane MTJs [1]. A nonmagnetic layer/ CoFeB/ MgO structure has attracted a large amount of attention as a free layer of p-MTJs. It has been demonstrated that a Ta/ CoFeB/ MgO structure exhibits a considerably high PMA[2], and the PMA can be further enhanced by replacing Ta with other nonmagnetic materials such as Hf [3]. In this study, we investigated the PMA and thermal robustness of MgO/ CoFeB/ capping layers consisting of various nonmagnetic materials. We found that the Hf capping layer has an inferior thermal robustness than the Ta layer, and the robustness can be improved by using composite capping layers. It has been demonstrated that the p-MTJs with Hf/Pt composite capping layers have decent robustness and reasonably high tunnel magnetoresistance (TMR).

We fabricated the MTJs consisting of synthetic antiferromagnetic (SAF) pinned layer/ MgO/ Co₄Fe₄B₂(1.2)/ [Hf(5)/ Ta(5)], [Pt(0.2)/ Hf(2.5)/ Ta(2.5)], or [Pt(0.2)/ Hf(2.5)/ Pt(2.5)] / Ru(5). The numbers in parenthesis are the thickness in nanometer. The samples were deposited on thermally oxidized Si (100) substrates by using both DC and RF magnetron sputtering in ultrahigh vacuum condition. Magnetic characterizations using a vibrating sample magnetometer (VSM) confirmed the PMA of constituting layers and a balanced SAF structure. For TMR measurement, 8μm×8μm square junctions were patterned by the photo-lithography and Ar ion milling processes, and, subsequently, annealed at 250 ~ 330°C for 30 min in 1×10⁻⁵Torr. The TMR was measured at room temperature using a four probe method.

We found that the diffusion of boron as well as the nonmagnetic materials mainly contributes to the effective magnetic thickness, saturation magnetization, and interfacial PMA of MgO/ CoFeB/ nonmagnetic layer structures. By selecting a proper combination of nonmagnetic materials, it is possible to obtain a high interfacial PMA with annealing at a relatively high-temperature. In the p-MTJ with a Pt/ Hf/ Ta/ Ru capping structure, the TMR is increased to approximately 46% with increasing annealing temperature up to 270°C. In case of Pt/ Hf/ Pt/ Ru, the TMR reaches approximately 80% at 320°C. The increase of TMR can be understood in terms of the boron diffusion from CoFeB to the capping layers, which is followed by the improvement of grain-to-grain epitaxy at the CoFeB/ MgO interface. The TMR has been reduced after further annealing at higher temperatures. The degradation of TMR is interpreted as a signature of diffusion of nonmagnetic materials into the CoFeB layer.

Our experimental results suggest that the magnetic properties of MgO/ CoFeB/ nonmagnetic capping layer structure are affected by the diffusion of boron as well as the nonmagnetic materials through annealing process. A proper combination of nonmagnetic materials opens a possibility to obtain a high TMR and good robustness after annealing.

References

- [1] S. Ikeda *et al.*, Nature Materials 9, 721 (2010).
- [2] D. C. Worledge *et al.*, Appl. Phys. Lett. **98**, 022501 (2011).
- [3] T. Liu *et al.*, AIP advanced 2, 032151 (2012).

비정질 FeNiSiB 층을 삽입한 CoFeSiB/Pd 다층박막의 수직자기이방성 연구

김용진^{1*}, 김도균¹, 김기하¹, 김영근¹

¹소속기관 고려대학교 공과대학 신소재공학과, 서울시 성북구 안암로 145, 136-713

1. 서론

최근 수직자기이방성이 구현되는 자기터널접합은 높은 열적안정성(Δ)과 낮은 자화반전전류(I_{co})등의 이점을 갖추고 있어 큰 관심을 받고 있다[1]. 일반적으로 Co/Pd, Co/Pt를 기반으로 한 다층박막이 수직이방성 재료로 널리 알려져 있으며, 본 연구진은 그동안 낮은 포화자화 값(M_s)을 갖는 비정질 연자성체인 CoFeSiB 박막에 관하여 연구를 진행해 왔다[2]. 본 연구에서는 CoFeSiB/Pd 다층박막에 비정질 FeNiSiB 층을 삽입하는 복합자성박막을 이용하여 수직자기이방성을 관찰하는 실험을 진행하였다. 자성박막의 자기적 특성을 측정하기 위해서 진동시편자력계(VSM)을 사용하였다.

2. 실험방법과 결과

자기터널접합 시편은 Si 웨이퍼 위에 스퍼터링 장치를 통하여 증착하였고, 모든 과정은 1×10^{-8} Torr 수준의 초진공에서 진행되었다. 각 시편의 구조는 Si/SiO₂/Ta 5/Pd 10/[CoFeSiB 0.3/Pd 1.1] \times 19/CoFeSiB 0.3/복합자성층/MgO 2/Ta 5 (단위는 nm)이다. 복합자성층은 비교를 위해 Ta (0.4~1.0)/CoFeB 0.7와 Ta (0.4, 1.0)/FeNiSiB 0.3/CoFeB 0.4의 구조로 제작되었다. 제작된 시편은 모두 섭씨 300도와 400도, 6000 Oe의 자기장, 5×10^{-7} Torr에서 1시간 동안 열처리하였다. 다층박막의 VSM 측정 결과 모든 구조의 복합자성층에서 수직자기이방성이 구현되었으며, Ta의 두께가 0.4 nm 이하일 경우에는 CoFeSiB/Pd 다층박막과 CoFeSiB 층의 자화 반전이 함께 일어나는 것을 확인할 수 있었다. Si/SiO₂/Ta 5/Pd 10/[CoFeSiB 0.3/Pd 1.1] \times 19/CoFeSiB 0.3/복합자성층/MgO 2/CoFeB 1.2/Ta 5/Ru 5의 자기터널접합 구조의 VSM 측정 결과 FeNiSiB 층을 삽입한 복합자성층의 각형비가 단일 CoFeB 층을 사용한 자성층보다 증가하였다.

3. 고찰

본 연구에서는 Ta/FeNiSiB/CoFeB 복합자성층을 다양한 두께로 제작하여 자기터널접합의 수직자기이방성 특성 변화를 관찰하였다. VSM의 측정 결과를 통하여 FeNiSiB 층을 삽입한 복합자성층을 사용하였을 경우 수직자기이방성 특성이 향상된 것을 확인하였다. 이는 열처리 시 Ta의 확산이 비정질 FeNiSiB 층에 의해서 저지되기 때문이라고 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 CoFeSiB/Pd 다층박막 위에 FeNiSiB를 삽입한 복합자성층을 통하여 수직자기이방성이 구현되는 자기터널접합 제작을 시도하였다. 기존의 알려진 다층박막 물질을 이용하였을 때 보다 CoFeSiB 박막을 이용하여 낮은 포화자화 값을 얻었으며, 섭씨 400도의 고온 열처리 이후에도 수직자기이방성을 유지하는 것을 확인하였다. 또한 FeNiSiB를 삽입한 복합자성박막을 통하여 자기터널접합의 수직자기이방성 특성이 향상된 것을 확인하였다. 이 결과는 자기적 특성을 제어해야 하는 자기터널접합 소자 구현에 도움이 될 것이다.

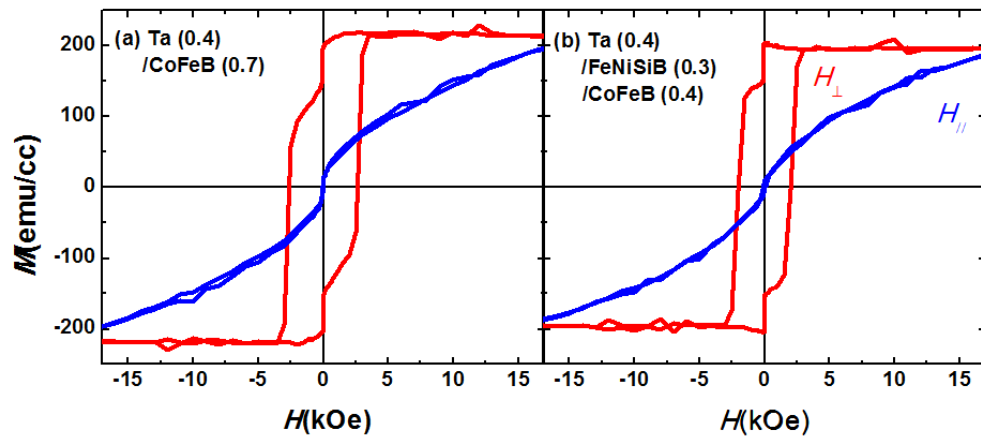


그림 1 (a) Ta/CoFeB, (b)Ta/FeNiSiB/CoFeB 복합자성층을 사용한 자기터널접합의 VSM 측정 결과

5. 참고문헌

- [1] S. Ikeda et al., Nature Mater. 9, 721 (2010)
- [2] B. S. Chun *et al.*, Acta Materialia 58, 2836 (2010)

Magneto-conductance change induced by the Rashba effect at an oxide interface

Taeyueb Kim^{1,2*}, Shin-Ik Kim³, Seung-Hyub Baek³, Jinki Hong², Hyun Cheol Koo^{1,4}

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

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

³Electronic Materials Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

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

The control of spin generation, manipulation and detection is an important issue for the development of spin-based electronics. The Rashba spin-orbit interaction is useful tool. Because the spin information can be modulated by gate electric field in a strong Rashba system. [1] This phenomenon has been observed very well in a two-dimensional electron gas (2DEG).

Recent studies have shown the successful formation of 2DEG using the LaAlO₃/SrTiO₃ (LAO/STO) layers. The interface of LAO/STO showed various physical behavior including superconductivity, magnetism, and quantum transport. [2, 3] The oxide based 2DEG is of great interest in the field of spin electronics because it shows interesting electronic and magnetic properties.

LaAlO₃/SrTiO₃ (LAO/STO) has an inherent space inversion asymmetry causing an internal electric field near the interface. The Rashba spin-orbit coupling arising from this structural characteristics has a considerable influence on spin transport. Here we adopt an effective method to characterize the Rashba coupling in the LAO/STO conduction channel. With application of an external magnetic field, we observed conductance change in the LAO/STO channel which is dependent on the sign and magnitude of the field. We found that the magnetic field generates spin filtering effect which induces spin dependent electron mobility. From the conductance difference for vector alignments of Rashba and applied fields, the Rashba parameters are also extracted for various temperatures. This Rashba strength is highly dependent on temperature: it varies from 2.6×10^{-12} eVm to negligible value in the temperature range of 1.8 ~ 12 K. Our characterization method has several advantages over the conventional ones such as the measurements of Shubnikov-de Haas oscillation or weak antilocalization.

References

- [1] H. C. Koo, J. H. Kwon, J. Eom, J. Chang, S. H. Han, and M. Johnson, *Science* **325**, 1515 (2009)
- [2] A. Ohtomo and H. Y. Hwang, *Nature* **427**, 423 (2004)
- [3] J. A. Bert, B. Kalisky, C. Bell, M. Kim, Y. Hikita, H. Y. Hwang, and K. A. Moler, *Nat. Phys.* **7**, 767 (2011).

Switching mode of nanomagnet with perpendicular magnetic anisotropy

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

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

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

1. Introduction

Examining the thermal stability(Δ) of nanomagnets with perpendicular magnetic anisotropy is important because the data retention time of magnetic random access memory(MRAM), the most promising next generation memory, is determined by the thermal stability.[1] Based on the Nudged Elastic Band (NEB) method [1-4], it has been reported that the magnetization switching and thus E_B are governed by the single domain switching for MRAM cells having diameter smaller than the domain wall width, where as it is governed by the domain wall switching otherwise.[4, 5] Then we investigate the thermal stability(Δ), the switching current(I_{sw}) and the STT-efficiency(Δ/I_{sw}) of a non-uniform switching in these nanopillar magnet system for various sizes.

We find that the thermal stability(Δ), the switching current(I_{sw}) and the STT-efficiency(Δ/I_{sw}) depend on the cell size. when the switching is governed by the domain wall nucleation.

2. Modeling Scheme

Using the NEB method, we compute the energy barrier by tracing the energy minimum path that is obtained by minimizing the gradient of the energy [3]. We use the following parameters for NEB modeling: the perpendicular magnetic anisotropy density K_u is $1 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$, the saturation magnetization is 1000 emu/cm^3 , and the free-layer thickness t is 1nm. We use the exchange stiffness constant A_{ex} of $1 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$. We also vary diameter L of the nanomagnet cell. Commonly, STT-MRAM shows uniform single domain switching for a small cell and domain wall switching for a large cell.

3. Result and Discussion

Figure 1(a) shows the thermal stability Δ at $A_{ex}=1 \times 10^{-6} \text{ erg/cm}$ and various cell sizes for a circular cell. We find that the single domain switching occurs for the cell diameter smaller than 30nm whereas the domain wall switching occurs otherwise. We also compare the energy barrier for various cell size according to the cell geometries.

When the cell size is small, the thermal stability for the circular cell is also significantly small.. However, as the cell size increases, the thermal stability of becomes larger and larger. We attribute this phenomenon to domain wall formation. When the domain wall switching occurs, the energy barrier is crucially affected by domain wall energy and thus domain wall length that is determined by the cell diameter. Therefore, when the system undergoes domain wall switching, the energy barrier should be proportional to the cell diameter regardless of the shape. Furthermore, Figure1 (b) shows current density and then we calculate the switching current from the switching current density. Then we obtain the STT-efficiency(Δ/I_{sw} , I_{sw} : switching current) using the thermal stability and switching current. The results are in Figure1 (c).

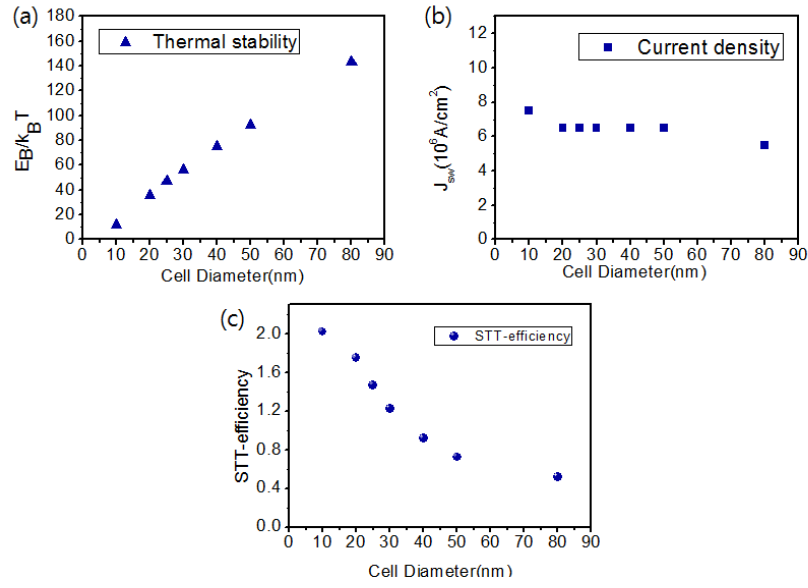


Fig. 1. (a) NEB image of domain wall switching for $A_{\text{ex}}=10^{-6}$ erg/cm, cell size = 40nm for both of square and circular cell and external field is zero. (b) Field-dependence of energy barrier at various cell diameters for circular cell. (c) comparison of the energy barrier for square and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

4. Summary

We investigate the thermal stability for various cell diameters and the current density and STT-efficiency also. We find that the energy barrier can depend strongly on the cell size when the switching is governed by the domain wall motion. Moreover we also examine the cell size dependence of the thermal stability. In the presentation, we will discuss the effect of domain wall formation and more various cell size on the energy barrier in detail.

5. Acknowledgments

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

6. References

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

Influence of a Hf interlayer on the perpendicular magnetic anisotropy of the MgO/Hf/CoFeB structure

Kyoung-Min Lee^{1,2*}, Taufik Bonaedy¹, Byoung-Chul Min¹, Junghyun Sok², and Jun Woo Choi¹

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

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

Investigations to tune the perpendicular magnetic anisotropy (PMA) of MgO/CoFeB have attracted great interest due to its potential application to various spintronics devices [1-4]. Recent studies show that Mg or Fe interlayers can effectively control Fe-O bonding (Fe 3d-O 2p orbital hybridization) which subsequently control the interfacial magnetic anisotropy of the MgO/CoFeB structure [1, 2].

In this work, we have studied the PMA of a CoFeB//Hf/MgO structure in which Hf is inserted as an interlayer. The full sample structures were Ta(20 Å)/MgO(16 Å)/Hf(0.8 Å)/CoFeB(12~30 Å)/Hf(25 Å)/Pt(25 Å)/Ta(50 Å)/ SiO₂/ Si and Ta(20 Å)/MgO(16 Å)/CoFeB(12~30 Å)/Hf(25 Å)/Pt(25 Å)/ Ta(50 Å)/ SiO₂/ Si, the difference between the two samples being the presence or absence of the Hf interlayer. The CoFeB having the composition ratio of 40:40:20 were used. The samples were annealed at 200 ~ 320 °C, and the magnetic hysteresis loops were measured by a vibrating sample magnetometer (VSM). The effective anisotropy and the coercivity was increased with the insertion an Hf interlayer, indicating the increase in PMA. The magnetic properties were also greatly influenced by the CoFeB thickness and annealing temperature. In order to verify the mechanism of the increase in PMA, x-ray photoelectron spectroscopy (XPS) measurements were performed to observe chemical states of the Hf, Fe, Co and Mg at the CoFeB/MgO interface. XPS data suggest that the increase in PMA is due to the change of the Fe-O bonding states by the formation of HfO.

References

- [1] Q. L. Ma, et. al. *Appl. Phys. Lett.* **101** (2012) pp.122414
- [2] Xi Chen, Guang Hua Yu, et al. *Appl. Phys. Lett.* **105** (2014) pp.092402
- [3] M. Yamanouchi, et al. *J. Appl. Phys.* **109** (2011) pp. 07C7712
- [4] T. Liu, J. W. Cai, et al. *AIP Adv.* **2** (2012) pp. 032151

Hybrid Planar Hall Resistance sensor for low magnetic field and spin detection

송인철^{1*}, Souleymane KAMARA², Ferial TERKI², 김철기¹

^{1*}소속기관 대구경북과학기술원

²소속기관 Institut Charles Gerhardt, CNRS - Universite Montpellier2

^{2*}소속기관 Institut Charles Gerhardt, CNRS - Universite Montpellier2

^{1*}소속기관 대구경북과학기술원

1. 서론

Several kinds of magnetic sensor have been used in the past for many applications based on low magnetic field detection such as bio-application¹. It is in this context that the hybrid AMR-PHR sensor are designed and fabricated to reach the record sensitivities². Thereof combine to the high S/N (signal/noise) ratio have shown the nano-tesla sensitivity and the capacity to detect the room temperature spin switching in nanosized spin cross-over materials³.

2. 실험방법과 결과

The standard lithography and sputtering technologies were used to deposit thin films on the Si wafer. The hybrid sensor structure is based on a multi-ring architecture and trilayer structure Ta/NiFe/Cu/IrMn/Ta (5/10/1.2/10/5nm) respectively. In this case, the soft magnetic layer of NiFe is the sensing material. It is weakly coupled to an antiferromagnetic IrMn layer through a few atomic layers of Cu for thermal stability. The Cu has also function to reduce the shunt current which crosses the antiferromagnetic layer².

Two experimental setup were used: For sensitivity investigation and low magnetic field detection, the sensor was polarized by AC current of 1mA along this magnetic easy axis. The external magnetic field was applied in Planar Hall configuration. The sensor response voltage is measured perpendicular to the current direction by a lock-in amplifier. The magnetic field is generated from Helmholtz coil. The operating DC current is applied to the sensor and both AC and DC fields are used for SCO nanoparticles detection experiment.

3. 고찰

The field sensitivity of PHR sensor is deduced from the PHR profile, *ie.*, the voltage versus the magnetic field. In open environment we have measured the step field of about 60nT. The angular dependence of the sensitivity was investigate and shows large different when the applied magnetic field rotate from 0 to 90 degree. The highest sensitivity is observed for the angle of 20 degree between the easy axis and the applied magnetic field direction. This experimental geometry was chosen to detect the SCO nanoparticles.

The nanoparticles consist to the polymeric 1D-chain structure of [Fe(hptrz)₃]⁴. In this experiment, a few volume of chloroform suspension of nanoparticle with susceptibility of $4 \cdot 10^{-4}$ is directly dropped onto the active surface of the sensor. The PHR sensor detects the magnetic signature of diamagnetic-to-paramagnetic phase transition. The temperature dependence of sensor voltage shows clearly the voltage change associated with the spin transition of nanoparticles. The volume of active nanoparticles was estimated to about 10^{-3} mm^3 . The

ultimate challenge is to improve the sensitivity to achieve single particle detection.

4. 결론

The field sensitivity of the ring sensor was increased and allowed us to measure the step field of nanotesla in the open environment. For the first time, the detection of room temperature switching in an SCO nanoparticles using PHR sensor has been observed. The self-balancing of sensor arms resistance and enhanced active area provide us to highlight the concept of novel prototype for SQUID-like magnetometry device with resolution of 10^{-13} emu.

5. 참고문헌

- [1] D.R. Baselt *et al.*, Biosensors and Bioelectronics-ics **13**, 731-739(1998)
- [2] S.Oh *et al.*, Solid State Communications **151**, 1248 (2011)
- [3] T.Q.Hung *et al.*, Angew.Chem. Int. Ed **52**, 1185 (2013)
- [4] A. Bousseksou *et al.*, Chem. Soc.Rev. **40**, 3313 (2011).

반강자성체 결정립의 용이축 분포에 따른 교환 결합 특성

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 경동로 1375, 760-749

1. 서론

강자성 (F)과 반강자성 (AF) 박막으로 이루어진 다층구조에서 이들 F/AF 계면에 존재하는 스핀들간의 상호 작용에 의하여 교환 결합(exchange coupling) 특성이 나타난다. 교환 바이어스는 강자성층의 자화 방향을 고정 시켜 하드디스크 드라이버의 헤드에 사용되는 거대 자기저항 또는 터널링 자기저항 소자의 기준 방향으로 활용하고 있으며, 교환 결합특성 향상을 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

교환 결합에 기여하는 일방 이방성 에너지(J_c)는 F층의 자화 방향과 AF층의 스핀 방향에 의존한다. 이러한 교환 결합 특성을 반영하는 J_c 는 계면 효과로 면적당 에너지 단위이다. 따라서 부피당 에너지인 AF층의 일축 이방성 에너지에 반강자성층의 두께(t_{AF})를 곱한 양이 AF층의 면적당 이방성 에너지가 되어 J_c 와 비교 대상이 된다. 따라서 AF의 부피당 에너지 밀도가 일정할 경우 t_{AF} 에 따라서 자화 곡선이 다르게 나타난다.

이러한 교환 결합 특성은 계면의 일축 이방성 에너지 및 AF 층의 이방성 에너지에 의존하므로 이방성 에너지를 직접 측정하여 이들 특성을 비교하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 교환 결합 특성을 갖는 CoFe/MnIr 재료에서 MnIr 두께에 따른 토오크 신호를 측정하였으며, Stoner- Wohlfarth 모델을 사용하여 AF층의 일축 이방성 상수 및 결정립의 용이축 분포 특성을 도입하여 측정결과와 비교 분석하였다.

2. 실험방법

Co₇₀Fe₃₀/Mn₇₅Ir₂₅ 구조를 갖는 시료는 Si기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터 법을 사용하여 증착 하였으며, seed층으로 Ta(5 nm)/Cu(20 nm)를 사용하였으며 capping층으로는 Ta(5 nm)로 하였다. MnIr 두께 의존성을 관측하기 위하여 CoFe의 두께를 50 nm로 고정하고, MnIr의 두께를 0, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 5, 7, 10, 15 및 20 nm의 시료를 준비하였다. 제조된 시편의 교환 바이어스와 (Exchange bias; H_{ex}) 및 보자력(coercive force; H_c)는 VSM 을 사용하여 측정하였으며, 토오크 마그네토메터를 이용하여 토오크 신호를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 $t_{AF}=0, 2.5$ 및 20 nm인 CoFe/MnIr 박막 재료에서 자화 각도에 따른 토오크 신호를 측정한 결과를 보인다. $t_{AF}=0$ 재료는 강자성체인 CoFe 박막을 의미하며, 토오크 신호는 CoFe 재료의 일축 이방성 특성이 나타나고 있다. $t_{AF}=2.5$ nm 재료에서는 CoFe 재료의 일축이방성 특성과 회전 손실(rotational loss, RL) 특성이 나타나고 있다. Stoner- Wohlfarth 모델을 사용하여 계산한 경우 RL은 AF의 두께가 임계 두께 이하에서 나타나는 현상이며, AF층의 용이축이 한쪽 방향만 있는 경우 자화 방향이 90도 및 270도 근처의 각도에서 나타난다. 그러나 측정 결과는 모든 각도에서 거의 동일하게 나타나는 것으로 보아 AF층의 용이축은 모든 방향으로 고르게 분포 되어 있음을 의미한다. 한편, $t_{AF}=20$ nm 재료에서는 일방 이방성 특성이 나타나고 있으며, 이는 AF층이 고정되어 나타나는 교환 바이어스 특성을 반영한다.

본 연구에서는 AF 결정립들이 갖는 이방성 에너지의 용이축이 모든 방향으로 균일하게 분포한 경우 반강자성층의 두께에 따른 일방 이방성 상수, 일축 이방성 상수 및 회전 손실 특성을 Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 분석하였다. 회전 손실 특성으로부터 결정립의 크기는 반강자성층의 두께보다 작게 성장하고 있음을 알 수 있었으며, 반강자성층의 용이축이 모든 방향으로 분포하는 경우 일축 이방성 상수는 교환 결합력 상수 보다

작게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이러한 분석 결과로부터 교환 결합력을 갖는 F/AF 다층구조의 교환 바이어스 특성은 반강자성층의 용이축을 한쪽 방향으로 정렬할 경우 약 37% 향상 될 수 있음을 보인다.

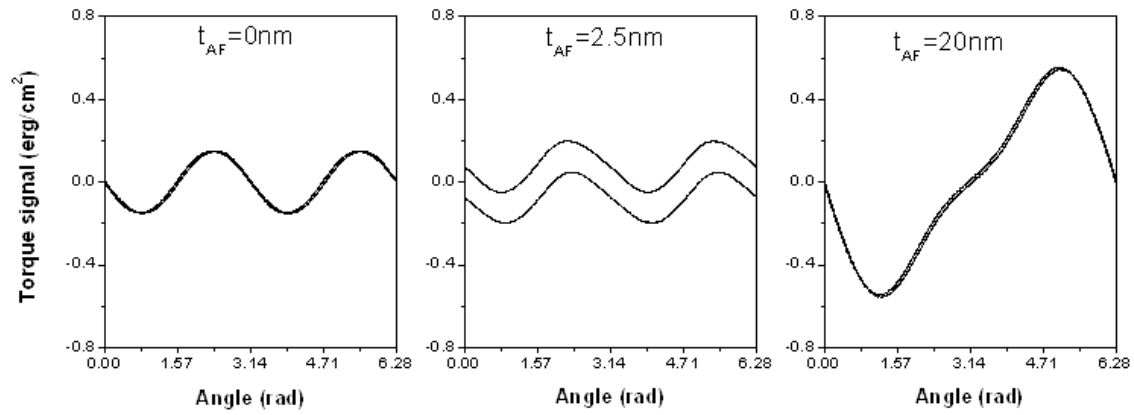


Fig. 1. Torque signal in CoFe/MnIr(t_{AF}) bilayers with $t_{AF}=0, 2.5, 20$ nm.

4. 감사의 글

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

Uniaxial magnetic anisotropy in epitaxial Fe/MgO layers on InAs(001)

Jeong Hong Jo^{1,2*}, 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

An injection of spin polarized electrons across ferromagnetic metal (FM)/semiconductor (SC) contacts is known to be inefficient due to the impedance mismatch between FM and SC. This problem can be solved by inserting a tunneling barrier such as MgO between FM and SC. In addition, InAs is of particular interest in spin-electronic device applications due to a high electron mobility and strong spin-orbit coupling. Although the lattice mismatch between MgO and InAs is quite substantial ($\sim 4.2\%$), Kim *et al.* demonstrated an epitaxial growth of Fe/MgO/InAs(001) and confirmed a two-dimensional growth of the Fe layer[1], which is known to be essential to the efficient spin injection. However, a microstructural analysis was mainly carried out in the previous study with the lack of clear understanding of the magnetic properties. The investigation of magnetic properties of the Fe/MgO/InAs system is essential to further manipulate the injected spin polarization. In this study, we mainly report on the magnetic anisotropy in a fully epitaxial Fe (7 nm)/MgO (4 nm)/InAs(001) system. A clear four-fold anisotropy resulted from magnetocrystalline anisotropy is shown in the in-plane hysteresis loops. However, these in-plane results are not suitable to extract magnetic parameters, because magnetization under in-plane fields occurs mainly by domain wall motion. Therefore, an out-of-plane hysteresis loop is also measured and compared with theoretically calculated result based on the single domain model, where both magnetocrystalline anisotropy and uniaxial anisotropy are considered[2]. The agreement is reasonably good, as shown in Fig. 1, confirming the existence of uniaxial magnetic anisotropy. The direction of the uniaxial anisotropy is tilted at 45° from the out-of-plane direction. The formation of the uniaxial anisotropy is probably due to strain or interface-related effects, although the precise reason is not clearly understood at the moment.

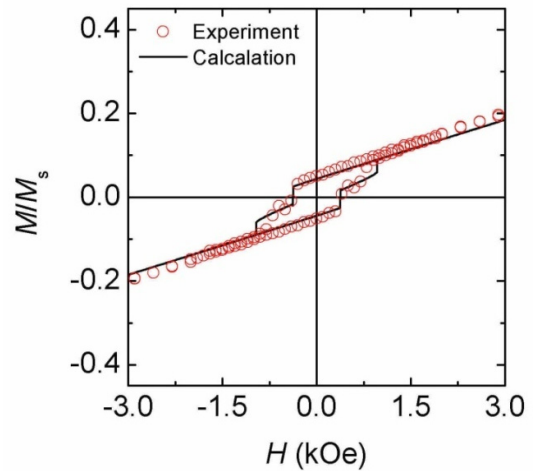


Fig. 1. Experimental and calculated results for the normalized out-of-plane hysteresis loop.

References

- [1] K. H. Kim *et al.*, Cryst. Growth Des. **11**, 2889 (2011).
- [2] J. H. Jo *et al.*, J. Appl. Phys. **115**, 17C302 (2014).

Magnetic and thermoelectric properties of $\text{Fe}_{3-x}\text{Co}_x\text{O}_4$ thin films on MgO (100)

Quang Van Nguyen^{1*}, Christian Meny², Duong Anh Tuan¹,
Yooleemi Shin¹, Nguyen Thi Minh Hai¹, and Sunglae Cho^{1†}

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

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

[†]*Corresponding author's e-mail: slcho@ulsan.ac.kr*

Microcrystalline ferrites are used as a medium for the magnetic recording and storage of information.[1] Magnetite, Fe_3O_4 , is a ferrimagnet with a cubic inverse spinel structure and exhibits a metal-insulator, Verwey, transition at about 120 K.[2] It is predicted to possess as half-metallic nature, 100% spin polarization, and high Curie temperature (850 K). Cobalt ferrite, Co_3O_4 , is one of the most important member of the ferrite family, which is characterized by its high coercivity, moderate magnetization and very high magnetocrystalline anisotropy. The electrical and magnetic properties of bulk ferrites are found to be sensitive to grain size, grain structure, doping content, porosity and distribution of the metal cations among the lattice sites in the spinel structure.[3] Here we report on the magnetic and thermoelectric properties of $\text{Fe}_{3-x}\text{Co}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) thin films grown on MgO (100) substrate by MBE. XRD patterns confirmed the inverse spinel structure of the films. Magnetic properties of the $\text{Fe}_{3-x}\text{Co}_x\text{O}_4$ films are markedly sensitive to the Co concentration. The Verwey transition was disappeared in Co-doped films. The electrical resistivities of films increased with x ; 1.6 $\Omega\text{-cm}$ for $x = 1$. A transition in electrical resistivity at room temperature for $x = 1$ was suggested as a ferromagnetic to antiferromagnetic phase transition. A negative magnetoresistance with butterfly shape was observed with low Co content but disappeared for the samples with $x = 0.8$ and 1. Seebeck coefficients increased with Co concentration; -70 $\mu\text{V/K}$ for $x=0$ and -220 $\mu\text{V/K}$ for $x=1$. In this talk, we will also discuss on the relationship between magnetic and thermoelectric characteristics $\text{Fe}_{3-x}\text{Co}_x\text{O}_4$ ferrite films.

Keywords: Magnetic, oxide, thermoelectric, $\text{Fe}_{3-x}\text{Co}_x\text{O}_4$

References

- [1] Yu. A. Mirgoroda *et al.*, Russ. J. Phys. Chem. A **86**, 418 (2012).
- [2] D. Tripathy *et al.*, Appl. Phys. **101**, 013904 (2007).
- [3] A. V. Ramos *et al.*, Phys. Rev. B **75**, 224421 (2007).

The Characteristics on the metamorphosis of cell application for Transcranial Magnetic Stimulation

Whi-Young Kim^{*}

¹Department of Biomedical Engineering Dongju college University, 15-1 San,
Koijeng-dong, Saha-gu, Busan 602-715, Korea

1. Introduction

To supplement the various problems of transcranial magnetic stimulation, this thesis mainly employed the method for controlling the action time and changing the pulse repetition rate by the output pulse of transcranial magnetic stimulation for controlling the energy density. The pulse repetition rate was changed to design and produce transcranial magnetic stimulation of a delay time pair control method, which is more compact and economical than the previous power device in order to control the energy density. AVR one chip microprocessor was grafted to safely control the circuit operation. Transcranial magnetic stimulation was operated as a power device and control section, and research was carried out on the characteristics of motion and output of transcranial magnetic stimulation according to the current pulse waveform and the repetition rate of stimulation coil.

2. Materials and Methods

2-1. Research model

This study designed and produced transcranial magnetic stimulation using a delay time pair control method, which is simpler and more economical than the previous power device, to control the energy density by changing the pulse train repetition rate. Transcranial magnetic stimulation is generally formed of a charge/discharge device, control device, and stimulation coil. The power device was designed and produced to use a shift charge/discharge method to operate the stimulation coil, and the control section used an AVR-one chip microprocessor of the ATMEL Company to achieve stable system operation. To stimulate the nerves through a magnetic pulse, the electric field induced by the time varying magnetic field must be composed of a size that can stimulate nerves. An electric field composed of dozens of V/m must be induced in the neural area. To induce an electric field of such size, an electric field of 1~2 Tesla must be switched in a short period of time (200 μ Sec) in the shape of a stimulation coil and neural area in the epidermis.

2-2. Magnetic stimulation device of Recharge approach

The eddy current induced by time varying magnetic field employs an electrode within human body to produce the identical effect of a directly injecting current. The control and operation device of transcranial magnetic stimulation using a pair-control method is applied. The power circuit is composed of a main circuit and triggers an operation circuit. The main circuit is operated by dividing the pulse repetition rate designated by the condenser of each section. If the designated pulse repetition rate is 10 Hz, C1 and C2 operates using a 5Hz pulse repetition rate.

2-3. Behavioral test

A high-output can be gained as more energy is saved in the condenser due to the acquisition of a larger

charging time compared to the time gained during the operation of a single condenser. For economic feasibility, a commercial frequency condenser can be employed using the previous high-frequency condenser as the Pair-control charge/discharge method. Circuit operation complies with the motion order of the IGBT. First, energy charged in C1 is discharged as the stimulation coil when gates 2 and 3 are turned on, and C2 simultaneously begins charging. Next, the energy charged in C2 is discharged as the stimulation coil when gates 1 and 4 are turned on, and C1 simultaneously begins charging. This order is operated by controlling the gate signal of the IGBT. It is designed to process simultaneously the transcranial magnetic stimulation monitoring system required in total motion as well as the interlock with the surrounding components. The aim is to minimize the effect caused by the gate trigger pulse on the turn-off time of each IGBT. All gate trigger pulses with a sine wave form were converted to waveforms of a short pulse range by passing through the differentiating circuit to gain the maximum pulse repetition rate. The converted pulse was sufficiently amplified as the SCR gate operation current using Tr. Fig. shows each fMRI, PET-MR, FDG-PET rat brain template.

3. Results

The output was measured by varying the repetition rate Hz and simultaneously changing the constant circuit. The voltage presents the voltage charged in the condenser and does not refer to the ΔV inserted in energy transmission. An adjustment of Hz was achieved by installing an autonomously designed, produced keyboard in the control section and enabling the input of the desired Hz. Fig 3 the shows the various experimental methods. Fig 4 showing the coil of the magnetic stimulation devices that are designed and implemented. Experiment sets the charged voltage of C1 and C2 to 1000 V and the pulse repetition rate to 35Hz and presents the current waveform of the stimulation coil when there is no delay time. Indicating that simulates the process of forming the magnetic flux is in the YZ direction Experiment the current waveform of the stimulation coil during a 1,000V charged voltage to the condenser without a delay time and when the delay time is 100 μ s. The current and voltage were measured using a high-voltage probe (Probe X 6,000 V, Lecroy) and a Rogowski current waveform transducer (CWT, Penmuk). Fig. Induction of global ischemia through common carotid artery occlusion after induction of anesthesia. Fig. The stimulation pulses to 5~30 minutes discharge shows the change in the bacteria. The number of bacteria in the first 4.6 x 10⁵cfu/ml, are significantly reduced over time. Stimulation time to 20 minutes when the bacteria numbers were changed to 1.6 x 10⁵cfu/ml. Fig. output characteristics according to the superposition rate of transcranial magnetic stimulation. Fig. 10 the time evolution of the Transcranial Magnetic Stimulation output power at the conduction of the blocking capacitor of 1 μ F and input power of 330 W. Furthermore, although the output efficiency of the stimulation coil decreased with increasing pulse repetition rate, the output showed an increasing tendency.

4. Discussions

This study designed and produced a power device using a delay time pair control method to compare and examine the current waveform of the stimulation coil as well as the output characteristics of transcranial magnetic stimulation. In conclusion, the delay time pair control method was applied to a transcranial magnetic stimulation power device to replace the previous expensive high-frequency condenser with a commercial frequency condenser, which is inexpensive and commercially available, making the system more economical. More energy can be saved in the condenser to gain a high-output as a larger charge time can be acquired compared to the operation with a single condenser. When the charged voltage of condenser was increased in the range of 900V~1.2kV and the pulse repetition rate was increased by 25Hz in the range of 20~100Hz, the output efficiency of the transcranial

magnetic stimulation decreased with increasing pulse repetition rate. On the other hand, a regular output increase of 300W, 400W, 500W and 600W was observed with charged voltages of 900V, 1kV, 1.1kV and 1.2kV, respectively. As a result, we can obtain good changing characteristics of various bacteria by adjusting the charging voltage, the treatment pulse forming and the Magnetic field inducing time.

References

- [1] Walsh V, Pascual-Leone A.: Transcranial magnetic stimulation: a neurochronometrics of mind. Cambridge, MA: MIT Press: 2005.
- [2] Sun-Seob Choi, et al.: Transcranial Magnetic Stimulation with Applied Multistep Direct Current Grafting, Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications, 2013: 1350032,1-6.

펄스자기장 자극에 따른 경락 진단 가능 평가

Effect of Pulsed Magnetic Field Stimulation on Diagnosis of Meridian System

신연섭*, 정유한, 황도근, 이현숙
상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과

1. 서론

경락진단기는 인체를 에너지 기능적 관점에서 바라보는 동양의학의 경락체계와 장부론의 전통을 이어받아 인체의 물질적 실체인 기관-조직의 기능을 측정하여 이로부터 인체의 건강상태를 진단하는 것으로 경혈점에 8~10 μ A의 미소전류와 압력을 인가하면서 이에 반응하는 경혈의 전기적 응답을 측정하여 이 경혈과 연결된 기관-조직의 기능을 측정하는 원리이다.

경락 자극은 질병과 고통을 자연의 치유능력에 맞추어 조율해주고 복원시켜주는 보완, 대체 요법의 하나로 알려져 있다. 수월음심포경락은 모든 경맥들 중 기본이 되는 십이경맥의 하나로 심장과 관련된 혈자리로 순환기와 신경계통의 질환에 효능이 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 비침습적인 방법으로 심부까지 자극할 수 있는 강한 펄스 자기장을 손바닥 중앙 부근의 노궁혈에 자극하여 피실험자의 경락기능 측정을 통해 펄스 자기장 자극이 인체의 경락 순환시스템에 미치는 영향을 정량적 평가를 통해 조사하고자 한다.

2. 실험방법

펄스 자기장 자극에 따른 경락진단 효과를 관찰하기 위하여 피실험자가 30분 이상의 충분한 휴식을 통해 안정을 취한 후 수월음심포경락을 따라 오른팔에 대표측정점인 경혈점 5개(중충, 노궁, 대릉, 내관 극문)를 표시한다 (그림 1). 정확한 실험 결과를 위해 외부자극에 영향을 받지 않도록 매일 일정한 시간에 차폐실험실에서 14일간 실험을 하였다. 측정 장비는 메리디안사의 경락진단기 ABR2000로 펄스 자기장 자극 전과 후에 5개의 경혈점에서의 MAX/ID값을 측정하여 비교 분석하였다. 이 때 MAX는 측정시 최대를 올라가는 값으로 세포조직이 전자를 빼앗기 시작한 직후에 최대를 보충하는 능력을 나타내는 초기 반응력으로 세포의 허실을 측정한다. 측정값이 45-58사이이면 정상적인 생리적 반응상태이고 이 값보다 클 경우는 세포조직이 민감해져서 염증의 단계, 50이하의 경우에는 세포조직의 퇴화 단계로 볼 수 있다. 하강지수(ID:Indicator drop)는 일정 시간이 지난 뒤 전자를 뺏은 비율과 세포조직이 전자를 보충하는 비율이 일정하게 되어 더 이상 변하지 않게 되는 세포의 현재상태의 유지 능력을 나타내는 것으로 세포방어능력을 의미한다. MAX 값은 정해진 평균치에 유지할수록 ID의 값은 0에 가까울수록 장기의 기능이 원활하고 건강하다고 판단 내리게 된다.

3. 실험결과

그림 2는 펄스 자기장 자극 전과 10분간 오른손 바닥의 노궁혈에 자극을 가한 후 중충에서 측정한 MAX/ID 값을 비교한 데이터이다. MAX값을 보면 자극 전 초기에는 정상적인 생리반응상태인 45-58사이를 벗어나 있으며 자극 후는 정상 범위 안에 있음을 볼 수 있다. 하지만 매일 자기장 자극을 가함으로서 MAX값이 정상범위로 수렴하고 있음을 볼 수 있으며 이를 통해 인체내 세포조직의 정상화가 일어나고 있다고 판단할 수 있다. 또한 ID값도 초기엔 5-10이었으나 자기장 자극을 매일 가한 후 자극 전후 모두에서 0으로 접근하고 있음을 보여준다. 그림3도 오른손 바닥의 노궁혈에 자극을 가한 후 대릉에서 측정한 값으로 중충에서 보여준 것과 거의 동일

한 현상을 보여준다.

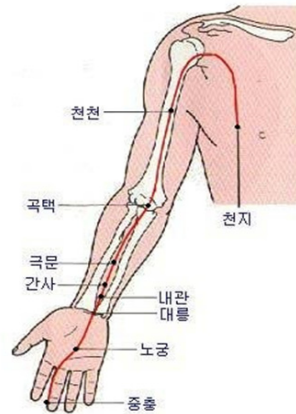


그림 1. 수혈음심포경락 시스템

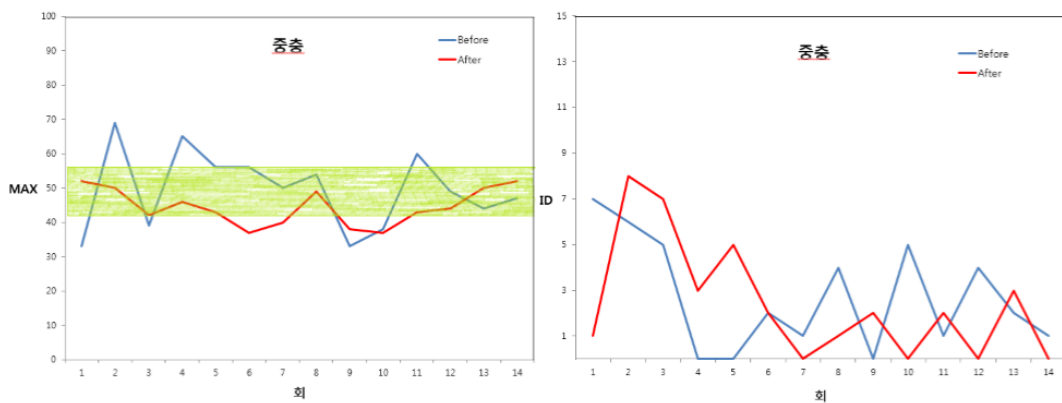


그림 2. 중충에서 측정된 MAX/ID 데이터. 초록색 범위는 정상범위를 나타낸다.

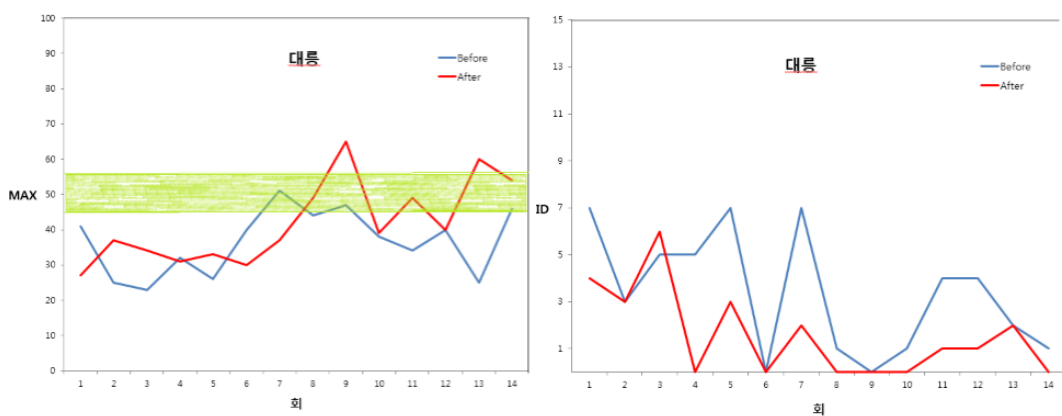


그림 3. 대릉에서 측정된 MAX/ID 데이터. 초록색 범위는 정상범위를 나타낸다.

4. 고찰 및 결론

본 연구는 비침습적인 방법인 강한 펄스 자기장을 이용하여 손바닥 중앙 부근의 노궁혈을 자극하여 순환기와 신경계통의 질환과 관련 있는 수혈음심포경락의 대표측정점에서 경락기능 상태를 정량적으로 측정함으로

서 펄스자기장 자극이 인체의 경락 순환시스템에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 중충과 대릉 경혈점에서 측정된 MAX/ID 값을 통해 매일 자기장 자극을 일정하게 가하면 인체내 세포조직의 활동력이 증가하고 있다고 해석할 수 있다. 본 연구를 한의학적 경락진단 방법으로 활용하기 위해선 해당질환을 가진 대상자에 대해 다양한 추가 실험을 해야 할 필요뿐만 아니라 펄스자기장 자극 노출 시간과 자기장 세기의 변화 시켰을 때에 대한 추가적인 연구가 더 필요 하다고 본다.

5. 참고문헌

- [1] H. Motoyama *J. Holistic. Med.* vol.8 16-26(1986).
- [2] R. Voll, *Am J Acupuncture*, 3(1), 7-17(1975).
- [3] 한국한의학연구소, 한방진단기기를 이용한 진단에 관한 연구, 1995.

Key words: Pulse magnetic field, 경락, 경혈점

Signal Detection by Using GMR-SV Biosensor for the Magnetic μ -Beads Attached to Red Blood Cell

Jae-Yeon Lee, Moon-Jong Kim, Purevdorj Khajidmaa, Munkhbat Bolormaa, Sang-Suk Lee*

Dept. of Oriental Biomedical Engineering Sangji University, Wonju, Korea

The magnetic properties for the glass/Ta(5 nm)/NiFe(10 nm)/Cu(2.5 nm)/NiFe(5 nm)/FeMn(10 nm)/Ta(5 nm) multilayer structure-type GMR-SV(giantmagneto-resistance-spin valve) film deposited by dc magnetron sputtering system have a magnetoresistance ratio(MR) of 4.5% and a magnetic sensitivity(MS) of 2.4 %/Oe. In order to analyze the magnetic output signal of several magnetic μ -beads attached to RBC(red blood cell), GMR-SV biosensor having a width of 2 μm ~ 10 μm was fabricated by the light lithography process. The magnitude of output signal for several magnetic beads with a diameter of 1 μm attached to RBCs dropped upon the GMR-SV device is appeared 0.25 mV around of 0 Oe. It implies that the GMR-SV biosensor can analyze the coupling force between hemoglobin and magnetic beads and the feature changes of RBC.

제조된 GMR-SV 센서는 1 μm 두께의 보호층 SiO_2 을 전극을 제외한 부분에 코팅을 하여 액체성 물질이 소자를 덮어도 전류 누설이 발생하지 않도록 하였다. MEMS(Micro Electro Mechanical System) 공정으로 PDMS(polydimethylsiloxane)를 조형한 수 μm 폭의 채널을 소자 위에 고정시킨다. Fig. 1의 측정시스템 개략도에서 보여 주듯이 미세 자성비드와 결합한 적혈구는 PDMS의 마이크로 채널을 따라 흘러서 GMR-SV 소자의 중심을 지나면서 자기장을 띤 자성비드가 발생 시킨 출력 신호에 의해 검출된다. 본 연구에서는 MEMS 공정으로 제작한 마이크로 채널에 적혈구를 흘려보내는 전단계의 연구결과이다. GMR-SV위에 식염수에 담긴 자성비드와 적혈구를 떨어 뜨려 5×5 mm²내의 66개 소자 중 어느 한 개의 소자 중심부에 놓여진 적혈구를 광학현미경으로 찾아 자기저항의 출력 신호 변화를 관찰하였다.

일반적으로 직경 1 μm 크기인 자성비드의 자화상태는 초상자성 상태이기 때문에 자기장이 없으면 수초 내에 다시 영(zero)인 자화상태로 되돌아간다. 수십 개의 자성비드가 결합된 적혈구의 자화상태를 높이기 위해 3 kOe의 네오뮴 영구자석 위에 5 시간 동안 보관한 후 실험하였다. 66개 소자 위에 떨어뜨린 자성비드가 붙은 적혈구 하나가 GMR-SV 소자 바로 위에 머무른 모양을 광학현미경으로 관찰한 사진을 Fig. 2(a)에 나타내었다. 즉, Fig. 2(b)처럼 여러 개의 자성비드가 붙은 적혈구는 임의의 방향으로 식염수 액체 안에서 움직이게 된다. 그러다가 Fig. 2(a) 처럼 Cu 전극 사이에 있는 소자의 중심부와 일치하는 곳에 머무를 수 있게 된다.

자성비드가 붙은 적혈구가 GMR-SV 소자 위에 놓여 있는 것을 광학현미경으로 확인하였다. Fig. 3(a) 처럼 상하와 좌우의 미세조절이 가능한 스테이지 위에 설치된 마이크로 탐침을 미세 조절하였다. 즉, 자성비드가 붙은 적혈구가 목표로 설정한 GMR-SV 소자를 잇는 전극과 전극 사이에 접촉되었다. 자성비드와 붙은 적혈구

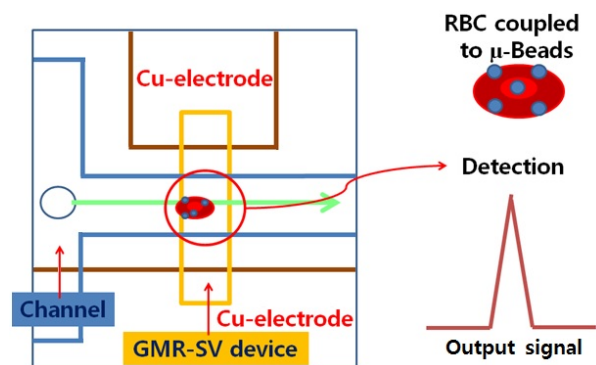


Fig. 1. Schematic for the detection system of output signal of red blood cell(RBC) combined with μ -beads which is passed through micro channel positioned in the GMR-SV device between two Cu electrodes.

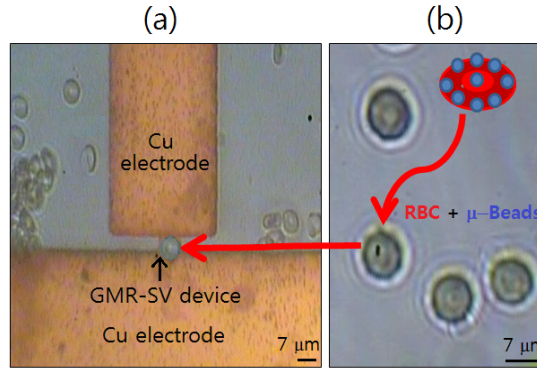


Fig. 2. (a) Photograph for one red blood cell(RBC) combined with magnetic bead(MB) put on the center of GMR-SV device. (b) Photograph for RBCs+MBs inside of saline liquid before dropping upon on GMR-SV.

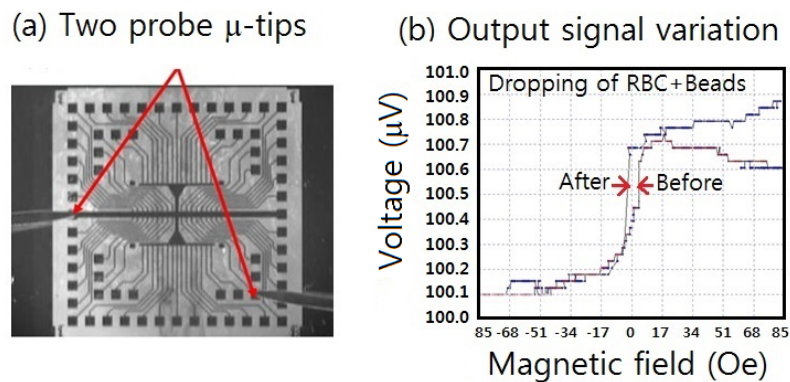


Fig. 3. (a) The minor magnetoresistive curves measurement stage by 2-probe needles composed of micro adjustable stages for the micro-patterned GMR-SV 66 devices with the perpendicular direction of the axis sensing current. (b) Comparison output signals of several magnetic beads dropping; minor loops of before and after RBCs combined with magnetic beads dropping on GMR-SV device.

의 떨어뜨린 전과 후의 MR곡선의 minor loop를 측정하여 자기저항의 출력신호 특성을 조사하였다. 패터닝 전 GMR-SV 박막의 minor loop인 Fig. 1(b)에서 자기저항비는 Fig. 3(b)의 패터닝 후 GMR-SV 소자의 것과 비교할 때 4.5%에서 약 1.0%으로 감소하였다. 패터닝 전 후의 GMR-SV 박막과 소자의 두께와 너비를 고려한 금속의 비저항을 적용해 보았을 때, 약 $18.7 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 의 값으로 거의 비슷한 값을 유지하였다.

GMR-SV 소자는 Fig. 3(b)의 minor MR loop에서 알 수 있듯이 자성비드가 붙은 적혈구가 떨어지기 전 완전한 자장감응도가 $0.2 \text{ \%}/\text{Oe}$ 인 자기저항곡선을 나타내었으며 교환결합력은 거의 $+6.0 \text{ Oe}$ 근방의 값을 보여주었다. GMR-SV 소자의 저항은 Fig. 3(b)에서 보여주듯이 자성비드가 결합된 RBC를 떨어뜨린 자성비드에 반응하여 증가하였으며 -3.0 Oe 부근에서 약 0.15%의 차이를 갖는 자기저항비를 나타내었다. 여기서 자성비드는 Fig. 2(a)와 같이 GMR-SV 소자에 놓여지면서 인가된 자기장에 따라 Fig. 3(b)처럼 변화하였다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 교육과학기술부 한국연구재단과 상지대학교 교내연구비의 연구결과이다.

인공위성용 탐지코일 마그네토미터 개발에 관한 연구

정다혜*, 조영훈, 손대락

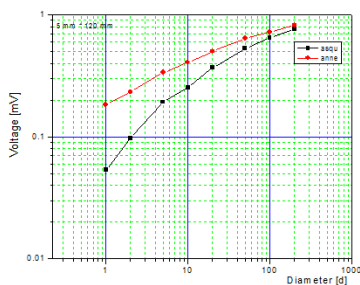
한남대학교 광.전자물리학과 대전광역시 대덕구 한남로 70

1. 서론

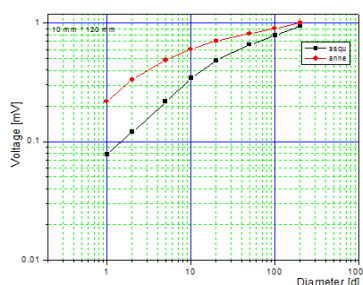
탐지코일 마그네토미터는 고감도의 교류자기장 측정용으로 많이 사용되어 왔다. 탐지코일 마그네토미터 (search coil magnetometer) 는 Faraday의 전자기유도 법칙을 이용하여 저자기장을 측정하는 센서로써 피 측정 자기장이 직류인 경우 탐지코일을 회전시켜서 탐지코일에 유도되는 기전력을 이용하여 자기장을 측정하는 방법과 피 측정 자기장이 교류 자기장일 경우 코일에 유도되는 기전력을 증폭기로 증폭하여 자기장을 측정하는 방법이 있다. 이 기술은 지구 자기장 및 그 변화의 측정과 태양에 의한 자기폭풍의 측정 등 많은 다양한 분야에서 사용되고 있다. 본 연구에서는 인공위성에 사용되기 위하여 마그네토미터의 질량을 최소화하기 위한 최적의 설계를 위하여 시편의 단면적과 길이에 따라서 발생할 수 있는 demagnetizing factor를 고려한 실험을 하였다.

2. 실험방법 및 결과

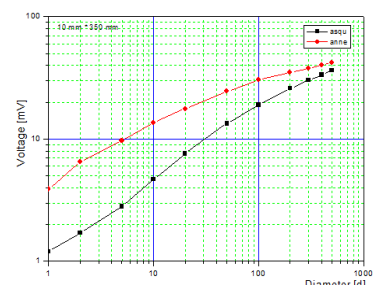
실험에 사용한 코어의 재료는 두께가 22 μm 인 Metglass 2705M Co-계 비정질 리본을 사용하였으며 투자율 변화를 측정하기 위해 열처리하지 않은 코어와 350 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 열처리한 코어를 사용하였다. 탐지코일의 감도를 측정하기 위하여 코일상수가 $6.28 \times 10^{-4} \text{ T/A}$ 인 솔레노이드에 1 kHz, 0.4 mA의 전류를 인가하여 자기장이 $2.5 \times 10^{-7} \text{ T}$ 가 되게 하고 1062회 권선이 감긴 보빈 안에 코어 두께를 변화시켜가면서 보빈에서 유도전압을 계측 증폭기를 사용하여 100배 증폭시켰다. 코어의 길이 대비 두께의 변화에 따른 센서의 감도를 얻기 위하여 시편을 1장에서 500장까지 쌓아가면서 측정을 하였다. 그림 1은 3가지의 종류의 시편 즉 길이가 120 mm이고 폭이 각각 5 mm와 10 mm인 시편과 길이가 350 mm이고 폭이 10 mm인 시편에 대하여 열처리한 경우와 하지 않은 경우에 대한 기전력의 차이를 보여주고 있다. 길이가 120 mm인 경우 열처리를 한 시편의 경우 시편을 100장정도 쌓았을 때 폭이 10 mm인 경우 폭이 5 mm인 경우보다 20 % 정도 크게 측정되었다. 따라서 10 mm 인 경우 5 mm일 때보다 질량이 2배가 증가하는데 신호는 20 % 밖에 증가하지 않기 때문에 시편의 폭을 10 mm 하는 것은 큰 의미가 없었다. 열처리 효과는 50매에서는 10 % 이상 또한 100매 이상인 경우 열처리 효과가 5 % 이하로 크지 않았다. 한편 폭이 10 mm 길이가 350 mm인 시편의 경우 시편의 길이가 120 mm인 시편에 대하여 길이는 3배 증가하였으나 출력전압은 100매인 경우 0.9 mV에서 30 mV로 33배 증가하였다. 따라서 감도를 향상시키기 위해서는 코어의 길이를 증가시키는 것이 가장 효율적이지만 인공위성의 특성상 한계가



(a) 5 mm × 120 mm



(b) 10 mm × 120 mm



(c) 10 mm × 350 mm

그림 1. 시편의 두께와 길이에 따른 탐지코일의 기전력 변화

있어 대부분 현재 운용중인 탐지코일 마그네토미터의 코어길이가 120~150 mm정도인 것으로 조사되었다 [1,2]. 따라서 폭이 5 mm이고 길이가 120 mm인 코어를 50매 정도로 하여 여러 개의 코어에 코일을 권선하여 직렬로 연결하여 사용하는 것이 효율적인 것으로 생각된다.

3. 결론

본 연구에서는 인공위성에 사용된 탐지코일 마그네토미터를 개발하기 위하여 질량을 최소화하기 위한 코어의 설계에 관한 연구를 수행하였다. 코어는 주파수특성이 우수하고 자기변형상수가 영인 Co-계열의 비정질 리본인 Metglass 2705M을 사용하였으며 두께는 리본을 한 장에서 500장까지 쌓아가면서 탐지코일 마그네토미터의 기전력을 측정하였다. 100장 이상 쌓았을 경우는 열처리 효과가 5 % 이하였고 길이가 120 mm인 경우 폭을 5 mm에서 10 mm 2배로 증가하여도 감도는 20 % 밖에 증가하지 않았다.

4. 참고문헌

- [1] Study on the ac magnetic field sensor based on the multi-layered thick magnetic film (1997)
- [2] 차동형 탐지코일 마그네토미터 제작, 한국자기학회지, pp.178-181 (2010)

Tendon의 인장응력에 따른 자기이력곡선 특성의 측정

강선주^{1*}, 조창빈², 이정우², 손대락¹

¹한남대학교 광·센서공학과 대전광역시 대덕구 한남로 70

²한국건설기술연구원 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283

1. 서론

본 연구는 교량에 사용되고 있는 tendon의 인장응력을 측정하는 기술로, 교량의 안전을 진단하는 매우 중요한 기술이다. 이를 위하여 tendon내에 광섬유를 넣어 간접계를 이용하여 측정하는 방법이나 EM(Electro Magnetic) 방법 등이 사용되고 있다.[1,2]

본 연구에서는 현재 EM방법으로 널리 사용되고 있는 투자율 측정방법보다 인장응력에 따른 최대 자속밀도의 변화를 측정하는 방법에 대하여 연구 하였다. 직경이 15.2 mm의 7개의 strand로 구성된 tendon을 2.0 GPa까지 인장 응력을 인가 할 수 있는 자기이력곡선 측정 장치를 제작하고, 교량에 사용되고 있는 tendon에 대하여 인장응력에 따른 자기이력곡선을 측정하고 분석을 하였다.

2. 자기이력곡선 측정 장치의 제작

제작된 자기이력곡선의 측정 장치는 그림 1과 같이 길이가 50 cm인 double yoke를 사용하였고, 1차코일 N_1 은 3561회, 2차코일 N_2 는 906회 권선을 하였다. 시편에 인장응력을 인가하기 위하여 수동 유압장치를 사용하여 30,000 kgf 까지 줄 수 있게 하였고 힘의 측정은 50 ton 짜리 load cell을 사용하였다. 일차 코일을 자화시키기 위한 삼각파형의 합성은 waveform synthesizer를 사용하며 PC에서 LabVIEW로 제작되는 S/W에 의하여 자화주파수와 진폭을 설정하였다. 자화력 H 를 측정하기 위한 1차 코일의 전류는 shunt 저항 R_s 양단에 인가된 전압으로부터 계산을 하며 자속밀도 B 의 측정은 2차 코일에 유도된 기전력을 상호유도기를 거쳐서 공기자속을 보상한 다음 자속계(flux meter)를 사용 적분을 하여 자속을 구한 다음 DAQ를 통하여 데이터를 컴퓨터로 가져와서 단면적과 코일 권선수를 나눈 후 B 를 계산하였다.

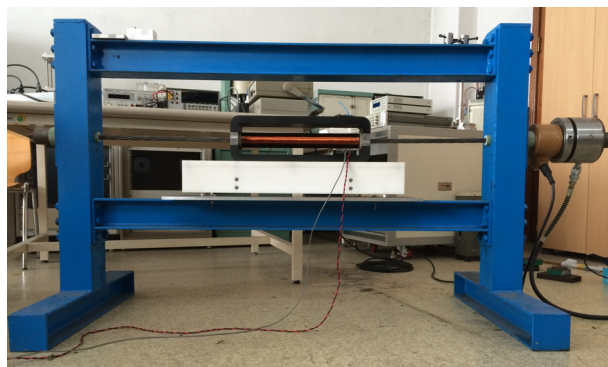


그림 1. 본 연구에서 수행 될 자기이력곡선 측정 장치

3. 인장 변형력에 따른 Tendon의 B-H loop측정

그림 2는 K회사의 tendon을 인장응력 0 ~ 2 GPa까지 인가하면서 B-H loop를 측정한 결과이다. 그림 2에서 보면 인장응력에 따른 incremental permeability의 변화보다는 differential permeability의 변화가 크고, 특정 자화력 H 에서 자속 밀도의 변화가 큼을 알 수 있다. 자성체가 특정 자화력에서 인장응력에 따른 최대 자속밀도의 변화를

이용하여 인장응력을 측정하는 센서[4]의 원리와 같이 최대 자속밀도를 측정하면 인장력을 측정 할 수 있음을 알 수 있다. 그림 3은 최대 자화력이 2,000 A/m에서 인장력에 따른 자기이력곡선을 측정한 결과이고, 그림 4는 인장력에 따른 최대 자속밀도를 그린 것으로 tendon의 인장력 측정에 활용 될 수 있음을 보여주고 있다.

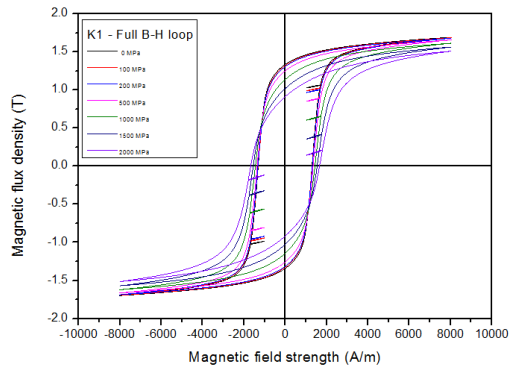


그림 2. 인장응력에 따른 자기이력곡선의 변화

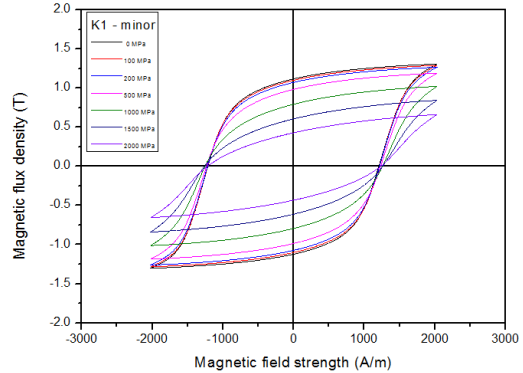


그림 3. 최대 자화력이 2,000 A/m일 때 인장응력에 따른 자기이력곡선의 변화

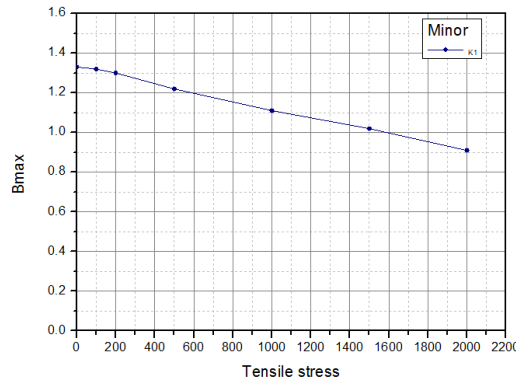


그림 4. 최대 자화력 2,000 A/m에서 인장응력에 따른 최대 자속 밀도의 변화

4. 결론

본 연구에서는 교량에 부착되어 있는 tendon의 장력을 측정하기 위한 기초 연구로, tendon의 장력에 의한 자기이력 특성변화를 관찰하기 위하여 직경 15.2 mm의 7-strand tendon에 대하여 인장력을 0~2 GPa 까지 인가 할 수 있는 자기이력곡선 측정 장치를 제작하였다. 제작 된 측정 장치를 이용하여 시판되고 있는 tendon에 대하여 그 특성을 조사하여 본 결과 인장응력에 따른 최대자속밀도의 변화를 측정하면 tendon의 인장력을 측정하는 방법으로 적용 가능성을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] A.Jarosevic, "Magnetoelastic method of stress measurement in steel."
- [2] Fernandes, B., Wade J.D., Nims, D, K, and Devabhaktuni V.K., "A New Magnetic sensor Concept for Nondestructive Evaluation of Deteriorated Prestressing Strand", Research in Nondestructive Evaluation, Vol. 23, No 1, 2012.
- [3] "Tendon의 Villari효과 특성 측정에 관한 연구", 한국자기학회지, p.110~111
- [4] D.son and J.Sievert, "Force Sensor Making Use of Changes in the Maximum Induction of an Amorphous Alloy, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 26, No. 5, September 1990

Effects of the Ar pressure on the magnetic and magnetocaloric properties of sputtered Er-Co thin films

Miri Kim^{1*}, Myung-Hwa Jung², Chung Man Kim², and Sang Ho Lim¹

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

²Department of Physics, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

³Department of Materials Science Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

Due to its eco-friendly characteristics and high cooling efficiency, the magnetic refrigeration utilizing the magnetocaloric effect has attracted a lot of research interests.^{1,2} This study deals with the change in the magnetic and magnetocaloric properties of Er-Co thin films as a function of the Ar pressure during sputtering. The thin films with the structure of Ta/Er-Co/Ta were fabricated on a Si/SiO₂ substrate by using a DC magnetron sputtering system. The sputtering conditions were fixed, except for the Ar pressure which was varied widely from 2 to 10 mTorr in steps of 2 mTorr. The amount of Co, relative to Er, decreases with increasing Ar pressure and the specific compositions are as follows: ErCo_{1.07}, ErCo_{1.04}, ErCo_{1.00}, ErCo_{0.96}, ErCo_{0.93}. All the samples show a good magnetic softness, which can be expected from the amorphous phase in the as-deposited state. The magnetization-temperature curves indicate a typical ferrimagnetic behavior, with the compensation temperature ranging from 83 to 185 K. Considering a small change in composition, this large change in the compensation temperature is unexpected. One possibility can be a large difference in the amorphous structure (such as short-range ordering) depending on the Ar pressure. The results for the temperature dependence of $-\Delta S_M$ (magnetic entropy change) are shown in Fig. 1. A broad maximum is observed in all the samples. Both the maximum temperature and the absolute value of ΔS_M increase monotonically with increasing Ar pressure.

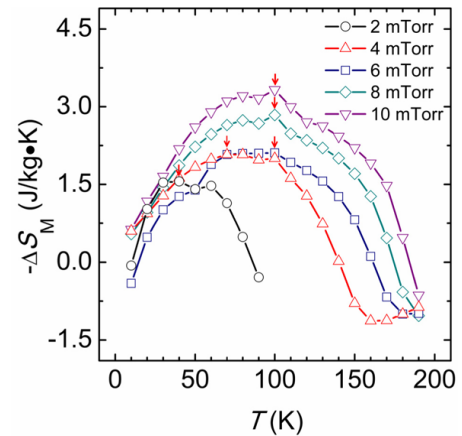


Fig. 1. Temperature dependence of $-\Delta S_M$ under a magnetic field change of 70 kOe for the samples fabricated at different Ar pressures during sputtering.

This research was supported by the Converging Research Center Program through the Ministry of Science, ICT and Future Planning, Korea (2013K000418)

References

- [1] V. K. Pecharsky and K. A. Gschneidner, International Journal of Refrigeration 20, 1239 (2006)
- [2] A. M. Tishin and Y. I. Spichkin, International Journal of Refrigeration 37, 223 (2014)

Substrate Effect on Magnetothermoelectricity of CoFeB/Pt Heterostructures

Kyeong-Dong Lee^{1*}, Dong-Jun Kim¹, Byong-Guk Park¹, Jong-Ryul Jeong², Hyon-Seok Song^{3,4}, Jeong-Woo Sohn³, and Sung-Chul Shin^{3,4}

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

²*Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea*

³*Department of Physics and CNSM, KAIST, Daejeon, 305-701, Korea*

⁴*Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu, 711-873, Korea*

1. Introduction

Magnetothermoelectric effect has gained a growing attention in accordance to the importance of energy-harvesting technology. The interplay of spin, electron, and phonon under thermal gradient is still under active exploration, and the origin of magnetothermoelectric effect in ferromagnet/nonmagnet metal system is still under debate. Interestingly, recent reports showed that magnetothermoelectric effect in Py, Py/Pt, and CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junction was dependent on the substrate like glass, Al₂O₃, MgO, GaAs, and Si/SiO₂ due to the effect of thermal conductivity mismatch [1], acoustic pumping [2], in-plane/out-of-plane temperature gradient [3], and capacitive coupling [4]. Hence, it is interesting to study these effects in a different ferromagnet/nonmagnet metal system of CoFeB/Pt heterostructures.

2. Experimental method

For this study, Co₃₂Fe₄₈B₂₀ (CFB) and Pt were deposited on glass, Al₂O₃, MgO, and Si/SiO₂ substrates, and then patterned into a stripe structure with 0.1-mm width by optical lithography for electrical detection. Thermoelectric voltages induced by different local heating positions were measured perpendicularly to both magnetization and thermal gradient in sweeping magnetic field. Laser power, wavelength, and its spot size are 27 mW, 532 nm, and ~5 μm, respectively. Figure 1(a) shows the schematic diagram of the experimental configuration.

3. Result and discussion

Figures 1(b), (c), and (d) show the thermoelectric voltage after subtracting the offset, when the laser heating position is left, center, and right from the center of the stripe. All show changes of thermoelectric voltage upon reversal of the magnetization. As shown in Fig. 1(c), the different level of the thermoelectric signal among different substrates were observed possibly due to the thermal conductivity mismatch. Magnetothermoelectric voltage was found to be observed even when only the substrate was directly heated. Intriguingly, sign conversion of voltage curve between center and left/right heating was witnessed in case of Si/SiO₂ substrate.

4. References

- [1] S.Y. Huang, W.G. Wang, D. Qu, S.F. Lee, J. Kwo, and C.L. Chien, 2012 Int. Electron Devices Meet. 11.2.1 (2012).

- [2] K. Uchida, T. Ota, H. Adachi, J. Xiao, T. Nonaka, Y. Kajiwara, G.E.W. Bauer, S. Maekawa, and E. Saitoh, J. Appl. Phys. **111**, 103903 (2012).
- [3] M. Schmid, S. Srichandan, D. Meier, T. Kuschel, J.-M. Schmalhorst, M. Vogel, G. Reiss, C. Strunk, and C.H. Back, Phys. Rev. Lett. **111**, 187201 (2013).
- [4] A. Boehnke, M. Walter, N. Roschewsky, T. Eggebrecht, V. Drewello, K. Rott, M. Münzenberg, and A. Thomas, Rev. Sci. Instruments **84**, 063905 (2013).

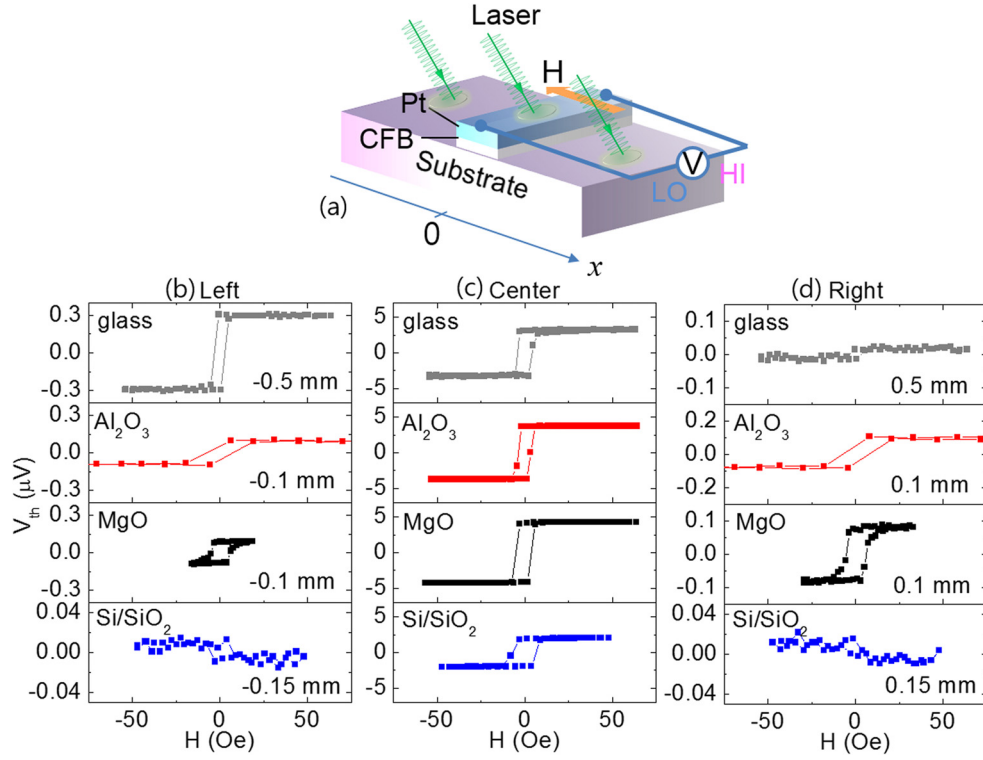


Fig. 1. (a) Schematic diagram of the experimental configuration. (b)-(d) Magnetothermoelectric voltage of CoFeB/Pt, when the laser spot positioned at (b) left, (c) center, and (d) right of the stripe structure.

Magneto-transport and thermoelectric properties of MBE-grown MnP films on GaAs (100)

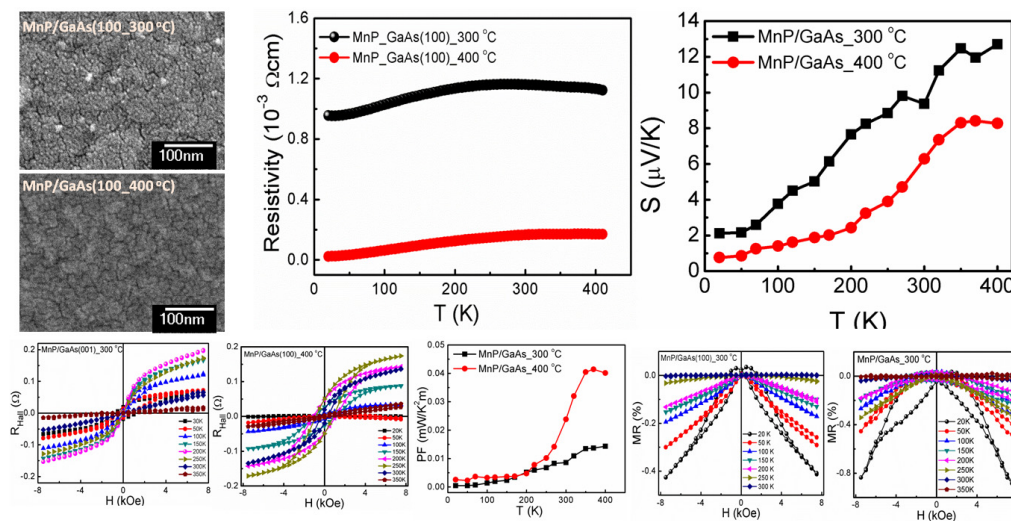
Duong Anh Tuan^{*}, Yooleemi Shin, Nguyen Van Quang, Nguyen T.M. Hai, and Sunglae Cho

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

MnP single crystal has been known as strong magnetic anisotropy material with helical magnetic order below 47K and ferromagnetic order between 47K and 291.5K [1, 2]. The MnP crystallographic structure is orthorhombic, with lattice constants of $a=5.916\text{\AA}$, $b=5.260\text{\AA}$, and $c=3.173\text{\AA}$, which is distorted from the NiAs-type hexagonal crystal structure [3]. In this work, we report on anomalous Hall effect and thermoelectric properties of MnP thin films grown at 300 and 400 °C on GaAs (001) substrate by using MBE. Orthorhombic structure of MnP films were observed by X-ray diffraction measurement in both films. Scanning electron microscopy measurements showed that the surface morphology of MnP film grown at 400 °C was smoother than that grown at 300 °C. Anomalous Hall effect was observed in both films. However, the hysteresis trend in Hall resistance vs. magnetic field of MnP film grown at 400 °C is stronger than that of MnP film grown at 300 °C. The metallic behavior was observed in temperature dependent electrical resistivity. Thermoelectric power factor (PF) that was calculated from seeback coefficient and resistivity by formula $PF = S^2/P$ (where S: seeback coefficient and P: resistivity). A negative magnetoresistance of MnP films indicated a ferro/ferri-magnetic ordering in both MnP thin films.

References

- [1] E.E. Huber, D.H. Ridgley, Phys. Rev. **135**, A1033 (1964).
- [2] J. Okabayashi *et al.*, Phys. Rev. B. **69**, 132411 (2004).
- [3] J. Choi *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **304**, e112 (2006).



CoFe_{1.5}Al_{0.5}O₄ 물질의 결정학적 및 자기적 특성 연구

명보라*, 김삼진, 임정태, 김철성

국민대학교 물리학과, 서울 성북구 정릉로 77, 136-702

1. 서론

산업의 정보가 빠르게 진행됨에 따라 급변하는 정보의 기록 및 재생 분야는 고밀도 정보 기록, 저장 가능한 대체 물질과 빠르게 정보를 읽을 수 있는 정보 재생 능력이 요구되고 있다.[1] 고밀도 정보저장 물질 중 자성물질로써 ferrite는 고밀도 자성을 만족하는데, 자기헤드, 마이크로 소자 및 자기기록 매체 등으로 널리 활용되고 있으며, 그 중 Co-ferrite 분말은 준강자성 물질로써 높은 보자력과 적당한 크기의 포화자화를 가져 고밀도 정보 저장용 기록매체의 사용에 필요한 모든 자기적 특성을 지니고 있다. 본 연구에서는 Co-ferrite에 Al를 치환한 CoFe_{1.5}Al_{0.5}O₄ 물질을 sol-gel 법으로 제조하여 결정학적 및 자기적 성질을 연구하였다.

2. 실험방법과 결과

CoFe_{1.5}Al_{0.5}O₄ 물질은 99 % 이상의 고순도 Co Acetate[Co(CH₃CO₂)₂·4H₂O], Al Nitrate[Al(NO₃)₃·9H₂O]와 Fe Nitrate[Fe(NO₃)₃·9H₂O]의 시약을 이용하여 sol-gel 법으로 제조되었다. 시료는 x-선 회절기, 시료진동 자화율 측정기(VSM) 및 Mössbauer 분광기를 이용하여 물질의 결정구조 및 자기적 성질을 연구하였다. x-선 분석결과 회절각 및 산란강도를 바탕으로 분석한 결과 시료 CoFe_{1.5}Al_{0.5}O₄ 물질은 역-스피넬 구조임을 밝혀냈다. 시료 CoFe_{1.5}Al_{0.5}O₄의 격자상수값은 8.3392 Å의 결과값을 얻었다. 시료에 대한 VSM의 측정 결과, 보자력은 $H_c = 95.1$ Oe, 포화자화값은 $M_s = 51.5$ emu/g으로 분석되었다. Néel온도 T_N 는 610 K로 결정되었으며, 상온에서의 이성질체 이동치는 A자리 0.25, B 자리의 경우 0.36 mm/s로 나타났다.

3. 고찰

CoFe_{1.5}Al_{0.5}O₄의 x-선 회절기 실험 결과, Al이 치환됨에 따라 격자상수값이 감소함을 확인하였다. 이는 Fe³⁺ 이온 반경이 0.64 Å이고 Al³⁺ 이온 반경이 0.51Å으로 두 이온의 이온반경 차이 때문인 것으로 해석된다.

4. 결론

CoFe_{1.5}Al_{0.5}O₄ 물질을 sol-gel 법으로 제조하였다. x-선 회절기 실험결과로써, 두 물질 모두 역-스피넬 구조임을 확인하였다. 뫼스바우어 분석 결과 이성질체 이동치를 확인한 결과 Fe³⁺임을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

[1] G. K. Tompson and B. J. Evans, J. Appl. Phys. **73**, 6295 (1993).

BaCo_{1.25}Zn_{0.75}Fe₁₆O₂₇의 뢰스바우어 분광 연구

김현규*, 김영일, 김재환, 신승준, 지민정, 현정민, 임정태, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

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

2. 실험방법

BaCo_{1.25}Zn_{0.75}Fe₁₆O₂₇ 조성을 갖는 W-type hexaferrite 분말 시료를 직접합성법으로 제조하였다. Fe₂O₃ (99.42%), BaCO₃ (98%), ZnO (99.8%), and Co₃O₄ (99%)을 출발 물질로 사용 하여, 이를 혼합, 볼밀을 이용 습식 분쇄하였다. 1000 °C에서 heat treatment 과정을 거친 후 1275 °C를 최종 하소온도로 하여 BaCo_{1.25}Zn_{0.75}Fe₁₆O₂₇ 시료를 제조하였다. Cu-K α 선을 이용하는 x-선 회절 실험 (XRD)을 통하여 시료의 결정학적 특성을 측정하였고, Rietveld 정련법을 이용한 full prof 프로그램을 통해 격자 상수를 분석하였다. 진동 시료 자화율 (VSM) 실험을 통하여 상온에서의 거시적 자화 특성과 4.2 K부터 상온까지의 온도별 자화특성 변화를 측정하였다. 또한 뢰스바우어 분광 실험을 이용, Zn가 Co자리에 0.75 몰 치환된 Co₂W의 미시적인 자기적 특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

직접합성법으로 제조된 BaCo_{1.25}Zn_{0.75}Fe₁₆O₂₇ 시료의 XRD 분석 결과 단일상임을 확인하였다. 거시적인 자기적 특성을 측정하기 위해 VSM 실험을 실시하여 자기이력 곡선을 얻었고, 이의 포화 자화와 보자력 값을 얻었다. 시료의 초미세 상호작용을 확인하기 위해 뢰스바우어 분광 실험을 실시하였다. 7 개의 Fe 결정학적 부격자는 5개의 자기적 부격자(4f_{VI}, 6g+4f_{VI}, 4e_{IV}+4f_{IV}, 12k_{VI}, 2d_V)로 결정될 수 있으며, 이를 통해 뢰스바우어 분광 스펙트럼은 5개의 sextet 으로 분석되었다. 분석 결과 Zn가 치환되면서 Fe down-site인 tetrahedral site의 면적 비가 감소하였고, 이로 인해 포화 자화 값의 증가를 가져오는 것으로 연구되었다.

4. 참고문헌

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

LiFePO₄의 spin reorientation 특성 연구

방소연*, 최현경, 김연준, 김주현, 김효진, 유규향, 이성룡, 한종대, 김문환, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

리튬 이온 전지는 차세대 에너지 저장 장치로 에너지 밀도가 높으며 충방전이 가능한 장점을 가지고 있다. 올리빈 구조의 LiFePO₄는 리튬 이온전지의 양극활 물질은 제조 비용이 낮고 친환경적이며 충방전 특성이 우수하여 각광받고 있다.[1] 본 연구에서는 양극활 물질 LiFePO₄의 결정학적 특성과 자기적 특성을 연구하였으며 저온에서의 spin reorientation 특성을 발견하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 직접합성법을 통하여 LiFePO₄ 분말 시료를 제조하였다. 출발 물질 Li₂CO₃, NH₄H₂PO₄, FeC₂O₄·H₂O 를 계산된 당량비로 혼합하여 agate mortar 에서 갈아 준 후에 Ar 가스 분위기에서 350 °C 로 하소하였다. 그리고 다시 agate mortar 에서 갈아준 뒤 pellet으로 성형하였다. pellet 형태의 시료를 석영관에 넣고 진공 봉합한 후에 700 °C 로 소결하였다. X-선 회절 실험을 통하여 제조된 시료의 결정학적 특성을 측정하였으며 Rietveld 분석법을 이용하여 회절 pattern을 분석하였다. 진동 시료 자화율(VSM) 실험과 뢰스바우어 분광 실험은 4.2 K 에서 295 K 의 온도 구간에서 실시되었으며 통하여 시료의 자기적 특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

LiFePO₄ 물질은 공간군 *Pnma*의 orthorhombic 구조로 분석되었다. 4.2 K 부터 295 K 의 온도 구간에서 VSM 실험을 실시하여 ZFC-FC 곡선을 얻을 수 있었고 नी온도 ($T_N = 51$ K) 이하에서 상자성체에서 반강자성체로 상전이가 일어남을 확인하였다. 또한 25 K 에서 spin reorientation 현상을 확인하였다. 시료의 spin reorientation 현상을 알아보기 위하여 뢰스바우어 분광 실험을 실시하였다. नी온도 이하의 온도 구간에서 뢰스바우어 스펙트럼은 8개의 비대칭 흡수선으로 관측되었다. spin reorientation 현상을 확인하였던 25 K 에서 초미세 자기장 값과 전기 4중극자 분열치의 기울기가 크게 변하는 것으로 분석되었다. LiFePO₄ 물질의 Fe 이온은 모든 온도 구간에서 Fe²⁺ 상태인 것으로 확인하였다.

4. 참고문헌

[1] A. K. Padhi, K. S. Nanjundaswamy, and J. B. Goodenough, J. Electrochem. Soc. **144**, 1188 (1997).

Fe계 촉매의 결정학적 및 자기적 특성 연구

임정태^{1*}, 천동현², 박지찬², 김삼진¹, 심인보¹, 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

²한국에너지기술연구원 청정연료연구실

1. 서론

Fischer-Tropsch (F-T) 합성반응을 이용한 GTL(천연가스액화기술), CTL(석탄액화기술) 등의 기술들은 석유 공급 부족을 직접적으로 해결 할 수 있는 기술로 각광 받고 있으며, 특히 F-T 합성반응에서 사용되는 Fe계 촉매 물질은 저가이며 높은 선택성에 의해 많은 연구가 진행 중에 있다. 하지만, Fe계 촉매의 화학반응에 따른 구조 변화와 상호 작용에 의해 정확한 철산화물의 구성과 메커니즘 등이 알려지지 않았다. 이에 따라, 본 연구에서는 Fresh Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매와 Activated Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 물질을 결정학적 및 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

Fe 100 g 당 질량비로 100Fe/5.26Cu/4.76K/18.2SiO₂의 조성을 갖는 Fe계 촉매는 공침법으로 이용하여 제조하였다. Fe와 Cu가 100:5.26의 비율로 혼합되어 있는 Fe(NO₃)₃·9H₂O와 Cu(NO₃)₂·2.5H₂O의 혼합용액에 Na₂CO₃ 용액을 첨가하여 침전을 형성시켰다. 잔류 Na를 충분히 제거 후, 침전을 다시 슬러리화하여 침전물과 SiO₂가 균일하게 혼합되도록 하였다. 제조된 침전물에 원하는 비율만큼의 K가 포함된 K₂CO₃용액을 첨가한 후, 분무 건조(spray-dry) 법을 이용하여 수분을 제거하였다. 분무 건조법을 통해 얻어진 구형의 분말입자의 수분을 완전히 제거 후, 최종적으로 400 °C에서 8시간 동안 소성하여 Fresh Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매를 제조하였다. 이 fresh Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료를 H₂/CO/xCO₂ (x = 0.0, 0.5, 1.0, 2.0)의 반응물 합성가스를 통해 280 °C의 온도에서 20 시간동안 반응 시켜 Activated Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매를 제조되었다. 제조된 Fresh Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매와 Activated Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료의 결정학적 특성을 Cu-Kα 선에 이용한 x-선 회절 실험 (XRD)을 통해 측정하였고, 진동 시료 자화율 (VSM) 실험과 피스바우어 분광 실험을 통해 자기적 특성을 연구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fresh Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매와 Activated Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료 XRD 측정 결과, 결정립의 미세화에 의해 회절선의 선폭이 넓고 강도가 낮은 회절패턴으로 측정 되었으며, Fresh Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료는 Fe₂O₃ (Hematite)와 Fe₅O₇(OH)·4H₂O (Ferrihydrite)의 상이, Activated Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료는 Fe₃O₄, Fe₅O₇(OH)·4H₂O, Fe_{2.2}C, Fe_{2.5}C의 상으로 판단되었다. 거시적인 자기적 특성을 측정하기 위해 VSM 실험을 실시하였고, 그 결과 Activated Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료는 CO₂의 양이 증가할수록 포화자화 값은 감소하였으며, 이는 XRD를 통해 예상되었던 Fe₃O₄, Fe₅O₇(OH)·4H₂O, Fe_{2.2}C, Fe_{2.5}C의 상 중 비자성인 Fe₅O₇(OH)·4H₂O 상의 비율이 증가하여 포화자화 값이 감소한 것으로 예상된다. 철산화물의 정량적인 분석과 초미세 상호작용을 연구하기 위해, 피스바우어 분광실험을 실시하였다. 그 결과, Fresh Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료는 Fe₂O₃와 Fe₅O₇(OH)·4H₂O의 상으로 분석되었으며, 면적비는 각각 17.65와 82.35 %으로 Fe₅O₇(OH)·4H₂O이 주상으로 판단되었다. 또한, Activated Fe/Cu/K/SiO₂ 촉매 시료에서는 Fe₃O₄, Fe₅O₇(OH)·4H₂O, Fe_{2.2}C, 그리고 Fe_{2.5}C의 상으로 분석되었고, CO₂ 양이 증가함에 따라 Fe_{2.5}C 상에서 Fe₅O₇(OH)·4H₂O 상으로 주상이 바뀔을 알 수 있다.

플라즈마 처리를 한 Fe_3O_4 나노입자의 자기적 특성

최현경^{1*}, 최정훈¹, 이상준¹, 이종욱¹, 차승환¹, 최승태¹,
하윤주¹, 황진원¹, 김성백², 한은주³, 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

²건양대학교 기초교육학부

³수원대학교 물리학과

1. 서론

최근 나노바이오기술에 대한 관심이 높아지면서 작은 크기의 나노페라이트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 Fe_3O_4 물질은 다른 페라이트보다 낮은 보자력과 높은 포화자화값을 가지고 있어 온열치료 응용에 많은 관심을 받고 있다. 따라서, 본 연구에서는 나노페라이트 Fe_3O_4 물질을 고온 열분해법으로 제조하여 결정학적 특성 및 플라즈마 처리를 수행하여 자기적 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

Fe_3O_4 시료를 고온 열분해법으로 제조하였고, iron (III) acetylacetonate(99.9%)을 출발 물질로 사용하였다. 끓는점이 298°C 인 benzyl ether를 용매로 이용하고, oleic acid와 oleylamine를 계면활성제로 첨가하여 균질한 Fe_3O_4 나노입자의 합성을 유도하였다. 출발물질을 각각의 당량비로 혼합하여 온도를 올려 용해시킨 후 298°C 에서 각각 반응시간을 다르게하여 크기가 다른 Fe_3O_4 나노입자를 제조하였다. x-선 회절 장치 (XRD)을 통하여 시료의 결정학적 특성을 측정하였고, Rietveld 정련법을 통해 분석하였다. 진동시료형 자화측정기 (VSM) 측정을 통하여 상온에서의 거시적 자화 특성을 측정하였다. 각각 시료의 자기온열 특성을 측정하고 이 중 자기적 특성이 가장 높은 시료를 플라즈마 처리하였다. 플라즈마 처리 전, 후를 비교하였고, 이를 피스바우어 분광 실험을 이용하여 미시적인 자기적 특성 변화를 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

고온 열분해 법으로 제조된 각각의 크기가 다른 Fe_3O_4 나노 입자는 XRD 분석 결과 스피넬 구조를 가진 $Pnma$ 공간군으로 분석되었다. Scherrer 방정식을 통하여 입자의 크기를 계산하였다. 진동시료형 자화측정기를 이용해 거시적인 자기적 특성을 측정하여, 각각의 포화 자화와 보자력 값을 얻었다. 또한 시료들의 자기온열 측정을 하여 가장 높은 온도가 측정된 시료를 플라즈마 처리를 하여 전, 후의 자기적 특성 변화를 확인하였다. 플라즈마 처리 전, 후 시료의 초미세 상호작용을 확인하기 위해 상온에서 피스바우어 분광 실험을 실시하였다. 최소자승법으로 분석하였으며, sextet으로 이루어진 A, B1, B2 총 3개의 부격자로 분석되었다. 분석 결과 플라즈마 처리 후에 초미세 자기장 값이 증가하고, 이 때문에 자기온열 특성 값이 증가하는 것으로 연구되었다.

4. 참고문헌

- [1] A. D. Ebner, J. A. Ritter, H. J. Ploehn, R. L. Kochen, and J. D. Navratil, *Separ. Sci. Technol.* **34**, 1277 (1999).
- [2] R. Hergt, S. Dutz, M. Zeisberger, *Nanotechnology* **21**, 015706 (2009).

^{63}Ni in beta voltaic battery

Jin Joo Kim^{*}, Young Rang Uhm, and Kwang Jae Son

*Radioisotope Research Division Korea Atomic Energy Research Institute, 989-111 Daeduckdaero, Yuseong-Gu,
Daejeon 305-353, Republic of Korea*

1. Introduction

A nuclear battery with diode junction is a device that converts nuclear radiation directly to electric power [2]. In betavoltaic battery, beta particles are collected and converted to electrical energy as similar principle as photovoltaic. Radioactive thin-film based power source also have energy density order so magnitude higher than chemical-reaction-based energy sources. The thickness depends self shielding effect of the seed layer was studied by using both simulation using MCNP code and measurement of I-V curve.

2. Experimental Results

To fabricate the P-N absorber, new type of 3D single trench P-N absorber was developed for easy trenching and doping process. ^{63}Ni can be deposited and power output can be measured.

3. Results and discussion

Ni seed layers were deposited by an e-beam on the single trench P-N absorber with spacing 5, 110 and 190 mm. The optimum total thickness of ^{63}Ni and seed layer was determined about $2\mu\text{m}$ as regarding the minimum self-shielding effect to beta-ray (β -ray). Both the conductivity and the uniformity of the seed layer are enhanced, as the thickness of deposit layer is increased. However, self-shielding of β -ray is significantly increased, as the thickness of the seed layer become thick. To fabricate effective battery, the thickness of seed layer about 500 Å have been determined.

4. Conclusion

Ni seed layers were deposited by an e-beam on the single trench P-N absorber with spacing 5, 110 and 190 mm. The optimum total thickness of ^{63}Ni and seed layer was determined about $2\mu\text{m}$. To fabricate effective β -voltaic battery, the thickness of seed layer about 500 Å have been determined.

5. Reference

- [1] J. Ulmen B, Desai PD, Moghaddam, Miley GH, Massel RI (2009) J. Radioanal Nucl. Chem 282:601

Mössbauer 분광기를 활용한 Dietary supplement 연구

임재청*, 엄영랑

한국원자력연구원 동위원소이용연구부

1. 서론

뫼스바우어 분광기를 활용하여 Dynabi등 철분제를 측정하는 목적은 뫼스바우어분광기가 가지는 특성을 Ferrous Gluconates, Ferrous Furmanate등의 전자가를 확인함으로써 의약품내에서 조성을 명확히 확인함과 동시에 전자가가 서로 다른 철성분들이 인체에 작용하는 약리작용등을 검증하기 위하여 사용된다. 실제로 Ferrous Gluconate는 Fe^{2+} 만이 존재해야함에도 Fe^{3+} 이온이 일부존재함으로서 이들을 활용한 dietary supplement의 조성이 변화 될 수가 있다. 본 연구에서는 단일상의 Ferrous Gluconates와 Ferrous Furmanate를 측정하고 이들을 활용한 의약품인 철분제 Dynabi정을 분석하였다.

2. 실험방법과 결과

단일상의 Ferrous Gluconates와 Ferrous Furmanate를 측정한 결과 단일상인 Ferrous Gluconate에 Fe^{2+} 만이 존재해야함에도 약 9 %의 Ferric (Fe^{3+}) 이온이 존재하였다. 반면, Ferrous Furmanate는 Ferrufous (Fe^{2+})상태로 존재함을 확인하였다. Dynabi정은 2종류의 Ferric이 존재하며, Ferrous Gluconates 내에 존재하던 Ferrous가 같이 존재하는 것으로 확인되었다.

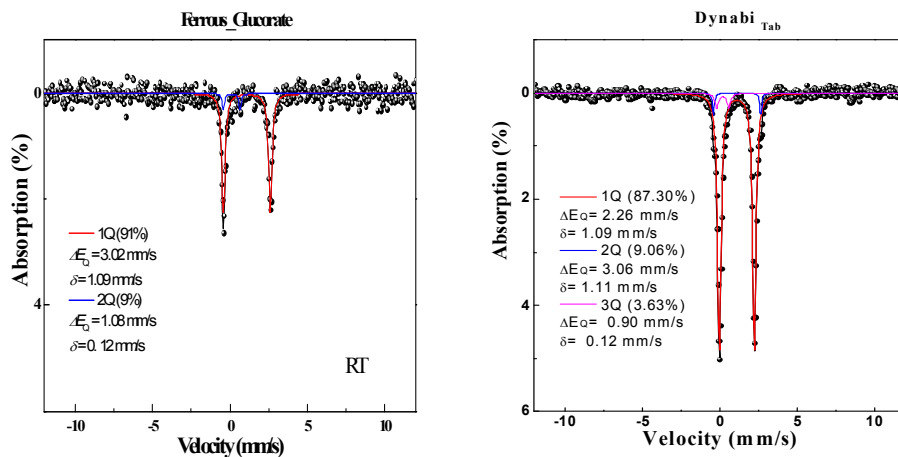


Fig. 1. Mossbauer spectroscopy for Ferrous Gluconate and Dynabi

3. 결론

Dynabi정내에는 Ferrous Gluconates 13 %와 Ferrous Furmanate가 87 % 존재함을 확인하였다. 그러나 실제로 이값은 제약회사에서 보증한 값과 다소 차이가 있다. 때문에 이러한 차이가 임상에 미치는 결과 등을 향후 연구할 필요가 있다.

4. 참고문헌

- [1] M.I. Oshtrakh et al. Study of Vitamin and Dietary Supplements containing Ferrous Fumarate and Ferrous Sulfate Using Mossbauer Spectroscopy. American Institute of Physics, 1258, pp.75-81,2010.

Synthesis of Co diffused Cu for Mössbauer source

Sang Moo Choi*, Young Rang Uhm

*Radioisotope Research Division Korea Atomic Energy Research Institute, 989-111 Daeduckdaero,
Yuseong-Gu, Daejeon 305-353, Republic of Korea*

1. Introduction

The most frequently used techniques for the preparation of ^{57}Co Mössbauer sources comprise a deposition of the radioisotope onto the surface of a selected metal matrix followed by thermal diffusion of the deposition into the metal lattice [1]. The thermal annealing of different metal matrices (Cu, Au, Fe, Co and Pt) with electrodeposited ^{57}Co described by Stephen [1] was performed. An optimized electro deposition process of carrier-free ^{57}Co onto the rhodium foil was described earlier.

2. Experimental Results

Cobalt (Co) coatings were deposited by DC electroplating at current densities of 20 mA/cm². The thermal annealing of Cu with electrodeposited Co was performed in a continuously pumped vacuum furnace (10⁻⁴–10⁻⁵ hPa) at temperatures of 800–1000 °C for 2h.

3. Results and discussion

Co deposition was produced at a current density of 20 mA/cm², a bath temperature of 27 °C, a pH level 1.89. XRD patterns showed that the crystal structure of the coating is pure fcc cobalt, and no characteristic peaks of other phases have been recorded. The Co diffused Cu matrix at annealing at and above 1000 °C, which is near temperature of Cu (1050 °C). The diffusion of Co were measured by mapping of EDS.

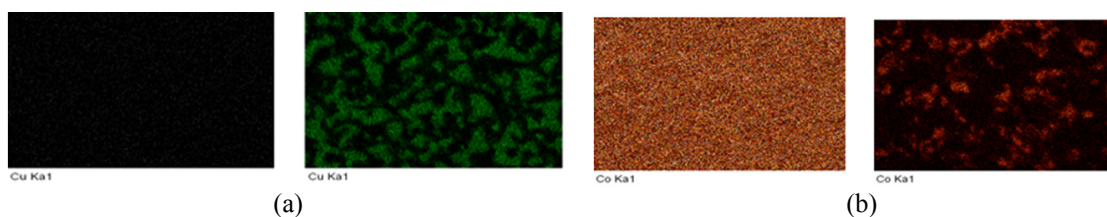


Fig. 1. Mapping of EDS images for (a) pre-annealed Co/Cu and (b) annealed Co/Cu

4. Conclusion

For the deposition of Co nanoparticles, nanocrystalline cobalt (Co) coatings were synthesized using DC electrodeposition. Co diffused in to Cu matrix at temperature of 1,000 °C.

5. Reference

- [1] J. Stephen, An electrolytic method of preparing Mössbauer Sources and absorbers, Nuclear Instruments and methods, 26, 269(1964).

Author Index

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
Ae Ran Lim	SM13	137	Duy-Truong Quach	O-III-6	52
Alexander B. Shick	MT03	100	Ferial TERKI	SO04	149
Asaya Fujita	Invited S-IV-2	82	Frederic Bonell	초O-I-1	21
B. G. Park	MT04	101	Gwang Guk An	O-I-5	25
B. Koopmans	초O-II-5	38	Gwang Guk An	O-II-6	39
Bo Wha Lee	SS01	138	H. J. M. Swagten	초O-II-5	38
Bum Sung Kim	초S-III-3	71	H. W. Kwon	HM04	120
Byong Sun Chun	O-III-3	49	H.J.Choi	초S-III-3	71
Byong-Guk Park	OT02	168	Haein Yim	SM11	133
Byoung-Chul Min	O-I-2	22	Han-Byeol Jeong	O-II-2	34
Byoung-Chul Min	O-III-3	49	Hanchul Kim	O-I-4	24
Byoung-Chul Min	SM08	130	Hee-Gyum Park	SS03	141
Byoung-Chul Min	SO03	148	HeeYoon Noh	O-III-4	50
Byoung-Chul Min	SS03	141	Heon-Jin Choi	SM08	130
C. G. Kim	O-III-8	55	Heon-Jin Choi	SM09	131
C.-Y. You	초O-II-5	38	Hirohito Matsui	Invited S-IV-1	81
Chanyong Hwang	초O-1	11	Hongjae Moon	HM05	121
Chanyong Hwang	O-III-3	49	Hongjae Moon	MD03	112
Chaun Jang	O-I-2	22	Hongtao Xu	O-III-7	53
CheolGi Kim	O-III-4	50	Hui Eun Kim	SM03	125
Christian Meny	MO01	154	Hui Eun Kim	SM04	126
Chul-Hyun Moon	SS03	141	Hui Eun Kim	SM05	127
Chuljin Choi	HM01	115	Hwang-Rae Lee	초O-I-1	21
Chung Man Kim	OT01	167	Hyon-Seok Song	OT02	168
Chunli Liu	O-II-8	43	Hyun Cheol Koo	SM09	131
Chunli Liu	SM10	132	Hyun Cheol Koo	SO01	145
Chun-Qiang Chen	HM01	115	Hyung-jun Kim	NM02	153
Chun-Yeol You	초O-I-1	21	Hyung-jun Kim	SM09	131
Daisuke Miyata	Invited S-IV-1	81	Imran Khan	O-I-3	23
Deok Hyeon Kim	SS01	138	J. Cho	초O-II-5	38
Deok Hyeon Kim	O-II-8	43	J. G. Lee	HM04	120
Deok Hyon Kim	SM10	132	J. H. Franken	초O-II-5	38
Djati Handoko	O-III-5	51	J. H. Yu	HM04	120
Djati Handoko	O-III-6	52	J. Y. Kim	HM04	120
Dong-Hyun Kim	O-III-5	51	J.-S. Kim	초O-II-5	38
Dong-Hyun Kim	O-III-6	52	Ja Bin Lee	O-I-5	25
Dong-Jun Kim	OT02	168	Ja Bin Lee	O-II-6	39
Dong-Soo Han	O-II-2	34	Jae Hong Kim	O-I-5	25
Dongsoo Kim	HM01	115	Jae Hong Kim	O-II-6	39
Duck-Ho Kim	O-III-3	49	Jaehun Cho	초O-I-1	21
Duong Anh Tuan	MO01	154	Jae-Hyeok Lee	O-II-1	33
Duong Anh Tuan	OT03	170	Jae-Hyoung You	SM02	124
Duy Truong Quach	O-III-5	51	Jae-Hyoung You	SM03	125

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
Jae-Yeon Lee	BM03	161	Min Young Lee	SS01	138
Je-Ho Shim	O-III-5	51	Min Zhong	O-III-7	53
Je-Ho Shim	O-III-6	52	Mingyuan Zhu	O-III-7	53
Jeong Hong Jo	NM02	153	Minjeong Song	HM05	121
Jeong-Woo Sohn	OT02	168	Min-jung Song	MD03	112
Jessica Wade	O-II-4	37	Miri Kim	OT01	167
Jicheol Son	MT01	97	Miyoun Kim	O-I-4	24
Jicheol Son	O-I-3	23	Mohamed Abbas	O-III-4	50
Jihoon Park	초O-2	77	Moon-Ho Jo	SM08	130
Ji-Hun Yu	O-III-2	48	Moon-Jong Kim	BM03	161
Jin Joo Kim	OT09	176	Muhammad Tariq	O-III-7	53
Jin Pyo Hong	O-I-5	25	Muneo Yorinaga	Invited S-IV-1	81
Jin Pyo Hong	O-II-6	39	Munkhbat Bolormaa	BM03	161
Jinki Hong	SO01	145	Munkhbat Bolormaa	MT02	98
Jisang Hong	MT01	97	Myoung-Woo Yoo	O-II-1	33
Jisang Hong	O-I-3	23	Myung-Hwa Jung	초O-I-1	21
Ji-Seon Kim	O-II-4	37	Myung-Hwa Jung	OT01	167
Jong Min Lee	O-I-2	22	Nam Hee Kim	SM13	137
Jong-Ryul Jeong	OT02	168	Nam-Hyun Kang	O-III-2	48
Jongseok Lee	MT05	103	Naoki Tanaka	Invited S-IV-1	81
Joonyeon Chang	NM02	153	Nguyen T.M. Hai	OT03	170
Joonyeon Chang	O-I-2	22	Nguyen Thi Minh Hai	MO01	154
Joonyeon Chang	SM08	130	Nguyen Van Quang	OT03	170
Joonyeon Chang	SM09	131	Nyun Jong Lee	O-II-4	37
Jun Woo Choi	SO03	148	Pardi Sampe Tola	SS01	138
Jung-Goo Lee	O-III-2	48	Pil Sun Yoo	SS01	138
Jung-Hwan Moon	MD04	113	Pilsun Yoo	SM10	132
Junghyun Sok	SO03	148	Purevdorj Khajidmaa	BM03	161
Kiki Rezki Lestari	SM10	132	Purevdorj Khajidmaa	MT02	98
Ki-Seon Kim	MT02	98	Quang Van Nguyen	MO01	154
Ki-Suk Lee	MT04	101	Rae-Jun Park	MT02	98
Kurima Kobayashi	Invited S-IV-4	85	Ryotaro Okamoto	Invited S-IV-1	81
Kwang Jae Son	OT09	176	S. S. Yoon	O-III-8	55
Kyeong-Dong Lee	OT02	168	S.J.Seo	초S-III-3	71
Kyoung-Min Lee	SO03	148	Sang Ho Lim	NM02	153
Kyoung-Woong Moon	O-III-3	49	Sang Ho Lim	OT01	167
Kyujoon Lee	초O-I-1	21	Sang Moo Choi	OT11	178
Kyung-Ho Shin	SS03	141	Sang-Cheol Yoo	O-III-3	49
Kyung-Jin Lee	MD04	113	Sang-Hyuk Lee	O-III-5	51
Kyung-Jin Lee	O-I-2	22	Sang-Hyuk Lee	O-III-6	52
Kyung-Jin Lee	SO02	146	Sang-Im Yoo	SM02	124
Kyungmi Song	SO02	146	Sang-Im Yoo	SM03	125
Kyung-Tae Park	초S-III-3	71	Sang-Im Yoo	SM04	126
M. K. Alam	O-III-8	55	Sang-Im Yoo	SM05	127
Masashi Inaba	Invited S-IV-1	81	Sang-Koog Kim	O-II-1	33
Masato Sagawa	총회초청	3	Sang-Koog Kim	O-II-2	34
Millaty Mustaqima	O-II-8	43	Sang-Kyun Kwon	SM03	125
Min Surk Hyung	SM13	137	Sang-Kyun Kwon	SM04	126

Name	Abstract ID	Page
Sang-Kyun Kwon	SM05	127
Sang-Suk Lee	BM03	161
Sang-Suk Lee	MT02	98
Satoshi Hirosawa	Invited S-IV-3	83
Seung Mo Yang	O-I-5	25
Seung Mo Yang	O-II-6	39
Seung-Hyub Baek	SO01	145
Seung-Jae Lee	MD04	113
Shin-Ik Kim	SO01	145
Shinji Miwa	초O-I-1	21
ShuLiu	O-III-2	48
Sol Jung	SM11	133
Sooncheol Hong	MT03	100
Soong-Geun Je	O-III-3	49
Souleymane KAMARA	SO04	149
Soyoung Jekal	MT03	100
Sug-Bong Choe	O-III-3	49
Sumin Kim	HM05	121
Sumin Kim	MD03	112
Sung-Chul Shin	OT02	168
SungJoon Choi	SM02	124
Sungjoon Choi	SM03	125
Sungjoon Choi	SM04	126
SungJoon Choi	SM05	127
Sunglae Cho	MO01	154
Sunglae Cho	OT03	170
Sunwoo Lee	SM02	124
SunWoo Lee	SM03	125
Sunwoo Lee	SM04	126
SunWoo Lee	SM05	127
T. S. Ramulu	O-III-8	55
Tae Hee Kim	O-II-4	37
Tae-Eon Park	SM08	130
Taeheon Kim	MT05	103
Taek-Soo Kim	초S-III-3	71
Tae-Young Park	MT02	98
Taeyueb Kim	SO01	145
Takayuki Shiino	MT04	101
Taufik Bonaedy	SO03	148
Tran Van Quang	O-I-4	24
Tsutomu Hosoi	Invited S-IV-1	81
Umar Farooq	MT01	97
Whi-Young Kim	BM01	155
Wondong Kim	O-III-3	49
Woo Seong Chung	O-I-5	25
Woo Seong Chung	O-II-6	39
Wooyoung Lee	HM05	121
Wooyoung Lee	MD03	112

Name	Abstract ID	Page
Y. Yin	초O-II-5	38
Yang-Ki Hong	초O-2	77
Yasutaka Kamiya	Invited S-IV-1	81
Yasuyuki Haseo	Invited S-IV-1	81
Yemin Hu	O-III-7	53
Ying Li	O-III-7	53
Yoichi Shiota	초O-I-1	21
Yooleemi Shin	MO01	154
Yooleemi Shin	OT03	170
Yoshishige Suzuki	초O-I-1	21
Youn Ho Park	SM09	131
Young Rang Uhm	OT09	176
Young Rang Uhm	OT11	178
Young-Ha Choi	초O-I-1	21
Young-Jun Cho	O-II-2	34
Youngtaek Seo	HM01	115
Younho Park	SM08	130
Yu Jeong Bae	O-II-4	37
강물빛	SM12	135
강선주	SA02	165
공주영	MD02	110
권순무	초S-II-2	61
권해웅	HM03	118
김경민	HM03	118
김기하	SS04	143
김기홍	초S-II-4	65
김도균	SS04	143
김동영	NM01	151
김동영	SM07	129
김문환	OT06	173
김보성	O-II-3	35
김삼진	OT04	171
김삼진	OT07	174
김상국	O-II-3	35
김성백	OT08	175
김소연	초S-V-1	89
김연준	OT06	173
김영근	SS04	143
김영일	OT05	172
김용진	SS04	143
김재영	초S-V-5	93
김재영	T-1	7
김재환	OT05	172
김정우	SM01	122
김종범	초S-I-3	17
김주현	OT06	173
김철기	SO04	149
김철성	OT04	171

Name	Abstract ID	Page
김철성	초S-I-5	29
김철성	OT05	172
김철성	OT06	173
김철성	OT07	174
김철성	OT08	175
김태훈	MD01	108
김태훈	MD02	110
김현규	OT05	172
김효준	초S-V-2	90
김효준	HM02	116
김효준	MD01	108
김효준	MD02	110
김효진	OT06	173
나길주	초S-II-1	59
나길주	초S-II-3	63
남윤재	SM01	122
명보라	OT04	171
박병국	SS02	139
박병석	초S-II-1	59
박영민	MT07	106
박준영	SS02	139
박지찬	OT07	174
박철수	초S-II-2	61
박철수	초S-II-4	65
방소연	OT06	173
배경훈	HM02	116
배석	초S-III-1	69
배석	초S-V-1	89
배태진	O-II-7	41
백승현	SS02	139
변진규	MT06	104
변진규	MT07	106
서선열	초S-II-4	65
서정민	초S-II-3	63
서정철	초S-I-2	16
선광민	초S-I-1	15
성동규	MT06	104
손광재	초S-I-4	18
손대락	SA01	163
손대락	SA02	165
송인철	SO04	149
신승준	OT05	172
신연섭	BM02	158
심인보	OT07	174
안성용	초S-V-5	93
엄영량	OT10	177
여정구	초S-V-5	93
염재훈	초S-V-1	89

Name	Abstract ID	Page
원희수	초S-II-1	59
원희수	초S-II-2	61
유규항	OT06	173
유명우	O-II-3	35
유지훈	초S-III-5	73
유지훈	HM03	118
유천열	SM12	135
윤석수	NM01	151
윤석수	SM07	129
윤성현	O-III-1	47
윤정범	SM12	135
이경동	SS02	139
이고기	초S-V-3	91
이민우	HM02	116
이민우	MD01	108
이민우	MD02	110
이상원	초S-III-1	69
이상원	초S-V-1	89
이상준	OT08	175
이상호	O-II-7	41
이성래	HM02	116
이성래	MD01	108
이성래	MD02	110
이성룡	OT06	173
이재령	초S-III-2	70
이정구	초S-III-5	73
이정구	HM03	118
이정섭	SM12	135
이정우	SA02	165
이제현	O-II-3	35
이종욱	OT08	175
이창규	초S-V-3	91
이현숙	BM02	158
임경목	초S-V-4	92
임상호	SM01	122
임재청	OT10	177
임정태	OT04	171
임정태	OT05	172
임정태	OT07	174
임혜인	SM06	128
장태석	HM02	116
장태석	MD01	108
장태석	MD02	110
장현철	초S-II-2	61
장현철	초S-II-3	63
전민철	초S-II-1	59
정다혜	SA01	163
정유한	BM02	158

Name	Abstract ID	Page
조성구	초S-V-3	91
조영훈	SA01	163
조재환	초S-II-3	63
조창빈	SA02	165
지민정	OT05	172
차승환	OT08	175
천동현	OT07	174
최강룡	초S-V-5	93
최승태	OT08	175
최재혁	초S-II-2	61
최재혁	초S-II-4	65
최정완	초S-I-2	16
최정훈	OT08	175
최현경	OT06	173

Name	Abstract ID	Page
최현경	OT08	175
하윤주	OT08	175
한만석	초S-II-1	59
한보경	SM06	128
한은주	OT08	175
한종대	OT06	173
현정민	OT05	172
홍종일	O-II-7	41
홍현선	초S-III-4	72
황도근	초S-II-3	63
황도근	초S-II-4	65
황도근	BM02	158
황진원	OT08	175