

2016년도 한국자기학회 자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016

논문개요집



일시	2016. 11. 23(수)~ 11. 25(금)
장소	라마다프라자 제주호텔
주최	한국자기학회
후원	한국과학기술단체총연합회

사단법인 한국자기학회

2016년도 한국자기학회 자성 및 자성재료 국제학술대회

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016

논문개요집



일시 2016. 11. 23(수)~ 11. 25(금)

장소 라마다프라자 제주호텔

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

“이 발표논문집은 2016년도 정부재원(과학기술진흥기금 및 복권기금)으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음.”



공지사항

1. 연구발표를 하시는 회원은 아래사항을 지켜주시기 바랍니다.

- 1) 포스터보드 크기는 한 분당 가로 1m X 세로 1.8m 사용할 수 있습니다.
- 2) 포스터는 목요일 오전 9시 이전에 부착하여 주시고, 11시 50분 이후에 제거하시기 바랍니다.
포스터 발표 Discussion은 10:50~11:50 사이에 별도 진행됩니다.

2. 일정

11월 23일 (수)	16:00~17:00	참가자 등록 (8층)				
	17:00~18:00	환영 리셉션 및 실험과 이론 토크 콘서트 (8층 탐라홀)				
11월 24일 (목)	08:30~	참가자 등록				
	09:00~10:50	㉔ 초청강연 I (8층 탐라홀)			포스터발표 (8층 한라홀)	
	10:50~11:50	포스터발표 Discussion (8층 한라홀)				
	11:50~13:00	점심식사				
	13:00~16:10	Special Session I (8층 아라홀)	13:00~17:10	㉔ Special Session II (8층 탐라홀)	13:00~15:30	Special Session III (8층 오라홀)
	16:10~16:40	coffee break			15:30~15:35	Session II
	16:40~18:00	Special Session IV (8층 아라홀)			15:35~17:20	(8층 탐라홀)
	18:30~19:00	한국자기학회 정기총회 및 시상식 (8층 탐라홀)				
	19:00~20:30	Dinner (8층 탐라홀)				
11월 25일 (금)	08:30~	참가자 등록				
	09:00~10:00	초청강연 II (8층 탐라홀)				
	10:00~11:45	㉔ Special Session V (8층 아라홀)		Special Session VI (8층 탐라홀)	Special Session VII (8층 오라홀)	
	11:45~13:00	점심식사				
	13:00~13:30	㉔ 초청강연 III (8층 탐라홀)				
	13:30~13:40	coffee break				
	13:40~15:40	Special Session VIII (8층 아라홀)	13:40~15:10	구두발표 II (8층 탐라홀)	13:40~14:55	구두발표 III (8층 오라홀)
	15:40~16:00	폐회 (8층 탐라홀)				

3. 『Best Poster 시상』은 정기총회에서 학회상 시상과 함께 진행될 예정입니다.

11월 24일(목) 18:30부터 시상식이 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여를 바랍니다.

(단, 수상자(발표자)가 불참 시에는 수상이 취소됩니다.)

11월 23일 [수]

시간	프로그램
16:00~17:00	참가자 등록
17:00~18:00	<p>환영 리셉션 및 실험과 이론 토크 콘서트 (8층 탐라홀)</p> <p>좌장 : 이경진(고려대)</p> <p>연사 : 권해웅(부경대), 김상국(서울대), 이경진(고려대)</p>

11월 24일 [목]

시간	프로그램
08:30 ~	참가자 등록
	<div> <div> <p>㉔ 초청강연 I (8층 탐라홀) 좌장 : 박병국(한국과학기술원)</p> </div> <div> <p>포스터발표 (8층 한라홀)</p> </div> </div>
09:00~09:40	<div> <div> <p>(Invited)O-I-1. The magnetism of oxides Josep Fontcuberta(Institut de Ciència de Materials de Barcelona)</p> </div> <div> <p>09:00~10:50</p> </div> </div>
09:40~10:20	<div> <div> <p>(Invited)O-I-2. High-coercivity Dy-free Nd-Fe-B permanent magnets Kazuhiro Hono(NIMS)</p> </div> <div> <p>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 NS[Nano-structured materials] Session ST[Spin transfer torque for magnetic memory] Session NM[Nanoscale Magnetism] Session MO[Magnetic Oxides and Multiferroics] Session SA[Sensor and Applications]</p> </div> </div>
10:20~10:50	<div> <div> <p>(Invited)O-I-3. Sampling the structure and chemical composition of ferromagnetic nanoparticles with wide size distributions by Ferromagnetic Nuclear Resonance Christian Meny(IPCMS)</p> </div> </div>
10:50~11:50	<p>포스터발표 Discussion (8층 한라홀)</p> <p>좌장 : 신광호(경성대) / 박철수(한림성심대)</p>
11:50~13:00	점심식사



11월 24일 [목]

시간	프로그램				
	Special Session I (8층 아래홀) '기업에서의 자성재료 및 부품 개발 동향 I' 좌장 : 엄영랑(한국원자력연구원)		ⓔ Special Session II (8층 탐라홀) 'Emerging Spintronic Materials and Devices' 좌장 : 김영근(고려대)		Special Session III (8층 오라홀) 'Applications of Magnetic Nanoparticles' 좌장 : 유춘리(한국외대)
13:00~13:20	초S-I-1. 칩파워인덕터용자성재료 개발 동향 안성용(삼성전기)	13:00~13:30	(Invited)S-II-1. Voltage control of magnetic anisotropy in monocrystalline ferromagnetic metal/oxide layered structures S. Mitani(NIMS)	13:00~13:20	초S-III-1. Asymmetric Bead Immunoaggregation For Label-free Protein Detection 이정훈(서울대)
13:20~13:40	초S-I-2. 자성 페이스트를 이용한 파워 인덕터 개발 이태경(창성)			13:20~13:40	초S-III-2. Applications of Metal doped- Ferrite Bismuthas Reusable Magnetic Nanoparticles for Fast Removal of Organics under Visible Light Irradiation 이병규(울산대)
13:40~14:00	초S-I-3. 전기폭발법을 이용 한 자성 나노분말 제조 박중학(나노기술)	13:30~14:00	초S-II-2. Berry phase from atomic orbital 이현우(포항공대)	13:40~14:00	초S-III-3. Ferrite material for Hyperthermia application with Mössbauer spectroscopy 김철성(국민대)
14:00~14:20	초S-I-4. 토다이수 소프트페라이트 개발 현황 이명호(토다이수)	14:00~14:30	초S-II-3. Spin-Orbit Torque and Beyond 양시훈(IBM Almaden Research Center)	14:00~14:20	초S-III-4. Magnetic characterization of Fe nano-sized powder synthesized by pulsed wire evaporation method 김덕현(한국외대)
14:20~14:30	coffee break			14:20~14:30	coffee break
		14:30~14:40	coffee break		



11월 24일 [목]

시간	프로그램				
	Special Session I (8층 아라홀) ‘기업에서의 자성재료 및 부품 개발 동향 II’ 좌장 : 최판규(주MTI)		㉔ Special Session II (8층 탐라홀) ‘Emerging Spintronic Materials and Devices’ 좌장: 황찬용(한국표준과학연구원)		Special Session III (8층 오라홀) ‘Applications of Magnetic Nanoparticles’ 좌장 : 유춘리(한국외대)
14:30~14:50	초S-4-5. 차량 전장부품과 자성소재 배석(LG이노텍)			14:30~14:50	(Invited)S-III-5. Magnetic SnFe_2O_4 nanoparticles: synthesis and their application for visible light photocatalyst for chlortetracycline Yuefa Jia(한국외대)
14:50~15:10	초S-4-6. 자동차 전장부품용 연자성 소재 및 개발 동향 김영민(현대자동차)	14:40~15:10	(Invited)S-II-4. Current induced nucleation and motion of skyrmion in symmetric multilayers S. Rohart(University Paris-Sud)	14:50~15:10	(Invited)S-III-6. Tunable magnetic properties and large magnetocaloric effect of non-stoichiometric LaMnO_3 nanoparticles P.S.Tola(한국외대)
15:10~15:30	초S-4-7. 무선전력 전송 산업 동향 한승희(알티텍)	15:10~15:40	초S-II-5. Shift of magnetic hysteresis loop by Dzyaloshinskii- Moriya interaction in laterally asymmetry microstructure 유천열(대구경북과학기술원)	15:10~15:30	초S-III-7. Vortex-state nanoparticles for bio-imaging and magnetic hyperthermia 김상국(서울대)
				15:30~15:35	coffee break
15:30~15:50	초S-4-8. 친환경자동차용 희토자석 공정 설계기술 김동환(성림첨단산업)				구두발표 I (Hard/Oxide/Nano struc.) (8층 오라홀) 좌장 : 정창욱(한국외대)
				15:35~15:50	O-1-1. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 소결자석에서 확산물 질에 따른 Dy의 입계확산 거동 차희령(재료연구소)
15:50~16:10	초S-4-9. 희토류 영구자석 소재의 개발 현황과 그 응용 제품 개발 사례 김효준(자화전자)	15:40~16:10	초S-II-6. Efficient control of perpendicular magnetization through spin- orbit torques in antiferromagnet/ ferromagnet/oxide structures 박병국(한국과학기술원)	15:50~16:05	O-1-2. DyF_3 paste를 활용한 Nd-Fe-B 입계확산 자석의 보자력 향상 연구 전광원(재료연구소)
				16:05~16:20	O-1-3. 전기영동법으로 코팅한 DyF_3 의 확산처리를 이용한 Nd-Fe-B계 자성분말의 보자력향상 김경민(부경대)



11월 24일 [목]

시간	프로그램				
16:10~16:40	coffee break	16:10~16:40	초S-II-7, Dynamics of Magnetic Domain Wall in Ferrimagnets 김갑진(한국과학기술원)	16:20~16:35	O-I-4, Magnetic properties in Sr_{1-x} $LaxRu_{1-x}Fe_xO_3$ thin film 정창욱(한국외대)
				16:35~16:50	O-I-5, Influence of the tip material on the formation and resistive switching properties of NiO nanodots 김지혜(이화여대)
	Special Session IV (8층 아래홀) '제일원리 양자시뮬레이션 심포지엄' 좌장 : 김미영(숙명여대)			16:50~17:05	O-I-6, 사출식 영구 자석에 의한 IPM모터의 특성 향상에 관한 연구 하정무(LG전자)
16:40~17:10	(Invited)S-IV-1, Ab initio Theoretical Studies on Multiferroicity in Transition Metal Oxides Kunihiko Yamauchi(Osaka Univ.)	16:40~17:10	초S-II-8, Recent Development Status of MTJ with TEL PVD EXIM™ 박창만(Tokyo Electron U. S. Holdings, Inc.)	17:05~17:20	O-I-7, First-principles prediction of novel $Fe_{14}M_2N_2$ (M=Al,W,Zr) alloys with high coercivity 민태원(부산대)
17:10~17:35	초S-IV-2, Record-high spin-driven polarization and light-matter interactions in $BiFeO_3$ 이준희(울산과학기술원)				
17:35~18:00	초S-IV-3, DFT calculations for magnetic systems – a simple guide for non-experts 임성현(울산대)				
18:30~19:00	한국자기학회 정기총회 및 시상식 (8층 탐라홀)				
19:00~20:30	Dinner (8층 탐라홀)				

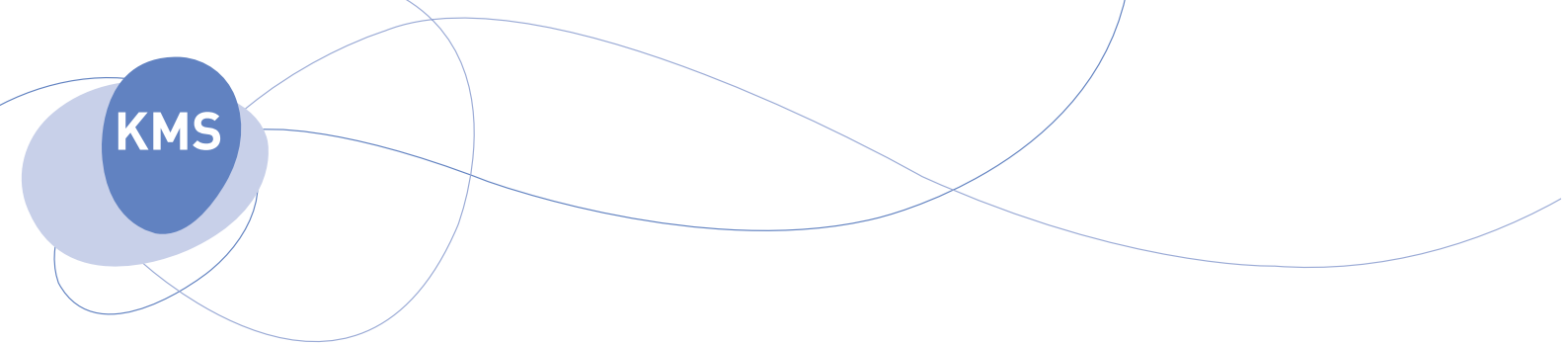
11월 25일 [금]

시간	프로그램				
08:30~	참가자 등록				
			초청강연II (8층 탐라홀) 좌장 : 박철수(한림성심대)		
		09:00~09:30	초O-II-1. Effect of Alternative Magnetic Field on the Cancer Cells - Suppressing Frequency - 황도근(상지대)		
		09:30~10:00	초O-II-2. 4차 산업혁명과 자기학 김희중(한국과학기술연구원)		
	Ⓔ Special Session V (8층 아라홀) 'Design of novel rare-earth-free permanent magnets' 좌장 : 박성균(부산대)		Special Session VI (8층 탐라홀) 'New permanent magnetic materials' 좌장 : 최철진(재료연구소)		Special Session VII (8층 오라홀) 'MRI 및 방사선 분야(의과학연구회)' 좌장: 한만석(강원대)
10:00~10:30	(Invited)S-V-1. Theoretical Study of Rare-Earth Lean Magnet Compound NdFe ₁₂ N Takashi Miyake(AIST)	10:00~10:20	초S-VI-1. High Clarke number element based new permanent magnetic materials 최철진(재료연구소)	10:00~10:20	초S-VII-1. 자기장을 이용한 6 MV 광자선의 선량 상승 영역 변조 기술에 관한 유용성 평가 안우상(울산의대 강릉이산병원)
10:30~10:55	초S-V-2. Optimization of spontaneous magnetization : Slater-Pauling curve revisited 민병일(포항공대)	10:20~10:40	초S-VI-2. 신조성 영구자석 디자인을 위한 다중물리 전산모사 방법 이기석(울산과학기술원)	10:20~10:40	초S-VII-2. 3차원 재구성 방법의 차이에 따른 동맥류영상의 정확성 측정 김유민(한림대 춘천성심병원)
10:55~11:20	초S-V-3. Role of heavy transition metals on magnetic anisotropy in TM/Fe/MgO(001) 홍순철(울산대)	10:40~11:00	초S-VI-3. 1-D magnetic material fabrication for developing new permanent magnetic materials 김종렬(한양대)	10:40~11:00	초S-VII-3. 수동형 콜리메이터를 이용한 양성자치료 최재혁(국립암센터)
		11:00~11:20	초S-VI-4. High throughput synthesis and analysis of new permanent magnetic materials 김호섭(한국전기연구원)	11:00~11:20	초S-VII-4. 의료용 가속기의 시간인자를 고려한 광중성자 발생에 관한 연구 김정호(건양대)
11:20~11:45	초S-V-4. Potential rare earth free permanent magnetic: The α'' -Fe ₁₆ N ₂ 홍지상(부경대)	11:20~11:40	(Invited)S-VI-5. High-gas pressure stabilization of the meta-stable magnetic hydrides, oxides, and nitrides Pinnzhan-Si(China Jiliang Univ.)	11:20~11:40	초S-VII-5. 상자성체 조영제의 몰농도와 MRI 외부자기장 강도에 따른 T1 이완시간의 차이에 관한 고찰 서정민(대원대)
11:45~13:00	점심식사				



11월 25일 [금]

시간	프로그램				
			㉔ 초청강연III (8층 탐라홀) 좌장 : 이정구(재료연구소)		
		13:00~13:30	(Invited)O-III-1. Development of $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ Sintered Magnets Kenta TAKAGI(AIST)		
		13:30~13:40	coffee break		
	Special Session VIII (8층 아라홀) ‘군사분야의 자기응용’ 좌장 : 손대락(한남대)		구두발표 II (8층 탐라홀) (Spin/Theory) 좌장 : 이경진(고려대)		구두발표 III (8층 오라홀) (Soft mag. mater.) 좌장 : 조성래(울산대)
13:40~14:00	초S-VIII-1. 한반도 해양(수상·수중)환경을 고려한 해상탐지 시스템 발전방향 최봉완(한남대)	13:40~13:55	초O-II-1. Thermal and Electrical Controls of Magnetization Reversal in FeRh films Dorj Odkhuy(인천대)	13:40~13:55	O-III-1. Magnetic properties of Fe metal powder coated with alumina by the sol-gel method 최성준(서울대)
14:00~14:20	초S-VIII-2. 수중무기체계 자기센서 응용 및 발전방향 임병선(LIG넥스원)	13:55~14:10	O-II-2. Cation redistribution of piezoelectric ferromagnetic $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3(010)$ films by Co- doping 김재영(포항공대)	13:55~14:10	O-III-2. Core Loss Improvement of SiO_2 Coated Fe Alloy Powder 이선우(서울대)
14:20~14:40	초S-VIII-3. 함정 요동에 의해 발생하는 와전류 자기장 모사 및 측정에 관한 연구 조동진(국방과학연구소)	14:10~14:25	O-II-3. Effects of MgO sputtering power and thermal annealing on the perpendicular magnetic anisotropy of Pt/Co/MgO trilayer 권형근(고려대)	14:10~14:25	O-III-3. Electron beam-induced magnetism on MoS_2 surface along 1T phase transition 한상욱(울산대)
		14:25~14:40	O-II-4. Optical-helicity-driven magnetization dynamics in metallic ferromagnets 최경민(한국과학기술연구원)	14:25~14:40	O-III-4. Current driven nanosecond skyrmion dynamics 송경미(숙명여대)
14:40~15:00	초S-VIII-4. 수중운동체에서의 근접 표적 탐지를 위한 능동형 자기센서 정현주(국방과학연구소)	14:40~14:55	O-II-5. Capping and strain induced modification on magnetocrystalline anisotropy: 5d transition metal/Fe/MgO P. Taivansai Khan(울산대)	14:40~14:55	O-III-5. Magnetotransport and Seebeck coefficient of epitaxial FeGe film grown on GaAs(100) Anh Tuan Duong(Hanoi University of Education)



11월 25일 [금]

시간	프로그램				
15:00~15:20	초S-VIII-5. K4 기관총 40mm 고속유탄의 Action Time 계측장치 개발 김은애(센서피아)	14:55~15:10	O-II-6. Magnetic properties of tilted phosphorene nanoribbon under electric field M. Umar Farooq(부경대)		
15:20~15:40	초S-VIII-6. 남극 장보고기지용 지상용 서치코일 자력계 개발 진호(경희대)				
15:40~16:00	폐회 (8층 탐라홀)				

CONTENTS

International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016

11월 23일(수) 17:00~18:00

Session : 실험과 이론 토크콘서트

8층 탐라홀

✿ 좌 장 : 이경진(고려대)

토크 콘서트-1	17:00	고성능 영구자석용 재료 개발 관련 이론계산과 실험결과의 간극 3 권해웅*, 이정구, 유지훈
토크 콘서트-2	17:10	미소자기 전산모사를 이용한 NdFeB계 영구자석의 미세구조 최적화 연구 4 김상국*
토크 콘서트-3	17:20	스핀트로닉스 분야에서 실험-이론간 공동연구에 대한 경험 5 이경진*

11월 24일(목) 09:00~10:50

Session : 초청강연 I

8층 탐라홀

✿ 좌 장 : 박병국(한국과학기술원)

Invited O-I-1	09:00	The magnetism of oxides 9 Josep Fontcuberta*
Invited O-I-2	09:40	High-coercivity Dy-free Nd-Fe-B permanent magnets 10 K. Hono*
Invited O-I-3	10:20	Sampling the structure and chemical composition of ferromagnetic nanoparticles with wide size distributions by Ferromagnetic Nuclear Resonance 11 Y. Shin, C. Meny*

11월 24일(목) 09:00~11:50

Session : 포스터발표

8층 한라홀

✿ 좌 장 : 신광호(경성대) / 박철수(한림성심대)

○ Session MT[Magnetic theory and calculations]

MT01	Poster	Calculation of Coupling Factor of Prolate Spheroid Exposed to Low-Frequency Magnetic Field 15 Jae-Hoon Shim, Kyu-Jin Jung*, Min-Soo Choi, Jin-Kyu Byun
MT02	Poster	τ -MnAl의 자기적 특성과 MCA에 관한 제일원리 계산 17 박진식*, 임성현 [†] , 홍순철 [†]
MT03	Poster	제일 원리 계산을 이용한 CoPt ₃ (111) 합금의 자성과 촉매반응성 18 이상희*, 권오룡, 홍순철 [†]

MT04	Poster	Magnetic anisotropy of Mn, Fe and Co dimers on monolayer phosphorene 19 Imran Khan*, Jicheol Son, Jisang Hong
MT05	Poster	Magnetism in phosphorene and AFM to FM switching by electric field 20 Arqum Hashmi*, Jisang Hong
MT06	Poster	Strain Effect on the Magnetic Properties of Pd : the First Principles Study 21 Do Duc Cuong*, S. H. Rhim [†] , Soon Cheol Hong [†]
MT07	Poster	The Spontaneous Magnetization Enhancement by the Thermal Fluctuation in a Ferro- antiferromagnetic mixed system: an Atomistic Micromagnetic Simulation Study 22 Namkyu Kim*, Jung-II Hong, Ki-Suk Lee
MT08	Poster	Fe/Ni(001)의 자성과 자기이방성에 대한 제일원리계산 24 이주은*, 임성현, 홍순철 [†]
MT09	Poster	전자가속기 빔 집속 향상을 위한 솔레노이드 전자석 설계 25 안진남*, 신승욱, 남궁호, 채종서
MT10	Poster	Tooth Shape Design of Permanent Magnet Motor for Cogging Torque Reduction ... 29 Jae-Hoon Shim*, Min-Soo Choi, Kyu-Jin Jung, Jin-Kyu Byun
MT11	Poster	3D Magnetic Field Analysis and Comparative Study of Circular Halbach Array 31 Min-Soo Choi*, Jae-Hoon Shim, Kyu-Jin Jung, Jin-Kyu Byun
MT12	Poster	Surface reconstruction and magnetic phase of the FePt thin films on Pt (110) substrate 33 Hanchul Kim, Miyoung Kim*
MT13	Poster	Describing the magnetic structure and origin of band gap on Ba ₂ CuOsO ₆ system; density functional theory approach 34 Lee, Changhoon*, Jin, Taewon, Shim, Ji-Hoon

○ Session MD[Magnetization dynamics]

MD01	Poster	영구자석 착자를 고려한 자속집중형 모터의 설계 35 김규섭*, 김수철, 이병화, 김규식
MD02	Poster	나노-바이오 계면에서 자성에 의해 움직이는 콜로이드 기술에 기초한 On-chip Micromagnet Frictionometer 37 윤종환*, 후싱하오, 고두 산디야 라니, 임병화, 김건우, 김철기 [†]
MD03	Poster	Growth and Nitridation of Fe thin films on (0001) Al ₂ O ₃ substrates 38 Hyeonjun Kong*, Eunyoung Ahn, Yuon-Kyoung Baek, Jung-Goo Lee, Jinhyung Cho, Jaekwang Lee, Sungkyun Park, Hyoungeen Jeon
MD04	Poster	Ta/Pt(t)/CoFeB/MgO 구조에서의 수직 자기 이방성 특성 변화 39 김지호*, 윤창진, 김범진, 김동석, 이광원
MD05	Poster	Pt/Co/Pt 구조에 따른 스핀홀앵글 연구 40 윤창진*, 김범진, 김지호, 김동석, 이광원
MD06	Poster	교류자기장에 의한 자구벽 이동 41 문경웅*, 김덕호, 김대연, 김창수, 전병선, 김원동, 이상선, 김대현, 윤정범, 최석봉, 황찬용

○ Session HM[Hard-magnetic Materials]

HM01	Poster	Structure and magnetic properties of cold-deformed Mn-Al-(C) 42 Hui-Dong Qian*, Ping-Zhan Si [†] , Chul-Jin Choi [†] , Kook-Chae Chung, Jong-Woo Kim
HM02	Poster	크기가 다른 Sr-Ferrite 입자의 자기화 역전과 자기 상호작용이 보자력에 미치는 영향 43 김현수*, 김경민, 권해웅, 정순영
HM03	Poster	Structure control of Fe Particles for the Efficient Nitridation 45 김수경*, 이정구, 권세훈, 백연경
HM04	Poster	Magnetic and Microstructural Properties of Multilayered MnBi Films 46 Hongjae Moon*, Sumin Kim, Hwaebong Jung, Hyun-Sook Lee [†] , Wooyoung Lee [†]
HM05	Poster	Magnetic properties of large-scaled MnBi bulk magnets 47 Sumin Kim*, Hongjae Moon, Hwaebong Jung, Hyun-Sook Lee [†] , Wooyoung Lee [†]
HM06	Poster	증착온도에 따른 Fe 박막의 구조적, 자기적 특성 변화 연구 48 조윤희*, 김지웅, 이지성, 박성균 [†]

○ Session SM[Soft-magnetic Materials]

SM01	Poster	NiFe/MnIr 박막 재료의 자기장 각도에 따른 교환결합력 특성 49 김동영*, 윤석수
SM02	Poster	비틀림 스트레인 하에서 전기도금으로 제작된 Cu코어/NiFe셀 복합와이어에서 거대자기저항 효과 50 구태준, 윤석수*, 김동영, 이상훈
SM03	Poster	Zn가 치환된 Z-type strontium ferrite의 결정학적 및 자기적 특성 연구 51 임정태*, 엄영랑, 서정철, 김철성
SM04	Poster	Electrical and magnetic properties of Fe ₃ O ₄ films on highly crystalline Cu(111) islands 53 Ji Woong Kim*, Dooyong Lee, Sehwan Song, Yunhee Cho, Sungkyun Park [†]
SM05	Poster	CoFe ₂ O ₄ , AlFe ₂ O ₄ 나노 페라이트 제조 방법에 따른 자기적 특성 연구 54 최현경*, 임새울, 안미정, 엄원영, 심인보, 김철성, 김삼진
SM06	Poster	Annealing Effect on the Magnetic Properties for Co-based Amorphous Alloys 55 Sumin Kim*, Haein Choi-Yim
SM07	Poster	Dependence of exchange bias field on antiferromagnetic layer thickness in NiFe/FeMn/CoFe heterostructures grown under a magnetic field 56 Ki-Yeon Kim*, Hyeok-Cheol Choi, Sin-Yong Jo, Seung Ku Kang, Jong Kahk Keum, Valeria Lauter, Haile Arena Ambaye, Jiyong Gu, Je-Ho Shin, Dong-Hyun Kim, Chun-Yeol You
SM08	Poster	Effect of Fe/Co ratios on Thermal and Magnetic Properties at Co-Fe-B-Si-Ta Alloys system 58 Jiyun Oh*, Haein Choi-Yim
SM09	Poster	Analysis of Thermal and Magnetic Properties by adding Mo to Co-based and Fe-based Amorphous Alloys 60 Seoyeon Kwon*, Haein Choi-Yim

SM10	Poster	The influence of repetition of bilayer in CoSiB/Pd multilayer with Perpendicular Magnetic Anisotropy	62
		Sol Jung*, Haein Yim	
SM11	Poster	LiFe _{0.95} V _{0.05} FePO ₄ 의 자기적 및 전기적 특성 연구	64
		고병욱*, 손진영, 김삼진, 김철성	
SM12	Poster	Olivine 구조의 양극물질에 transition metal(Fe, Mn, Ni)을 치환함으로써 나타나는 자기적 특성	66
		최현경*, 김문환, 김성백, 한은주, 김삼진, 김철성	
SM13	Poster	유연기판을 이용한 PHR 센서의 자기특성 변화 연구	68
		김성준, 김미진*, 전태형, 강지훈, 김범주, 김도환, 최승호, 김철기 [†]	

○ Session SS[Semiconductor spintronics]

SS01	Poster	Spin Hall Transistor using In As 2DEG Channel and Logic Devices	69
		Won Young Choi*, Hyung-Jun Kim, Joonyeon Chang, Suk Hee Han, Hyun Cheol Koo	
SS02	Poster	Effect of pulsed magnetic field annealing on the resistance switching property of Fe- and Co- doped ZnO thin films	70
		Changjin Wu*, Hongtao Xu, Chunli Liu	
SS03	Poster	Detection of chemical potentials in a strong Rashba channel	71
		Joo-hyeon LEE*, Won Young Choi, Hyung-jun Kim, Joonyeon Chang, Suk Hee Han, Hyun Cheol Koo	
SS04	Poster	Detection of Rashba spin splitting via a side injection	72
		Youn Ho Park*, Hyun-jun Kim, Joonyeon Chang, Heon-Jin Choi, Hyun Cheol Koo [†]	

○ Session SO[Spin orbit coupling and related phenomena]

SO01	Poster	Role of Cu insertion layer at the Pt/Co and Co/AlO _x interfaces with interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction and perpendicular magnetic anisotropy	73
		Nam-Hui Kim*, Jaehun Cho, Jinyong Jung, Dong-Soo Han, Yuxiang Yin, June-Seo Kim, Henk J.M. Swagten, Kyujoon Lee, Myung-Hwa Jung, Chun-Yeol You	
SO02	Poster	Investigation of electrical and magnetic properties of single crystalline Mn doped BiFeO ₃	75
		Ki-Myung Song*, Seongsu Lee	
SO03	Poster	Magnetization switching driven by spin-orbit torque in exchange-biased magnetic tunnel junctions	76
		Euna Jo*, Chaun Jang, Hee-Gyum Park, Byoung-Chul Min	
SO04	Poster	외부 자기장과 스핀홀현상에 의한 자기이력곡선의 변화	77
		김범진*, 윤창진, 김지호, 김동석, 주성중, 이금원	
SO05	Poster	Pt/CoFeSiB/Ta 구조에서의 수직자기이방성과 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction	78
		차인호*, 김남희, 김용진, 김규원, 유천열, 김영근	

○ Session NS[Nano-structured materials]

- NS01 Poster Morphologies and Magnetic properties of ZnFe_2O_4 ferrite synthesized by the Hydrothermal method with various solvents 80
H.S. Kim*, D.H. Kim, B.W. Lee
- NS02 Poster Electrical and magnetic properties of semi-metallic WTe_2 81
Jeehoon Jeon*, Tae-Eon Park, Sangsu Kim, Taeyueb Kim, Chaun Jang,
Hyoung Tae Kim, Hyun Cheol Koo, Jinki Hong, Joonyeon Chang

○ Session ST[Spin transfer torque for magnetic memory]

- ST01 Poster TMR 소자에서 자기저항비의 교류전압 및 주파수 의존성 연구 82
배성철, 윤석수, 김동영*

○ Session NM[Nanoscale Magnetism]

- NM01 Poster Temperature Dependence of Magnetic Anisotropy Constant in Ferrimagnetic Zinc Ferrite Nanoparticles 83
Sunghyun Yoon*

○ Session MO[Magnetic Oxides and Multiferroics]

- MO01 Poster Epitaxial growth and strain-related optical properties of polar magnetic PbVO_3 thin films 84
Seol Hee Oh*, Changjae Roh, Jongseok Lee, William Jo
- MO02 Poster $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 페라이트 자성 입자의 활성화 부피의 자기장 의존성 85
김현수*, 김경민, 권해웅, 정순영
- MO03 Poster Structural and magnetic properties of epitaxial $\text{FeMn}_2\text{O}_{4\pm\delta}$ film on $\text{MgO}(100)$ 87
Duong Van Thiet*, Duc Dung Dang, Anh Tuan Duong, Sunglae Cho

○ Session SA[Sensor and Applications]

- SA01 Poster 열처리 조건에 따른 Fe-1%Cu 합금의 자기적 특성 변화에 관한 연구 88
강선주*, 이철규, M.B.Kishore, 박덕근
- SA02 Poster 펄스와전류 비파괴 연구를 통한 보존재 비해체식 배관감육 탐지 90
이철규*, M.B Kishore, 강선주, 박덕근

11월 24일(목) 13:00~16:10

Special Session I '기업에서의 자성재료 및 부품 개발 동향 I/II'

8층 아래홀

✽ 좌 장 : 엄영랑(한국원자력연구원) / 최판규((주)MTI)

- 초S-I-1 13:00 칩파워인덕터용 자성재료 개발 동향 95
안성용*
- 초S-I-2 13:20 자성 페이스트를 이용한 파워인덕터 개발 96
이태경*, 최성진, 양승남, 최광보
- 초S-I-3 13:40 전기폭발법을 이용한 자성 나노분말 제조 97
박중학*, 이동진, 홍순직

초S-I-4	14:00	토다이수 소프트페라이트 개발 현황 99 이명호*
초S-I-5	14:30	차량 전자부품과 자성소재 100 배석*, 이상원, 정효연, 김유선
초S-I-6	14:50	자동차 전자부품용 연자성 소재 및 개발 동향 101 김영민*, 김형석, 김신규, 김미루, 정연준, 이두환
초S-I-7	15:10	무선전력 전송 산업 동향 102 한승희*
초S-I-8	15:30	친환경자동차용 회토자석 공정설계기술 103 김동환*, 공군승, 이정구, 유지훈
초S-I-9	15:50	회토류 영구자석 소재의 개발 현황과 그 응용 제품 개발 사례 104 김효준*, 김상면

11월 24일(목) 13:00~17:10

Special Session II 'Emerging Spintronic Materials and Devices'

8층 탐라홀

✿ 좌 장 : 김영근(고려대) / 황찬용(한국표준과학연구원)

Invited S-II-1	13:00	Voltage control of magnetic anisotropy in monocrystalline ferromagnetic metal/oxide layered structures 107 S. Mitani*, Z.C. Wen, Q.Y. Xiang, Y. Iida, H. Sukegawa, S. Kasai
초S-II-2	13:30	Berry phase from atomic orbital 108 Dongwook Go, Changyoung Kim, Hyun-Woo Lee*
초S-II-3	14:00	Spin-Orbit Torque and Beyond 109 See-Hun Yang*
Invited S-II-4	14:40	Current induced nucleation and motion of skyrmion in symmetric multilayers 110 S. Rohart*, A. Hrabec, J. Sampaio, A. Thiaville
초S-II-5	15:10	Shift of magnetic hysteresis loop by Dzyaloshinskii-Moriya interaction in laterally asymmetry microstructure 111 Dong-Soo Han, Nam-Hui Kim, June-Seo Kim, Yuxiang Yin, Jung-Woo Koo, Jaehun Cho, Sukmock Lee, Mathias Kläui, Henk J. M. Swagten, Bert Koopmans, Chun-Yeol You*
초S-II-6	15:40	Efficient control of perpendicular magnetization through spin-orbit torques in antiferromagnet/ferromagnet/oxide structures 112 Young-Wan Oh, Seung-heon Chris Baek, Chang-Geun Yang, Eun-Sang Park, Ki-Seung Lee, Kyoung-Whan Kim, Gyungchoon Go, Jong-Ryul Jeong, Byoung-Chul Min, Hyun-Woo Lee, Kyung-Jin Lee, Byong-Guk Park*
초S-II-7	16:10	Dynamics of Magnetic Domain Wall in Ferrimagnets 113 Kab-Jin Kim*, Takayuki Tono, Arata Tsukamoto, Takahiro Moriyama, Teruo Ono
초S-II-8	16:40	Recent Development Status of MTJ with TEL PVD EXIM™ 114 Chang Man Park*

11월 24일(목) 13:00~15:30

Special Session III 'Applications of Magnetic Nanoparticles'

8층 오리홀

✿ 좌 장 : 유춘리(한국외대)

초S-III-1	13:00	Asymmetric Bead Immunoaggregation for Label-free Protein Detection	117
		Junghoon Lee*	
초S-III-2	13:20	Applications of Metal doped-Ferrite Bismuth as Reusable Magnetic Nanoparticles for Fast Removal of Organics under Visible Light Irradiation	118
		Byeong-Kyu Lee*, Tayyeb Soltani	
초S-III-3	13:40	Ferrite material for Hyperthermia application with Mössbauer spectroscopy	119
		김철성*	
초S-III-4	14:00	Magnetic characterization of Fe nano-sized powder synthesized by pulsed wire evaporation method	120
		D. H. Kim*, S. H. Lee, D. J. Lee, J. H. Park, B. W. Lee	
Invited S-III-5	14:30	Magnetic SnFe ₂ O ₄ nanoparticles: synthesis and their application for visible light photocatalyst for chlortetracycline	121
		Yuefa Jia*, Chunli Liu	
Invited S-III-6	14:50	Tunable magnetic properties and large magnetocaloric effect of non-stoichiometric LaMnO ₃ nanoparticles	123
		P. S. Tola*, T. L. Phan	
초S-III-7	15:10	Vortex-state nanoparticles for bio-imaging and magnetic hyperthermia	124
		Sang-Koog Kim*	

11월 24일(목) 16:40~18:00

Special Session IV '제일원리 양자시뮬레이션 심포지엄'

8층 아래홀

✿ 좌 장 : 김미영(숙명여대)

Invited S-IV-1	16:40	Ab initio Theoretical Studies on Multiferroicity in Transition Metal Oxides	127
		Kunihiko Yamauchi*	
초S-IV-2	17:10	Record-high spin-driven polarization and light-matter interactions in BiFeO ₃	128
		Jun Hee Lee*	
초S-IV-3	17:35	DFT calculations for magnetic systems - a simple guide for non-experts	129
		S. H. Rhim*	

11월 24일(목) 15:35~17:20

Session : 구두발표 I (Hard/Oxide/Nano struc.)

8층 오리홀

✿ 좌 장 : 정창욱(한국외대)

O-I-1	15:35	Nd ₂ Fe ₁₄ B 소결자석에서 확산물질에 따른 Dy의 입계확산 거동	133
		차희령*, 유지훈, 권해웅, 김양도, 이정구	

O-I-2	15:50	DyF ₃ paste를 활용한 Nd-Fe-B 입계확산 자석의 보자력 향상 연구 134 전광원*, 차희령, 이정구†
O-I-3	16:05	전기영동법으로 코팅한 DyF ₃ 의 확산처리를 이용한 Nd-Fe-B 계 자성분말의 보자력 향상 136 김경민*, 권해웅, 이정구, 유지훈, 김태훈, 양철웅
O-I-4	16:20	Magnetic properties in Sr _{1-x} La _x Ru _{1-x} Fe _x O ₃ thin film 138 Chang Uk JUNG*, Umasankar Dash
O-I-5	16:35	Influence of the tip material on the formation and resistive switching properties of NiO naondots 140 Jihye Kim*, William Jo, Christian Mény
O-I-6	16:50	사출식 영구 자석에 의한 IPM모터의 특성 향상에 관한 연구 141 하정무*, 박관수
O-I-7	17:05	First-principles prediction of novel Fe ₁₄ M ₂ N ₂ (M=Al, W, Zr) alloys with high coercivity 143 Taewon Min*, Jinho Byun, Hyoungjeen Jeon, Sungkyun Park, Jaekwang Lee

11월 25일(금) 09:00~10:00
Session : 초청강연 II

8층 탐라홀

❀ 좌 장 : 박철수(한림성심대)

초O-II-1	09:00	Effect of Alternative Magnetic Field on the Cancer Cells - Suppressing Frequency - 147 황도근*, 박혜지
초O-II-2	09:30	4차 산업혁명과 자기학 149 김희중*

11월 25일(금) 10:00~11:45

Special Session V

‘Design of novel rare-earth-free permanent magnets’

8층 아라홀

❀ 좌 장 : 박성균(부산대)

Invited S-V-1	10:00	Theoretical Study of Rare-Earth Lean Magnet Compound NdFe ₁₂ N 153 Takashi Miyake*
초S-V-2	10:30	Optimization of spontaneous magnetization : Slater-Pauling curve revisited 154 B. I. Min*
초S-V-3	10:55	Role of heavy transition metals on magnetic anisotropy in TM/Fe/MgO(001) 155 P. Taivansaikhani, D. Odkhuu, S. H. Rhim, S. C. Hong*
초S-V-4	11:20	Potential rare earth free permanent magnetic: The α"-Fe ₁₆ N ₂ 156 Jisang Hong*, Imran Khan

11월 25일(금) 10:00~11:40

Special Session VI 'New permanent magnetic materials'

8층 탐라홀

✿ 좌 장 : 최철진(재료연구소)

초S-VI-1	10:00	High Clarke number element based new permanent magnetic materials 159 Chul-Jin Choi*, Kook-Chae Chung, Jong-Woo Kim
초S-VI-2	10:20	신조성 영구자석 디자인을 위한 다중물리 전산모사 방법 160 이기석*, 이억균, 심지훈
초S-VI-3	10:40	1-D magnetic material fabrication for developing new permanent magnetic materials 161 좌용호, 김종렬*
초S-VI-4	11:00	High throughput synthesis and analysis of new permanent magnetic materials ... 162 Ho-Sup Kim*, Dong-Woo Ha, Chul-Jin Choi, Kook-Chae Chung, Jong-Woo Kim, Ki-Suk Lee
Invited S-VI-5	11:20	High-gas pressure stabilization of the meta-stable magnetic hydrides, oxides, and nitrides 163 Ping-Zhan Si*, Nai-Kun Sun, Chul-Jin Choi

11월 25일(금) 10:00~11:40

Special Session VII 'MRI 및 방사선 분야 (의과학연구회)'

8층 오리홀

✿ 좌 장 : 한만석(강원대)

초S-VII-1	10:00	자기장을 이용한 6 MV 광자선의 선량 상승 영역 변조 기술에 관한 유용성 평가 167 안우성*, 광정원, 조병철, 신성수, 최원식
초S-VII-2	10:20	3차원 재구성 방법의 차이에 따른 동맥류영상의 정확성 측정 168 김유민*, 박철수, 나길주, 김기홍, 김명삼
초S-VII-3	10:40	수동형 콜리메이터를 이용한 양성자치료 169 최재혁*, 전민철, 서선열, 김갑중, 황도근
초S-VII-4	11:00	의료용 가속기의 시간인자를 고려한 광중성자 발생에 관한 연구 170 김정호*, 한만석, 배석환, 유세종, 김창규
초S-VII-5	11:20	상자성체 조영제의 몰농도와 MRI 외부자기장 강도에 따른 T1 이완시간의 차이에 관한 고찰 172 서정민*, 김종명, 공문희, 신형섭, 조성호, 서아라, 강충환

11월 25일(금) 13:00~13:30

Session : 초청강연 III

8층 탐라홀

✿ 좌 장 : 이정구(재료연구소)

Invited O-III-1	13:00	Development of $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ Sintered Magnets 175 Kenta Takagi*, Rikio Soda, Wataru Yamaguchi, Kimihiro Ozaki
-----------------	-------	--

11월 25일(금) 13:40~15:40

Special Session VIII '군사분야의 자기응용'

8층 아리홀

✿ 좌 장 : 손대락(한남대)

초S-VIII-1	13:40	한반도 해양(수상·수중)환경을 고려한 해상탐지 시스템 발전방향	179
		최봉완*, 손대락	
초S-VIII-2	14:00	수중무기체계 자기센서 응용 및 발전방향	180
		임병선*, 문상택	
초S-VIII-3	14:20	함정 요동에 의해 발생하는 와전류 자기장 모사 및 측정에 관한 연구	181
		조동진*, 정현주, 양창섭, 정우진	
초S-VIII-4	14:40	수중운동체에서 근접 표적 탐지를 위한 능동형 자기센서	183
		정현주*, 양창섭, 조동진	
초S-VIII-5	15:00	K4 기관총 40mm 고속유탄의 Action Time 계측장치 개발	185
		양승호, 김은애*, 손대락	
초S-VIII-6	15:20	남극 장보고기지용 지상용 서치코일 자력계 개발	186
		진호*, 김관혁, 신재혁, 김효민, 권종우, 이승아, 이정규, 이성환, 지건화, Marc R. Lessard	

11월 25일(금) 13:40~15:10

Session : 구두발표 II (Spin/Theory)

8층 탐라홀

✿ 좌 장 : 이경진(고려대)

초O-II-1	13:40	Thermal and Electrical Controls of Magnetization Reversal in FeRh films	191
		Dorj Odkhuu*	
O-II-2	13:55	Cation redistribution of piezoelectric ferromagnetic $Ga_{0.6}Fe_{1.4}O_3$ (010) films by Co-doping	192
		김재영*, 김동환, 오설희, 조윤희	
O-II-3	14:10	Effects of MgO sputtering power and thermal annealing on the perpendicular magnetic anisotropy of Pt/Co/MgO trilayer	193
		Hyung Keun Gweon*, Sang Ho Lim, Seong-Rae Lee	
O-II-4	14:25	Optical-helicity-driven magnetization dynamics in metallic ferromagnets	195
		Gyung-Min Choi*	
O-II-5	14:40	Capping and strain induced modification on magnetocrystalline anisotropy :5d transition metal/Fe/MgO	196
		P. Taivansaikhani*, S. H. Rhim†, S. C. Hong†	
O-II-6	14:55	Magnetic properties of tilted phosphorene nanoribbon under electric field	197
		M. Umar. Farooq*, Arqum Hashmi, Jisang Hong	

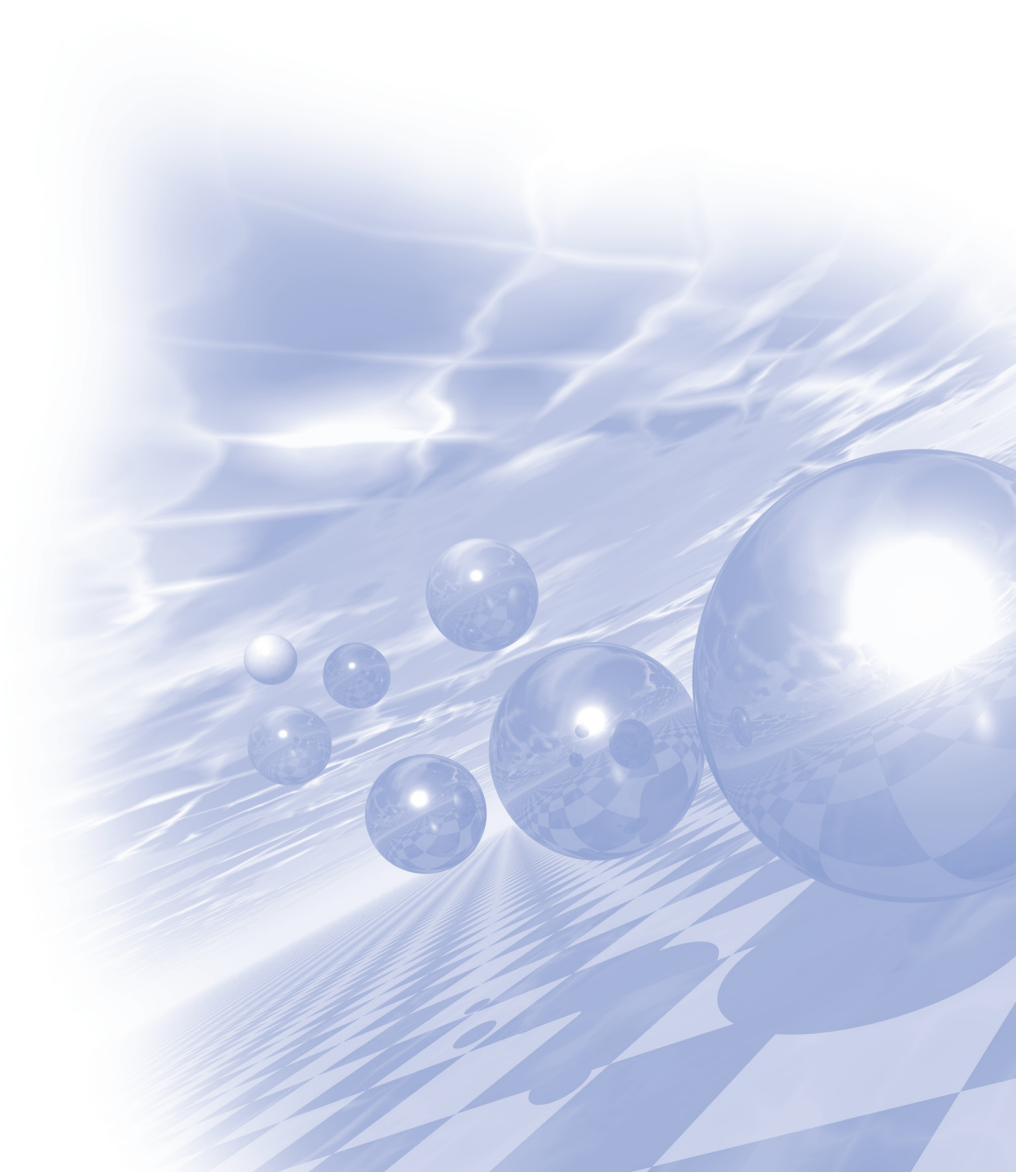
* 좌 장 : 조성래(울산대)

O-III-1	13:40	Magnetic properties of Fe metal powder coated with alumina by the sol-gel method 201	Sungjoon Choi*, Sunwoo Lee, Jae-Hyoung Yoo, Sang-Im Yoo
O-III-2	13:55	Core Loss Improvement of SiO ₂ Coated Fe Alloy Powder 202	Sunwoo Lee*, Sungjoon Choi, Jae-Hyoung You, Sang-Im Yoo
O-III-3	14:10	Electron beam-induced magnetism on MoS ₂ surface along 1T phase transition ... 203	Sang Wook Han*, S. C. Hong
O-III-4	14:25	Current driven nanosecond skyrmion dynamics 204	Kyung Mee Song ^{†*} , Seonghoon Woo [†] , Hee-Seung Han, Min Seung Jung, Mi-Young Im, Ki-Suk Lee, Kun Soo Song, Jae-Sung Kim, Peter Fischer, Jung Il Hong, Jun Woo Choi, Byeong-Chul Min, Hyun Cheol Koo, Joonyeon Chang
O-III-5	14:40	Magnetotransport and Seebeck coefficient of epitaxial FeGe film grown on GaAs(100) 205	Anh Tuan Duong*, Yooleemi Shin, Van Thiet Duong, Van Quang Nguyen, Sunglae Cho



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

실험과 이론 토크콘서트



고성능 영구자석용 재료 개발 관련 이론계산과 실험결과의 간극

권해웅^{1*}, 이정구², 유지훈²

¹부경대학교 재료공학과, 부산광역시 남구 신선로 365 (48547)

²재료연구소, 경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (51508)

현재 진행중인 영구자석용 재료 관련 연구개발은 기존 영구자석용 재료의 고성능화 그리고 고성능 영구자석용 신물질 개발로 요약할 수 있다. 이를 위한 구체적인 연구개발의 방향은; (1) Nd-Fe-B 계 자석의 경우 중희토류 원소를 사용하지 않거나 그 사용을 최소화하면서 보자력의 극대화, (2) 높은 자기이방성과 높은 포화자화를 갖는 새로운 희토류 화합물 탐색 및 자석 성능 발현 연구 개발, (3) 높은 자기이방성과 높은 포화자화를 갖는 3d 전이금속 합금 탐색 및 자석 성능 발현 연구 개발, (4) 높은 경자성 합금과 높은 포화자화 합금 간의 복합재료화를 통한 자석 성능 향상 등으로 요약할 수 있다. 이러한 연구개발에서 이론계산을 통해서 얻을 수 있는 지식의 범위가 어디까지인가에 대하여 토론한다. 또한 많은 경우에 이론계산 결과와 실험 결과 사이에 상당한 간극이 존재하는데, 이에 대하여도 토론한다. 고성능 영구자석 재료 개발 과정에서 이론계산이 실험연구자들로 하여금 불필요한 착오를 거치지 않게 하고 의미 있는 연구개발 방향을 제시할 수 있는 유용한 가이드라인이 되기 위한 방안에 관하여 토론한다.

미소자기 전산모사를 이용한 NdFeB계 영구자석의 미세구조 최적화 연구

김상국*

서울대학교 재료공학부

중희토류를 포함하지 않는 NdFeB계 영구자석의 내열성 강화를 위해, 미소자기 전산모사를 이용하여 영구자석의 미세구조 최적화 연구를 수행하였다. 본 발표에서는 유한요소법 미소자기 전산모사 프로그램 FEMME를 이용하여 계산한 영구자석의 결정립의 크기, 결정립계의 포화자화(M_s), 결정립계의 자기교환상수(A_{ex}), 결정립 오배열도에 따른 보자력 및 최대에너지적을 제시한다. 따라서 전산모사를 통한 영구자석의 성능개선 방법을 제시하고, 더 나아가 미세구조 및 자구의 역할에 대한 이해도를 높이고자 한다.

스핀트로닉스 분야에서 실험-이론간 공동연구에 대한 경험

이경진^{1,2*}

¹고려대학교 신소재공학과, 서울시 성북구 안암동 5가

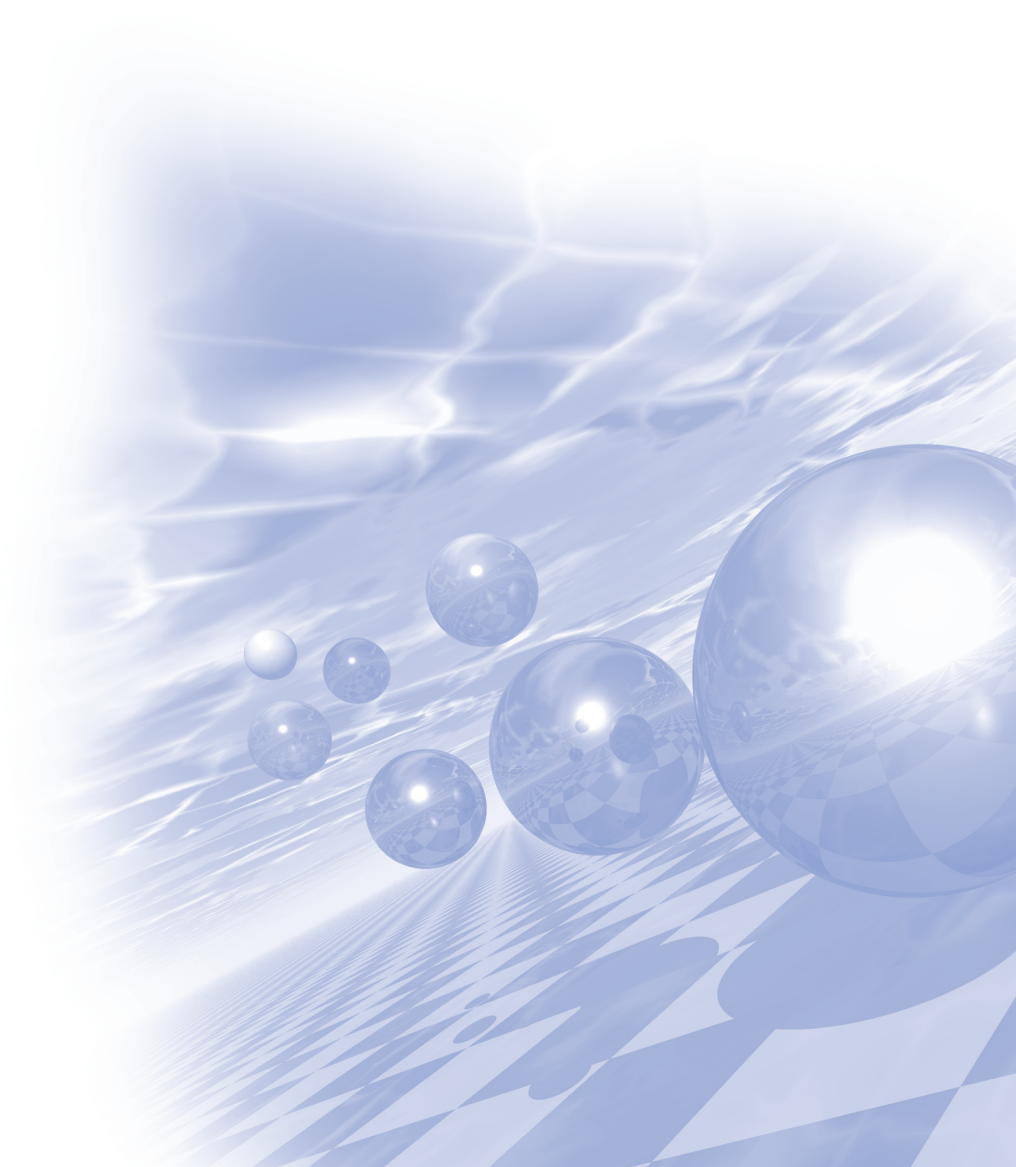
²고려대학교 KU-KIST 융합대학원, 서울시 성북구 안암동 5가

스핀트로닉스 분야의 이론연구자로서 지금까지 실험그룹과의 다양한 공동연구 (~ 50편의 논문 공저 (회사 연구팀과 ~10편 포함))를 진행했던 경험을 토대로, 실험-이론간의 공동연구에 대한 여러 가지 예를 논하고자 한다. 특히 성공적인 실험-이론간 공동연구를 위해 필요한 조건으로 어떤 것들이 있는지를 case 별로 소개하고자 한다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

초청강연 I



The *magnetism* of oxides

Josep Fontcuberta*

Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC)
Campus UAB, 08193 Bellaterra, Catalonia, Spain

Magnetite Fe_3O_4 guided the humankind towards unknown frontiers. Since those early days, oxides have been the backbone of many scientific and technologic developments and reached a peaceful maturity, robustly settled in textbooks and deeply integrated in technological applications, until late 1980's when the high temperature superconductors were discovered. The subsequent rush stimulated an impressive development in oxide thin film growth technologies and a deep revision of the understanding of metal oxides and strongly correlated electronic systems which ultimately boosted a tremendous explosion of research on oxides. Today, long beyond the celebrated colossal magnetoresistance, oxides are fuelling the discovery and development of unexpected, intriguing and fascinating new areas of knowledge, such as magnetic ferroelectrics and magnetic monopoles. Ferromagnetic oxides are finding its way as active components in spintronics, either as spin filters for advantageous magnetic tunnel junctions or used to manipulate spins in non-magnetic materials, which could eventually lead to pure spin-current based rather than charge&spin-based devices, with prospects of more energy-efficient spintronic devices. The tinny spin-orbit coupling interaction, responsible for the magnetic anisotropy, has also emerged as a fundamental interaction allowing to modulate electric transport properties, not only of metallic ferromagnetic systems but also in antiferromagnetic metals and insulators that may lead to a new generation of magnetic memories. Still, "interface is the device" and interfaces between oxides and metals and interfaces between large band-gap oxides have led to the discovery of emerging properties such as switchable "on-off" magnetization or magnetism and superconductivity that challenges our understanding of oxides. This is the playground where we happily play, learn and envision the future while enjoying building a new science out of the *old* good oxides. Along the seminar, we will jointly follow the track of the new materials and ideas that make this journey possible and so successful.

High-coercivity Dy-free Nd-Fe-B permanent magnets

K. Hono*

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

Due to the recent concern about the stable supply of heavy rare earth elements, attaining high coercivity in Nd-Fe-B magnets without using Dy has received intense research interest. In this talk, we will overview our recent progresses at NIMS toward the development of high coercivity Dy-free Nd-Fe-B permanent magnets. To obtain better understandings of the microstructure-coercivity relationships, we revisited the microstructures of Nd-Fe-B sintered and hot-deformed magnets using aberration-corrected STEM complemented by atom probe tomography (APT), magneto-optical Kerr microscopy and finite element micromagnetic simulations. We found that the intergranular phase parallel to the c-planes are mostly crystalline with a higher Nd concentration in contrast to that lying parallel to the c-axis that contains higher Fe content with an amorphous structure. Micromagnetic simulations suggest the reduction of the magnetization in the latter is critical to enhance the coercivity. Based on these new experimental findings together with our recent detailed characterization results of the intergranular phases in Ga-doped Nd-Fe-B magnets, we developed a method to increase the coercivity of Nd-Fe-B hot-deformed magnets while keeping relatively high remanence.

Sampling the structure and chemical composition of ferromagnetic nanoparticles with wide size distributions by Ferromagnetic Nuclear Resonance

Y. Shin^{1,2}, C. Meny^{1*}

¹Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS),

UMR 7504 CNRS- University of Strasbourg, 23, rue du Loess, 67034 Strasbourg Cedex 02, France

²Department of Physics, CNRS-Ewha International Research Center, Ewha Womans University, Seoul 120-750, South Korea

Assemblies of nanoparticles are investigated in many research fields. One of the problems for understanding their properties arises from the difficulty in producing mono-dispersed particles. Therefore, the identification of the key parameters at the origin of their properties is blurred by wide size distributions. In this work we report on the new method we have developed in ⁵⁹Co Nuclear Magnetic Resonance (NMR) which allows the sampling of the structure and chemical composition of ferromagnetic nanoparticles within their size distributions.

Nuclear Magnetic Resonance is commonly used in chemistry or biology but it is much less popular for studying ferromagnetic systems. However recent developments have shown that NMR can give unique information on the structure, stacking faults, chemical order or interface morphology of magnetic thin films, multilayers [1], or nano-particles [2]. When used for studying ferromagnetic samples, NMR is also called Ferromagnetic Nuclear Resonance (FNR, acronym we favour but it is also sometime called Internal Field NMR, IFNMR). In this present work, we report on a new FNR methodology that provides unique insights into the study of ferromagnetic nanoparticles.

In this new methodology we introduce the concept of Temperature Differential Ferromagnetic Nuclear Resonance (TDFNR) spectra. These spectra are obtained by first measuring FNR spectra for different temperatures. Differences between spectra obtained at adjacent temperatures are then computed resulting in the so called Temperature Differential Ferromagnetic Nuclear Resonance (TDFNR) spectra. These TDFNR spectra have the advantage over all the other investigation methods to allow analysing the structure and the chemical composition of particles for selected size ranges [2] within the particles size distribution. Therefore the TDFNR spectra allow one to sample simultaneously the crystallographic structure, the chemical composition and the chemical order of ferromagnetic nanoparticles within the size distribution of the particles. In addition from the TDFNR spectra intensities it is possible to estimate the particle size distribution. Our methodology allows therefore a very complete understanding of the relationship between the structure and the size of the particles even in the case of broad size distributions. In addition no specific sample preparation is required and the method allows analysing the samples in their macroscopic shapes.

The method is first applied to the study of cobalt nanoparticles and allows showing that surprisingly in the studied sample, the smallest Co particles have mostly a hexagonal structure while the largest one have rather a cubic (fcc) structure. In a second example, we extend the field of application of the method by sampling the chemical composition and chemical order within the size distribution of alloyed CoFe nanoparticles. Our method can thus be applied in many research fields, allowing a deeper understanding of the properties of assemblies of ferromagnetic nanoparticles with wide size distributions.

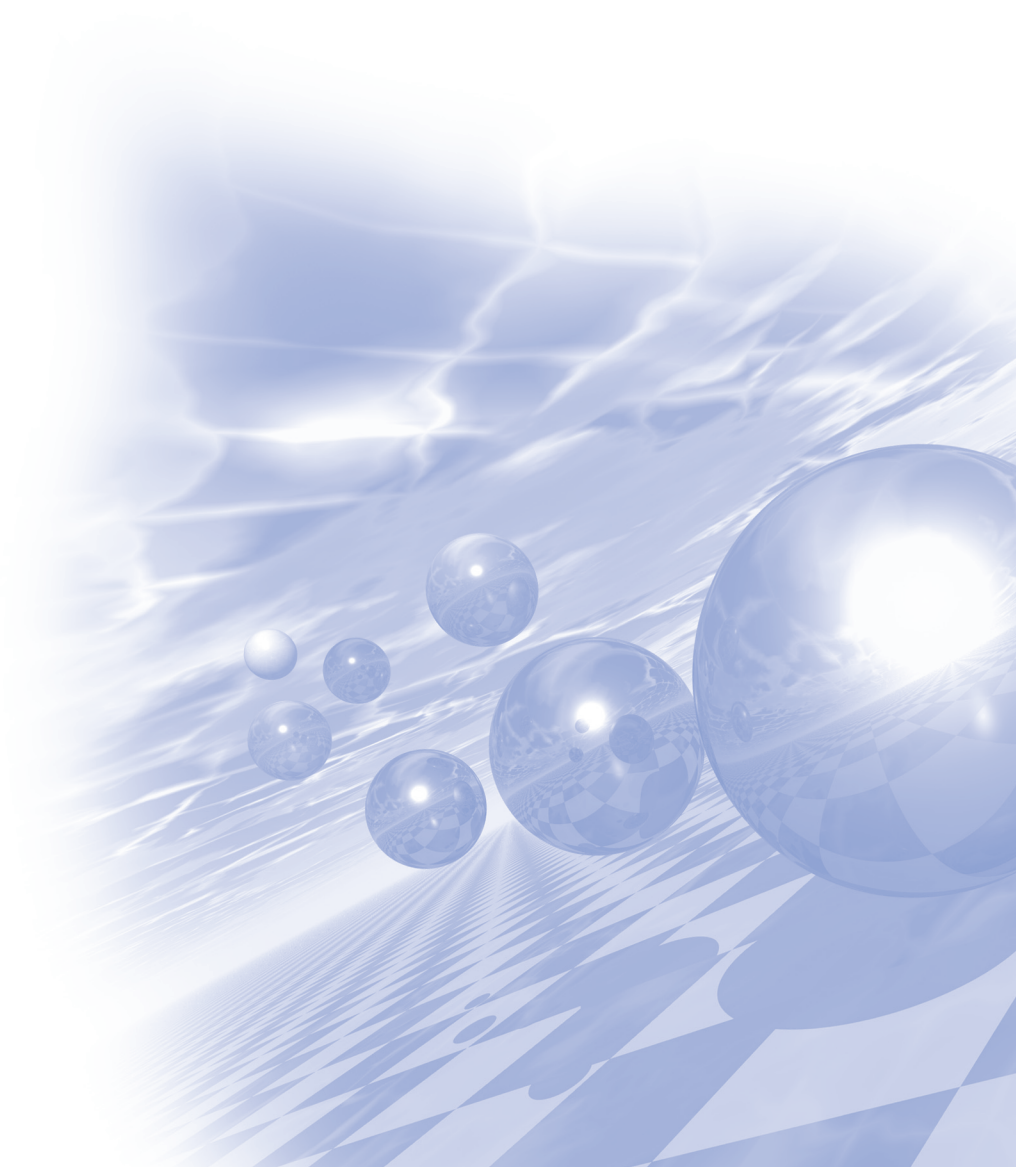
References

- [1] P. Panissod, C. Meny, **Appl. Magn. Reson.** 19, 447-460 (2000)
- [2] Y.F. Liu,..., C. Meny, **Nat. Commun.** 7, 11532 (2016).



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

포스터발표



Calculation of Coupling Factor of Prolate Spheroid Exposed to Low-Frequency Magnetic Field

Jae-Hoon Shim, Kyu-Jin Jung*, Min-Soo Choi, and Jin-Kyu Byun

Department of Electrical Engineering, Soongsil University

1. Introduction

When human body is exposed to low-frequency magnetic field, the induced current or electric field inside human body can lead to adverse health effects such as stimulation of nerve or muscle tissues. Since induced current density inside human body is difficult to measure, alternative methods have been proposed to assess magnetic field exposure at low-frequency. One of such methods is coupling factor approach that is defined in IEC standards. In IEC 62226-2-1 standard, coupling factor K is defined as [1]:

$$K = \frac{J_{\text{nonuniform}}}{J_{\text{uniform}}} \quad (1)$$

where $J_{\text{nonuniform}}$ is the current density induced by nonuniform magnetic field, and J_{uniform} is the current density induced by uniform magnetic field. In IEC 62226-2-1 standard, 2D circular disc model is used as an equivalent human model. In this paper, 3D prolate spheroid is used as an equivalent human model, and coupling factors are calculated for exposure to low-frequency magnetic field from circular coils.

2. Exposure Scenario by Circular Coil

Fig. 1 shows simplified exposure scenario when human body is located near circular coil. The human body is approximated by simple prolate spheroid, which has conductivity value of 0.2 [S/m], height of 0.8 [m], and width of 0.4 [m]. The frequency of current source is 50 [Hz], and the magnitude of the current is set to make magnetic field of 1.25 [μ T] at the closest point on the spheroid as shown in Fig. 1. COMSOL Multiphysics software was used for induced current density calculation, and various values of coil radius r and distance d between coil and spheroid are investigated.

To alleviate the errors from element division of numerical analysis, 99 percentile values of induced current density is used for calculation of $J_{\text{nonuniform}}$ instead of maximum values. The 99 percentile values are extracted from 5 [mm] grid inside the spheroid.

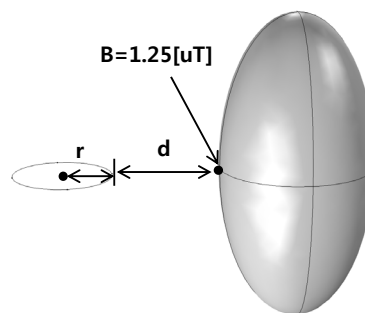


Fig. 1. Prolate spheroid model and circular coil.

3. Calculation Results

Fig. 2 shows calculated values of coupling factor K according to the distance d and radius r of the coil. In general, K value is increased as radius r of coil and distance d between coil and spheroid is increased. This is due to the fact that the characteristics of the magnetic field at the spheroid follow those of the uniform field as r and d are increased. Within 30 [cm] distance, maximum value of K was less than 0.56, which means that less than 56 % of induced current is generated compared to uniform field exposure. The calculated K values were slightly less than those obtained by 2D disc model in IEC 62226-2-1 standard [1].

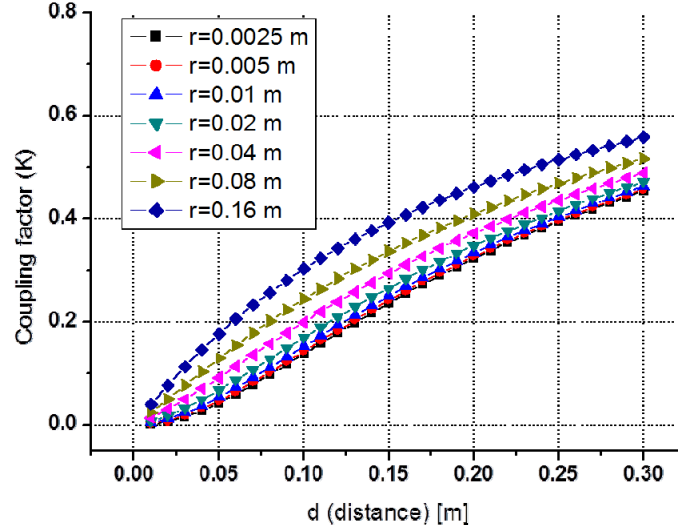


Fig. 2. Coupling factor K of prolate spheroid according to radius r and distance d .

3. Acknowledgment

This work was supported by the IT R&D program of MSIP/IITP. [B0138-15-1002, Study on the EMF exposure control in smart society]

4. Reference

- [1] *Exposure to electric or magnetic fields in the low and intermediate frequency range – Part 2-1: Exposure to magnetic fields – 2D models*, IEC Standard 62226-2-1, 2004.

τ -MnAl의 자기적 특성과 MCA에 관한 제일원리 계산

박진식*, 임성현[†], 홍순철[†]

울산대학교 물리학과, 에너지 하베스트-스토리지 연구센터 울산 680-749 대한민국

교신저자 : [†]sonny@ulsan.ac.kr, [†]schong@ulsan.ac.kr

최근 희토류 금속 자석 대체 물질에 대한 관심이 증가되고 있는 가운데 MnAl이 희토류 대체 자석 물질로써 최근 주목 받고 있다. MnAl은 단위 날칸당 망간 원자 2개와 실리콘 원자2개로 이루어져 있으며 정방정계 구조를 가지고 있다. 실험에서의 MnAl은 덩치일때 격자상수가 $a=2.77 \text{ \AA}$, $c=3.56 \text{ \AA}$ 일때 망간당 자기모멘트는 $1.94 \mu_B$ 으로 알려져 있다. 그러나 본 계산에서는 격자상수는 $a=3.45 \text{ \AA}$, $c=3.89 \text{ \AA}$ 일때 Mn당 자기모멘트는 $2.254 \mu_B$ 을 갖는 것으로 계산 되었다. 이에 응력에 따른 변화에 따라 각각의 자기모멘트와 MCA의 변화에 대해 고찰하여 보았다. 본 연구에서의 응력은 a, b 방향으로 계산에서 얻은 총 에너지 최소의 격자상수를 중심으로 -3 % (압축응력)에서 +3% (인장인력)까지 고려하였다.

키워드 : 자성물질, MnAl, 희토류금속, 영구자석

제일 원리 계산을 이용한 $\text{CoPt}_3(111)$ 합금의 자성과 촉매반응성

이상희*, 권오룡, 홍순철†

울산대학교 물리학과, 울산광역시 남구 대학로 93, 44610

연료전지의 전극에는 Pt가 촉매로 널리 사용되고 있다. 특히, 연료전지 환원극 내 산소 환원반응 속도는 산화극에서 수소 산화반응 속도에 비해 5배 이상 느리므로, 환원극의 활성화 에너지를 낮추기 위해 고가의 백금촉매가 많이 사용된다. 따라서 저가의 고효율 산소 환원 반응 촉매를 개발할 필요가 있고, 수소 연료전지로부터 안정적인 전력을 생산하기 위해, 높은 전기화학적 활성뿐 아니라 내구성도 동시에 갖춘 촉매 물질도 요구되고 있다.

본 연구에서는 Pt 저감 촉매 물질 탐색을 하고자 3d 전이금속중 하나인 Pt-Co 합금의 촉매 반응성을 연구하였다. $L1_2$ 구조의 덩치 CoPt_3 의 격자상수, 전자구조, 자성을 계산을 통해 구하고, $\text{CoPt}_3(111)$ 합금 표면의 전자구조를 제일원리계산 방법을 이용하여 계산하였다. 또한, 산소분자의 흡착위치, 해리된 산소원자의 흡착위치, 해리 과정에서의 장벽의 높이를 계산하여 Pt(111) 표면의 그것들과 비교, 분석하고, CoPt_3 의 자성과 촉매성 사이의 상관관계에 대해서도 논의할 예정이다.

Magnetic anisotropy of Mn, Fe and Co dimers on monolayer phosphorene

Imran Khan*, Jicheol Son and Jisang Hong

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

We studied the geometries, electronic structure and magnetic properties of substitutional doping and adsorption of transition metal (Mn, Fe and Co) dimers on phosphorene monolayer. The electronic band structures and magnetic properties were dependent on the doping type and dopant materials. For Mn and Fe substitutional and adsorption dimer, we obtained semiconducting band structures with spin polarization. However, we found a half-metallic feature in Co substitutional dimer while the Co adsorption dimer showed a semiconducting behavior without any spin polarization. The hybridization between TM and phosphorene sheet contributed to suppressing the magnetic moment of TM dimers. For instance, the total magnetic moments of -2.0, 4.24 and 1.28 μ_B /cell for Mn, Fe and Co substitutional dimer were obtained while the Mn and Fe adsorption dimers showed magnetic moments of -1.69 and 0.46 μ_B /cell. We observed that the Mn and Fe substitutional dimers showed an out-of-plane magnetization with magnetocrystalline anisotropy energies (MAEs) of 0.57 and 0.89 meV/cell while an in-plane magnetization with a MAE of 0.58 meV/cell was obtained in Co substitutional dimer. The Mn adsorption dimer still displayed a perpendicular magnetization with a MAE of 0.50 meV/cell. In contrast, the Fe adsorption dimer had an in-plane magnetization with a MAE of 0.11 meV/cell. This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and future planning (2016R1A2B4006406)

Magnetism in phosphorene and AFM to FM switching by electric field

Arqum Hashmi* and Jisang Hong

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

Correspondence and requests for materials should be addressed to J.H. (hongj@pknu.ac.kr)

We explored the possibility of long range magnetic ordering in two-dimensional porous phosphorene (PP) layer by means of Ab-initio calculations. The self-passivated pore geometry showed a non-magnetic state while the pore geometry with dangling bond at two zigzag edges with the distance of 7.7 Å preferred an anti-ferromagnetic ordering (AFM). Pore to pore magnetic interaction with the distance of 13.5 Å between two pores was found to be remarkably long ranged and this emerges from the interactions between the magnetic tails of the edge states in the armchair direction. The AFM state was persisted by the oxidation of the edge. Interestingly, the long range AFM ordering changed to long range ferromagnetic (FM) ordering by external electric field. The results are noteworthy in the interplay between electric field and electronic spin degree of freedom in phosphorene studies and may also open a promising way to explore phosphorene based spintronics devices.

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and future planning (2016R1A2B4006406)

Strain Effect on the Magnetic Properties of Pd : the First Principles Study^{*}

Do Duc Cuong^{*}, S. H. Rhim[†] and Soon Cheol Hong[†]

Department of Physics and Energy Harvest Storage Research Center University of Ulsan, Ulsan 44610, South Korea

[†]sonny@ulsan.ac.kr, schong@ulsan.ac.kr

In this study, different correlation functions have been applied to investigate magnetic properties of palladium (Pd). While GGA show the magnetic moment of Pd up to 1.1 μ_B , no magnetic moment was found when LDA is used. To understand the difference between magnetisms in LDA and GGA, the detail electronic structures of Pd using LDA and GGA are compared to each other and discussed in detail. The strain effects on electronic and magnetic properties of both bulk and thin film of Pd are also calculated and discussed.

^{*}This work is supported by grants from the Priority Research Centers Program (Grant No. NRF-2009-0093818) and the Basic Science Research Program (Grant No. NRF-2015R1A2A2A01003621) through NRF funded by the MOE and MSIP of Korea.

The Spontaneous Magnetization Enhancement by the Thermal Fluctuation in a Ferro-antiferromagnetic mixed system: an Atomistic Micromagnetic Simulation Study

Namkyu Kim^{1*}, Jung-II Hong² and Ki-Suk Lee¹

¹School of Materials Science and Engineering, UNIST, Ulsan 44919, Korea

²Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu 42988, Korea

1. Introduction

The couplings between ferromagnetic (FM) and antiferromagnetic (AFM) materials offer interesting and technologically important phenomena such as an exchange bias effect [1]. Recently, Hong *et al.* [2] found a significant enhancement of the spontaneous magnetization (M_s) with temperature in the FM-AFM mixed phase, which is against the general behaviors of known magnetic materials. In this work, we investigate the temperature dependence of the spontaneous magnetization of a FM-AFM mixed system by using atomistic micromagnetic simulations.

2. Simulations

In order to mimic FM-AFM mixed phase, we adopted simple model system in which a FM spherical particle with radius ranging from 2 to 5 nm located inside AFM matrix as shown in Fig. 1(a). The calculation size of a whole system is $5 \times 5 \times 5 \text{ nm}^3$ with a periodic boundary condition along x , y , and z -axes. The face centered cubic (FCC) structure with 2.5 Å-lattice constant was used for both FM and AFM materials. The VAMPIRE package [3] was used to perform atomistic micromagnetic simulation with following material parameters: an atomic moment for both FM and AFM, $1.72 \mu_B$, the exchange constants $J_{\text{FM}} = 12.2 \times 10^{-21} \text{ J/link}$ and $J_{\text{AFM}} = 2.7 \times 10^{-21} \text{ J/link}$, the atomic magnetocrystalline anisotropy $K = 4.644 \times 10^{-24} \text{ J/atom}$ along an easy axis (z -axis). It should be noted that, in our atomistic simulations, all atoms are considered as the same material but the exchange interaction between atoms are different according to FM and AFM materials.

The Monte-Carlo method was used to consider the thermal fluctuation, and M_s value for a given temperature was obtained from the averaging of M_s during a hundred of Monte-Carlo calculation steps at a stable stage under a saturation magnetic field with 2 T along the easy axis ($+z$ direction).

As shown in Figure 1, the M_s increases with the temperature for the case of FM spheres with $D < 3 \text{ nm}$, where the AFM interactions are dominant. Figure 2 reveals the physical mechanism of such a significant M_s increment in our simulations; at low temperature, the spin moments in a FM sphere are tilted largely from the applied field direction ($+z$ direction) owing to the strong couplings with AFM spins at the interface. As increasing the temperature, the thermal fluctuations of AFM spins are getting larger and it gives rise to the weakening of the FM-AFM couplings. Consequently, FM spins are aligned along the applied field direction and it causes the enhancement of M_s with the temperature.

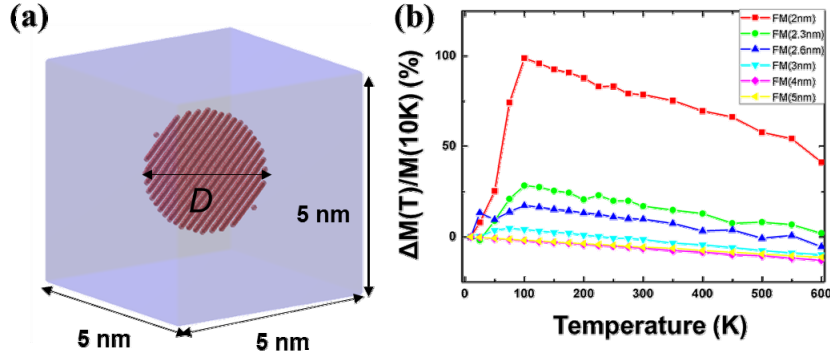


Fig. 1. (a) The model system with FM spherical particle of $D = 2.6$ nm. (b) The relative value of spontaneous magnetization changes as a function of the temperature.

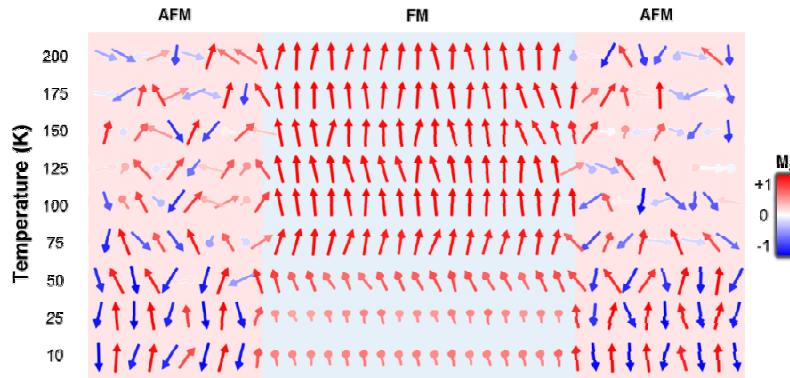


Fig. 2. Atomistic simulation results on the spin arrangement variation by the temperature for $D = 2.6$ nm.

3. References

- [1] W. Meiklejohn, C. Bean, Phys. Rev. **105** (1957) 904–913.
- [2] J.-I Hong *et al.*, unpublished.
- [3] R.F.L. Evans *et al.*, J. Phys. Condens. Matter **26** (2014) 103202.

Fe/Ni(001)의 자성과 자기이방성에 대한 제일원리계산

이주은*, 임성현, 홍순철†

울산대학교 물리학과, 울산 680-749

고밀도의 저장정보매체를 구현하기 위해서는 강한 수직 자기이방성을 가지는 물질이 요구되고 있다. 본 연구에서는 비교적 가격이 저렴한 3d 전이금속인 Fe, Ni 원소만으로 강한 수직 자기이방성을 구현할 수 있는지를 제일원리계산 방법으로 탐색하고자 하였다. 제일원리계산 방법으로는 Vienna Ab-initio Simulation Package (VASP)을 이용하였고 generalized gradient approximation (GGA)으로 교환-상관 전위를 나타내었다. 박막은 총 7층으로, 그림 1과 같이 Ni 5층의 양면에 Fe 단층이 부착된 구조를 택하였다. Ni과 Fe의 결합 길이는 각각 2.489 Å, 2.476 Å으로 차이가 0.52% 정도로 크지 않아 Ni(001) 표면 위에 Fe 원자가 잘 성장할 수 있을 것으로 기대된다. 자기이방성 에너지에 대한 계산결과는 k-point 수에 따라 민감하다. k-point 수에 대한 자기이방성의 수렴성을 확인하였고 수렴된 자기이방성은 약 0.098 meV/cell로 순수한 Fe(001) 표면에 비해 크지 않았다. Fe 표면은 2.758 μ_B 으로 덩치 Fe의 자기모멘트인 2.2 μ_B 보다 상당히 증가하였고, Ni은 덩치 Ni의 자기모멘트 0.7 μ_B 에서 큰 차이가 없었으나 계면에서 박막의 중심으로 가면서 자기모멘트 값이 감소하는 것을 볼 수 있다. 기체 흡착과 응력이 자성과 자기이방성에 미치는 영향도 논의할 계획이다.

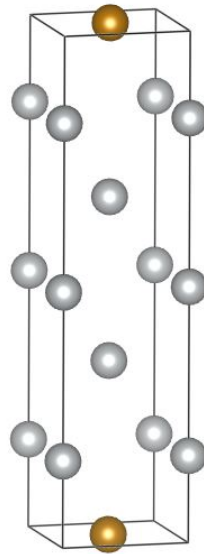


그림 1. Fe/Ni(001)의 원자구조

전자가속기 빔 집속 향상을 위한 솔레노이드 전자석 설계

안진남*, 신승욱, 남궁호, 채종서

성균관대학교

1. 서론

전자가속기는 전자를 가속시켜서 가속되지 않은 전자보다도 더 많은 부가가치를 생산해내며 최근에도 그에 관련된 연구가 활발히 진행 중 이다. 예를 들어 전자빔을 이용하여 나노구조나 나노입자를 만드는 기술[1], X-ray를 이용한 지질탐사 [2] 비파괴 검사, 소프트 빔을 이용한 살균기술, 혹은 테프론 등 분해되지 않는 불소 수지에 쪼여 결합을 약하게 함으로서 환경보존에 이바지 하는 등 이미 넓은 분야에 두루 쓰이고 앞으로의 가능성과 발전 여지 또한 크다.[3]

전자가속기 와 더불어 전자석 또한 넓은 범위에 두루 쓰이는데 그 예로 우주발사체 시스템에 필요한 코일 전과[4] 친환경 리니어 모터[5] 등이 있다.

따라서 본 논문에서는 전자가속기와 상용에 공한 전자석을 이용하여 전자를 가속시켜 더 많은 부가가치를 생산해낼 수 있도록 전자빔의 특성을 향상시키는 연구를 진행하였다.

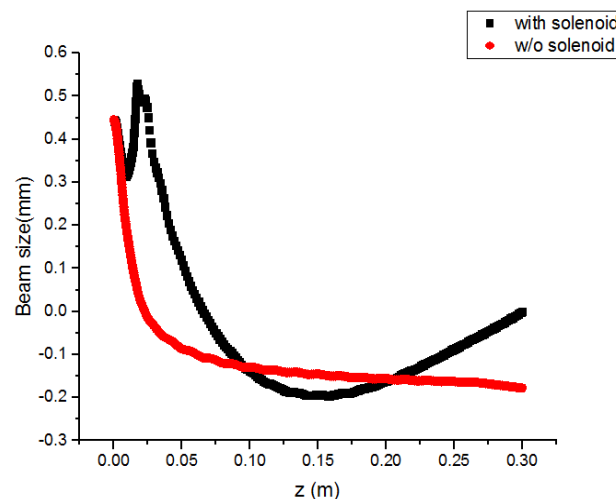


Fig. 1. Graph of beam size that pass through solenoid coil and not controlled the beam with solenoid coil hits accurate target point but the beam size without solenoid is the bigger size the longer target spot

전자가속기에서 나온 전자가 발사될 때 같은 전하를 가진 전자들은 쿨롱힘에 의하여 서로 밀어내는 성질이 있어 전자들은 퍼지게 되고 의도한 타겟보다 넓은 범위에 영향을 끼치고 특성이 나빠지게 된다. 따라서 빔 전송 시 빔 손실을 줄이고 타겟에서의 X-ray 발생 효율을 높이기 위하여 집속시키는 과정이 필요한데 이를 위하여 솔레노이드코일 안으로 통과시켜 자력을 받으면 로렌츠힘에 의하여 반지름방향의 반대방향으로 힘을 받게 되고 흩어져있던 전자를 모아서 더 강한 전자빔을 발생할 수 있다.[6] 그러나 자기장의 세기가 너무 큰 경우 과집속되어 오히려 전자빔의 크기가 커지게 되는 현상이 발생한다. 따라서 적당한 크기의 자속을 갖게 하는데 이미 본 연구에서 사용된 전자가속기의 전자빔의 경우 이미 다른 연구를 통해 중심에서 1600G가 나오는 전자석이 사용되었을 경우 최적의 빔을 발생할 수 있다는 것을 알고 있다. Fig.1.에서 나타난 것처럼 중심에서 1600G를 갖는 전자석을 통과시킬 경우 빔사이즈는 빔 경로의 중심에 근접하고 전자석을 통과시키지 않은 전

자빔의 경우 점점 퍼짐을 알 수 있다.

본 논문의 목적은 1600G의 최대 자속밀도 갖는 공심 솔레노이드 전자석이 최소한의 전력소모를 하도록 권선의 굵기와 권선 수를 조정하여 설계하는데 있다. 또한 전자석 시뮬레이션 프로그램인 CST EM STUDIO와 Opera.TOSCA 프로그램을 이용하여 모델링 시뮬레이션을 진행해 설계된 전자석 설계를 검증하였다.

2. 실험방법과 결과

솔레노이드를 설계하기 전에 만들고자 하는 솔레노이드의 기본 형태를 정하고 설계에 영향을 미치는 변수를 설정한다. 솔레노이드의 내부 공간은 이상적 투자율을 가진 진공으로 가정하며 모양은 원통형 솔레노이드에 내반경 2.5cm 설정하며 사용되는 코일의 직경은 미국전선 규격인 AWG(American wire gauge)를 따르며 Table.1과 같다.

Table.1. AWG (American Wire Gauge)

AWG#	D(mm)	AWG#	D(mm)
1	7.348	10	2.588
2	6.544	11	2.305
3	5.827	12	2.053
4	5.189	13	1.828
5	4.621	14	1.628
6	4.115	15	1.45
7	3.665	16	1.291
8	3.264	17	1.15
9	2.906	18	1.024

목표로 하는 자속밀도 1600G를 생성하는 솔레노이드 전자석을 설계하기 위한 변수는 솔레노이드에 흐르는 전류, 전자석에 감는 권선의 반경, 직경방향 권선수, 축방향 권선수이다.

이때 전자석의 길이는 권선의 직경과 길이방향 권선수의 곱으로 나타내며 전체 전자석의 반경은 내반경에 권선의 직경과 전자석의 반지름방향 권선수를 곱해준 값을 더해준 것으로 정한다.

3. 설계

위 식(1)은 설계변수들이 포함된 자속밀도식으로 각각의 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

$$B = \frac{\mu I (H_{coil})}{2D_{wire}^2} \ln \frac{[R_{core} + (N_{layer} \times D_{wire})] + \sqrt{[R_{core} + (N_{layers} \times D_{wire})]^2 + \frac{1}{4}H_{coil}^2}}{R_{core} + \sqrt{R_{core}^2 + \frac{1}{4}H_{coil}^2}} \quad (1) [7]$$

B: 자 속 밀 도 [T]

μ : 투자율 [H/m]

I: 전류 [A]

H_{coil} : 솔레노이드 코일의 전체길이 [cm]

R_{core} : 솔레노이드의 안쪽 반경 [mm]

N_{layer} : 반경방향으로 권선된 코일의 수

D_{wire} : 사용되는 권선의 직경 [mm]

위 (1)식에서 1600G가 나오는 축 방향, 반경 방향 권수를 구하고

$$R_{coil} = \frac{2\pi N(MR_1 + \frac{M^2 d}{2})}{\pi(\frac{d}{2})^2} \times \rho_{copper} \quad (2)$$

N : 축 방향 권수

M : 반경방향 권수

R : 솔레노이드의 내 반경[mm]

d : 코일의 직경[mm]

ρ_{copper} : 구리의 비 저항[Ω •m]

$$P_{coil} = I^2 \times R_{coil} \quad (3)$$

식(2)와 (3)을 연립하여 사용 전력의 최저값을 구한다.

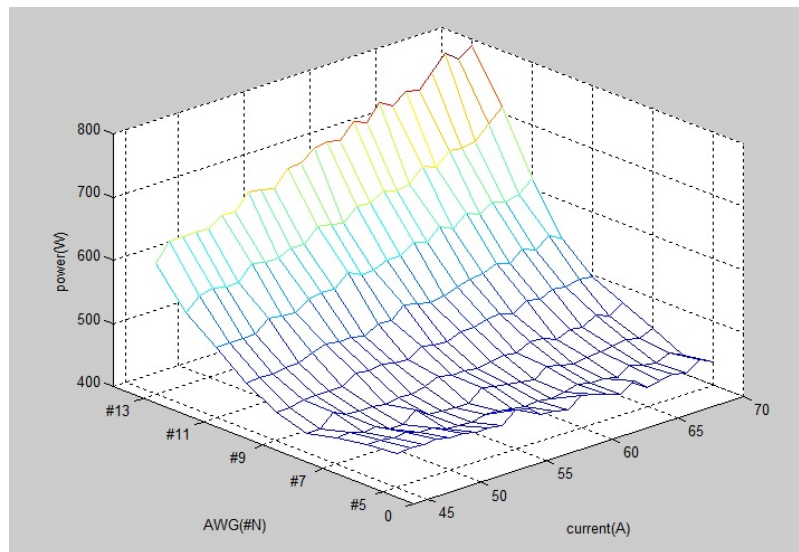


Fig. 2. The power of sets that have 1600G magnetic density in center. It is arrayed by current and diameter represented in AWG, coil have the bigger number, the bigger diameter of it. In significant region, small diameter coil have too big resistor to satisfy 1600G and in respectively big diameter, to satisfy 1600G it requires big current so it has minimum power in AWG#6 and 64A current

식(1), (2), (3)을 조합하여 자속밀도 0.16T가 나오는 조합을 와 전류를 통하여 나타내면 Fig.2.과 같다.

이 결과를 분석해본 결과 직경은 AWG#6이고 전류는 64A가 흐르고 반경방향으로 12번 축방향으로 22번 권선을 감았을 때 최저전력소모하며 그 값은 427W와 같다.

4. 고찰

이 결과를 Opera.TOSCA 와 CST EM STUDIO를 통하여 실제 시뮬레이션을 해보고 중앙에서 각각 자속밀도 최댓값인 1601.337G와 1603.3G를 갖는 모습을 관찰 할 수 있다. 여기서 구한 위치에 따른 자속밀도의 분포의 차이를 나타낸 그래프는 Fig.3.와 같다.

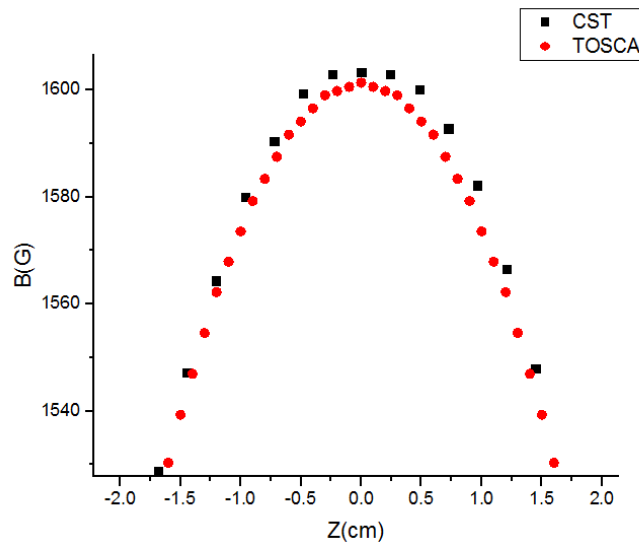


Fig. 3. The comparison of magnetic flux density between Opera TOSCA and CST EM Studio in gauss scale there is only small difference between them in center point so the model designed is considered very accurately

5. 결론

가속기의 집속향상을 위해서 선행된 연구에서 얻은 자속밀도 값인 1600G를 형성하며 효율을 최대로 하기 위하여 소모전력이 가장 작은 솔레노이드 전자석을 설계하는 것이 목표였다. AWG규격에 따라 적당한 굵기의 도선과 축방향, 반경방향 권선수와 인가전류를 설계변수 삼고 최적의 조건을 찾는 연구를 수행하였다. 이러한 변수들의 최적의 조합을 구하기 위하여 자속밀도를 나타내는 식과 저항을 나타내는 식을 설계변수에 관한 식으로 나타내고 프로그램을 이용하여 계산하고 이중 가장 적절하다고 판단되는 값을 구하여 모델링 한 결과 반경방향으로 12번, 축방향으로 22번 권선을 감고 64A의 전류를 인가해준 솔레노이드가 최저전력을 소비하는 조건이었고 그 값은 427W였다. 또한 이러한 설계가 적합한지 알아보기 위하여 CST EM STUDIO와 TOSCA 프로그램을 이용하여 시뮬레이션한 후 두 값을 비교하여 오차를 비교하였고 적합함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] S. O. Cho, H. Y. Jun, S. K. Ahn. 2005. A Novel Route to Three-Dimensionally Ordered Macroporous Polymers by electron Irradiation of Polymer Collolids. *Advanced Materials*, Vol. 17 p. 120
- [2] 현창욱, 박형동. 2005. X-ray CT를 이용한 암석 내부 특성 연구. *대한지질공학회 학술발표논문집*:7-11
- [3] 이병철, 정영욱, 박성희, 한영환, 강희영. 2011. 가속기의 산업이용. *물리학첨단기술*. March2006:21-28
- [4] Jae-hwan Jang, Jin-ho Kim, Su-jeong Lee. 2015. Parameter Study on the Design of Solenoid to Enhance the Velocity of Coilgun. *Journal of the Korean Magnetcs Society*. Vol.25 No.3 [2015]: 87-91
- [5] Haghmaram. R, Shoulaie.A.,. 2004, Study of Traveling Wave Tubular Linear Induction Motors. *International Conference on Power System Technology* p288-293
- [6] 김지광. 1994. 전해질에 작용하는 로렌츠 힘에 관연구. *공주대학교 교육대학원: 물리교육전공*
- [7] Jim Hawley. 2011. The magnetic field in and around a finite cylindrical air-core solenoid. September 2011

Tooth Shape Design of Permanent Magnet Motor for Cogging Torque Reduction

Jae-Hoon Shim^{*}, Min-Soo Choi, Kyu-Jin Jung and Jin-Kyu Byun

Department of Electrical Engineering, Soongsil University

1. Introduction

Recent advancements in high remanence permanent magnets and switching circuits have enabled proliferation of permanent magnet motors with high speed and accurate control. Cogging torque of a permanent magnet motor is caused by change of reluctance and magnetic energy with respect to relative position between stator and rotor, and is known to generate noise and vibration.

Cogging torque can be reduced by skewing rotor or stator, or changing the shape of the motor. In this paper, shape of the stator tooth is designed to reduce the cogging torque of a permanent magnet motor while maintain the average torque. The shape of the slot in the stator tooth has higher degrees of freedom compared to that used in the previous papers [1]-[2].

2. Model of the Permanent Magnet Motor

Fig. 1 shows the model of the 4-pole, 6-slot permanent magnet motor with stator diameter of 47 [mm], rotor diameter of 27 [mm], and air gap width of 0.4 [mm]. Permanent magnets have remanence of 0.65 [T] along radial direction. The objective function OF is set as follows in order to reduce cogging torque while maintaining the average torque:

$$\text{minimize: } OF = c_1 |T_{\text{cog } p-p}|^2 + c_2 \left| \frac{1}{T_{\text{avg}}} \right|^2 \quad (1)$$

where $T_{\text{cog } p-p}$ is the peak-to-peak value of the cogging torque, T_{avg} is the average torque, and c_1 and c_2 are weighting factors for balancing cogging torque and average torque objective terms. The design variables are angle of the slot opening A and location of three points that determine the tooth shape (Fig. 2). COMSOL Multiphysics software was used for finite element analysis and torque calculation, and LiveLink with Matlab module of COMSOL was used for optimal design.

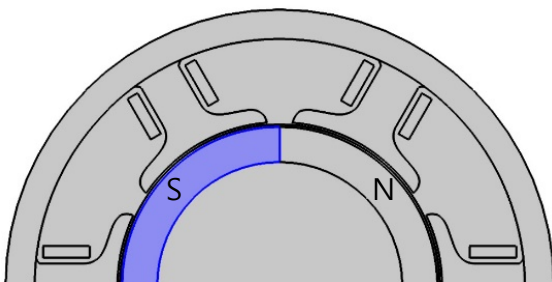


Fig. 1. Model of permanent magnet motor.

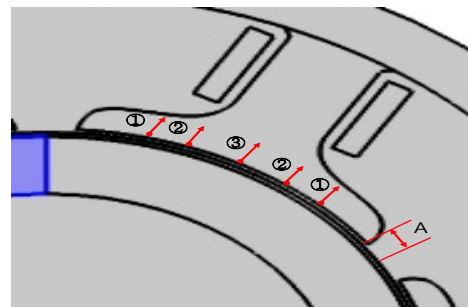
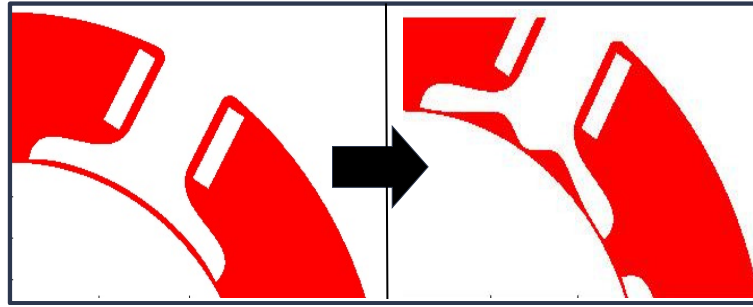


Fig. 2. Shape design variables for stator.

3. Design Results

Fig. 3 shows initial and final shape of the stator after optimization, while the values of design variables and torques are given in Table 1. The smooth arc-type slot was created in the tooth after the optimization. Cogging torque was reduced 78.9%, while average torque was reduced by 5.5%.



(a) Initial stator shape. (b) Optimized stator shape.

Fig. 3. Comparison of the stator shape.

Table 1. Design variables and torque before and after optimization.

	point① [mm]	point② [mm]	point③ [mm]	A [°]	T_{cog} [Nm]	T_{avg} [Nm]
Initial	0	0	0	4.5	2.567	18.562
Optimized	0.429	0.784	0.001	4.075	0.541	17.537

4. References

- [1] Il-Hwan Park et al., "A Study on Reducing Cogging Torque by Core Shapes in Permanent Magnet Motors," *J. Korean Magn. Soc.*, vol. 20, no. 2, pp. 61-67, 2010.
- [2] Jae-Hoon Kwon et al., "Optimal design of power tools BLDC motor for reducing cogging torque," *Proceedings of KIEE B Sector Fall Conference*, pp. 171-173, 2013.

3D Magnetic Field Analysis and Comparative Study of Circular Halbach Array

Min-Soo Choi*, Jae-Hoon Shim, Kyu-Jin Jung and Jin-Kyu Byun

Department of Electrical Engineering, Soongsil University

1. Introduction

The Halbach array was first introduced by Klaus Halbach in 1979 in order to focus strong magnetic field in particle accelerators. In a Halbach array, direction of the magnetization vector is sequentially rotated to obtain the needed the magnetic field distribution. The advantages of Halbach arrays include effective magnetic shielding and less iron losses. Circular Halbach arrays or Halbach cylinders are used in brushless motors and magnetic coupling devices.

In this paper, the magnetic field of a circular Halbach array is analyzed using 3D finite element modeling. The magnetic field distribution and spatial average value is compared for two different configurations of the permanent magnets (PMs): 90 and 45 degrees difference between magnetization directions of adjacent blocks.

2. Modeling of the Circular Halbach Array

Fig. 1 shows the 3D model of the circular Halbach array. COMSOL Multiphysics software was used for finite element analysis. Two different configurations of the permanent magnets (PMs) were investigated. The first has 32 blocks with 45 degrees magnetization direction change in adjacent blocks (Fig. 2). The second model has 16 blocks with 90 degrees magnetization direction change in adjacent blocks (Fig. 3). The remanence of each PM block is 1.42 [T] in both models. The inner and outer radius of array is 30 [mm] and 50 [mm], respectively, and the height of the array is 30 [mm]. The magnetization direction is expressed by radial and azimuthal unit direction vectors.

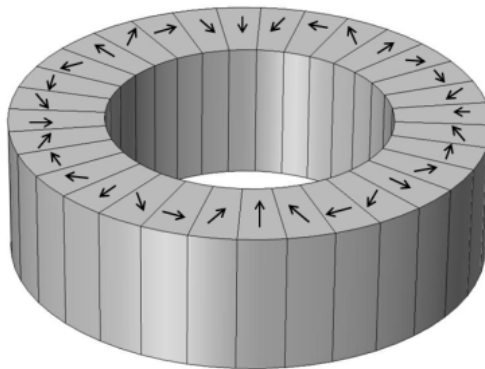


Fig. 1. 3D model of the circular Halbach array.

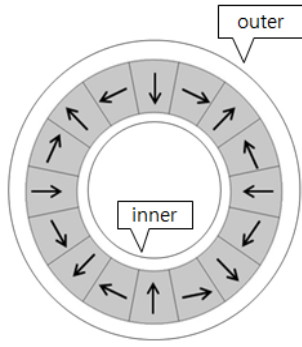


Fig. 2. 90° change of magnetization.

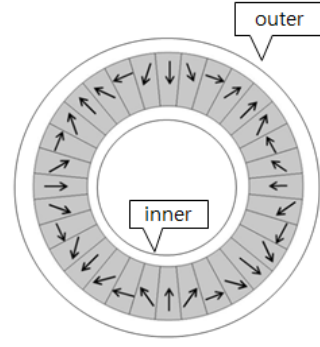


Fig. 3. 45° change in magnetization.

3. Analysis Results

Fig. 4 and 5 show magnetic field distribution according to azimuthal angle along outer circle located at $r=55$ [mm]. It can be observed that the peak of the flux density of 45° model has less ripple. Table 1 shows spatial average of the magnetic flux density of two models. The average flux density of 45° model is about 8.15% higher than that of the 90° model, even though the two models have the same volume of permanent magnets.

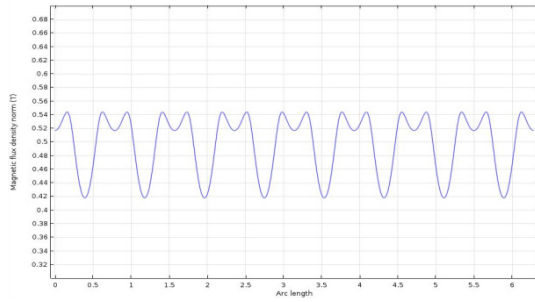


Fig. 4. Magnetic flux density along $r=55$ [mm] outer line (90° model).

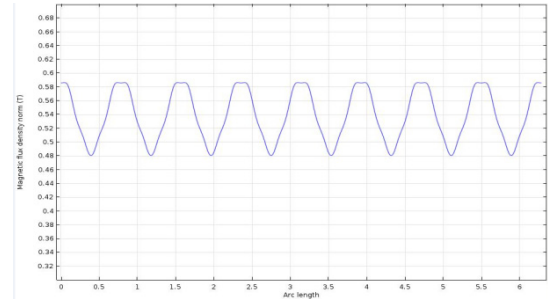


Fig. 5. Magnetic flux density along $r=55$ [mm] outer line (45° model).

Table 1. Average flux density of Halbach arrays.

	90° model	45° model
average flux density ($r=55$ [mm])	0.4982[T]	0.5388[T]
average flux density ($r=25$ [mm])	0.0718[T]	0.0526[T]

4. References

- [1] S. M. Jang et al., "Analysis of characteristic linear Halbach array," *Proceedings of KIEE Summer Conference*, pp. 892-894, July 2001.
- [2] S. M. Jang et al., "Characteristics analysis on the field system of Halbach array by the permanent magnet," *Proceedings of KIEE Summer Conference*, pp. 24-26, July 1997.

Surface reconstruction and magnetic phase of the FePt thin films on Pt (110) substrate

Hanchul Kim and Miyoung Kim*

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

*kimmy@sookmyung.ac.kr

The FePt₃ alloy is one of the most investigated materials for high density storage applications due to its rich variety of magnetic structures which transform sensitively depending on change in its local structure. Here, we present the *ab-initio* total energy and electronic structure calculations within the framework of density functional theory for the FePt₃ film of 0.5 nm in thickness on a Pt (110) surface. The precise all-electron FLAPW calculation reveals that the FePt thin film with a missing-row surface reconstruction along the [110] direction is energetically more preferred to an unreconstructed clean surface. From the analysis of the electronic structures, this is attributed to the energy gain by the *p*-electron charge spill-out to the large (110) facet area, which was mostly from Pt atoms at the second and third atomic layers. The missing-row reconstruction is found to enhance the stability of the ferromagnetic phase over the antiferromagnetic phase which is the ground phase for bulk, and to induce possible concurrence of a meta-stable atomic structure with an in-plane anti-phase boundary along the orientation of missing-row in addition to the conventional L1₂ surface, implying the possible observation of various magnetic phases.

Describing the magnetic structure and origin of band gap on $\text{Ba}_2\text{CuOsO}_6$ system; density functional theory approach

Lee, Changhoon*, Jin, Taewon, Shim, Ji-Hoon
POSTECH, Department of Chemistry

We examine the magnetic structure and origin of band gap opening for $\text{Ba}_2\text{CuOsO}_6$ by extracting spin exchange interaction and by adopting spin-orbit coupling effect. The ordered double-perovskites $\text{Ba}_2\text{CuOsO}_6$ which consist of 3d and 5d transition-metal magnetic ions (Cu^{2+} and Os^{6+} , respectively) is magnetic insulators; the magnetic susceptibilities of $\text{Ba}_2\text{CuOsO}_6$ obey the Curie-Weiss law with dominant antiferromagnetic interactions and the estimated Weiss temperature is -13.3 K. Solid-state osmium oxides can exhibit a variety of magnetic and electronic phenomena associated with their electron correlation. There are two important issues on solid-state osmium oxides; one is origin of band gap inducing metal to insulator transition. Other one is variety of oxidation state of Os ion. This wide spectrum of oxidation state of Os atom on osmium compounds is directly attributable to a large a spatial extension of Os 5d orbital. From the results of density functional study, the spin exchange interaction between Cu atoms is mainly responsible for antiferromagnetic ordering on $\text{Ba}_2\text{CuOsO}_6$ system. To describe the magnetic insulating states of $\text{Ba}_2\text{CuOsO}_6$, it is necessary adopting an electron correlation effect as well as spin-orbit coupling effect.

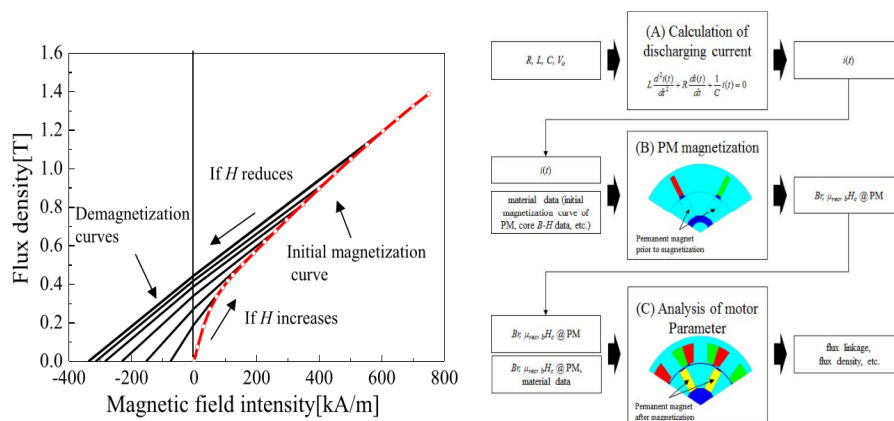
영구자석 착자를 고려한 자속집중형 모터의 설계

김규섭*, 김수철, 이병화, 김규식
자동차부품연구원

1. 서론

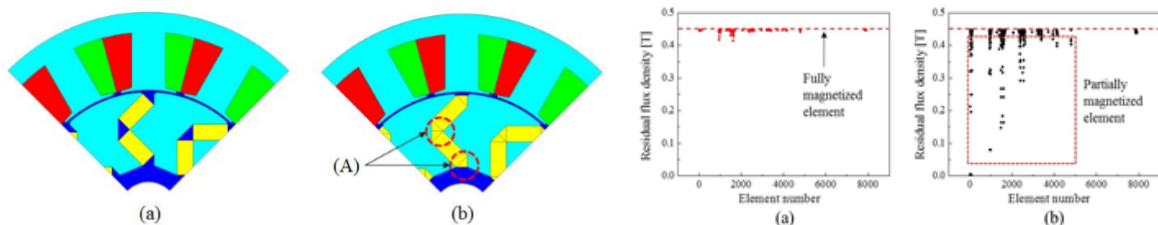
영구자석은 다양한 분야에서 사용되고 있으며 특히 모터 분야에서 중요한 재료로 사용되고 있다. 특히 interior permanent magnet synchronous motor (IPMSM)에서 자계를 만드는 용도로 사용된다. 모터 설계에서 양산성을 고려하기 위해 조립후에 착자하는 경우가 많이 있다. 영구자석의 형상이 복잡할 경우에 형상에 따라 원하는 성능이 나오지 않을 수도 있다. 따라서 설계시의 성능을 얻기 위해 영구자석의 형상을 어떻게 가져갈 때 좋은 효과를 나타낼 수 있는지에 대해 살펴보기 위해 영구자석이 착자될 때의 해석 방법과 그 결과에 대해 살펴보았다.

2. 실험방법과 결과



영구자석의 초기자화 곡선과 착자 정도에 따른 감자곡선을 나타낸 그림이다. 영구자석과 그것을 둘러싸고 있는 철심의 형상에 따라 착자가 완전히 되거나 그보다 더 작게 착자되어 잔류자속밀도의 값이 요소에 따라 달라지게 된다. 그때의 해석 프로세스는 오른쪽 그림과 같다.

3. 고찰



모터 생산 과정에서 양산성을 위해 조립후 착자하는 경우가 많은데 V-type의 자속집중형 모터에서 (b)의 (A) 부분은 영구자석의 착자방향이 교차하게 배치되어 있어 착자 잘되지 않는다. 오른쪽 그래프는 요소의

착자정도를 나타내는데 여기에서 보면 (a)는 영구자석 전체가 고르게 착자가 되어 있으나 (b)의 경우는 그 값이 편차를 가지면서 퍼져있는 경우를 볼 수 있다. 이를 볼 때 영구자석의 형상이 복잡할 경우 착자가 잘 되지 않아 원하는 성능을 낼 수 없다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

동일한 양의 영구자석을 사용하더라도 영구자석의 형상에 따라 착자되는 정도가 달라 잔류자속밀도가 차이가 발생한다. 따라서 모터를 설계할 경우 영구자석의 형상을 착자가 잘 되도록 고려하여 설계해야한다.

5. 사사

본 연구는 산업통상자원부에서 시행중인 광역경제권거점기관지원사업(스마트 클린변속시스템 핵심부품 기술개발, R0004096)의 지원하에 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- [1] M.-F. Hsieh, Y.-M. Lien, and D. G. Dorrell, "Post-assembly magnetization of rare-earth fractional-slot surface permanent-magnet machines using a two-shot method," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 47, no. 6, pp. 2478–2486, Nov./Dec. 2011.
- [2] H.-J. Kim, D.-Y. Kim, and J.-P. Hong, "Structure of concentrated flux-type interior permanent-magnet synchronous motors using ferrite permanent magnets," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 50, no. 11, Nov. 2014, Art. ID 8206704.
- [3] D. G. Dorrell, M.-F. Hsieh, and Y.-C. Hsu, "Post assembly magnetization patterns in rare-earth permanent-magnet motors," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 43, no. 6, pp. 2489–2491, Jun. 2007.

나노-바이오 계면에서 자성에 의해 움직이는 콜로이드 기술에 기초한 On-chip Micromagnet Frictionometer

윤종환*, 후싱하오, 고두 산디야 라니, 임병화, 김건우, 김철기†

Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu 42988, Korea

† cgkim@dgist.ac.kr

마이크로자석 패턴 위에 바이오 처리된 초상자성체 콜로이드를 원거리에서 자기력으로 제어하는 기술에 기초하여 유체 내에 바이오-자기 영동 회로 (bio-NEMS/ MEMS)의 picoNewton(pN)크기의 마찰력 측정에 대해 고안하였다.

x-y평면상에서 회전하는 자기장을 인가할 때 콜로이드는 마이크로자석 주위를 따라 운동 한다. 이 때 콜로이드는 점선 자력과 마찰력 · 점성 저항력으로 구성된 항력 사이의 힘이 균형을 이룬다. 본 실험은 마이크로자석 Disk Pattern에서 안정적으로 움직일 수 있는 조건인 Phase-locked angle 조건에서 콜로이드가 항력에 의해 생기는 각도 차이와 움직이는 콜로이드의 속도를 측정할 수 있었다. 이를 바탕으로 콜로이드 외벽의 Streptavidin와 테프론으로 코팅된 마이크로자석 사이에 의한 마찰력을 측정할 수 있었다.

Growth and Nitridation of Fe thin films on (0001) Al₂O₃ substrates

Hyeonjun Kong^{1*}, Eunyoung Ahn¹, Yuon-Kyoung Baek², Jung-Goo Lee², Jinhyung Cho³,
Jaekwang Lee¹, Sungkyun Park¹, Hyoungjeen Jeon¹

¹Department of Physics, Pusan National University, Busan, 46241, South Korea

²Korea Institute of Materials Science, Changwon, 51508, South Korea

³Department of Physics Education, Pusan National University, Busan, 46241, South Korea

Due to of its large saturation magnetization and possible large coercivity, Fe₁₆N₂ has been believed as a promising candidate material in the next-generation rare-earth-free permanent magnet applications. However, stabilization of this meta-stable phase has long been challenged. In this work, synthesis and nitridation of (110) Fe thin films on Al₂O₃ (0001) substrates were performed by RF magnetron sputtering and in-situ and ex-situ nitridation processes. From high resolution x-ray diffraction, we confirmed (110) epitaxial Fe thin films are successfully grown. We systematically studied magnetism and microstructures from vibrating sample magnetometer, scanning electron microscope, and atomic force microscope. In addition, we will show our on-going efforts to form Fe₁₆N₂ thin films from in-situ and ex-situ nitridation processes.

This work was supported by the Industrial Strategic Technology Development Program (10062130, Theory-driven R&D for non-centrosymmetric structured rare-earth free Fe-based permanent magnet materials) funded by the Ministry of Trade, industry & Energy (MI, Korea). We wish to acknowledge the assistance of the staffs of the Korea of Multi-purpose Accelerator Complex, Korea Atomic Energy Research Institute.

Ta/Pt(t)/CoFeB/MgO 구조에서의 수직 자기 이방성 특성 변화

김지호^{1*}, 윤창진², 김범진², 김동석², 이금원^{1,2}

¹고려대학교 디스플레이반도체물리학과

²고려대학교 응용물리학과

1. 서론

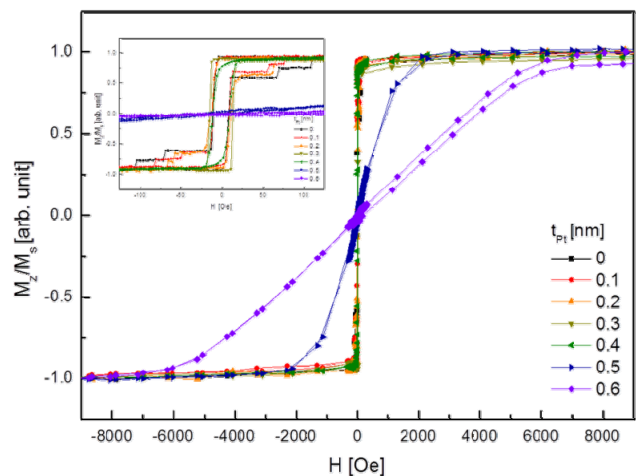
일반적인 자성체는 형상 자기 이방성에 의해 시료의 면 내 방향으로 스핀이 정렬하게 되는데, 이에 반해 면에 수직인 방향으로 스핀이 정렬되는 것을 수직 자기 이방성이라 한다. CoFeB/MgO 구조는 이러한 수직 자기 이방성 특성이 나타나는 대표적인 구조이며 MgO의 산소와 CoFeB의 Co, Fe의 오비탈 결합에 의해서 나타나게 된다.[1,2,3] 이 구조에서는 하부에서 오는 외부 요인들을 막기 위한 완충층으로 Ta이 많이 사용된다. 이때, 산소가 CoFeB하부에 위치하여, Fe-O-Ta의 결합이 늘어나면 수직 자기 이방성 특성이 나빠지게 된다.[4] 이 연구는 Ta과 CoFeB 사이에 Pt를 얇게 삽입하여 Fe-O-Ta의 결합을 줄일 수 있음을 확인하였다.

2. 실험방법

시료의 구조는 Ta(2nm)/Pt(x)/CoFeB(1.3nm)/MgO(3nm)이다. 시료는 초고진공 챔버에서 DC 마그네톤 스퍼터링으로 증착, 300°C로 열처리 후 포토 리소그래피로 공정하였다. Anomalous Hall Effect를 이용하여 자성 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

[그림 1]Pt layer가 없을 때도 수직 자기 이방성이 나타나지만(), Pt의 두께를 0.3nm까지 증가 시킬수록 M-H loop가 좋아짐을 확인할 수 있다. 또한, 0.4nm 이상에선 점차 수직 자기 이방성이 나빠짐을 확인하였다. 연구를 바탕으로 시료 내부의 산소 위치에 따라 자성특성에 영향이 있음을 확인하였으며, Pt(≥ 0.4 nm)/CoFeB의 결합이 수직 자기 이방성을 감소시킬 수 있음을 확인 하였다.



4. 참고문헌

- 1] Shouzhong Peng, Mengxing Wang, Hongxin Yang, Lang Zeng, Jiang Nan, Jiaqi Zhou, Youguang Zhang, Ali Hallal, Mairbek Chshiev, Kang L. Wang, Qianfan Zhang & Weisheng Zhao, Sci. Rep. 5, Article number: 17169 (2015)
- 2] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura & H. Ohno, Nat. Mat. 9, 721–724 (2010)
- 3] Young-Wan Oh, Kyeong-Dong Lee, Jong-Ryul Jeong and Byong-Guk Park, Appl. Phys. 115, 17C724 (2014)
- 4] Yiwei Liu, Jingyan Zhang, Shouguo Wang, Shaolong Jiang, Qianqian Liu, Xujing Li, Zhenglong Wu, and Guanghua Yu, Appl. Mater. Interfaces, 2015, 7 (48), pp 26643–26648.

Pt/Co/Pt 구조에 따른 스핀홀앵글 연구

윤창진^{1*}, 김범진¹, 김지호², 김동석¹, 이금원^{1,2}

¹고려대학교 응용물리학과

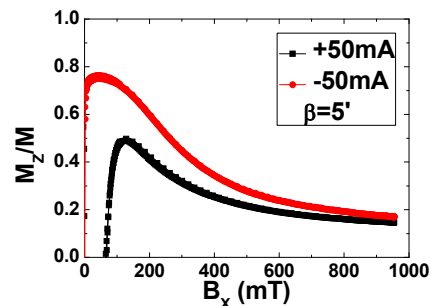
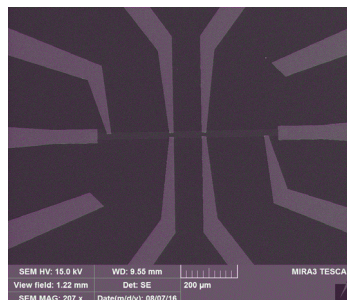
²고려대학교 디스플레이반도체물리학과

1. 서론

최근 스핀 홀 앵글을 측정하기 위하여 많은 연구가 진행이 되었다[1]. NM/FM (Pt/Co/SiOX)구조에서 전류 방향의 차이에 의한 면내 스핀홀효과를 이용한 스핀홀앵글이 측정된 바가 있다[2]. 본 연구에서는 앞선 Liu의 논문에서 측정된 NM/FM구조가 아닌 NM/FM/NM 구조에서 상부 층과 하부 층의 비율에 따라서 스핀전류 밀도차이로 생긴 Pt의 스핀 홀 앵글을 연구하였다.

2. 실험방법

샘플은 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Pt(nm)/Co(0.8nm)/Pt(nm)구조에 :를 각각 5:1, 4:1, 4:1.5, 4:2, 3:2로 증착하였다. 포토리소그래피를 이용하여 폭 20um의 홀 바를 아이언 밀링을 사용하여 제작 후 Pt 50nm의 전극을 증착하였다[그림1.]. 측정은 DC 전류를 이용하여 전류의 방향과 크기를 바꾸어 가면서 면내 스핀홀효과를 측정하였다[그림2.]. 이 데이터를 바탕으로 전류에 의한 전류에 따른 자기장 차이 계산을 통하여 스핀 토크와 스핀 홀앵글을 계산할 수 있다.



3. 결과

스핀홀앵글값은 상부 층 대비 하부 층의 비율이 늘어남에 따라서 스핀토크값이 줄어드는 것을 확인했다. 또한 이 결과로 스핀홀앵글을 계산했을 때도 역시 비율에 따라서 반비례하게 줄어드는 것을 확인하였다. 이 값은 앞선 연구에서 측정된 %에도 크게 어긋나지 않는다.

4. 고찰 및 결론

언급한 이전 실험은 NM/FM구조에서 하부 NM에 의한 스핀홀앵글을 측정하였지만, 본실험에서는 상부 층에서 FM으로 전달되는 스핀 전류와 하부 층에서 전달되는 스핀 전류의 상쇄 효과로 인하여 스핀홀앵글의 변화를 줄 수 있음을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] Jairo Sinova et al., "Spin Hall effects", Rev. Mod. Phys. 87, 1213 (2015).
- [2] Luqiao Liu et al., "Current-Induced Switching of Perpendicularly Magnetized Magnetic Layers Using Spin Torque from the Spin Hall Effect", Phys. Rev. Lett. 109, 096602 (2012)

교류자기장에 의한 자구벽 이동

문경웅^{1*}, 김덕호², 김대연², 김창수¹, 전병선¹, 김원동¹,
이상선¹, 김대현¹, 윤정범¹, 최석봉², 황찬용¹

¹한국표준과학연구원 나노측정센터

²서울대학교 물리천문학부

1. 서론

자화상태의 수평이동은 자성학에서 중요한 연구주제로 다루어지고 있다. 지금까지 대부분의 관련 연구는 주입된 전류에 의해 발생하는 자화상태 변화를 확인하는데 집중되어 있다. 하지만 전류 이외에도 다른 원리들이 알려져 있는데 대표적으로 온도기울기, 스핀파 등이 있다. 이번 연구에서는 자화상태를 수평 이동시키는 또 다른 가능성, 즉 교류자기장을 이용한 방법을 연구해 보았다. 교류자기장에 대한 연구는 큰 자구가 낮은 자기장주파수로 이동할 때[1], 작은 스커미온 형태의 자구가 고주파 자기장으로 이동할 때[2] 각각 연구가 진행되었는데, 이번연구는 기본적인 자구벽 구조에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법과 결과

자구벽의 형태 및 동역학을 가장 간단하게 기술하는 1-D collective equation에 교류자기장이 가해진 경우 자구벽의 이동을 계산해보았다. 계산결과 교류자기장은 자구벽의 폭진동을 유발하고, 유발된 폭진동은 자구벽의 전/후진 운동에 영향을 주어 자구벽의 이동을 유발하게 된다. 이러한 결과는 전산모사를 통해서도 확인이 되었다.

3. 고찰

자구벽의 동역학을 나타내는 간단한 1-D collective equation에서는 자구벽의 폭을 상수로 두었는데 교류자기장으로 이동하는 경우에는 자구벽의 폭진동이 중요하게 작용한다는 것을 알 수 있다. 교류자기장의 각도에 따라 자구벽의 속력이 다른 값을 가짐을 알아내었는데, 이를 통해 여러 자구벽들을 동시에 수평이동을 위한 자기장의 각도도 확인이 가능하다. 또한 각도 의존성으로부터 무한히 큰 원형자구의 형태 변형을 예상해 볼 수 있다. 1-D collective equation과 전산모사 결과는 고주파 영역에서 결과가 서로 달라지게 되는데 이는 자구벽의 구조가 더 이상 단순한 형태로 표현 될 수 없음을 의미한다.

4. 결론

이번 연구에서는 자화상태 수평이동현상을 위한 새로운 방법인 교류자기장을 이용한 방법에 대한 연구를 하였고 자구벽폭 진동의 중요성에 대해 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] K.-W. Moon *et al.* Sci. Rep. 5, 9166 (2015).
- [2] K.-W. Moon *et al.* Sci. Rep. 6, 20360 (2016).

Structure and magnetic properties of cold-deformed Mn-Al-(C)

Hui-Dong Qian^{*}, Ping-Zhan Si[†], Chul-Jin Choi[†], Kook-Chae Chung, Jong-Woo Kim

Powder & Ceramic Division, Korea Institute of Materials Science, Changwon, Korea

^{*}Email: cjchoi@kims.re.kr; pzsi@mail.com

The magnetic Mn-Al system has attracted continuous interests for more than half century. [1] The research interests increase recently with increasing cost of rare earth resources and increasing demand for low cost rare-earth free magnets.[2] A number of techniques, including elemental modification, structural modification, etc., have been employed to improve the magnetic performance of the Mn-Al-based magnets. [3, 4, 5] The deformation processes, hot or cold, have been proved to be effective in modifying the structure and thus a better magnetic performance. [3, 5, 6] In this work, we prepared the Mn-Al-(C) alloys by induction melting method and subsequent optimized annealing processes. A modified cold deformation process was employed to modify the structure and improve the magnetic performance of the alloys. The structural transformations originated from the heat-treatment and cold deformation were studied systematically by using XRD, SEM, and TEM. The effect of the structure on the magnetic properties of the Mn-Al-(C) magnet was investigated.

References

- [1] H Kono, On the Ferromagnetic Phase in Manganese-Aluminum System, Journal of the Physical Society of Japan, 13(1958) 1444-1451.
- [2] JMD Coey, New permanent magnets, J. Phys. Condens. Matter 26(2014) 064211
- [3] R. Madugundo, G. C. Hadjipanayis, Anisotropic Mn-Al-(C) hot-deformed bulk magnets, Journal of Applied Physics 119(2016) 013904
- [4] Y Geng, MJ Lucis, P Rasmussen, JE Shield, Phase transformation and magnetic properties of rapidly solidified Mn-Al-C alloys modified with Zr, Journal of Applied Physics, 118(2015)033905
- [5] AE Ermakov, MA Uimin, EI Teitel, Magnetization reversal processes in MnAl-base permanent magnets. IEEE Transactions on Magnetics, 24(1988) 1924-1926.
- [6] M. A. Bohlmann, J. C. Koo, J. H. Wise, Mn-Al-C for permanent magnets, Journal of Applied Physics 52(1981)2542

크기가 다른 Sr-Ferrite 입자의 자기화 역전과 자기 상호작용이 보자력에 미치는 영향

김현수^{1*}, 김경민², 권해웅², 정순영¹

¹경상대학교 자연과학대학 물리학과 및 기초과학 연구소, 경남 진주시 진주대로 501, 52828

²부경대학교 재료공학과, 부산광역시 남구 신선로 365, 48513

I. 서론

영구자석용 Sr-ferrite 분말의 여러 가지 자기적 성질 중 보자력은 성형이나 소결뿐만 아니라 분쇄공정에 따른 크기, 모양, 다공성 등 미세구조와 자기화 상태에 영향을 많이 받지만 자기화 역전 현상과 자기 상호작용 과도 밀접하게 관련되는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 본 연구에서는 분말입도에 따른 보자력의 변화를 조사하고, 보자력 크기를 자기화 역전 현상과 자기 상호작용 기구로 설명하고자 시도하였다. 자기 상호작용을 이해하기 위해서 상온에서 직류 자기소거 잔류 자기(DC Demagnetization Remanence: DCD) 곡선과 등은 잔류 자기(Isothermal Remanence: IRM) 곡선을 측정하여 분석하였다.

II. 실험방법

본 연구에 사용된 육방정 구조의 magnetoplumbite 형 (M-type) strontium ferrite ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$)는 SrCO_3 와 Fe_2O_3 성분비를 1 : 6 mole 비가 되도록 선정하여 공기중 1300 °C에서 1 시간동안 가소하여 합성하였다. 합성시료의 입도를 조절하기 위하여 합성 직후 시료(clinker: C1)를 일차적으로 습식 분쇄기(pulverizer)로 30분 파쇄하여 조대분말(coarse: C2)을 제조하고, 더욱 더 입도를 줄인 미세분말(fine: C3)은 조대분말을 습식 ball milling으로 24 시간 분쇄하였다. 자기화 역전 현상과 자기 상호작용이 시료별 보자력에 미치는 영향을 규명하기 위해 자기 이력 곡선, 초기 자기화 곡선, minor loop 그리고 직류 자기소거 잔류 자기와 등은 잔류 자기곡선을 상온에서 측정하였다.

III. 결과 및 논의

보자력과 각형비는 입자의 크기가 작은 시료가 큰 시료에 비해 모두 컸으며, 자벽고착에 의한 자벽이동으로 자기화 역전현상이 지배적인 시료가 보자력과 각형비가 컸다. 따라서 시료의 형상뿐만 아니라 자기화 역전 기구 또한 보자력 증감에 밀접하게 관련되는 것으로 판단된다 (그림 1). 한편 시료의 크기에 무관하게 모든 시료는 쌍극자 상호작용이 지배적인 상호작용 기구지만, 보자력과 각형비가 작은 시료일수록 쌍극자 상호작용

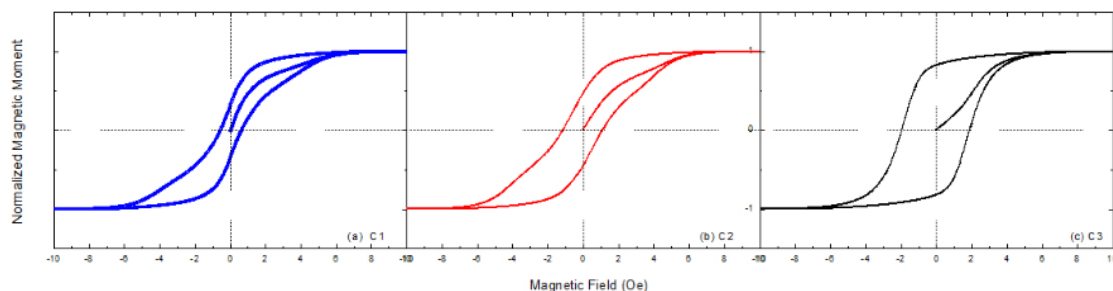


그림 1. Initial and hysteresis curves of the Sr-ferrite powder with different particle size.

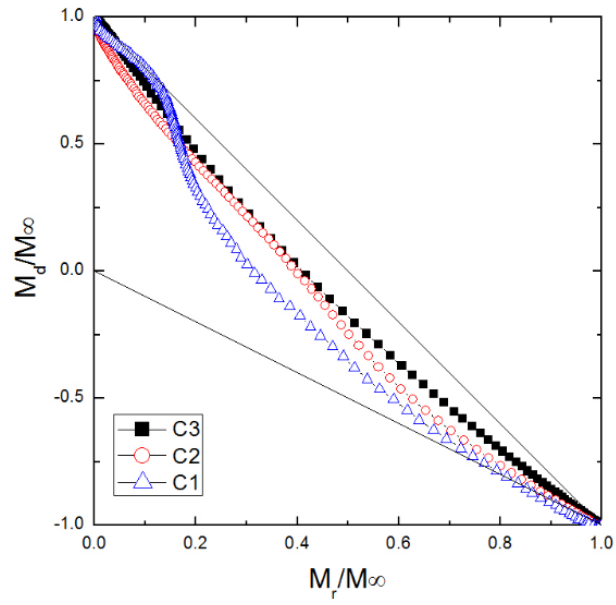


그림 2. Henkel plot obtained from the DCD and the IRM curve for the Sr-ferrite powder with different particle size.

이 강함을 알 수 있었다 (그림 2). 따라서 보자력은 시료의 형상뿐만 아니라 자기 역전기구, 자기 상호작용과 상호작용의 세기와도 깊이 관련됨을 알 수 있었다.

Structure control of Fe Particles for the Efficient Nitridation

김수경^{1*}, 이정구¹, 권세훈², 백연경¹

¹재료연구소 분말세라믹본부

²부산대학교 재료공학과

The iron nitride phase α -Fe₁₆N₂ has been suggested as a possible rare-earth free permanent magnet candidate due to abundant amount of Fe and N on the earth, its large magnetocrystalline anisotropy, and large saturation magnetization. Thus, researchers have developed the various synthesis methods such as wet chemical, ball milling and plasma process etc. However, there is no report on the structure control of Fe particles for the efficient nitridation to obtain high-purity α -Fe₁₆N₂ phase. In this study, we have fabricated two different structures of Fe particles and compared them to conventional Fe powders after ammonia nitriding process.

This work was supported by the Industrial Strategic Technology Development Program (10062130, Theory-driven R&D for non-centrosymmetric structured rare-earth free Fe-based permanent magnet materials) funded by the Ministry of Trade, industry & Energy (MI, Korea).

Magnetic and Microstructural Properties of Multilayered MnBi Films

Hongjae Moon^{*}, Sumin Kim, Hwaebong Jung, Hyun-Sook Lee[†] and Wooyoung Lee[†]

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

[†]Corresponding Authors Email: wooyoung@yonsei.ac.kr, h-slee@yonsei.ac.kr

Ferromagnetic low-temperature-phase (LTP) of MnBi has attracted much attention because it has a higher coercivity than that of Nd-Fe-B at high temperature ($\sim 200^{\circ}\text{C}$) and it has been a desirable material as rare-earth-free permanent magnets that can be used in such high temperature. We present a change of magnetic properties of MnBi films by controlling the numbers of Bi/Mn bilayer. The thin films of LTP-MnBi were fabricated onto glass substrates by UHV sputtering, followed by in-situ annealing process at an optimized condition of 350°C and 1.5 hours. The composition ratio of Bi/Mn in the films was adjusted with a variation of the thickness of Bi and Mn layers. The highest value of maximum energy product $(BH)_{\text{max}}$ was about 8.5 MGOe at room temperature, which was obtained in one Bi/Mn bilayer with the thickness ratio of 34 nm/16 nm. To investigate the effect of Bi/Mn multilayers on the magnetic properties, we increased the numbers of Bi/Mn bilayer ($[\text{Bi/Mn}]_N$) up to five ($N = 5$). Here, the total film thicknesses were fixed with 100 nm and the ratio of Bi/Mn was sustained with 34 nm /16 nm. (e.g. Bi/Mn/Bi/Mn = 34nm/16nm/34nm/16nm for $[\text{Bi/Mn}]_2$) The increase of coercivity was observed from 5.8 kOe ($N=1$) to 9.8 kOe ($N=5$) with increasing number of bilayer. However, the remnant magnetization exhibited an unusual behavior. It was decreased at $N=2$ and increased up to $N=5$. We found that these are closely related to a microstructural change of LTP-MnBi, which were confirmed with XRD, TEM, and EDX analyses. We will discuss how the multilayered structure of MnBi films affects their magnetic properties in details.

Keywords: Permanent magnet, MnBi, Coercivity, Multilayer film

Magnetic properties of large-scaled MnBi bulk magnets

Sumin Kim^{*}, Hongjae Moon, Hwaebong Jung, Hyun-Sook Lee[†] and Wooyoung Lee[†]

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

[†]Corresponding Authors Email: wooyoung@yonsei.ac.kr, h-slee@yonsei.ac.kr

We investigated the magnetic properties of large, compacted, sintered MnBi bulk magnets with dimensions of $20.3 \times 15.3 \times 10.3 \text{ mm}^3$. To obtain high content of the low-temperature-phase (LTP) of MnBi in the precursor powders, a new process was implemented and produced about 98 wt% of LTP. To improve the coercive field of MnBi, particle sizes were controlled using different milling techniques. The dependence of magnetic properties of the bulk magnets on the particle size was analyzed. The highest maximum energy product, $(BH)_{\text{max}}$, obtained among our samples was 7.3 MGOe. This is the first report of demonstrating high performance in large-sized MnBi bulk magnets.

Keywords: rare-earth-free permanent magnet, MnBi, bulk magnet, melt spinning, hot compaction

증착온도에 따른 Fe 박막의 구조적, 자기적 특성 변화 연구

조윤희*, 김지웅, 이지성, 박성균[†]
부산대학교 물리학과, 부산 46241, 대한민국
[†]psk@pusan.ac.kr

영구자석 분야의 응용을 위해 다양한 질화 공정에 이용되는 양질의 Fe 박막을 얻기 위하여 증착조건과 박막의 자기적 특성과의 상관관계에 관한 연구를 진행하였다. Fe 박막은 DC 스파터링 방법을 이용하여 MgO(001) 기판 위에 성장 온도를 달리하여 증착하였다. X-선 회절 측정을 통해 Fe 박막이 300 °C 이상에서 Fe(001) 방향으로 성장되는 것을 확인하였으며, Rocking curve 측정으로부터 500 °C에서 성장된 박막의 결정성이 가장 좋은 것을 확인하였다. 진동시편자력계 측정으로부터 결정화된 Fe 박막의 자기적 특성을 측정한 결과, 400 °C에서 증착된 박막의 보자력이 가장 크게 나타났으며, 증착온도가 높아질수록 보자력이 감소하는 경향을 보였다. 이는 다자구형태를 나타내는 Fe 박막이 증착온도가 증가할수록 입자크기가 감소하는 것으로 이해할 수 있다.

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 산업기술 평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (10062130).

NiFe/MnIr 박막 재료의 자기장 각도에 따른 교환결합력 특성

김동영*, 윤석수
안동대학교 물리학과

교환결합력을 갖는 재료는 일반적으로 강자성(F)과 반강자성(AF)으로 구성되며, F/AF의 계면에서 비상보성 AF 스핀에 의하여 자화 곡선이 한쪽으로 이동되는 교환 바이어스 특성을 보인다. 이러한 교환 바이어스 특성은 자기저항(TMR/GMR/AMR)재료에서 강자성층의 자화를 고정 시킴으로써 자기저항 신호를 안정화 시키는 역할을 하며, 자기장의 방향에 따라 교환바이어스와 보자력 특성이 변화한다. 따라서 본 연구에서는 교환결합력을 갖는 NiFe/MnIr재료에서 자기장의 각도에 따른 교환바이어스와 보자력을 측정하였으며, Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 각도에 따른 이들 특성을 분석하였다.

NiFe(20 nm)/MnIr(x nm) 구조를 갖는 재료는 Si기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터 방법을 사용하여 증착하였으며, MnIr의 두께 x를 0에서 20 nm까지 변화 시켰다. 제조된 재료의 자기장 각도에 따른 교환 바이어스 (H_{EB}) 및 보자력(H_C)은 Optical KEER 장치를 사용하여 측정하였다.

Fig. 1은 NiFe/MnIr 박막에서 MnIr의 두께가 0, 4, 20 nm인 재료 각각에 대하여 자기장 각도에 따른 교환바이어스를 측정한 결과를 보인 것이다. MnIr의 두께가 0인 재료는 각도에 따른 교환바이어스 자기장이 나타나지 않았으나, MnIr의 두께가 4 및 20 nm에서는 교환 바이어스 특성이 일방이방성 특성을 반영한 자기장 각도 의존성을 보였다. 이들 측정 결과를 Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 분석한 결과, 교환 결합력을 갖는 NiFe/MnIr 박막 재료의 교환바이어스와 보자력은 자구의 회전 특성으로 해석됨을 알 수 있었다.

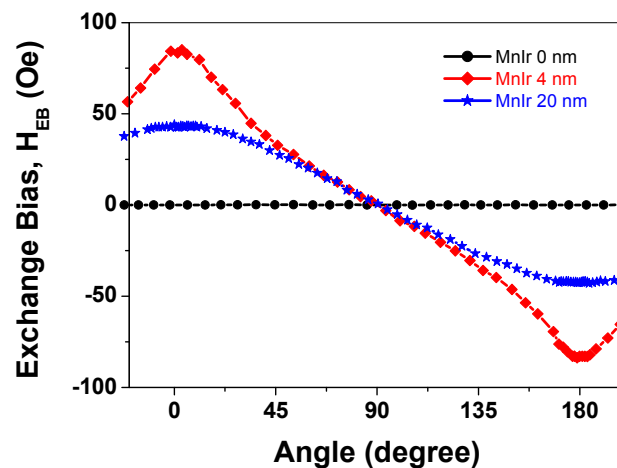


Fig. 1. Angular dependence of Exchange bias in NiFe/MnIr bilayers.

비틀림 스트레인 하에서 전기도금으로 제작된 Cu코어/NiFe셸 복합와이어에서 거대자기저항 효과

구태준¹, 윤석수^{1*}, 김동영¹, 이상훈²

¹안동대학교 물리학과

²가야대학교 방사선학과

거대 자기임피던스 효과(giant magneto-impedance effect)는 연자성 리본 또는 와이어에서 교류전압과 전류의 비인 임피던스가 자기장에 따라 민감하게 변하는 현상이다. 근래에 비자성 금속 코어위에 전기도금으로 연자성 셸을 형성한 복합와이어에서 거대 자기임피던스 효과가 연자성 리본 또는 와이어에 비해 더 크게 나타남으로 인해 관심을 끌고 있다.

본 연구에서는 약 200 μm 반경의 Cu 와이어에 수십 μm 두께로 $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ 연자성 재료를 전기도금하여 Cu코어/NiFe셸 구조의 복합와이어를 제작하였다. 전기도금하는 동안 Cu 와이어의 한쪽 끝을 원하는 각도로 회전시킬 수 있는 장치를 만들어 0도에서 720도 사이의 다양한 비틀림 스트레인 하에서 전기도금된 Cu코어/NiFe셸 복합와이어 시편을 제작하였다. 제작된 복합와이어 시편에 대해 임피던스 텐서의 대각 및 비대각 성분의 자기장 의존성을 10 kHz에서 10 MHz 주파수 범위에서 측정하였다.

측정된 결과로부터 어떤 비틀림 스트레인을 가진 복합와이어에서 대각 및 비대각 임피던스 효과가 가장 크게 나타나며 그 원인은 무엇인지를 규명하여 자기센서 소재로 응용하기에 가장 적합한 조건을 제시하였다.

Zn가 치환된 Z-type strontium ferrite의 결정학적 및 자기적 특성 연구

임정태^{1*}, 엄영량², 서정철³, 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

²한국원자력연구원 동위원소이용연구부

³원광대학교 반도체디스플레이학부

1. 서론

Spin current model에 의해 magnetodielectric 효과가 발생하는 hexaferrite 물질은 다중강체 물질로 많은 각광을 받고 있다. 특히, Strontium이 치환된 $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ Z-type hexaferrite 물질은 최근 상온 근처에서 그 효과가 나타나 많은 연구가 진행 중에 있다. 또한, spinel ferrite에 비해 큰 자기이방성에 의해 수 GHz의 고주파 대역에서 RF디바이스로도 연구되어있다. 하지만, $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ Z-type hexaferrite는 Ba이 들어간 Z-type hexaferrite보다 좁은 상형성 온도구간에 의해 직접합성법을 이용하여 단일상 형성에 어려운 점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 polymerizable complex method으로 제조된 $\text{Sr}_3\text{Zn}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 시료의 결정학적 및 자기적 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

유기-금속 복합체로 1차적인 상을 형성하여 직접합성법보다 쉽게 단일상을 형성할 수 있는 polymerizable complex method를 이용하여 Zn가 치환된 $\text{Sr}_3\text{Zn}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 의 Z-type strontium hexaferrite를 제조하였다. SrCO_3 , ZnO와 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 출발물질로 이용하였으며, 이를 Z-type hexaferrite의 당량비로 맞춘 후, 구연산과 함께 증류수에 용해시켜 metal-citrate 상태로 제조하였다. 제조된 citrate 용액에 암모니아 수와 ethylene glycol를 적가한 후, 이를 건조하여 유기-금속 복합체를 제조하였다. 제조된 유기-금속 복합체를 320도에서 하소 후, 최종적으로 1190도에서 소결하여 단일 상의 $\text{Sr}_3\text{Zn}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 시료를 합성하였다. 합성된 $\text{Sr}_3\text{Zn}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 시료를 Cu-K α 선에 이용한 x-선 회절 실험 (XRD)를 진행 후 Rietveld 정련법을 통해 결정학적 특성을 확인하였으며, 진동시료 자화율 측정 (VSM) 실험과 피스바우어 분광 실험을 통해 자기적 특성을 연구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

상온에서 측정된 XRD 결과를 Fullprof 프로그램을 이용하여 Rietveld 정련법을 통해 분석하였다. 분석된 결과, $\text{Sr}_3\text{Zn}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 시료는 단일상의 $P6_3/mmc$ 공간군을 가지는 hexagonal 구조로 분석되었으며, 분석구조 인자(R_B)와 Bragg 인자(R_F)은 각각 4.95와 4.78%로 확인되었다. 시료의 격자상수 a_0 , c_0 는 $a_0 = 5.87$ $c_0 = 51.98$ Å으로 분석되었다. VSM를 통해 4.2부터 295 K까지 다양한 온도 구간에서 15 kOe까지의 자기이력곡선을 측정하였다. 시료는 준강자성의 거동을 보였으며, 온도가 증가할수록 포화자화와 보자력은 감소하였다. 게다가, $\text{Sr}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 보다 큰 포화자화 값을 가지며, 이는 비자성 Zn 이온이 down-spin 방향의 tetrahedral site로의 치환의 의한 것으로 판단된다. 초미세상호작용 및 부격자 내의 철이온 분포에 대해 연구하기 위해, 4.2부터 295 K까지 Mössbauer 분광 실험을 실시하였다. Z-type hexaferrite내 중첩된 10개의 부격자를 쿼리온도 이하에서 6개의 6라인으로 분석하였으며, 온도가 증가함에 따라, Fe-O-Fe간의 초교환 상호작용의 감소에 의한 초미세자기장의 크기는 감소하였다. 또한, 이성질체 이동치를 통해 모든 온도구간에서 철이온은 Fe^{3+} 임을 확인하였다.

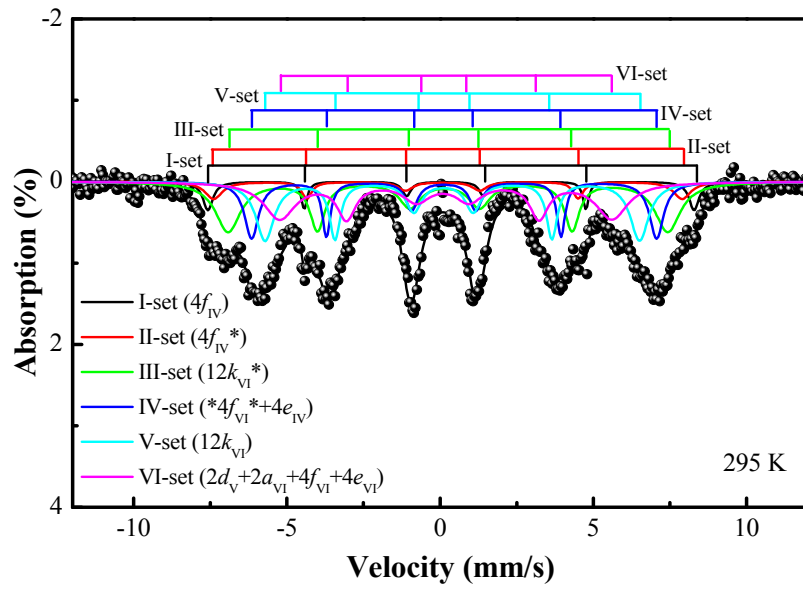


Fig. 1. Mössbauer spectra of $\text{Sr}_3\text{Zn}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ at 295 K.

참고문헌

- [1] R. C. Pullar; Prog. Mater. Sci. **57**, 1191 (2012).

Electrical and magnetic properties of Fe_3O_4 films on highly crystalline $\text{Cu}(111)$ islands

Ji Woong Kim^{*}, Dooyong Lee, Sehwan Song, Yunhee Cho and Sungkyun Park[†]

Department of Physics, Pusan National University, Busan 46241, Korea

[†]psk@pusan.ac.kr

Physical properties of interface between transition metal and ferrimagnets had been long interests in various applications such as spintronics, magnetic tunnel junction, magnetic recording media. In this work, the epitaxial Fe_3O_4 film, one of ferromagnetic oxides was synthesized using sputtering methods on $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ substrates. Varying the population density of metallic $\text{Cu}(111)$ islands on the substrate, the magnetic and electrical properties of (111) oriented Fe_3O_4 films were examined. With (111) oriented Cu island, the increased carrier concentration and electrical conductivity were observed. However, the saturation magnetization was decreased owing to the presence of intermixing between Cu and Fe_3O_4 . The detailed interfacial chemistry and island density depended physical properties will be discussed.

This work was supported by NRF-Korea (NRF-2015R1D1A1A01058672) and KAERI. J.W. Kim also supported by NRF-GPF program (2015H1A2A1034200).

CoFe₂O₄, AlFe₂O₄ 나노 페라이트 제조 방법에 따른 자기적 특성 연구

최현경*, 임새울, 안미정, 엄원영, 심인보, 김철성, 김삼진
국민대학교 물리학과

1. 서론

나노 페라이트 물질은 바이오, 광학, 자성물리 등 다양한 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있다. CoFe₂O₄ 나노 자성입자는 높은 발열 온도로 온열치료 분야에서 많이 응용되고 있으며, AlFe₂O₄는 광전자소자 소재로 광학 분야에 응용되고 있다. 특히, 나노 페라이트 물질의 사이즈에 따른 자기적, 발열 특성이 달라지기 때문에 이에 대한 중점적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 CoFe₂O₄, AlFe₂O₄ 나노 페라이트 물질의 자기적, 발열 특성에 대하여 연구를 진행하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 CoFe₂O₄, AlFe₂O₄ 나노 페라이트 물질을 고온열합성법(HTTD), 용매열합성법(Solvothermal)의 두 가지 방법을 이용하여 시료를 제조하였다. 고온열합성법은 출발 물질인 Fe(acac)₃, Oley acid, Oleylamine, Benzyl ether 에 각각의 조성비에 맞게 Co(acac)₂, Al(acac)₃를 혼합한 후, Ar 분위기에서 2시간 동안 300 °C에서 반응시켜 최종적인 CoFe₂O₄, AlFe₂O₄ 시료를 제조하였다. 용매열합성법은 FeCl₃·6H₂O, Ethylene glycol, Sodium acetate, Polyethylene glycol 에 당량비에 맞는 CoCl₂·6H₂O, AlCl₃·6H₂O 물질을 혼합한 후, 200 °C에서 8시간 동안 반응시켜 최종적인 용매열합성 방식의 페라이트 물질을 제조하였다. 해당 시료들은 XRD를 통하여 시료의 결정학적 구조를 확인하였으며, VSM 측정을 통하여 거시적인 자기적 특성을 확인하였다. 또한, Magnetism 장비를 이용하여 각 페라이트 물질의 발열 특성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

고온열분해법, 용매열합성법으로 제조된 시료의 XRD 측정 결과, 큐빅 스피넬의 구조를 갖는 단일상임을 확인하였으며, 제조된 자성 입자의 공간그룹은 *Fd-3m*으로 분석되었다. 상온에서 VSM을 측정한 결과, CoFe₂O₄가 AlFe₂O₄보다 *M_s* 값이 높았으며, *H_c*은 CoFe₂O₄보다 AlFe₂O₄가 더 큰 것을 확인하였다. magneTherm을 이용하여 시료들의 자기온열 측정을 진행하였으며, 발열 온도는 CoFe₂O₄가 AlFe₂O₄보다 월등하게 높은 것을 확인하였고, 이는 VSM 측정 결과 값과 일치하는 것을 볼 수 있다. 고온열합성법으로 제조된 나노 페라이트 물질이 용매열합성법으로 제조된 페라이트 물질보다 자기적, 발열 특성이 더 높다는 것을 확인하였다. 또한, Scherrer 방정식을 이용하여 입자의 크기를 계산한 결과, 고온열합성법을 이용한 시료의 사이즈는 대략 10 nm로 계산되었으며, 용매열합성법으로 제조한 시료는 200 nm 정도의 사이즈를 갖는 것으로 확인되었다.

4. 참고문헌

- [1] M. Kim, H. J. Kim, K.-H. Yoo, E. H. and C. S. Kim, *J. Korean Phys. Soc.*, **63** (11), 2175, 2013.

Annealing Effect on the Magnetic Properties for Co-based Amorphous Alloys

Sumin Kim^{*}, and Haein Choi-Yim

Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

1. Introduction

Annealing treatment to the amorphous phase is necessary to optimize their magnetic properties, since amorphous phase caused by rapid quenching is structurally in the metastable state. Annealing effect has been investigated for a number of amorphous alloys [1,2]. It has been found that the heat treatments cause reduction of coercivity and losses [3]. The low coercivity is a primary property of soft materials. Moreover, Annealing below glass transition temperature cause nucleation but not crystallization. In this study, the annealing effect on the magnetic properties of Co-based amorphous ribbon was investigated.

2. Experiment

Alloy ingots with the composition $\text{Co}_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Cr}_4$ and $\text{Co}_{64.8}\text{Fe}_{7.2}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Cr}_4$ were prepared by melting high purity constituent elements in arc-melting under a Ti-gettered argon atmosphere. Each ingot was re-melted at least four times to maximize compositional homogeneity. Amorphous ribbons were produced by melt spinning using a wheel speed of 39.27 m/s in an argon atmosphere. The ribbons were typically 2 mm in wide and 20~30 μm in thick. The as-spun ribbons were subjected to annealing treatments at various temperatures below glass transition temperature (T_g) for 15 minutes in vacuum. The composition and structure of ribbons identified by X-ray diffraction (XRD) with Cu-K α radiation. Thermal stability associated with the T_g and crystallization temperature (T_x) were measured using a differential scanning calorimeter (DSC) and thermomechanical analysis (TMA) under a flowing argon atmosphere. The saturation magnetization (M_s) and coercivity (H_c) at room temperature were measured in a maximum applied field of 1500 kA/m with a vibrating sample magnetometer (VSM). The field resolution of VSM is 1 mOe (0.08 A/m).

3. Result and discussion

The annealing effect on the magnetic properties is reported for the $\text{Co}_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Cr}_4$ and $\text{Co}_{64.8}\text{Fe}_{7.2}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Cr}_4$ alloy systems. Through the DSC and TMA experiments, we determined the annealing temperature below T_g without crystallization process. All of the ribbon with or without heat treatment was identified as a fully amorphous alloy in XRD patterns. The hysteresis curves indicated the magnetic properties. We confirmed that the annealing contributes to soft magnetic characteristics such as high M_s and low H_c .

4. References

- [1] H.S. Chen, J. Appl. Phys. 52, 1868 (1981).
- [2] H.S. Chen and A. Inoue, J. Non-Cryst. Solids 61&62, 805 (1984).
- [3] F.E. Luborsky, IEEE Trans. Magn. MAG-11, 1644 (1975).

Dependence of exchange bias field on antiferromagnetic layer thickness in NiFe/FeMn/CoFe heterostructures grown under a magnetic field

Ki-Yeon Kim^{1*}, Hyeok-Cheol Choi², Sin-Yong Jo², Seung Ku Kang², Jong Kahk Keum³, Valeria Lauter⁴, Haile Arena Ambaye⁴, Jiyong Gu⁵, Je-Ho Shin⁶, Dong-Hyun Kim⁶, Chun-Yeol You^{2,7}

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

²Department of Physics, Inha University, Republic of Korea

³Center for Nanophase Materials Science, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831, USA

⁴Quantum Condensed Matter Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831, USA

⁵Department of Physics and Astronomy, California State University-Long Beach, Long Beach,
1250 Long Beach, California 90840, USA

⁶Department of Physics, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

⁷Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu 42988, South Korea

We have investigated the antiferromagnetic layer thickness dependence of exchange bias field in NiFe (F)/FeMn(t_{AF} , AF)/CoFe(F) trilayered heterostructures with t_{AF} up to 30 nm. It was found that exchange bias field at both F/AF interfaces exhibit anomaly around $t_{AF} = 20, 25$ nm after saturation at $t_{AF}=10$ nm. Considering that the theoretical and experimental results studied so far[1-4], it has been found to be very unusual behavior. Well-known factors such as FeMn(111) texture, FeMn grain size, and F/AF interface roughness are unlikely to explain the observed anomaly. We measured and compared polarized neutron reflectivity of NiFe (F)/FeMn($t_{AF}=25$ nm)/CoFe(F) at positive (300 Oe, R^+) and negative (-300 Oe, R^-) saturations using Magnetism Reflectometer @BL4A, Spallation Neutron Source (SNS) at Oak Ridge National Laboratory. By comparison, we found that there exists very small, but non-zero spin asymmetry. Spin asymmetry is defined as $(R^+ - R^-)/(R^+ + R^-)$. This is unexpected results because spin asymmetry at both saturations should be the same with each other. We attempt to understand our results as follows. In case of $t_{AF} \leq 20$ nm less than AF domain wall length, the intra-layer AF exchange coupling tends to make FeMn(111) fully compensated spin structures. This may be ascribed to the fact that the uncompensated magnetic moments within FeMn(111) layer have seldom been seen in previous reports regarding (NiFe or Co)/FeMn(111) bilayered heterostructures. Meanwhile, partially uncompensated, rotatable AF spins or partial domain wall is likely to be accommodated within FeMn(111) layer in case of $t_{AF}=25$ nm, close to a AF domain wall length for FeMn(111) texture. We believe that partially uncompensated rotatable spins or partial domain walls possibly lead to the anomaly observed even after saturation of exchange bias field around $t_{AF}=10$ nm in NiFe/FeMn/CoFe heterostructures.

This work was supported by NRF Grants (2012M2A2A6004261) funded by the Korea government.

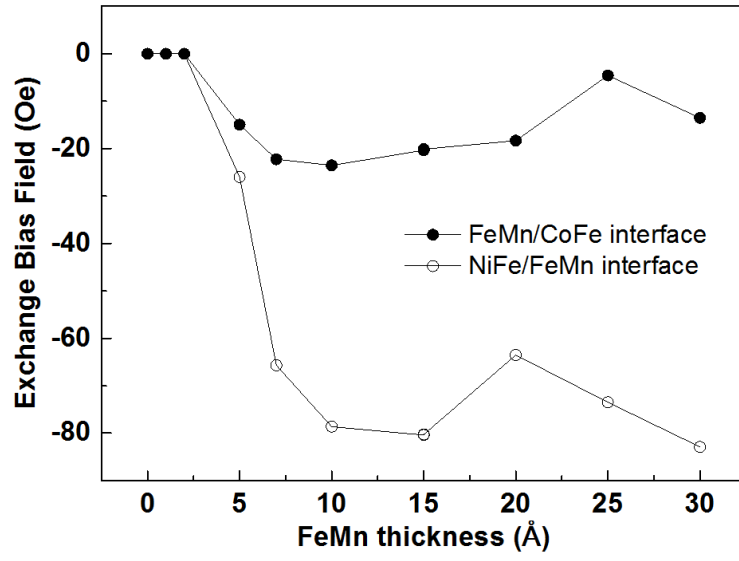


Fig. 1. Antiferromagnetic layer thickness dependence of the exchange bias field at NiFe/FeMn(open circle) and FeMn/CoFe(solid circle) interfaces in NiFe/FeMn/CoFe heterostructures.

References

- [1] Jinguo Hu et al. JAP **94**, 2529 (2003)
- [2] H. Xi and Robert M. White, PRB **61**, 80 (2000)
- [3] H. Sang, et al. J. Appl. Phys. **85**, 4931 (1999)
- [4] Ki-Yeon Kim et al, Phys. Rev. B **84**, 144410 (2011)

Effect of Fe/Co ratios on Thermal and Magnetic Properties at Co-Fe-B-Si-Ta Alloys system

Jiyun Oh*, and Haein Choi-Yim

Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

1. Introduction

A lot of soft magnetic alloys have been researched as promising materials until now. Especially, amorphous alloys can be good candidates in several application industries therefore many research groups have studied various combinations of alloys recently. [1-3] Co-based and Fe-based alloys have a good possibility in several applications, for instance sensors, power devices, transformers, motors and energy converting supplies [4,5]. Furthermore, adding the 4 at. % Ta alloying to the Co-Fe composition enhance the glass forming abilities (GFA) [6]. In previous research, we studied the thermal and magnetic properties by making a small quantity of Cr and Ta addition to Co-Fe alloys [7]. In this examination, we researched the thermal and magnetic properties of the $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Ta}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) alloys more specific than previous study.

2. Experiment

In this examination, $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Ta}_4$ ($0 \leq x \leq 1.0$) multi-component ingots were made of pure elements, such as Co (99.95 %), Fe (99.95 %), B (99.5 %), Si (99.999 %) and Ta (99.95 %), and total mass is 6 g. Co-Fe-B-Si-Ta alloy systems were made by vacuum arc melting furnace under argon atmosphere and re-melted at least six times for homogeneity of alloys. The ribbons were rapidly solidified by a copper roller vacuum melt-spinning method under an argon gas atmosphere with roller speed of 39.27 m/s. And the width of ribbons is 2×10^{-3} - 3×10^{-3} m and the thickness of ribbons is about 30×10^{-6} - 40×10^{-6} m. After preparing of ribbons, we identified the thermal and magnetic properties of alloys by using various measuring equipment. First, the structure of alloys is confirmed by X-ray diffraction (XRD). Second, the thermal properties, such as crystallization temperatures (T_x) are measured by using differential scanning calorimeter (DSC). Last, the magnetic properties are established by vibrating sample magnetometer (VSM).

3. Result and discussion

In this study, we conducted more research on Co-Fe-B-Si-Ta system than earlier research in order to study deep into the thermal and magnetic properties of Co-Fe based alloys. In XRD results, the curves have broad hump trace of amorphous phase, but the curves have several peaks which are conjectured crystalline phase. The thermal stabilities of melt-spun ribbon samples are revealed from the increase of the T_x and the detection of two exothermic peaks. The soft magnetic properties of the Co-Fe-B-Si-Ta ribbons are indicated by the shape of hysteresis loop. So these melt-spun ribbons are suitable for diverse applications which require the good thermal stability and good soft magnetic properties.

4. References

- [1] Y. Han, A. Inoue, F.L. Kong, C.T. Chang, S.L. Shu, E. Shalaan, and F. Al-Marzouki, *J. Alloy. Compd.* 657, 237 (2016).
- [2] O. Gutfleisch, M.A. Willard, E. Bruck, C.H. Chen, S.G. Sankar, and J.P. Liu, *Adv. Mater.* 23, 821 (2011).
- [3] K. Suzuki, N. Kataoka, A. Inoue, A. Makino, and T. Masumoto, *Mater. T. JIM.* 31, 743 (1990).
- [4] T. D.Shen and R. B. Schwarz, *Appl. Phys. Lett.* 75, 49 (1999).
- [5] A. Inoue, B. L. Shen and C. T. Chang, *Intermetallics* 14, 936 (2006).
- [6] C.L. Zhu, Q. Wang, Y.M. Wang, J.B. Qiang, and C. Dong, *J. Alloy. Compd.* 5045, S34 (2010).
- [7] H. Jo, B Han, H. Choi-Yim and W. Kwon, *J. Korean Phys. Soc.* 62, 523 (2013)

Analysis of Thermal and Magnetic Properties by adding Mo to Co-based and Fe-based Amorphous Alloys

Seoyeon Kwon*, and Haein Choi-Yim

Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

1. Introduction

Fe-based amorphous alloy systems have attracted interest for the low material cost, and good soft magnetic properties [1-3]. Particularly, improving the soft magnetic properties and glass forming ability of Fe-based amorphous alloy systems has been studied for the several applications [4,5]. These (Co, Fe)-B-Si alloy system was developed in 1974 and used in field of application development for its good soft magnetic properties and high-strength compared with other Fe-B-Si systems [6,7]. Therefore, we have selected this system. Adding Mo in the Fe-B-Si systems enhances glass-forming ability (GFA) and thermal stability. In this study, we researched on effects of replacing Co by Fe and the part of small Mo additions, in Fe-Co-B-Si-Mo alloy system. We examined the thermal and magnetic properties of $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) by amorphous ribbons in detail.

2. Experiment

$(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) alloys were prepared by an arc-melting furnace with high purity metals under Ti-gettered Argon atmosphere. In addition, these ingots were re-melted four times respectively, in order to be homogeneous alloys. Then, these samples, ribbons with width of 2mm were prepared by single copper roller melt spinning machine in 39.27m/s. After processing of ribbons, we identified ribbons' thermal and magnetic property by multiple measuring equipment. The structure of amorphous is confirmed by X-ray diffraction (XRD). We conducted an analysis of the results by differential scanning calorimeter (DSC)) to identify the thermal properties such as the crystallization temperature (T_x), the glass transition temperature (T_g), and the super cooled liquid region ($\Delta T_x = T_x - T_g$) and the magnetic properties measured by using vibrating sample magnetometer (VSM).

3. Result and discussion

In this research, we performed diverse study on Co-Fe-B-Si-Mo system in order to identify that adding Mo element enhances glass-forming ability and thermal stability. Also we want to study into the thermal and the magnetic properties for Co-Fe based amorphous alloys with Mo in depth. $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) amorphous ribbons showed good thermal stability with large super-cooled liquid regions. Furthermore, the amorphous ribbons of these composition exhibited good soft magnetic properties. Thus the addition of a small quantity of Mo will have beneficial effects on the thermal stability and soft magnetic properties.

4. References

- [1] A. Inoue, B. L. Shen, and C. T. Chang, *Acta Mate.* 52, 4093 (2004).
- [2] B. L. Shen, A. Inoue, and C. T. Chang, *Appl. phys. Lett.* 85, 4911 (2004).
- [3] B. L. Shen, C. T. Chang, T. Kubota, and A. Inoue, *J. Appl. phys.* 100, 013515 (2006).

- [4] A. Inoue and A. Makino, Nano. Mater. 9, 403 (1997).
- [5] A. Inoue, Mater. Sci. Eng. 304, 1 (2001).
- [6] K. Hayashi, M. Hayakawa, Y. Ochiai, H. Matsuda, W. Ishikawa, and K. Aso, J. Appl. Phys. 61, 2983 (1987).
- [7] A. Datta and C. H. Smith, Rapidly Quenched Metals, vol. eds. S. Steeb and H. Warlimont, North-Holland, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo (1985), p. 1315.

The influence of repetition of bilayer in CoSiB/Pd multilayer with Perpendicular Magnetic Anisotropy

Sol Jung^{*}, and Haein Yim

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

1. Introduction

Perpendicular magnetic anisotropy (PMA) is the perpendicular direction dependence of the magnetic properties of a material. Magnetic thin films with PMA are magnetized in a direction normal (perpendicular) to the plane. Experimental studies of the PMA in magnetic thin films and multilayers have been done for almost 40 years since Iwasaki and Takemura first investigated the mechanism of the PMA in Co/Cr thin films [1]. In 1985, Carcia et al. established the importance of the interface between the magnetic layer and the nonmagnetic layer as the driving mechanism for the PMA [2]. Subsequently, in studies of magneto resistive random access memories (MRAMs), magnetic tunnel junctions (MTJs) with PMA became a key issue for realizing next-generation high-density and non-volatile memory devices, such as a spin-transfer torque MRAM [3-7]. PMA has two strong advantages for the next-generation devices: low current density and high thermal stability. Both these factors are important issues for application of next-generation devices. Moreover, amorphous materials has higher saturation magnetization than crystalline materials. This characterization is particularly useful for improving of capability of devices. Therefore, we have been studied magnetic and perpendicular magnetic anisotropic property of multilayers consisting of amorphous Co₇₅Si₁₅B₁₀. In this paper, we investigated the multilayer with PMA and studied the magnetic property of multilayer with various conditions.

2. Experiment

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

3. Result and discussion

In this study, we investigated the magnetic properties (the coercivity and saturation magnetization) of the CoSiB/Pd multilayers and found the dependence of repetition of CoSiB/Pd bilyaer on their magnetic property. We note that the coercivity and the saturation magnetization of the CoSiB/Pd multilayer increase or decrease with changing of repetition number of CoSiB/Pd bilayer. Especially the perpendicular magnetic anisotropic property is closely related with the repetition of CoSiB/Pd bilayer.

4. References

- [1] Shun-ichi Iwasaki and Katsumaro Takemura, IEEE. Trans. Magn. Mag-11, 1173 (1975).
- [2] P. F. Carcia, A. D. Meinhaldt and A. Suna, Appl. Phys. Lett. 47, 178 (1985).
- [3] N. Nishiura, T. Hirai, A. Koganei, T. Ikeda, K. Okant, Y. Sekiguchi and Y. Osada, J. Appl. Phys. 91, 5246 (2002).

- [4] F. Garcia-Sanchez, O. Chubykalo-Fesenko, O. Mryasov, R. W. Chantrell and K. Yu. Guslienko, Appl. Phys. Lett. 87, 122501 (2005).
- [5] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura and H. Ohno, Nature Mater. 9, 721 (2010).
- [6] S. Mangin, D. Ravelosona, J. A. Katine, M. J. Carey, B. D. Terris and Eric E. Fullerton, Nature Mater. 5, 210 (2006).
- [7] H. Meng and J-P. Wang, Appl. Phys. Lett. 88, 172506 (2006).

LiFe_{0.95}V_{0.05}FePO₄의 자기적 및 전기적 특성 연구

고병욱*, 손진영, 김삼진, 김철성

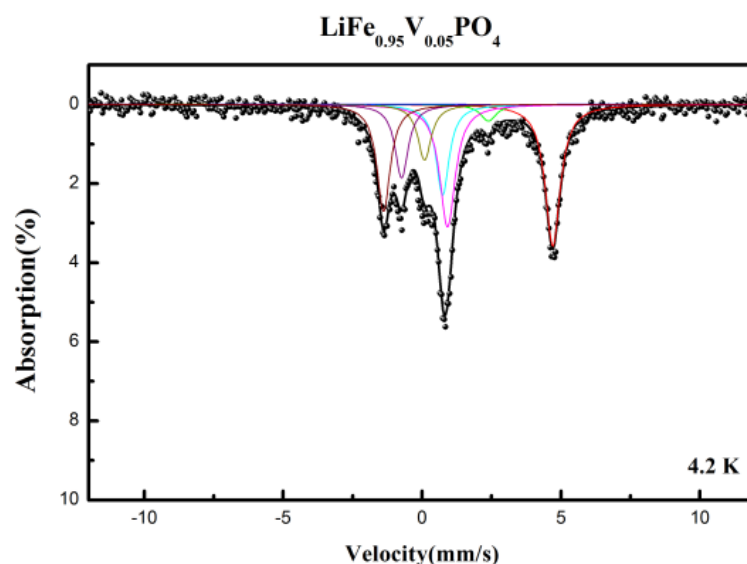
국민대학교 물리학과

1. 서론

Olivine 계열의 이차전지 양극물질 리튬인산철(LiFePO₄)의 효율 향상을 위하여 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 카본 코팅 및 나노 입자 제조, Fe 이외의 다른 전이 금속을 치환 하는 등 여러 가지 연구가 활발히 진행되는 가운데, 본 연구에서는 2가부터 5가까지 다양한 이온가로 존재하는 전이금속인 Vanadium을 2가 이온 형태로 존재하는 LiFe_{0.95}V_{0.05}FePO₄ 제조하여 자기적 및 전기적 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

V가 2가 이온으로 존재하는 LiFe_{0.95}V_{0.05}FePO₄ 분말 시료는 직접 합성법으로 제작되었다. 시작 물질인 Li₂CO₃, NH₄VO₃, NH₄H₂PO₄, FeC₂O₄ · 2H₂O를 당량비로 혼합 하여 마노 유발을 사용해 그라인딩하였다. 혼합된 시료를 350 °C로 4시간 동안 하소(calcination)하고 하소한 시료를 유압 압축기를 이용하여 5000 N/cm²로 압축(pelleting), 700 °C에서 10시간 동안 소결(sintering)하였다. 이러한 열처리 과정은 모두 Ar 가스 분위기에서 진행되었다. 제조한 시료를 XRD(X-ray diffractometer)를 사용하여 측정하였고, XRD 패턴을 Full Prof 프로그램을 사용하여 Rietveld 정련법으로 결정학적 구조를 분석하였다. 자기적 특성을 측정하기 위해 VSM(vibrating sample magnetometer)을 사용하여 온도에 따른 자화 변화를 측정하였고, Mössbauer 분광 실험을 통해 LiFe_{0.95}V_{0.05}FePO₄ 분말 시료의 미세적인 자기적 특성을 측정하였다. 또한 코인 셀(coin cell)형태로 제작하여 충·방전 실험을 통해 전기적 특성을 확인하였다.



3. 실험결과 및 고찰

직접합성법으로 제조된 LiFe_{0.95}V_{0.05}FePO₄ 분말 시료는 공간그룹이 Pnma인 orthorhombic 구조로 분석 되었다. VSM(vibrating sample magnetometer)을 사용한 온도에 따른 자화 변화를 측정한 결과 반강자성체에서 상자

성체로 자기 상전이가 일어나는 नी온도(T_N)를 확인하였고, 보통의 반강자성과 다른 spin reorientation 현상을 확인 할 수 있었다. 또한 Mössbauer 분광 실험을 통해 नी온도(T_N)이하에서는 비대칭의 8라인 흡수선을, नी온도(T_N) 이상에서는 대칭적인 doublet 형태의 흡수선을 측정 및 분석하였다. 분석결과, 4.2 K에서 초미세 자기장 $H_{hf} = 124.33$ kOe, 전기 4중극자 분열치 $\Delta E_Q = 2.75$ mm/s, 이성질체 이동치(δ) = 1.24 mm/s로 분석되었다. 4.2 ~ 295 K에서 이성질체 이동치(δ)를 구한 결과, Fe 이온은 Fe^{2+} 상태로 존재한다는 것을 확인하였다. 마지막으로 코인 셀을 제작하여 충·방전 실험을 한 결과 이 시료의 구동전압을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] J. Wang and X. Sun, Energy Environ. Sci. **8**, 1110 (2015).

Olivine 구조의 양극물질에 transition metal(Fe, Mn, Ni)을 치환함으로써 나타나는 자기적 특성

최현경^{1*}, 김문환¹, 김성백², 한은주³, 김삼진¹, 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

²건양대학교 기초교육학부

³수원대학교 물리학과

1. 서론

LiFePO₄ 양극물질은 높은 작동전압과 충/방전 용량을 가지고 있으나 리튬 이온의 삽입(insertion)/탈리(extraction)시 1차원적인 이온 통로와 결정 구조로 인하여 낮은 전도성을 지니고 있다. 이를 해결하기 위하여 transition metal (Fe, Mn, Ni) 물질을 치환하여 그 특성을 향상시키고자 하는 많은 연구가 이루어지고 있다.[1] 본 연구에서는 LiFe_{1/3}Mn_{1/3}Ni_{1/3}PO₄ 양극물질이 저온에서 스핀 궤도 결합에 의해 발현되는 특이한 자기적 성질을 연구하고자 한다.

2. 실험방법

올리빈 구조를 가지는 LiMPO₄ 양극물질에 M=Fe, Mn, Ni를 치환하여 LiFe_{1/3}Mn_{1/3}Ni_{1/3}PO₄ 물질을 직접합성법으로 제조하였다. Li₂CO₃, NH₄H₂PO₄, FeC₂O₄ · 2H₂O, MnO, NiO를 출발 물질로 하여, 혼합된 시료를 300도에서 4시간 동안 아르곤 분위기에서 하소하였다. 하소된 시료를 pellet으로 제작 후 700도에서 10시간 동안 아르곤 분위기에서 소결하였다. Cu-Kα 선에 의한 X-선 회절 실험을 통하여 시료의 결정학적 특성을 확인하였으며, 4.2 K에서 295 K의 온도 구간에서 진동시료 자화율과 피스바우어 분광 실험을 통하여 본 양극물질의 자기적 특성을 확인하였다.

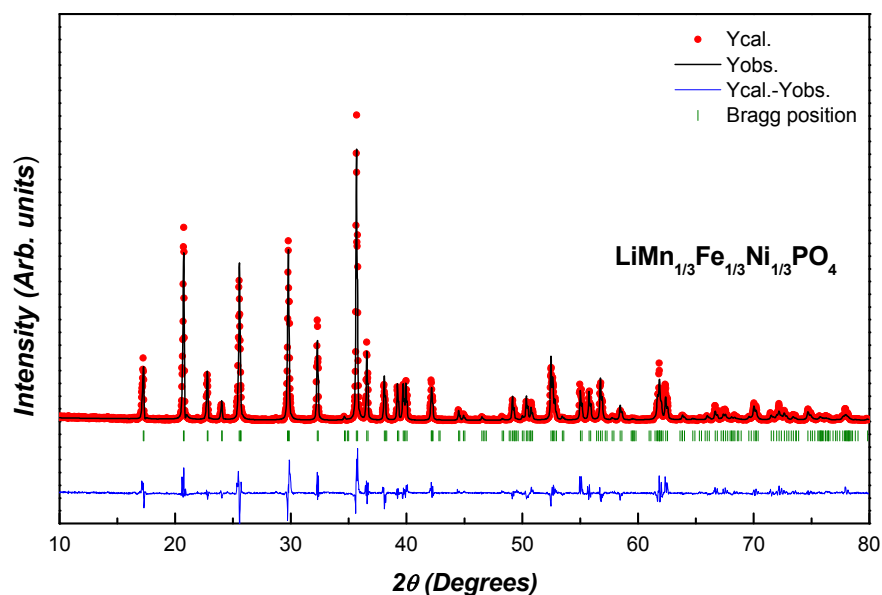


Fig. 1. The refined x-ray diffraction patterns of LiFMn_{1/3}Fe_{1/3}Ni_{1/3}PO₄ at 295K.

3. 실험결과 및 고찰

올리빈 구조의 $\text{LiFe}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{PO}_4$ 양극물질을 X-선 회절 실험한 결과, 그림 1과 같이 orthorhombic 구조의 $Pnma$ 공간그룹을 갖는 것으로 확인되었으며, 격자 상수는 $a_0 = 10.2768$, $b_0 = 5.9943$, $c_0 = 4.7101 \text{ \AA}$ and $V = 290.1546 \text{ \AA}^3$ 으로 분석되었다. 4.2 K에서 295 K에서 진동시료형 자화율 실험과 뫼스바우어 분광 실험을 측정한 결과, 해당 양극물질의 Nil 온도는 34 K로 결정되었으며, Nil 온도 이하에서는 반강자성체 거동을 보이는 것으로 확인되었다. 4.2 K에서의 뫼스바우어 스펙트라를 분석한 결과, 초미세 자기장(Hyperfine field)은 118.95 kOe, 전기 4중극자 분열치(Electric quadrupole splitting)은 2.79 mm/s, 이성질체 이동치(isomer shift)는 1.21 mm/s로 확인되었으며, Fe 이온은 모든 온도 구간에서 Fe^{2+} 상태임을 확인하였다. 또한, 초미세 자기장과 전기장 기울기 텐서가 이루는 θ 와 φ 는 0° , 비대칭인자 $\eta = 0.84$, 전기 4중극자와 자기 2중극자의 상호작용의 비 $R = 3.46$ 으로 분석되었다.

4. 참고문헌

- [1] H. Li, Y. Chen, L. Chen, H. Jiang, Y. Wang, H. Wang, G. Li, Y. Li, and Y. Yuan, *Electrochim. Acta*, **143**, 407 (2014).
- [2] K. Wang, A. Ottmann, J. Zhang, H.-P. Meyer, and R. Klingeler, *J. Mater. Res.* **30**, 914 (2015).

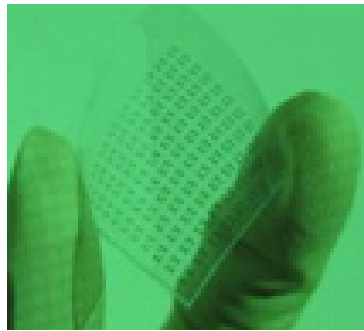
유연기판을 이용한 PHR 센서의 자기특성 변화 연구

김성준¹, 김미진^{1*}, 전태형², 강지훈², 김범주², 김도환², 최승호², 김철기^{1*}

¹대구시 달성군 현풍면 DGIST 신물질과학전공

²대구시 달성군 현풍면 DGIST 기초학부

유연소자 제조기술은 21세기형 새로운 성장 동력 산업기술로서 각광받고 있으며, 각 종 전기, 전자, 디스플레이 산업뿐만 아니라 최근에는 의료/바이오 산업으로까지 활용범위가 확대되고 있다. 특히 의료/바이오 산업에서의 유연소자는 특수 의료목적 이외에도 맥박, 땀, 혈액, 체온 등과 같이 인체의 내부 또는 외부에서의 물리적인 변화를 감지하여 개인의 질병 측정 등 U-헬스케어(Ubiquitous healthcare) 분야에 활용 될 수 있다. 본 연구에서는 유연기판위에 마그네트론 스퍼터를 이용하여 이층박막 구조인 Ta(5nm)/NiFe(10nm)/IrMn(10nm)/Ta(5nm)를 증착하여 PHR 자기센서를 제작하고, 외부자기장에 의한 센서의 자화거동 측정과 자기저항 신호로부터 센서 특성 및 자기 민감도를 측정하였다.



Spin Hall Transistor using In As 2DEG Channel and Logic Devices

Won Young Choi^{1,2*}, Hyung-Jun Kim¹, Joonyeon Chang¹,
Suk Hee Han¹, and Hyun Cheol Koo^{1,2}

¹Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea

²KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul, 02841, Korea

In InAs 2DEG channel, spin Hall and Rashba effects are utilized to provide spin transistor. A ferromagnetic electrode and Hall bar type probe are used for injection and detection of spin current, respectively. In the channel, polarization direction of spin current precesses due to Rashba effective field and the rate of precession is controlled by gate electric field which determines a strength of the Rashba effect. By observing channel length dependence of spin Hall voltage, spin current and coherent spin precession are electrically monitored. From the original Datta-Das technique, we measured the oscillation of channel conductance as the gate voltage varies. When the polarization direction of injected spin is reversed by 180°, the phase of the Datta–Das oscillation shifts by 180° as expected. Depending on the magnetization direction, the polarization has the opposite direction and the spin Hall transistor behaves as an *n*- or *p*-type transistor. Thus, we can compose the complementary transistors which are analogous to the conventional complementary metal oxide semiconductor field effect transistors. Using the experimental data extracted from the spin Hall transistor, the logic operation is also presented.

Effect of pulsed magnetic field annealing on the resistance switching property of Fe- and Co- doped ZnO thin films

Changjin Wu^{1*}, Hongtao Xu², Chunli Liu¹

¹Department of Physics and Oxide Research Center, Hankuk University of Foreign Studies, South Korea

²School of Materials Science and Engineering, Laboratory for Microstructures, Shanghai University, China

The 5% Fe doped ZnO (ZnO:Fe) thin films were deposited on Pt/TiO₂/SiO₂/Si substrates by spin-coating. The effects of magnetic annealing on resistance switching (RS) performances were investigated by annealing the films with (ZnO:Fe-4T) and without (ZnO:Fe-0T) a pulsed magnetic field of 4T and analyzing the consequent electrical characteristics respectively. As compared to the films without magnetic annealing, the magnetic annealed films showed improved RS performance regarding the stability of the set voltage and the resistance of the high resistance state. The transmission electron microscopy and x-ray photoelectron spectroscopy analyses on the 5% Fe doped ZnO (ZnO:Fe) thin films revealed that the ZnO:Fe-4TP film contains more uniform grains and higher density of oxygen vacancies, which promote the easier formation of conducting filaments along similar paths and stability of switching parameters. Likewise, the 1% Co doped ZnO (ZnO:Co) devices fabricated by the same methods also revealed the superiority of magnetic annealing when compared the RS of ZnO:Co-4T films with the ZnO:Co-0T films. These results suggest that the external magnetic fields can be utilized to prepare magnetic oxide thin films with improved resistance switching performance for memory device applications.

Detection of chemical potentials in a strong Rashba channel

Joo-hyeon LEE^{1,2*}, Won Young Choi^{1,2}, Hyung-jun Kim¹, Joonyeon Chang¹,
Suk Hee Han¹, and Hyun Cheol Koo^{1,2}

¹Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology

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

1. Introduction

We report the detection of a chemical potential change induced by the Rashba effect in an InAs-based high electron mobility transistor (HEMT) structure. In this potentiometric measurement, we deposit a ferromagnetic junction ($\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$) as a spin detector on an InAs HEMT channel. We observe hysteretic voltage signals which is determined by the vector alignment between the magnetization of $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ electrode and the Rashba field. We investigated the temperature dependence of the spin signal and observed clear signal up to room temperature.

2. Experiment and Result

The potentiometric measurement is performed in a three-terminal configuration involving one ferromagnetic contact (Py/NiFe) and two non-magnetic contact (Au). The bias current is applied between the two Au electrodes and a voltage is measured between the $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ electrode and Au contacts. The magnetization direction of $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ can be switched to be either parallel or antiparallel to the current induced Rashba field in the InAs HEMT channel. The voltage measured by the detector shows a clear hysteretic step change during the magnetic field sweep. This potentiometric measurements are performed for various temperatures from 1.8 K to 300 K. The amplitude of the voltage decrease with increasing temperature due to the smearing of the Rashba spin splitting at a higher temperature.

3. Discussion and conclusion

We have carried out electrical measurements of the chemical potential change induced by the Rashba spin splitting. The spin-dependent potentiometric voltage were detected up to room temperature and the temperature dependence of the potentiometric signal was also observed. Utilizing this method, we can extract the strength of the Rashba effect in semiconductor channels.

Detection of Rashba spin splitting via a side injection

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

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

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

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

^{*}Correspondence to: hckoo@kist.re.kr

The demonstration of Datta-Das spin field effect transistor (spin-FET) [1], is one of the major concern in the field of spin transport devices because it can be utilized for switching and logic devices. For developing Spin-FET, spin transport efficiency in a quantum well structure is crucial factors. Some reports [2, 3] have researched spin injection into semiconductor quantum well, however, the spin injection efficiency is still low to operate spin-FET at room temperature. In this research, we experimentally observed spin dependent electrochemical potentials in the non-local geometry at room temperature.

The inverted High Electron Mobility Transistor (HEMT) with a 2 nm InAs active layer is utilized as a channel. The channel size of 8 μm was defined by conventional Ar-dry etching. Previous works [2, 3] used etching process for top contact between spin injector and the semiconductor channel. In this research, we deposited $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ magnetic electrodes (FM) at the side of the InAs quantum well channel. The junction area between FM1 (FM2) and the InAs channel is only $0.5 \mu\text{m} \times 2 \text{ nm}$ ($1 \mu\text{m} \times 2 \text{ nm}$) which is much smaller than that of previous works. Using the current injection into the side of the quantum well, the potentiometric signal and the rotation of spin torque induced magnetization are simultaneously detected. In this geometry, the spin is injected from the injection ferromagnet into the channel directly and the chemical potential is monitored by the detection ferromagnet. For the side injection, the milling of cladding layer is not necessary, so the efficient spin transport and the undamaged Rashba spin splitting are produced. The ferromagnetic detector sense the Rashba effect induced chemical potential change of the channel and this potentiometric signal is also modulated by the magnetization direction of detector. The large chemical potential changes of $1.03 \text{ } \Omega$ and $0.96 \text{ } \Omega$ are observed at 1.8 K and 300 K, respectively.

References

- [1] S. Datta *et al.*, Appl. Phys. Lett. 56, 665 (1990).
- [2] H. C. Koo *et al.*, Science, 325, 1515 (2009).
- [3] J. Wunderlich *et al.*, Science. 78, 1335, (2010).

Role of Cu insertion layer at the Pt/Co and Co/AlO_x interfaces with interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction and perpendicular magnetic anisotropy

Nam-Hui Kim^{1,5*}, Jaehun Cho¹, Jinyong Jung¹, Dong-Soo Han², Yuxiang Yin², June-Seo Kim, Henk J.M. Swagten², Kyujoon Lee³, Myung-Hwa Jung⁴, and Chun-Yeol You^{1,5}

¹Department of Physics, Inha University, Incheon 22212, South Korea

²Department of Applied Physics, Center for NanoMaterials, Eindhoven University of Technology, PO Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands

³Institut of Physics and Graduate School of Excellence Materials Science in Mainz, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz, Germany

⁴Department of Physics, Sogang University, Seoul 04107, South Korea

⁵Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu 42988, South Korea

I. Introduction

The spin orbit coupling related phenomena such as the interfacial perpendicular magnetic anisotropy (iPMA), the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction (iDMI) have been heavily investigated [1-4] because of their application of non-volatile memory devices and new type future information storage devices such as spin transfer torque-magnetic random access memory (STT-MRAM) and skyrmion based logic or race-track memory [5-6]. Especially, the interface is an important place in many physical phenomena and Brillouin light scattering (BLS) measurement is powerful tool to investigate such interfacial phenomena. In this study, we mainly investigate the contribution of each TOP and BOTTOM interface to the iDMI, PMA, and MOKE amplitude modulations as an ultra-thin Cu layer (0-0.5 nm) is inserted in the Pt/Co or Co/AlO_x interfaces by employing MOKE and BLS measurement.

II. Experiment

We prepared two wedge shaped samples on the top of the thermally-oxidized Si/SiO₂ wafer. The wedge sample structures are Si/SiO₂/Pt(4 nm)/Cu(0.0~0.5 nm)/Co(1.1 nm)/AlO_x(2 nm) and Si/SiO₂/Pt(4 nm)/Co(1.1 nm)/Cu(0.0~0.5 nm)/AlO_x(2 nm). All samples were deposited by DC magnetron sputtering with a base pressure of $\sim 7 \times 10^{-8}$ mbar. In order to observe the magnetic properties and role of Cu inserting layer, we performed MOKE and BLS measurement. For the details of BLS measurement conditions, we remark proper references in this abstract [1-3].

III. Results and Discussion

Figure 1(a) shows the effective uniaxial anisotropy (K_{eff}) of BOTTOM and TOP samples as functions of the Cu-insertion layer. The K_{eff} of TOP sample is slowly decaying with t_{Cu} , while K_{eff} of BOTTOM sample rapid decays. At a glance, the contribution to the PMA from top interface is not negligible, however not significant, and the PMA of the system mainly came from the bottom Pt/Co interface.

From systematic BLS measurements, we obtained iDMI energy densities corresponding to spin wave vector

(D_k) and external magnetic field (D_H) at the BOTTOM and TOP samples as a function of t_{Cu} as shown in Figure 1(b). Consequently, we conclude that the PMA from the bottom interface (Pt/Co) is not totally blocked by a 1-2 ML thick Cu-insertion layer, while iDMI energy from (Pt/Co) is clearly suppressed with a 1-2 ML thick Cu-insertion layer. These facts clearly indicate that iDMI and PMA mainly came from the BOTTOM interface (Pt/Co); however, PMA and iDMI go different ways despite the same physical origin, spin orbit coupling.

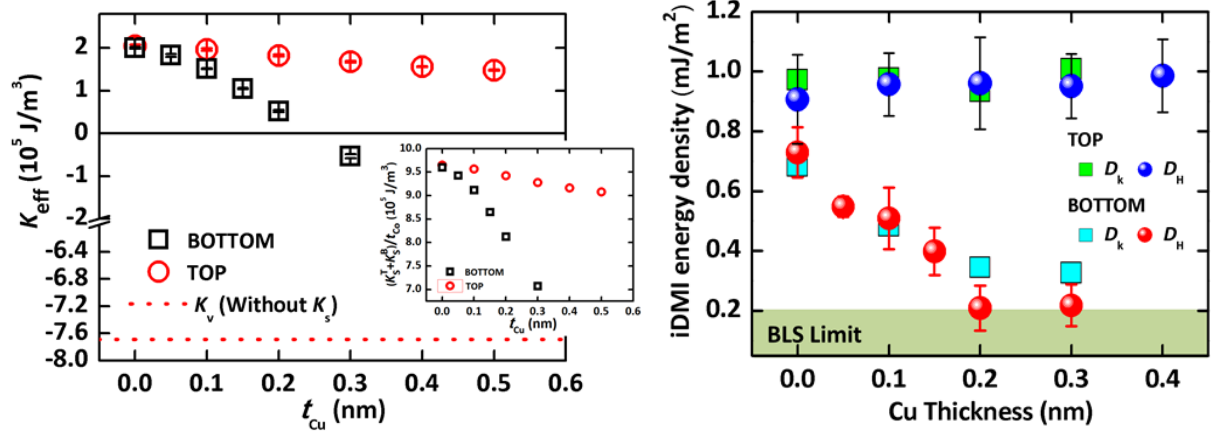


Fig. 1. (a) Effective uniaxial anisotropy (K_{eff}) as a function of t_{Cu} for BOTTOM and TOP samples. The positive K_{eff} implies perpendicular easy axis, and K_v is volume anisotropy. Effective uniaxial anisotropy contributed volume anisotropy energy(inset). (b) iDMI energy density from SW dispersion relations (D_k) and external magnetic field dependence measurements (D_H).

IV. References

- [1] J. Cho *et al.*, Nat. Commun. **6**, 7635 (2015).
- [2] N.-H. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. **107**, 142408 (2015).
- [3] N.-H. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. **108**, 142406 (2016)
- [4] D.-S. Han, *et al.*, Nano Lett. **16**(7), 4438(2016).
- [5] M. B. A. Jalil *et al.*, Scientific Reports **4**, 5123 (2014)
- [6] A. Fert *et al.*, Nat. Nanotech. **8**, 152 (2013)

Investigation of electrical and magnetic properties of single crystalline Mn doped BiFeO₃

Ki-Myung Song* and Seongsu Lee

Neutron Science Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea

If ferromagnetic and ferroelectric are controlled by same driving force, Multiferroic materials, which exhibit dependence of spontaneous electric polarization and magnetization on the external electric and magnetic fields, may be useful in various type of device. BiFeO₃, leading multiferroic material is well known as ferroelectric ($T_c=1083$) and antiferromagnetism($T_N=634$) at room temperature.

The multiferroic (Bi_{0.9}Ba_{0.1})(Fe_{1-x}Mn_x)O₃ (where $x=0.1, 0.2, 0.3$) has been synthesized by using the flux growth method. The crystal grown below the Curie temperature, consist of single ferroelectric domain. Effects of Mn substitutions on the structure and ferroelectric properties of (Bi_{0.9}Ba_{0.1})(Fe_{1-x}Mn_x)O₃ samples have been studied by performing neutron diffraction, ferroelectric measurement and magnetic measurements. Studies of ferroelectric properties (P) exhibit to reduce as a doped Mn molar ratio is increased. when we studied magntic structure by neutron diffractometer, a single-helicity spiral spin structure is disappeared and Fe spins exhibit the G-type antiferromagnetic order[1].

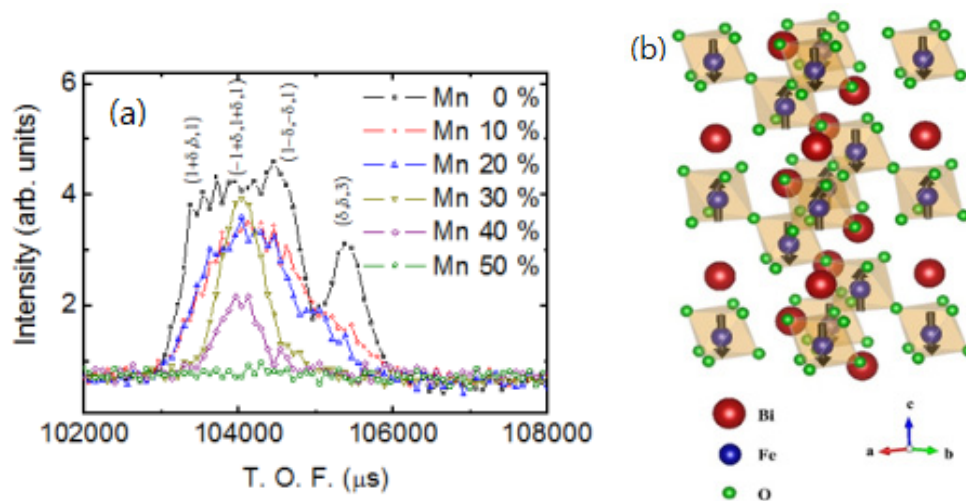


Fig. (a)Neutron diffraction patterns at the magnetic peak.
(b)Schematic of BFO with G-type antiferromagnetic ordering.

Reference

- [1] S Lee, T Choi, W Ratcliff, R Erwin, S. W. Cheong and V. Kiryukhin, *Phys. Rev. B* **78**, 100101, (2008).

Magnetization switching driven by spin-orbit torque in exchange-biased magnetic tunnel junctions

Euna Jo*, Chaun Jang, Hee-Gyum Park, Byoung-Chul Min
Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology

The magnetization switching by spin-orbit torque provides an alternative route to operate magnetoresistive random access memory (MRAM) devices [1]. The key elements of this approach are the transverse spin current generated by in-plane charge current in ferromagnet/ heavy metal structures and the magnetization switching driven by the spin current. The switching of the magnetic layer is, in many cases, proved by the anomalous Hall effect while the magnetization switching in full magnetic tunnel junction (MTJ) structure is scarcely reported because of the difficulties in the fabrication process [2,3]. Here we report the spin-orbit-torque driven switching of in-plane magnetic layer in exchange-biased MTJs. The MTJ layer stack consists of Ta/ CoFeB/ MgO/ CoFeB/ Ru/ CoFe/ IrMn/ Ta/ Ru. The stack is patterned into nano-scale MTJs having three-terminal geometry, and the junction size is $200\text{ nm} \times 80\text{ nm}$. By flowing current in the bottom Ta layer, it is possible to switch the bottom CoFeB free layer while the top CoFeB layer is pinned by the synthetic antiferromagnetic structure. The magnetization switching is monitored by measuring tunnel magnetoresistance of the MTJ. We have analyzed the relation between the critical switching current and external magnetic field by measuring magnetoresistance switching curves with varying in-plane current and external magnetic fields. It is shown that the CoFeB free layer is switched by an in-plane current of 2.0 mA even without external magnetic fields. This experimental result obtained with the exchange-biased MTJ raises prospect for the spin-orbit-torque MRAM devices.

References

- [1] Liu et al, Science 336, 555 (2012).
- [2] S. Fukami et al, Nat. Nanotechnol. 11, 621 (2016).
- [3] S. V. Aradhya et al, Nano Letters 6b01443 (2016).

외부 자기장과 스핀홀현상에 의한 자기이력곡선의 변화

김범진^{1*}, 윤창진¹, 김지호², 김동석¹, 주성중³, 이금원^{1,2}

¹고려대학교 응용물리학과

²고려대학교 디스플레이반도체물리학과

³한국표준과학연구원 전기자기센터

1. 서론

최근 스핀홀현상을 이용한 전류구동 스핀-오빗 토크(spin orbit torque)소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 또한 차세대 메모리로 거론되고있는 M-RAM에서의 응용분야 연구로 주목받고있다[3]. 본 연구에서는 스핀홀현상을 이용하여 메모리소자가 아닌 자성 센서로의 가능성에 대하여 검토하였다.

2. 실험방법

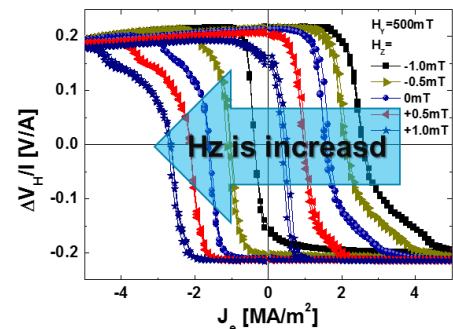
시료는 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Pt(4nm)/Co(0.8nm)/Pt(1nm)구조로 증착하였다. 70um70um 크기의 정사각형 구조로 공정후 Pt 50nm의 전극을 증착하였다. 전자석과 헬름홀츠 코일을 이용하여 z축 자기장을 인가하였고, 이때의 스핀홀현상을 측정하였다.

3. 결과

오른쪽 그림과 같이 z축 자기장의 크기와 방향에 따라, 자기이력 곡선이 이동하고, 이를 이용한 자기장 센서를 제안할 수 있다.

4. 고찰 및 결론

z축으로 일정한 자기장을 걸어 줌에 따라 일정한 전류 값만큼 편이동하는 현상을 확인하였다. 이를 응용하여 H_z자기장을 감지하는 센서로 활용이 가능하다.



5. 참고문헌

- [1] Ioan Mihai Miron et al., Nature. 476, 189-193 (2011)
- [2] Luqiao Liu et al., Phys. Rev. Lett. 109, 096602 (2012)
- [3] Murat Cubukcu et al., Appl. Phys. Lett. 104, 042406 (2014)

Pt/CoFeSiB/Ta 구조에서의 수직자기이방성과 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction

차인호^{1*}, 김남희², 김용진¹, 김규원¹, 유천열², 김영근¹

¹고려대학교 공과대학 신소재공학과

²대구경북과학기술원 신물질과학전공

1. 서론

최근 스핀트로닉스(spintronics)를 기반으로 한 메모리 소자에 활용할 목적으로 비자성체와 강자성체로 구성된 다층박막에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 다층박막에서 나타나는 다양한 현상들은 수직자기이방성(Perpendicular Magnetic Anisotropy), 스핀홀효과(spin Hall effect), 라시바효과(Rashba effect), Dzyaloshinskii-Moriya Interaction, Skyrmion 등이 있으며 이 현상들은 비자성체와 강자성체의 계면에서 발생한다고 알려져있다. 이러한 현상들에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 중 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction에 관한 연구는 다른 연구에 비해 미진한 상태이다. 지금까지 대부분의 연구는 Dzyaloshinskii-Moriya 에너지 밀도가 큰 구조들을 주로 보고하였다. 최근 한 연구에 따르면 스핀전달토크 자기메모리에서는 Dzyaloshinskii-Moriya 에너지 밀도가 작아야 한다고 하였다. 본 연구는 Pt/CoFeSiB/Ta 구조가 스핀전달토크 자기메모리의 자유층에 사용될 수 있는 가능성을 확인하기 위해 수직자기이방성과 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction을 관찰하였다.

2. 실험방법과 결과

모든 시편은 초고진공 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하여 증착되었다. 스퍼터링 시스템의 초고진공도는 5×10^{-9} Torr이다. 증착 후 고진공 열처리 시스템에서 6 kOe의 자기장을 인가하여 1시간동안 열처리를 진행하였으며 자성특성은 진동시료자력계로 측정하였고 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction은 BLS 시스템으로 측정하였다.

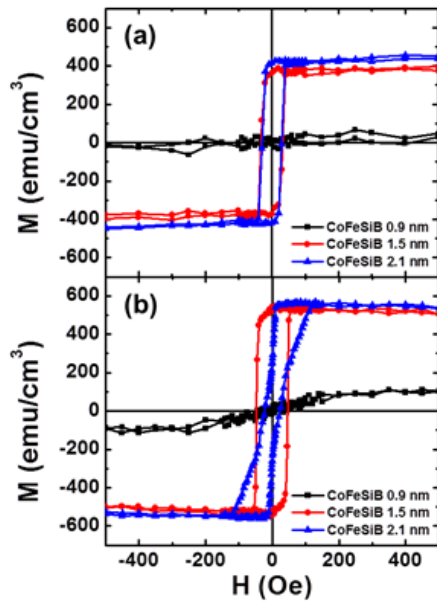


그림 1. Ta/Pt/CoFeSiB/Ta 구조의 자기이력곡선
(a) 열처리 전, (b) 열처리 후

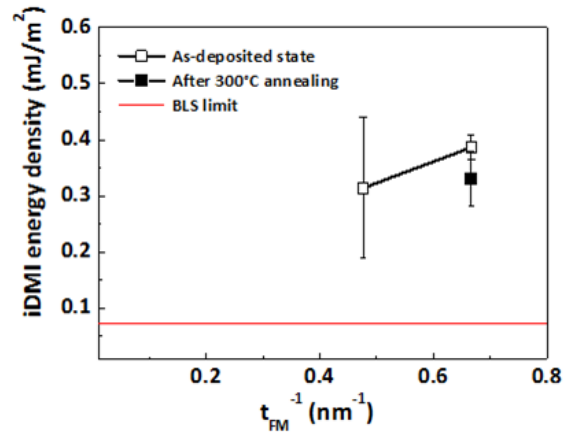


그림 2. Ta/Pt/CoFeSiB/Ta 구조에서 CoFeSiB 두께에
따른 iDMI energy density

3. 고찰

그림1은 Ta/Pt/CoFeSiB/Ta 구조의 열처리 전후에 따른 자기이력곡선이다. Ta 3/Pt 5/CoFeSiB t/Ta 5 (in nm) 구조에서 CoFeSiB의 두께를 0.9, 1.5, 2.1 nm로 바꿔가며 관찰하였다. 열처리 전에 CoFeSiB의 두께가 0.9 nm 일 때에는 자성특성이 거의 나타나지 않았으며 1.5, 2.1 nm에서는 뚜렷한 수직자기이방성이 나타났다. 열처리 후에는 CoFeSiB의 두께가 0.9 nm 일 때 열처리 전과 동일하게 자성특성이 거의 나타나지 않았으며 1.5 nm에서는 수직자기이방성이 유지되었으나 2.1 nm에서는 수직자기이방성이 약해졌다.

그림2는 Ta/Pt/CoFeSiB/Ta구조에서 CoFeSiB 두께 및 열처리 전후에 따른 Dzyaloshinskii- Moriya Interaction 에너지 밀도 그래프이다. CoFeSiB의 두께가 0.9 nm 일때에는 열처리 전후 모두 BLS 측정한계 아래로 관찰되었으며 2.1 nm의 경우 열처리 후 시편에서 BLS 측정한계 아래로 관찰되었다. Dzyaloshinskii-Moriya Interaction 에너지를 규정할 수 있는 시편은 열처리 전의 1.5 nm와 열처리 후의 1.5 nm, 열처리 전의 2.1 nm 이다.

4. 결론

본 연구에서는 Ta/Pt/CoFeSiB/Ta 구조에서 CoFeSiB의 두께에 따른 수직자기이방성과 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction의 변화를 관찰하였으며 수직자기이방성이 약한 시편들의 경우 BLS로 Dzyaloshinskii-Moriya Interaction 에너지를 관찰 할 수 없다는 것을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] Q. Hao, and G. Xiao, Phys. Rev. Appl. 3, 034009 (2015)
- [2] P.-H. Jang, K. Song, S.-L. Lee, S.-W. Lee, and K.-J. Lee, Appl. Phys. Lett. 107, 202401 (2015)
- [3] J. Cho, N.-H. Kim, S. Lee, J.-S. Kim, R. Lavrijsen, A. Solignac, Y. Yin, D.-S. Han, N. Hoof, H. Swagten, B. Koopmans, and C.-Y. You, Nat. Commun. 6, 7635 (2015)

Morphologies and Magnetic properties of ZnFe_2O_4 ferrite synthesized by the Hydrothermal method with various solvents

H.S. Kim*, D.H. Kim and B.W. Lee

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

Spinel ferrites, MFe_2O_4 ($\text{M}=\text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Mg}$) are among the most important magnetic materials and have been widely used for magnetic, electronic and microwave applications over the past a half century. Among the various ferrite materials, spinel ZnFe_2O_4 (ZFO) has been widely studied for its magnetic and electrical behaviors and adopted for applications in gas sensing, drug delivery, magnetic resonance imaging, photocatalyst, and so forth. In this contribution, ZFO nanoparticles were synthesized via a hydrothermal method involving NH_4OH or ethylenediamine (En), the morphologies and the magnetism of as-prepared samples were investigated. The X-ray diffraction (XRD) patterns showed that the nanoparticles were single phase ZnFe_2O_4 . Furthermore, ZFO nanoparticles have sphere-shaped and sphere/cube-shaped with En and NH_4OH solvents, respectively, as confirmed by the scanning electron microscopy (SEM). The average crystallite sizes of ZFO are about 39.47nm(En) and 38.81nm(NH_4OH) calculated by Scherrer's equation. Magnetic investigation revealed that the saturation magnetization (M_s) of ZFO with En (69.5emu/g) is higher than with NH_4OH (41.2emu/g) at room temperature. The difference in M_s may be due to the difference in structural morphology of the nanoparticles.

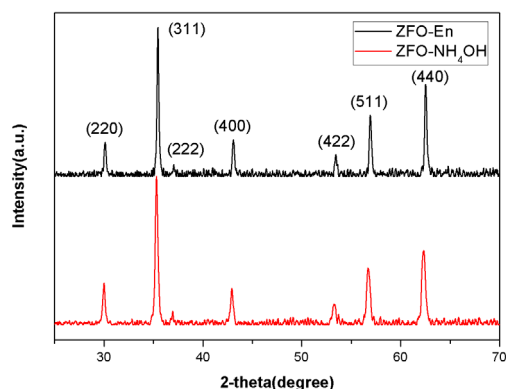


Fig. 1. XRD patterns of ZFO nano particles.

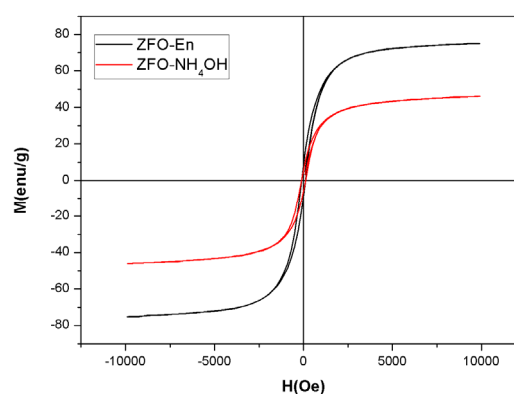


Fig. 2. Magnetic hysteresis loop

Electrical and magnetic properties of semi-metallic WTe₂

Jeehoon Jeon^{1,2*}, Tae-Eon Park¹, Sangsu Kim², Taeyueb Kim³, Chaun Jang¹,
Hyoung Tae Kim², Hyun Cheol Koo^{1,4}, Jinki Hong², Joonyeon Chang⁵

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

²Department of Applied Physics, Korea University, Sejong, Korea

³Center of Electricity and Magnetism, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, Korea

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

⁵Post Silicon semiconductor Institute, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

Spintronics device is one of alternative ways to realize next generation electric device beyond modern electronic device. The generation, manipulation and detection of spins in materials are an important issue for the development of spin-based electronics. In an aspect of overcoming these challenges, refers to ohmic junction and suitable spin transport channel with long spin relaxation time in terms of propagating spin polarized current injected from source to drain without spin dephasing. Recent studies have shown generation of pure spin current, efficient propagation, spin manipulation in low-dimensional materials. Among them, Van der Waals materials representing atomic ultra-thin layers isolated from layered single crystals have been researched. Transition-metal dichalcogenide (TMD), which is one of Van der Waals materials have been known for large spin—orbit interaction (SOI) and object of opto-valleytronics research, thus TMD has recently attracted attention.

In this research, we introduce 1T'-WTe₂ crystals as a material for spintronic device. We fabricated Hall bar structure using an exfoliated WTe₂ layers. This device is used for electrical and magnetic measurement. We obtained ohmic contacts between metal electrodes and WTe₂ by chemical and physical surface treatment, and then observed the extremely large magnetoresistance (XMR), transverse resistivity contributed by both electron and hole transport, and the quantum oscillation by the Shubnikov–de Haas effect at low temperature. In a transport measurement, we observed non-saturating magnetoresistance (MR) which illustrates a high-mobility and semi-metallic property of 1T'-WTe₂ crystal. Therefore, these study imply that WTe₂ is one of the excellent candidates for spin transport devices.

TMR 소자에서 자기저항비의 교류전압 및 주파수 의존성 연구

배성철¹, 윤석수², 김동영^{2*}

¹포항 선린병원

²안동대학교 물리학과

터널링 자기저항(TMR)재료는 하드디스크의 헤드나 자기 메모리 등 스핀공학 분야의 제품 개발에 적용되는 핵심 소재이다. MgO를 절연체로 사용한 TMR 구조에서 자기저항비가 약 450% 이상의 우수한 특성을 갖는 재료가 이미 개발되었다. 그러나 TMR 재료는 터널링층으로 절연체를 사용하고 있으며, 절연층에 의한 전기용량은 주파수에 따른 임피던스의 변화를 가져온다[1]. 따라서 TMR 소자에 대한 교류 전압 및 주파수에 따른 임피던스 변화 특성은 정보 처리의 속도에 영향을 미치므로 이들의 변화 특성에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 자기저항비 특성이 우수한 MgO기반의 TMR 소자에 대한 교류전압과 주파수에 따른 임피던스를 측정하였으며, RC 등가회로를 적용하여 주파수 특성을 분석하였다.

Spin valve형 TMR재료는 광 식각법을 사용하여 $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ 크기의 소자로 제작하였으며, TMR 소자의 임피던스는 임피던스 분석기를 (HP4192A) 사용하여 10 Hz ~ 10 MHz의 주파수범위에서 측정하였다. TMR재료의 저항은 두 강자성층의 자화 방향에 의존하며, 두 강자성층이 평행(P)인 경우와 반평행인(AP) 경우 스핀 의존성 산란에 의하여 자기저항이 달라진다. 이러한 저항 변화는 임피던스로 측정된다. Fig.1은 임피던스 측정법을 사용하여 교류 전압의 세기(V_{osc})에 따른 TMI 변화를 보인 것이다. TMI비는 V_{osc} 따라 감소하며, $V_{\text{osc}}=0.7 \text{ V}$ 이상에서는 P상태의 임피던스가 측정되지 않았다. 이러한 측정 결과에 대하여 TMR 소자의 교류 전압에 의한 스핀 토크 특성과 절연층에 의한 임피던스의 주파수 의존성에 대한 결과를 발표한다.

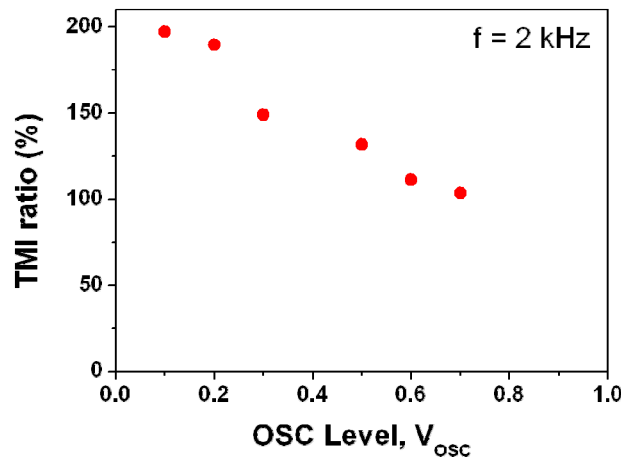


Fig. 1. TMI ratio vs OSC level measured at 2 kHz in MgO based TMR devices.

Reference

- [1] P. Padhan, et.al, Appl. Phys. Lett. 90, 142105 (2007)

Temperature Dependence of Magnetic Anisotropy Constant in Ferrimagnetic Zinc Ferrite Nanoparticles

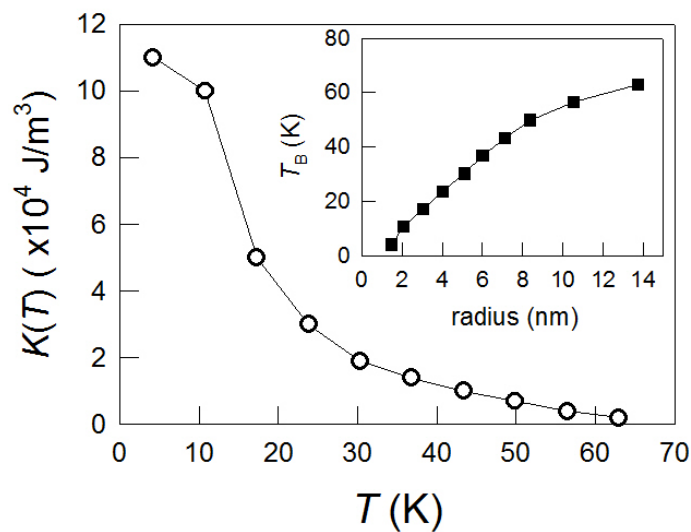
Sunghyun Yoon*

Department of Physics, Gunsan National University

준강자성 ZnFe_2O_4 나노입자의 SQUID 측정 결과를 바탕으로 유효 자기이방성 상수의 온도의존성을 구하였다. 이를 위하여 나노입자의 크기분포 함수와 이방성 에너지장벽의 분포 함수를 구하고 이로부터 자기 이방상수의 온도 의존성을 구하는 방법을 소개한다.

나노입자의 크기분포 함수는 자기이력 곡선을 분석하여 구하였고, 자기 이방 에너지 장벽의 분포는 열잔류 자기화를 분석하여 구하였다. 이를 바탕으로 입자의 크기와 blocking 온도의 관계를 구하고 Neel-Arrhenius 방정식으로부터 자기 이방상수 K 를 온도의 함수로 구하였다.

자기 이방상수는 4.2 K 에서 60 K에 이르는 동안 $11 \times 10^4 \text{ (J/m}^3\text{)}$ 에서 $0.2 \times 10^4 \text{ (J/m}^3\text{)}$ 으로 빠르게 감소하는 것으로 나타났다.



Epitaxial growth and strain-related optical properties of polar magnetic PbVO_3 thin films

Seol Hee Oh^{1*}, Changjae Roh², Jongseok Lee², and William Jo¹

¹Department of Physics, Ewha Womans University, Seoul 03760, Republic of Korea

²Department of Physics and Photon Science, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST),

Gwangju 61005, Republic of Korea

E-mail: wmjo@ewha.ac.kr

Tetrahedron-based perovskite PbVO_3 (PVO) is an intriguing polar magnetic material because its strong tetragonal distortion allows VO_5 square-pyramidal structure rather than VO_6 octahedron. Bulk PVO is known to show the unique features of 2-dimensional antiferromagnetic ordering and large pyroelectric polarization. In a single-crystal bulk, the ground state of magnetic ordering of PVO is degenerated by C- and G-type configurations [1] and its transition temperature is reported as $T_N=47$ K [2]. In this study, we fabricated epitaxial PVO thin films on LaAlO_3 (LAO) (001) and SrTiO_3 (STO) (001) substrates by pulsed laser deposition with off-stoichiometric condition [3]. Structural properties of the epitaxial PVO thin films with respect to mechanical strain induced by lattice mismatch with substrates were investigated by X-ray diffraction, high-resolution transmission electron microscopy, Raman scattering spectroscopy. As a result, abnormal lattice elongation of the PVO thin films along c-axis and consequent octahedral distortion were observed. Our magnetic measurement exhibits a clue for this exotic phase at low temperature, which is a direct evidence for change of the exchange interaction between two adjacent d_{xy} electrons of the V^{+4} ions. The phenomenon is attributed to the elongation of the c-axis lattice parameter of the PVO thin-films. In addition, the experimental characterizations of linear and nonlinear optical properties for the PVO thin films were performed through spectroscopic ellipsometry and second harmonic generation (SHG), respectively. Symmetry breaking along c-axis in PVO thin films were demonstrated by using SHG signal with nonlinear susceptibility and Fresnel's formula fitting.

References

- [1] D. Singh, Phys. Rev. B 73, 094102 (2006)
- [2] K. Oka et al. Inorg. Chem. 47, 7355 (2008)
- [3] S. H. Oh et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 47, 245302 (2014).

SrFe₁₂O₁₉ 페라이트 자성 입자의 활성화 부피의 자기장 의존성

김현수^{1*}, 김경민², 권해웅², 정순영¹

¹경상대학교 자연과학대학 물리학과 및 기초과학 연구소, 경남 진주시 진주대로 501, 52828

²부경대학교 재료공학과, 부산광역시 남구 신선로 365, 48513

I. 서론

고밀도 자기 기록매체의 활성화 부피는 기록밀도와 열적 안정성을 평가하는데 매우 중요한 물리량으로 인식되어 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 높은 기록 밀도와 우수한 신호 대 잡음비를 실현하기 위한 조건으로는 가능한 난알(grain)의 물리적 크기는 물론 난알 사이의 상호작용이 작아야 한다. 자기 기록매체에서는 정보 크기인 1bit의 크기를 물리적인 난알의 크기가 아닌 활성화 부피로 취급하며, 이 활성화 부피가 작을수록 기록밀도가 향상되지만 열적 안정성이 떨어지는 단점이 있다. 자기 기록매체에서 잡음은 보자력 근처에서의 활성화 부피 크기와 깊이 관련되고 저장된 정보는 잔류 자기화 상태에 있으므로, 인가 자기장에 따라 활성화 부피가 어떻게 변하는가를 조사하는 것은 응용적인 측면에서 특히 중요하다. 본 연구에서는 입자의 크기가 다른 육방정계 SrFe₁₂O₁₉ 페라이트 분말을 시료로 택하여 인가 자기장에 따른 활성화 부피를 조사하고, 자기역전현상과 자기 상호작용의 종류, 세기가 활성화 부피와 어떤 관계를 갖는지 규명하고자 하였다.

II. 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 육방정계 구조의 magnetoplumbite형 (M-type) strontium ferrite (SrFe₁₂O₁₉)로, 합성 상태에서 0.5 ~ 2.0 μm 범위의 미세한 결정립으로 구성되어 있다. 합성 분말 시료를 기계적 분쇄로 입도를 조절하여 수십 μm 에서 약 100 μm 이하 크기의 입자로 된 조대분말시료(이하, C2)와 약 2 μm 이하 크기의 입자로 된 미세분말시료(이하, C3)를 준비하였다. 시료의 자기적 성질은 시료 진동형 자력계(Vibrating Sample Magnetometer: VSM)를 사용하여 조사하였다. 활성화 부피의 자기장 의존성을 구하기 위해 직류 자기소거 잔류 자기화(DC Demagnetized Remanence: DCD) 곡선과 자기모멘트 감쇠의 시간의존성을 측정하였다. 자기역전

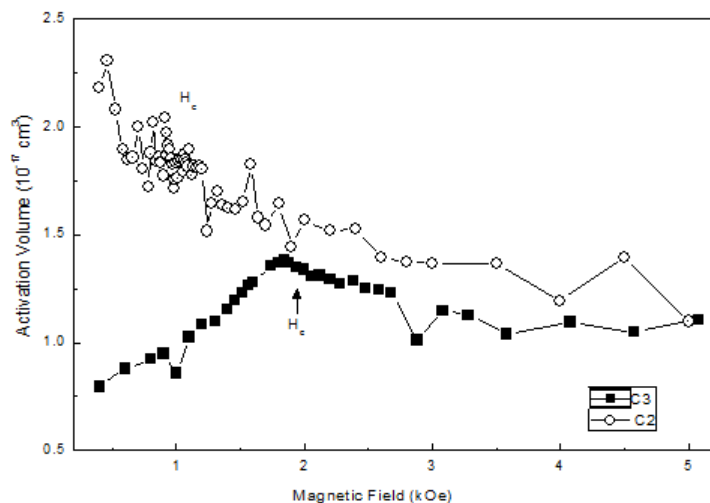


Fig. 1. Magnetic field dependence of activation volume of the SrFe₁₂O₁₉ particles with different size.

(C2: few tens μm - 100 μm , C3: < 2 μm)

현상과 자기 상호작용을 규명하기 위해 DCD 곡선, 등은 잔류 자기화(Isothermal Remanence: IRM) 곡선, minor loop, 초기 자기화 곡선을 상온에서 측정하였다.

III. 실험결과

자기화 역전현상과 자기 상호작용 기구를 통하여 입자의 크기가 서로 다른 시료의 활성화 부피의 자기장 의존성을 조사하였다. 그 결과 크기가 큰 시료 C2는 낮은 자기장 영역에서 생성된 초기 자구를 중심으로 많은 자구가 쉽게 생성됨으로써 낮은 자기장 영역에서 활성화 부피가 크며, 인가 자기장이 더 증가하여도 시료 C2의 활성화 부피는 증가하지 않았다. 그러나 시료 C3는 생성된 자구가 인가 자기장이 증가함에 따라 자구가 계속 전파하다가 보자력과 거의 같은 자벽고착 자기장에서 역전을 일으키므로 활성화 부피가 증가하다가 감소하는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 또한 활성화 부피의 자기장 의존성을 조사한 결과, 보자력 영역에서 최대를 보이다가 더 큰 자기장 범위에서는 거의 일정하였다 (그림 1).

Structural and magnetic properties of epitaxial $\text{FeMn}_2\text{O}_{4\pm\delta}$ film on $\text{MgO}(100)$

Duong Van Thiet^{1*}, Duc Dung Dang¹, Anh Tuan Duong², and Sunglae Cho³

¹School of Engineering Physics, Ha Noi University of Science and Technology,
No.1 Dai Co Viet Street, Ha Noi, Viet Nam

²Center for Nano Science and Technology, Ha Noi National University of Education,
No.136 Xuan Thuy Street, Ha Noi, Viet Nam

³Department of Physics, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

FeM_2X_4 spinel structures, where M is a transition metal and X is oxygen or sulfur, are candidate materials for spin filters, one of the key devices in spintronics. On the other hand, the electronic and magnetic properties of these spinel structures could be modified via the control of cation distribution. Among the spinel oxides, iron manganese oxide is one of promising materials for applications. $\text{FeMn}_2\text{O}_{4\pm\delta}$ shows inverse spinel structure above 390 K and ferrimagnetic properties below the temperature. In this work, we report on the structural and magnetic properties of epitaxial $\text{FeMn}_2\text{O}_{4\pm\delta}$ thin film on $\text{MgO}(100)$ substrate. The reflection high energy electron diffraction (RHEED) and X-ray diffraction (XRD) results indicated that films were epitaxial grown on $\text{MgO}(100)$ without the impurity phases. The valance states of Fe and Mn in the $\text{FeMn}_2\text{O}_{4\pm\delta}$ film were carried out using x-ray photoelectron spectrometer (XPS). The magnetic properties were measured by vibrating sample magnetometer (VSM), indicating that the samples are ferromagnetic at room temperature. The structural detail and origin of magnetic ordering in $\text{FeMn}_2\text{O}_{4\pm\delta}$ will be discussed.

열처리 조건에 따른 Fe-1%Cu 합금의 자기적 특성 변화에 관한 연구

강선주^{1,2*}, 이철규^{1,2}, M.B.Kishore¹, 박덕근¹

¹한국원자력연구원 원자력재료안전연구부 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

²한남대학교 광.센서공학과 대전광역시 대덕구 한남로 70

1. 서론

Reactor pressure vessel (RPV)의 조사손상을 평가하는 것은 원자력 발전소의 수명연장과 구조 건전성 입증에 위해 매우 중요한 요소이다. 하지만 이는 환경적인 요소와 금속재료의 변수로 인해 검사 과정이 복잡하다. RPV의 조사손상을 비파괴적으로 검사하기 위하여 사용되고 있는 자기적 방법으로는 hysteresis loop와 Barkhausen noise (BN)를 측정하는 방법이 있지만, 이를 통해서도 침전물이 정확히 설명되지 않는다. 또한, 방사능 처리가 된 RPV 강의 높은 방사능으로 인해 실제 RPV 강을 사용하여 실험적으로 접근하는 것이 매우 어렵다[1,2].

따라서, 본 연구에서는 Fe-Cu 합금을 제조하여 적절한 시간동안의 열처리를 통하여 침전물을 조절함으로써 조사취화와 재료열화 현상을 모사하고[3], Fe-Cu 합금의 hysteresis loop와 BN을 측정하여 시험편의 열처리 조건에 따른 자기적 특성의 변화를 분석하였다.

2. 실험 방법

시험편의 제작은 Fe와 1%의 Cu의 합금으로 하였으며, 진공상태에서 500 °C의 온도로 각각 5, 15, 30, 100, 300 시간 동안 열처리한 후 공냉하였다. Hysteresis loop를 측정하기 위한 장치는 폐회로를 구성하기 위한 yoke와 시험편을 자화시키기 위한 driving coil, 자화 상태를 측정하기 위한 sensing coil로 구성되어 있으며, 측정은 LabVIEW S/W를 통해 컴퓨터로 처리하였다. BN의 측정은 band pass filter를 사용하여 수행하였고, 데이터 처리는 hysteresis loop의 측정과 같이 LabVIEW S/W를 통해 컴퓨터로 처리하였다.

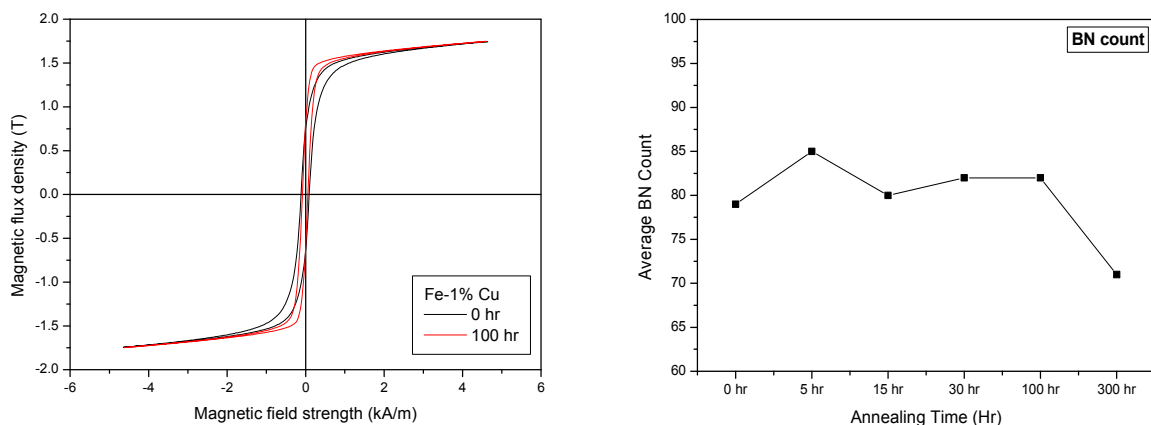


Fig. 1. Comparison of B-H loop configuration of as receive and annealed for 100 hr sample. **Fig. 2.** Average BN count of samples annealed at 500 °C for 0, 5, 15, 30, 100 and 300 hours respectively.

3. 측정 결과

Fig.1은 Fe-1%Cu 합금을 열처리하기 전과 500 °C에서 100 시간 열처리한 후의 hysteresis loop를 비교한 것이다. Fig.1에서 볼 수 있듯이, 시험편을 열처리 한 후 hysteresis loop의 보자력이 열처리하기 전 시험편의 hysteresis loop의 보자력 보다 감소한 것을 알 수 있다. Fig.2는 시험편을 500 °C에서 시간을 변화시키면서 열처리한 후, 0, 5, 15, 30, 100, 300 시간 일 때 각각의 BN-average를 나타낸 것이다. 열처리 시간이 증가함에 따라 BN-average가 약간 감소하는 경향을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 Fe-1%Cu 합금을 진공상태에서 500 °C의 온도로 각각 5, 15, 30, 100, 300 시간 동안 열처리한 후 공냉하여 시험편을 제작하였다. 제작된 시험편을 통해 reactor pressure vessel (RPV)의 조사손상을 모사하였으며, 시험편의 hysteresis loop와 BN을 측정하기 위한 측정 장치를 구성하여 LabVIEW S/W를 통해 컴퓨터에서 데이터를 처리하였다. 측정 결과, 열처리 온도와 시간이 변화함에 따라 시험편의 자기적 특성이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 추후 실험을 보강하여 더 나은 결과를 얻으려고 한다.

5. 참고문헌

- [1] D. G. Park, K. S. Ryu, S. Kobaysdhi, S. Takahashi, and Y. M. Cheong, Journal of applied physics **107** (2010).
- [2] Deschamps, M. Militzer and W.J. Poole, ISIJ International., **41**, 196-205, (2001).
- [3] Duck-Gun Park , IEEE transactions on magnetics, **50**, 1-3, (2014).

펄스와전류 비파괴 연구를 통한 보온재 비해체식 배관감육 탐지

이철규^{1,2*}, M.B Kishore¹, 강선주^{1,2}, 박덕근¹

¹한국원자력연구원 원자력재료안전연구부 (대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111)

²한남대학교 광.센서공학과 (대전광역시 대덕구 한남로 70)

1. 서론

발전소의 배관 내부는 고온, 고압의 유체가 흐른다. 배관은 보통 탄소강 계열이고, 열손실의 방지를 위해 배관 표면을 보온재로 둘러싸고, 보온재 외부는 얇은 스테인레스 판으로 보호한다. 이 때 배관 표면은 보온재로 보호되어, 습기에 의한 부식이 일어나고, 배관 내부에 흐르는 유체의 마찰 때문에 배관 내부가 깎여 두께가 얇아지는 감육현상이 일어난다. 그렇기 때문에 보온재를 해체하지 않고 이를 탐지하는 비파괴 기술이 필요하다. 그러나 배관은 두꺼운 보온재로 덮여 있기 때문에 초음파나 와전류기술로는 탐지를 할 수 없다. 그렇기 때문에 일반적인 와전류 기술과 다른 이런 조건에서도 탐지가 가능한 펄스와전류를 사용했다.

2. 실험 방법

실험에 사용한 시험편은 직경 210mm, 길이 620mm인 탄소강으로 된 자성체 배관을 사용하였다. 그리고 배관에 100mm의 보온재를 둘러싸고, 0.4mm의 얇은 알루미늄 판을 덮었다. 또 감육현상 모사를 위해 배관 두께를 배관 내부 표면으로부터 일정하게 2.5mm, 5mm, 8mm로 변화시켰다. 그리고 이 감육현상 탐지에 사용한 펄스와전류 시스템은 홀센서와 구동코일, 탐지코일로 이루어진 펄스와전류 탐촉자를 사용하여 측정하였다.

3. 실험 결과

결과적으로 배관의 두께가 변함에 따라 펄스와전류의 전압이 선형적으로 변화하는 것을 볼 수 있었고, 배관의 두께가 증가함에 따라 와전류의 손실이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

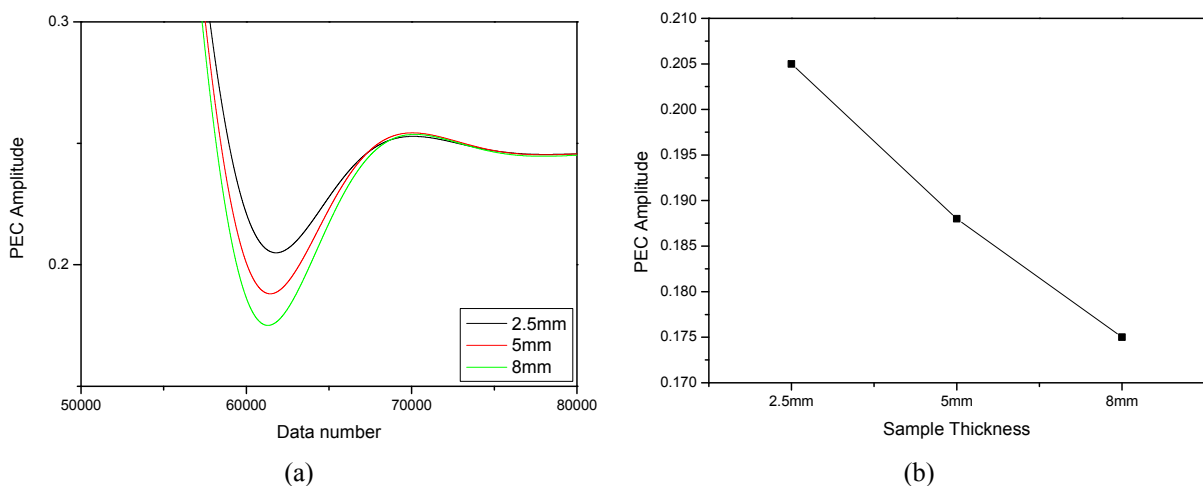


Fig. 1 PEC Amplitude (Thickness)

(a) Data number - PEC Amplitude, (b) Sample Thickness - PEC Amplitude

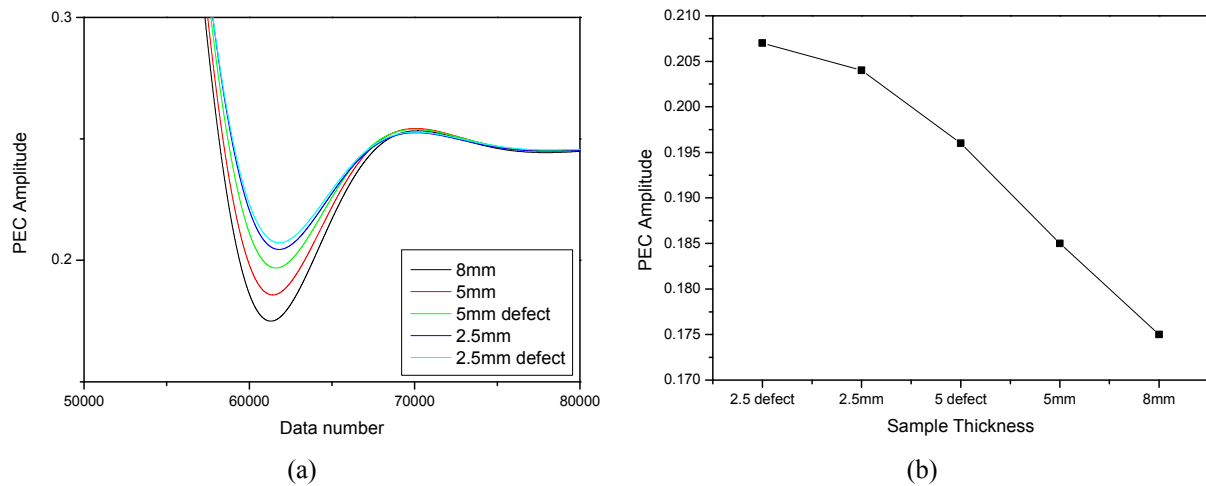


Fig. 2. PEC Amplitude (Thickness, Defect)

(a) Data number - PEC Amplitude, (b) Sample Thickness - PEC Amplitude

4. 참고문헌

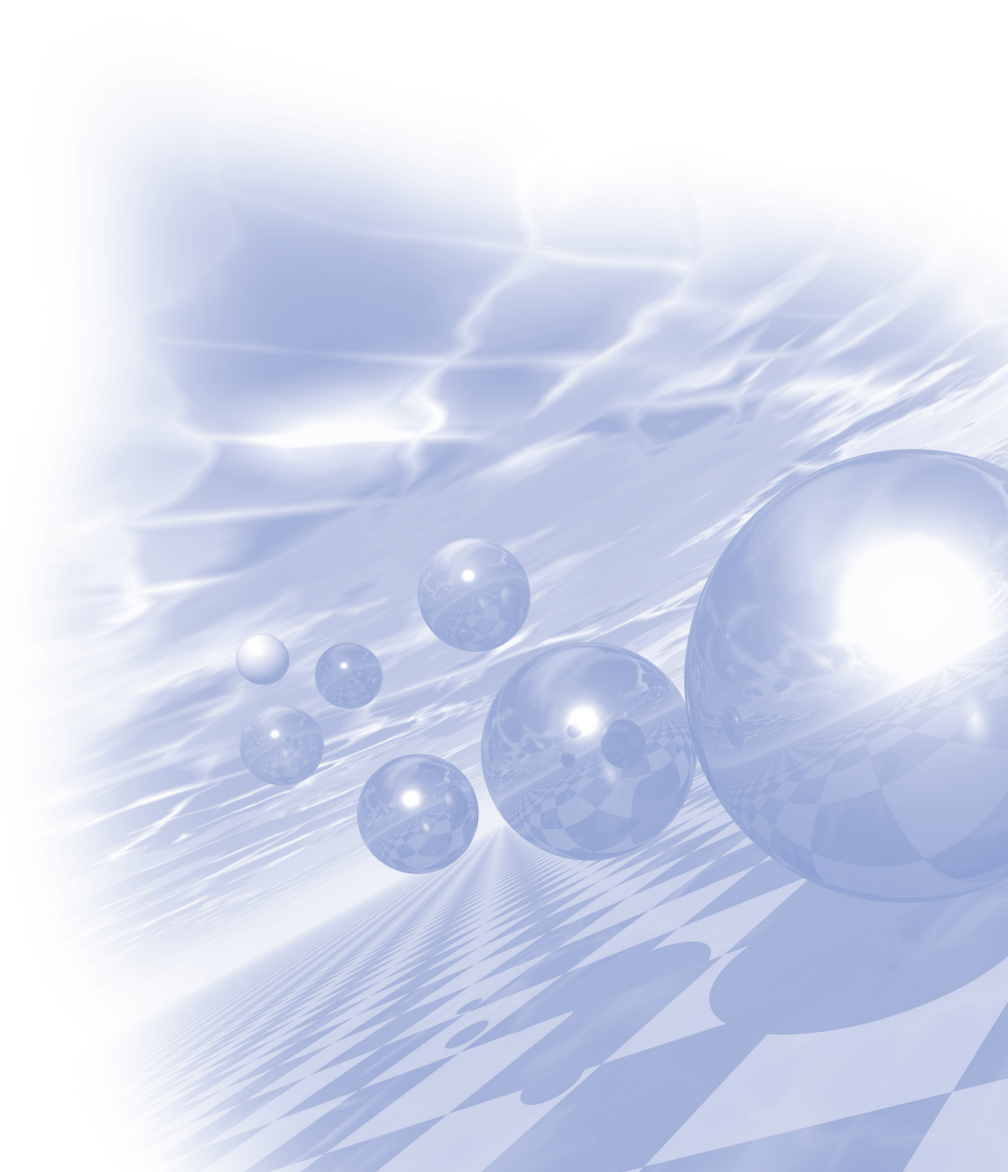
- [1] 박덕근, M.K. Babu, 이덕현, 펄스와전류를 이용한 보온재 비해체식 배관감육 평가기술, 한국압력기기공학회 제10권 제1호 (2014).
- [2] 김병철, 장기옥, 최순필, 이삼래, 중성자 조사에 따른 원자로 재료의 조사 손상 비파괴 평가 기술, 비파괴 검사학회지 Vol.17, No.1 (1997).
- [3] 김용택, 강자성체 지지판의 영향이 고려된 와전류탐상의 신호해석, 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집 (2005).



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2015**

Special Session I

'기업에서의 자성재료 및 부품 개발 동향 I/II'



칩파워인덕터용 자성재료 개발 동향

안성용*

삼성전기 중앙연구소, 경기도 수원시 영통구 매영로 150, 16674

최근 금속자성재료 분말을 고주파수인 1~10 MHz 대역에서 사용하기 위하여 금속자성재료 분말과 폴리머를 혼합하는 composite 형태의 재료를 사용하여 칩파워인덕터를 제조하고 있다. 기존의 모바일용 칩파워인덕터에서는 NiZnCu ferrite 재료가 사용되고 있으며 상대적으로 낮은 소성온도와 높은 전기 비저항, 높은 투자율, 및 화학적 안정성을 갖는 특성으로 인해 고주파용 재료로 사용되어 왔다. 그러나 스마트폰의 기능이 다양화 및 고성능화로 인하여 고전류화, 대용량화 및 고효율화가 필요하게 되고, NiZnCu ferrite의 낮은 포화자화값으로 인해 상대적으로 NiZnCu ferrite에 비해 포화자화값이 큰 금속자성재료를 사용한 파워인덕터가 필요하게 되었다. 이렇게 포화자화값이 큰 금속자성분말을 이용하면 인가전류에 의한 인덕턴스변화율을 적게 할 수 있으며 high current용으로써 적합하다[1].

본 연구에서는 파워인덕터용 금속복합 재료의 개발 동향을 확인하고 전자부품 기기의 소형화 및 스마트폰의 발달로 인한 high current에서의 동작 특성이 우수한 금속복합 자성계 칩파워인덕터에 대한 연구하였다.

참고문헌

- [1] H. K. Kim and S. Y. An, *J. Magnetism*, **20**, 138 (2015).

자성 페이스트를 이용한 파워인덕터 개발

이태경*, 최성진, 양승남, 최광보

창성 중앙연구소 자성소재개발팀

최근 디지털 전자기기 소형화, 경량화 및 고성능화를 위하여 작동 소자의 대전류 고주파 안정성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이중 전력변환회로에 있어서 핵심적 수동소자인 파워 인덕터의 경우에는 연자성 소재가 가지고 있는 몇몇 한계를 극복하기 위하여 새로운 신소재 개발과 혁신적인 공정 개발을 통하여 경제성을 확보하는 고효율 파워 인덕터에 대한 요구가 점점 높아지고 있다.

본 발표에서는 모바일 전자 기기의 고성능 및 고주파화에 따른 표면 실장형(SMD) 파워인덕터용 연자성 재료 및 초소형 인덕터의 제조 공정을 소개하고자 한다. 또한, 각종 환경 오염에 의한 환경 규제 규격을 만족하기 위하여 자동차 분야의 MegaTrend라 할 수 있는 48V 마일드 하이브리드 전기자동차용 파워 인덕터에 적용되고 있는 신기술인 “자성 페이스트를 이용한 파워 인덕터 개발”을 연자성 소재와 신공정을 소개하고자 한다.

전기폭발법을 이용한 자성 나노분말 제조

박중학^{1,2*}, 이동진^{1,2}, 홍순직²

¹(주)나노기술

²공주대학교 신소재공학부

1. 서론

최근 전자파의 폐해가 알려지면서 각국의 전자파 허용 규제치가 엄격해지고 있는 가운데 스마트폰, 태블릿, 노트북 등의 개인 전자통신기기가 급속도로 보급되어 시장이 급팽창하였을 뿐만 의료기기, 차량, 군수산업에서도 전자기기의 도입으로 전자파 차폐에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 전자기기의 정보처리속도 고속화(고주파 화)와 IC기술에 의한 고집적화(소형화 및 모바일 화)가 이루어지는 가운데 전자파 흡수에 의한 차폐소재의 박형화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 한편 전자파차폐소재로 벌크금속을 사용할 경우 높은 가공비용과 성형성의 제약으로 인해서 용도가 한정될 수 있으나 나노화하여 복합체형태로 사용할 경우 박형화뿐만 아니라 경량화도 가능하다. 이에 본 연구에서는 전기폭발법을 이용하여 나노크기의 다양한 자성분말을 제조하여 기본적인 물성을 평가하고 일부는 전자파흡수 특성을 조사하였다.

2. 실험방법과 결과

전기폭발법(Pulsed Wire Evaporation method)을 이용하여 투자율이 높은 permalloy(Fe-Ni), 연자성 Ni 나노분말을 제조하였다. 나노분말의 표면은 산화막처리(passivation) 및 카본코팅을 실시하여 각각의 특성을 조사하였다.

제조된 분말의 입도는 인가에너지에 따라 구형의 평균 50nm~500nm를 나타냈고 표면이 카본으로 코팅된 분말의 경우 열적안정성이 더 우수한 것을 확인하였다. 제조된 나노분말은 일정량의 CNT와 함께 폴리머에 혼합, 분산시킨 후 sheet, film 형태로 성형하여 투자율 측정 및 전자파 흡수 특성을 조사하였다.

3. 고찰

나노 금속분말을 이용하여 전자파차폐효과를 증가시키기 위해서는 나노 분말의 종류, 표면상태, 입도 등이 중요한 요소로 보이며, 복합체 성형시 매트릭스 내에 나노입자 및 카본의 분산상태가 매우 중요하며 특히 입자 상호간 네트워크가 잘 형성될 수 있도록 설계 및 가공하는 연구가 향후 지속되어야 될 것으로 판단된다.

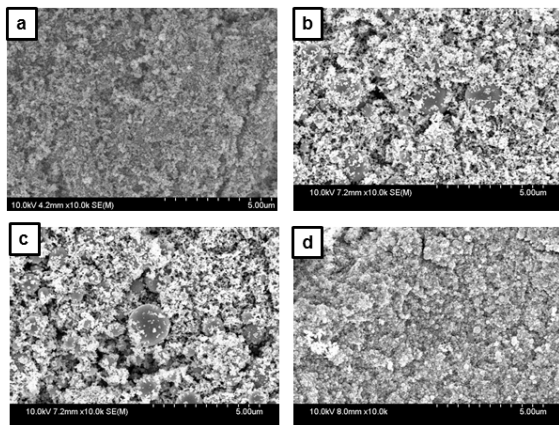


Fig. 1. Permalloy nano powders by PWE method.

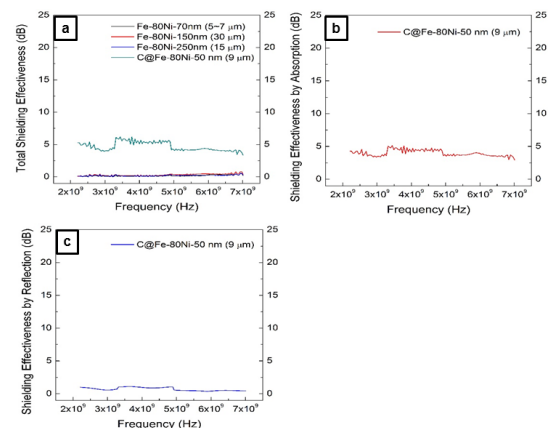


Fig. 2. SE properties of nano composite films.

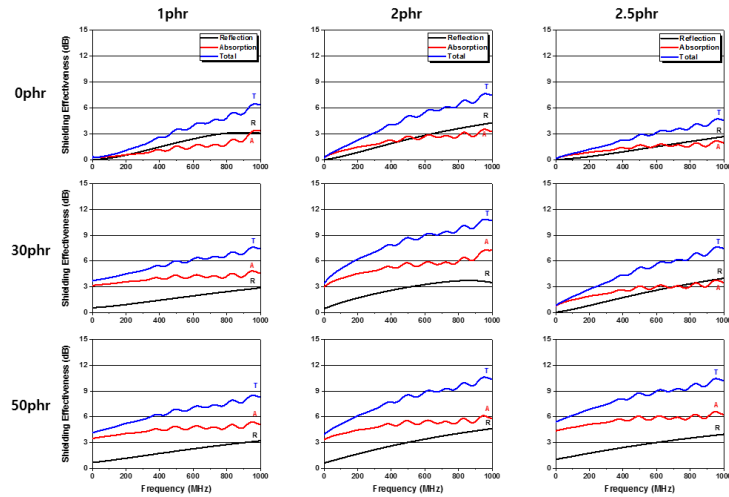


Fig. 3. SE properties of nano metal powder/carbon composites.

4. 결론

연자성 Ni 나노분말 및 퍼멀로이 나노분말을 전기폭발법을 이용하여 제조하였다. 분말의 표면은 산화막 및 카본막으로 개질하였고 제조된 분말은 구형이며 조건에 따라 평균 50nm~500nm의 입도를 나타내었다. 필름 형태로 제조된 경우 2.2~7.1GHz영역에서 산화막 코팅된 경우 전자파 차폐특성이 미미하였으며 카본 코팅된 경우는 약 5dB 수준의 차폐효과를 보이는 데 주로 흡수에 의한 효과로 사료된다. 입자크기에 따른 차폐율 효과에서는 50nm 입자가 300nm 크기의 입자보다 효과가 큰 것으로 확인되었으며 50nm 입자의 경우는 반사보다 흡수에 기인한 차폐로 사료된다. CNT가 추가로 첨가되었을 경우 전체적인 차폐율은 증가하였는데 이는 전도도향상에 기인한 것으로 보이며 분말량이 증가함에 따라 차폐효율은 증가하는 경향을 나타내었다.

5. 참고문헌

- [1] M. Hirou, Electromagnetic Shielding and Absorbing Practical Technology Practical Manual, Mimatsu Co. Tokyo, 2006.
- [2] H. S. Cho et al., Microwave Absorbing Properties of Rubber Composites Containing Soft Magnetic Fe-Alloy Particles, J. Kor. Powd. Met. Inst., Vol. 20, No. 2, 2013

토다이수 소프트페라이트 개발 현황

이명호*

연구개발팀/토다이수

자사의 주요 생산품목 중 하나인 페라이트는 TV, PC 등과 같은 가전 뿐만 아니라, mobile, HEV(하이브리드 카) 및 태양광, 풍력발전 등, 전기, 전자기기의 소형, 박형, 고기능화와 고효율에 의한 에너지 저감 등에 크게 공헌해 오고 있는 전자부품의 필수 소재이다.

이러한 전기, 전자제품의 핵심소재라는 관점으로부터 2000년이후로 중국 내에서 많은 신규 제조사들이 설립되면서 Capa와 기술력을 키워왔으며, 이로 인한 공급물량의 증가 및 기술격차의 감소로 급격한 가격 하락이 있어 왔으며, 국내 Ferrite 제조사들은 상대적인 경쟁력 저하로 많은 어려움을 겪어왔다.

자사에서도 중국내 동관(2004)/문둥(2007)지역에 자회사를 설립하여 인건비 저감 등 가격경쟁력 향상을 위한 다양한 노력을 해오고 있지만, 공급과잉 시장에서의 원가절감 노력은 한계에 부딪힐 것이 명확해 보이고, 시장 경쟁력을 가지고, 생존하기 위한 유일한 대책은 자사만이 가진 특화된 재질과 제품을 확보하여 부가가치를 높이는 것 뿐 이라는 것은 자명하다.

따라서, 신규 전자부품 시장의 요구를 미리 예측하고 이에 부합하는 선행개발로 시장의 요구에 의한 대응만이 아니라, 보다 능동적인 대응이 요구된다.

금속계 자성재질에 비해 페라이트 재질은 높은 비저항 성질을 이용하여 >100kHz이상의 비교적 높은 주파수 대역에서 각종 트랜스포머, filter, Inductor 등으로 응용되며, 대표적인 재질은 MnZn Ferrite와 NiZn Ferrite이다.

최근, 자동차 시장의 전장화가 가속화되고, 이에 따른 각종 전장부품의 효율향상 및 원가절감이 요구되고 있으며, 주요 부품인 페라이트에 대해서도 광대역 온도범위에서 저손실을 유지하여 발열을 줄일 수 있는 페라이트 개발이 요구되어, 자사에서도 25-130도의 광대역 온도범위에서 <350mW/cc(@100kHz, 200mT)이하의 낮은 전력손실을 가지는 재질을 개발 중에 있다.

또한 Filter용 재질에 있어서, 통상적으로 고주파용의 MnZn계는 저주파대역(<1MHz), NiZn계는 고주파대역(수MHz~수백MHz)에 적용되고 있으며, 자사에서는 고주파 Filter용으로 고가의 NiZn Ferrite에 비해 우수한 Z 성능을 구현할 수 있는 MnZn Ferrite를 개발하여 양산 중에 있다. 전파암실용 흡수체/Tile에 적용되는 재질 또한, 기존의 NiZn Ferrite 흡수체에 비해 우수한 흡수능을 구현할 수 있는 MnZn계 ferrite제품으로 개발되어 시판되고 있다.

한편, Mobile시장의 근거리통신(NFC) 혹은 무선전력전송에 관련된 각종 차폐시트에 대해서도 우수한 성능 뿐만 아니라 박막화에 대한 시장의 요구가 있으며, 이에 대한 기술개발도 꾸준히 진행되어 투자율 150~700(Breaked), 두께 ~30μm 박막시트, □200mm의 대형시트의 양산기술을 확보고 있다.

이상과 같이, 자사 뿐만 아니라, 국내 소프트 페라이트 제조사는 중국의 저가공세 및 기술격차 감소에 의해 많이 위축 되어 있으나, 전기, 전자부품의 핵심소재 제조메이커의 하나로서 재도약을 하기 위해서는 안정적인 신뢰성이 높은 품질이 요구되는 자동차 전장부품이나, mobile에 적용되는 각종 차폐시트와 같이 새롭게 열리고 성장해가는 시장을 선점하고 리딩해 나가야 하고, 이를 위해서는 차별화된 재질개발 뿐만 아니라, 새로운 공정기술에 대한 선행개발에 지속적인 노력이 필요하다.

차량 전장부품과 자성소재

배석*, 이상원, 정효연, 김유선
LG이노텍 R&D센터 선행부품연구소

인류의 가장 대중적인 이동수단 중 하나인 차량은 CAGR 3.9%의 비율로 여전히 성장 중이며, 2018년도에 Global 1억대의 수요가 예측되고 있다. 지구환경 변화와 사회적 요구에 맞추어 차량은 전장화가 진행되고 있으며 크게 세가지의 메가 트렌드로 구분해 볼 수 있다.

첫번째 메가 트렌드는 “연비개선을 위한 지속적인 노력”이다. 기존 내연기관 차량의 고효율화를 위한 전장 부품, 즉, EPS(Electronic Power Steering), ISG(Idle Stop & Go), DCT(Dual Clutch Transmission), EMB(Electro Mechanical Brake)모터의 채용이 진행되고 있다. 또한, 친환경 차량(하이브리드 및 전기차)의 비중확대에 따른 구동모터, 인버터, 2차전지, BMS(Battery Management System), OBC(On Board Charger), e-Compressor의 개발과 양산이 진행되고 있다. 부품 경량화를 통한 연비향상을 위하여 부품간 통합(ex. 모터+인버터)과 Al, Mg, 탄소섬유 사용이 증가되고 있다. 참고로 1.5ton 승용차 기준으로 10% 무게 절감시 연비 6% 향상 효과가 있다고 한다.

두번째 메가 트렌드는 “완벽하게 안전한 자동차의 추구”이다. 차량사고 원인의 91%는 운전자에 있으며, 71%는 인식과실, 20%는 판단과실에 의한 것이라고 한다. 이를 극복하기 위한 방안으로 Sensor(인지), ECU(판단), Actuator(작동)로 구성된 통합안전시스템의 필요성이 증가하고 있다. 최근 적용중인 ADAS(Advanced Driver Assistance System)나 개발중인 e-Mirror나 자율주행시스템이 해당된다.

세번째 메가 트렌드는 “편리하고 감성적인 자동차”이다. 보다 편리하고 즐거운 운전환경을 제공하기 위하여 스마트폰의 연결과 함께 다양한 정보통신 기술 등이 융합된 형태를 의미한다. 스마트폰 및 전기차의 무선충전, Electrochromic 룸미러가 해당된다.

자성소재는 주로 첫번째 메가트렌드인 연비개선 부품에 해당되는 파워트레인부의 모터와 파워모듈에서 전자기 에너지변환 목적으로 사용되고 있으므로 연비개선과 밀접한 연관성을 갖는다. 그밖에 두번째 메가트렌드 파트의 Camera actuator에 활용되는 영구자석 소재, 세번째 메가트렌드 파트의 무선충전 모듈용 연자성 소재 등이 있다. 이중 Camera actuator용 영구자석 소재는 모터용 영구자석 소재와 유사점이 많으므로 생략하였다.

본 연구에서는 파워트레인부의 모터, 파워모듈, OBC에 사용되는 자성소재의 기술 동향을 확인하고, 무선충전용 소재의 개발 방향에 대해 논의하고자 한다.

자동차 전장부품용 연자성 소재 및 개발 동향

김영민*, 김형석, 김신규, 김미루, 정연준, 이두환

현대·기아자동차(주)

파워트레인, 차체, 새시 중심의 기계제품이었던 자동차는 오늘날 전장부품의 원가비중이 30%까지 늘어난 전자제품이 되고 있다. 전장이란, 한 마디로 차량에 들어가는 모든 전기 및 전자 장치를 의미한다. 전장부품의 비중이 2020년에는 모든 자동차 평균적으로 50%가 넘을 것으로 예상되고 있으니, 그야말로 자동차는 이제 달리는 전자제품이라고 할 수 있겠다.

이토록 빠른 자동차 전장화 추세에 맞추어 자동차용 전자부품의 수요가 급속히 증대되고 있으며, 차체 내에 사용되고 있는 전자부품은 효율이 높고, 가벼우며, 높은 성능이 요구되고 있다. 그 중 대표적인 부품으로는 연자성 분말로 제조하는 인덕터를 들 수 있다. 친환경차 전력변환시스템에서 인덕터 부품은 차량의 연비와 효율을 향상시키기 위해 필연적으로 사용되고 있고, 멀티미디어시스템에서는 노이즈 전류를 선택적으로 제거하기 위해 적용되고 있다. 인덕터 부품에 사용되는 소재는 크게 연자성 합금과 연자성 페라이트 소재로 구분되며, 이 소재들은 사용되는 부품 환경조건에서의 투자율과 철손 특성이 특히 중요한 인자로 작용한다.

본 발표에서는 자동차 전장부품에서 사용중인 대표적인 연자성 소재와 특성을 소개하며, 더불어 앞으로의 개발방향에 대해 다루고자 한다.

무선전력 전송 산업 동향

한승희*
(주)알티텍

1. 서론

무선전력전송은 Nikola Tesla가 1891년 뉴욕 코룸비아 Collage에서 고압에 AC 전력을 전송하여 수십Cm 떨어진 네온등을 켜는데서 무선충전이 시작되었으며, 미국 Marin Soljagic(MIT)교수가 60W를 2M 거리에서 전송(효율40%)을 성공하여(2007년) 현재에 WPT가 활성화되었다. 현재는 세계적인 무선충전 협회 Qi(자기유도)Airfuel(자기공명형) 2개의 협회를 통하여 WPT가 확산되고 있으며 이로 인하여 많은 무선 충전 관련 사업이 Wearable 기기부터 전기 자동차 무선충전 까지 확산 되고 있으며 이에 따른 산업이 전세계적으로 매년 연평균 60% 성장하고 있어 미래 먹거리 사업중에 하나이다.

2. 고찰

무선충전에 산업화 적용에 대한 제품을 검토하고 현재 무선전력 전송기술 발전 상황을 고찰하고 이에 따른 소재 기술 발달에 대한 현황과 무선충전 산업에 미래에 필요한 소재를 파악 한다.

3. 결론

무선전력전송 기술은 많은 기업이 참여 하고 있지만 미래산업 육성측면에서 전파기술 및 통신기술에 접목으로 국가가 많은 지원이 필요한 사업으로 미래 IT 기기의 핵심기술인 부품 및 소재 개발에 총력을 다하여 산업에 파급적인 효과를 내도록 미래 창조경제의 기반 기술로 육성되어야 한다.

4. 참고 문헌

- [1] Latre, et al. "A survey on wireless body area networks," Wirel. Netw., vol. 17, no. 1 pp. 1-18, Jan. 2011.
- [2] R. Puers, R. Carta, and J. Thone, "Wireless power and data transmission strategies for next-generation capsule endoscopes," J. Micromechanics and Microengineering, vol. 21, p. 15, May. 2011.
- [3] UWC -16-0055-Airfuel Oct. 2016
- [4] 무선전력전송 컨퍼런스 Nov. 2014

친환경자동차용 희토자석 공정설계기술

김동환^{1*}, 공군승¹, 이정구², 유지훈²

¹성림첨단산업(주) 연구소, 대구광역시 달서구 호림동 8

²한국기계연구원 부설 재료연구소 분말재료연구부, 경남 창원시 창원대로 531

최근 하이브리드 및 전기자동차 분야에 고보자력 Nd계 희토자석이 적용되기 시작하면서 중희토(Dy, Tb)의 수요가 증가하는 추세인 반면, 이들 중희토의 지구상 부존자원이 제한적으로 분포하는 자원적인 문제로 인해 중희토 사용량을 획기적으로 감소시킨 합금설계를 이용하여 고보자력 자석을 제조하기 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 대표적인 중희토 저장기술에는 중희토 입계확산기술과 입자미세화 기술이 제시되고 있는데, 2005년 Shin-Etsu Chemical에서는 자석 표면에 DyF₃를 도포한 후 진공분위기에서 800~900°C 조건으로 가열하여 중희토 물질의 입계확산을 유도함으로써 보자력을 6 kOe 이상 향상시키는 연구결과를 발표한 바 있다.[1] 또한, 2010년 M. Sagawa 등은 중희토를 함유하지 않는 합금조성에서 분말입도를 1.2 μm 까지 감소시켜 자석을 제조함으로써 보자력 20 kOe 이상 자석 제조가 가능하다는 연구 결과를 발표하였다.[2]

본 연구에서는 현재 친환경차분야에서 요구되는 고보자력 자석사양 대비 중희토 사용량을 최소화 하기 위해 입자미세화기술, 중희토분말 도핑기술 및 입계확산기술을 융합한 공정설계기술을 개발하고자 하였다. 사용된 합금스트립의 조성은 Dy=2wt%(TRE=31wt%) 이고, 그림 1, 2는 이들 스트립을 사용하여 2.3 μm 크기로 젯밀 분쇄한 후, 중희토 분말 도핑조건을 변화시키면서 제조한 소결자석의 자기특성 측정결과로서, TbH=0.5% 조건에서 잔류자속밀도의 저감을 최소화하며 보자력을 2.4 kOe 증가시키는 효과가 얻어졌다. 또한, 이들 도핑자석을 이용하여 확산온도 900°C*6hr의 조건으로 Tb입계확산을 실시한 결과 H_{cj} = 32.6 kOe의 고보자력 자석을 제조할 수 있었다.

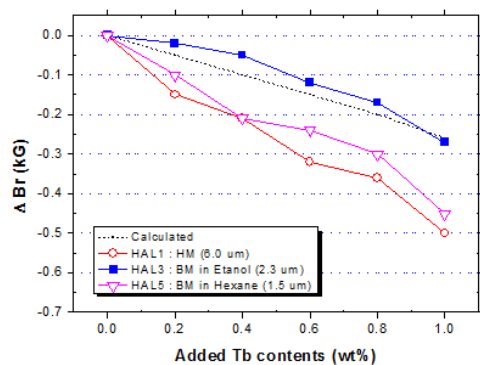


Fig. 1. Diffusion distance from surface depending on GBDP and Heat treatment conditions.

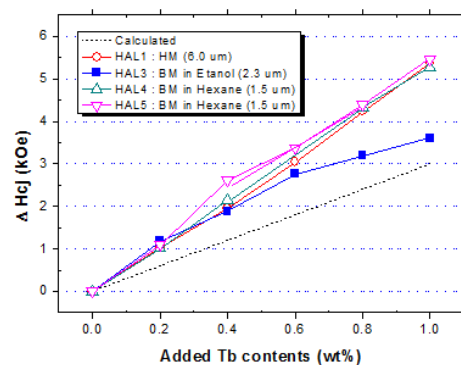


Fig. 2. Magnetic properties depending on GBDP and Heat treatment conditions.

참고문헌

- [1] H. Nakamura, K. Hirota, M. Shima, T. Minowa and M. Honoshima, IEEE Trans. Magn. **41**, 3844 (2005).
- [2] M. Sagawa: Proc. 21th Int. Workshop on REPM and their Applications (2010) 183.

희토류 영구자석 소재의 개발 현황과 그 응용 제품 개발 사례

김효준*, 김상면
자화전자(주)

1. 서론

소형화를 지향하는 가전용, 산업용 및 IT용 메카트로닉스 시장이 지속적으로 성장하고 있다. 영구자석을 이용하는 메카트로닉스 분야에서는 영구자석 소재의 선정과 자기회로의 설계와 같이 무엇을 어떻게 효과적으로 조합할 것인가가 기술전략의 키포인트다.

영구자석 소재 가운데 희토류계 영구자석은 가전과 산업용 모터의 경량화와 고 효율화라는 새로운 패러다임을 주도했으며 IT, 로봇산업기술과 결합하여 부품을 첨단 고부가가치사업으로 변모시키고 있다. 성능과 수요량 측면에서는 NdFeB계 영구자석이 대표적이고 그 외 SmCo계, SmFeN 등 다양하다. 제조방법에 따라서는 소결, 압축, 사출 등으로 구분되기 때문에 각 소재의 물리적 화학적 특징과 자기적 특성을 고려하여 소재를 선정해 설계에 반영하여야 한다.

한편, 자기회로의 설계는 과거에는 퍼미언스법, 실험식 또는 경험에 기초하여 기본적인 설계를 통하여 그 성능을 평가해 왔으나 최근에는 체계적인 설계를 수행하기 위하여 유한요소법(FEM)라고 불리는 수치적 기법을 사용하여 시뮬레이션, 검증, 최적화 설계를 수행하고 있다. 제약조건 하에서 정량화한 설계목표를 만족시키기 위해서는 영구자석 소재 자체에 대한 설계자의 기술적 이해가 필요하고 보다 독창적인 설계를 구현하기 위해서는 기술적 차별화가 가능한 영구자석 소재와 최적설계를 부품설계에 포함시킴으로써 경쟁력 있는 제품 포트폴리오를 확장 할 수 있다.

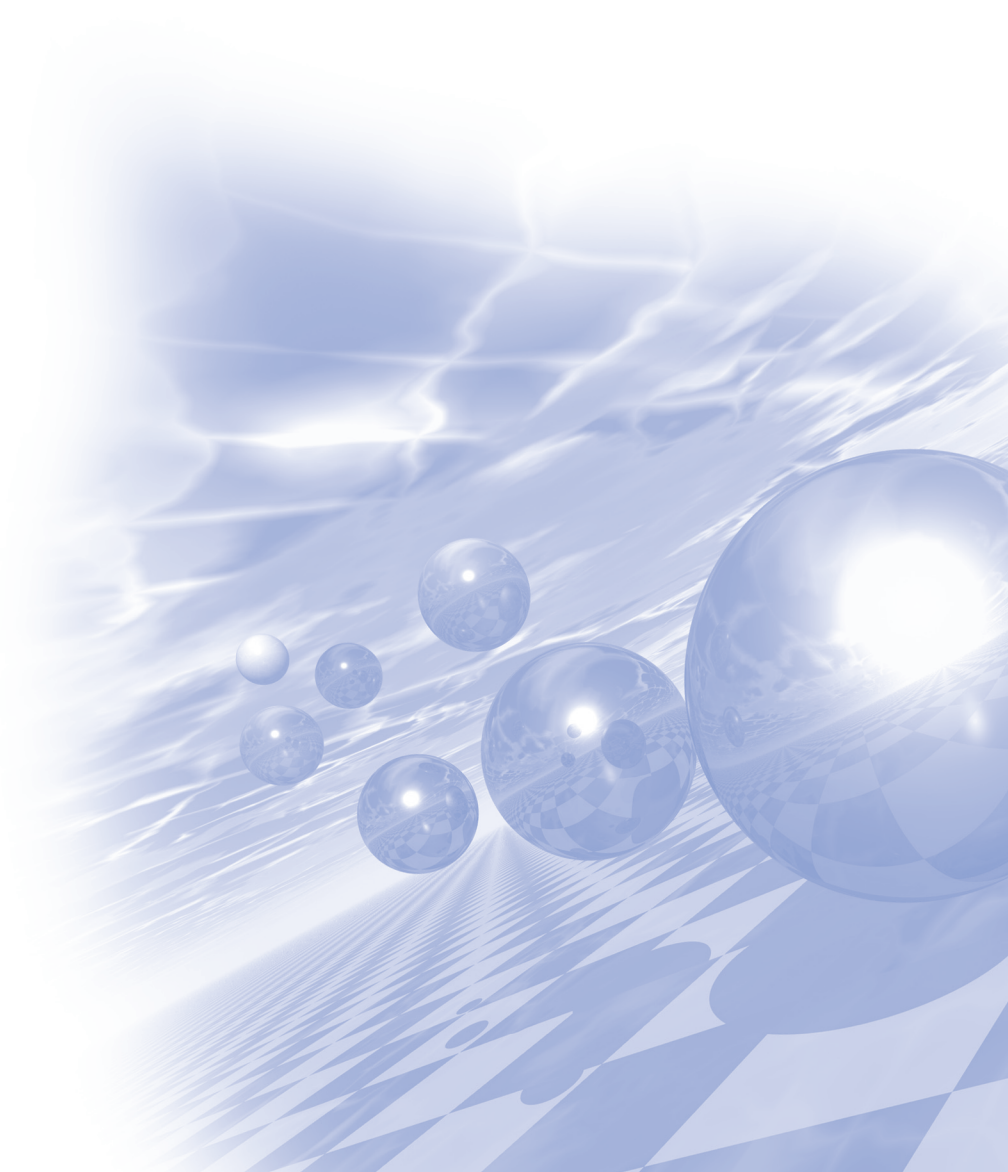
본 발표에서는 희토류 영구자석 소재의 개략적인 기술현황과 소재의 특징에 대해서 소개하고 희토류 영구자석을 활용한 모터, IT용 부품, 위치 센서 등 응용 제품의 개발 사례를 소개하고자 한다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

Special Session II

‘Emerging Spintronic Materials and Devices’



Voltage control of magnetic anisotropy in monocrystalline ferromagnetic metal/oxide layered structures

S. Mitani^{1,2*}, Z.C. Wen^{1,3}, Q.Y. Xiang^{1,2}, Y. Iida^{1,2}, H. Sukegawa¹ and S. Kasai¹

¹National Institute for Materials Science, Tsukuba 305-0047, Japan

²Graduate School of Pure and Applied Sciences, Univ. Tsukuba, Tsukuba 305-8577, Japan

³Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan

*S. Mitani, e-mail: mitani.seiji@nims.go.jp

Voltage control of magnetic anisotropy (VCMA) is of particular importance in the emerging technologies of magnetic random access memories. Large interface perpendicular magnetic anisotropy and its voltage effect were reported in monocrystalline Fe/MgO heterostructures [1,2], suggesting that monocrystalline systems can be a good playground in the research.

In this study, interface perpendicular magnetic anisotropy and its voltage effect were investigated for various monocrystalline ferromagnetic metal/oxide layered structures such as Cr/Fe/MgO and Ru/Co₂FeAl/MgO. We found relatively large voltage effect of magnetic anisotropy in the Co₂FeAl/MgO system [3] and observed temperature-independent characteristic behaviors in the applied electric field dependence of magnetic anisotropy in the Fe/MgO system. The detailed results of VCMA will be presented as well as the current status in development of new materials for monocrystalline ferromagnetic metal/oxide layered structures and magnetic tunnel junctions.

This work was partly supported by the ImPACT Program of Council for Science, Technology and Innovation, Japan and JSPS KAKENHI 16H06332. Q.Y.X and Y.I. acknowledge National Institute for Materials Science for the provision of a NIMS Junior Research Assistantship.

References

- [1] J. W. Koo, S. Mitani, T. T. Sasaki, H. Sukegawa, Z. C. Wen, T. Ohkubo, T. Niizeki, K. Inomata and K. Hono, Appl. Phys. Lett. **103**, 192401 (2013)..
- [2] T. Nozaki, A. Koziol-Rachwal, W. Skowronski, V. Zayets, Y. Shiota, S. Tamaru, H. Kubota, A. Fukushima, S. Yuasa and Y. Suzuki, Phys. Rev. Applied **5**, 044006 (2016).
- [3] Z.C. Wen, H. Sukegawa, T. Seki, T. Kubota, K. Takanashi, and S. Mitani, submitted.

Berry phase from atomic orbital

Dongwook Go¹, Changyoung Kim², and Hyun-Woo Lee^{1*}

¹Department of Physics, POSTECH, Pohang, Korea

²School of Physics and Astronomy, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

*E-mail: hwl@postech.ac.kr

We examine properties of the Berry phase in multi-orbital cubic systems with both time-reversal and inversion symmetries. We find that the Berry curvature near the Gamma point in the Brillouin zone is proportional to the atomic angular momentum \mathbf{L} . Considering that the Berry curvature acts as an effective magnetic field in momentum space, this result implies that trajectories of accelerated electrons are bent sideways as if an external magnetic field is applied parallel to \mathbf{L} .

Spin-Orbit Torque and Beyond

See-Hun Yang^{*}

IBM Almaden Research Center, San Jose, CA 95120, USA

^{*}E-mail: seeyang@us.ibm.com

Efficient manipulation of magnetic elements are one of the main goals in spintronics. Discovery of spin transfer torque two decades ago has made a major impact on magnetic community and industry thus accelerating development of more powerful devices, i.e. STT-MRAM [1]. In particular, over the past few years a new type of torque, so-called spin-orbit torque has emerged and promised even more exciting advent of new type of devices in the future [2,3]. In this talk I will review the recent advancement of spin-orbit torque driven domain wall motion in magnetic nanowires and present other novel torques beyond spin-orbit torque [4,5,6].

References

- [1] Stuart Parkin and See-Hun Yang, “Memory on the Racetrack”, *Nature Nanotechnology* **10**, 195-198 (2015).
- [2] Kwang-Su Ryu, Luc Thomas, See-Hun Yang, and Stuart Parkin, “Chiral Spin Torque at Magnetic Domain Walls”, *Nature Nanotechnology* **8**, 527-533 (2013).
- [3] Satoru Emori, Uwe Bauer, Sung-Min Ahn, Eduardo Martinez, and Geoffrey S. D. Beach, “Current-driven dynamics of chiral ferromagnetic domain walls”, *Nature Materials* **12**, 611-616 (2013).
- [4] See-Hun Yang, Kwang-Su Ryu, and Stuart Parkin, “Domain-wall velocities of up to 750 m s^{-1} driven by exchange-coupling torque in synthetic antiferromagnets”, *Nature Nanotechnology* **10**, 221-226 (2015).
- [5] Chirag Garg, See-Hun Yang, Timothy Phung, Aakash Pushp, and Stuart Parkin, submitted.
- [6] See-Hun Yang, Chirag Garg, and Stuart Parkin, submitted.

Current induced nucleation and motion of skyrmion in symmetric multilayers

S. Rohart^{*}, A. Hrabec, J. Sampaio and A. Thiaville

Laboatoire de Physique des Solides, University Paris-Sud, CNRS, 91405 Orsay Cedex, France

^{*}stanislas.rohart@u-psud.fr

Skyrmions, a magnetic texture characterized by its unique topological charge, have attracted recently a concerted effort to study how they could be controlled and moved in ferromagnetic films or tracks, and open a new route for spintronics and information storage technologies [1]. Stabilization, nucleation and motion are the three challenges toward such an achievement. In this study, we show how a multilayer with a global symmetric stacking allows 300 nm diameter skyrmion stabilization combining Dzyaloshinskii-Moriya (DMI) and dipolar interactions, without strong constraints on materials (in particular without strong DMI). The sample structure is compatible with spin-orbit torques, particularly induced by the spin Hall effect and enables current induced skyrmion motion. In a track, using two asymmetric electrodes (point contact on one side, large contact on the other side), we demonstrate independent nucleation at the point contact and shift of the skyrmion. Velocities up to 60 m/s at current densities lower than 5×10^{11} A/m² are achieved. The observation of a deflection toward the edges is the ultimate proof of the skyrmion topological charge.

Reference

- [1] A. Fert, V. Cros and J. Sampaio, Nature Nanotechnology 8, 152 (2013)

Shift of magnetic hysteresis loop by Dzyaloshinskii-Moriya interaction in laterally asymmetry microstructure

Dong-Soo Han¹, Nam-Hui Kim^{2,3,4}, June-Seo Kim¹, Yuxiang Yin¹, Jung-Woo Koo¹, Jaehun Cho², Sukmock Lee², Mathias Kläui³, Henk J. M. Swagten¹, Bert Koopmans¹, and Chun-Yeol You^{2,4*}

¹Eindhoven University of Technology, PO Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands

²Inha University, Incheon 22212, Republic of Korea

³Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz, Germany

⁴DGIST, Daegu 42988, Republic of Korea

*Chun-Yeol You, e-mail: cyyou@dgist.ac.kr

Recently, Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) has been heavily investigated by using many experimental techniques such as Brillouin light scattering (BLS) [1-2], asymmetric domain-wall expansion [3], and non-reciprocal spin wave velocity [4]. In this study, we would like to introduce unique technique to straightforwardly observe the DMI by shift of magnetic hysteresis loop arising in DMI in laterally asymmetric microstructures [5]. We prepared two types of thin films of Si(sub.)/Ta(4 nm)/Pt(4 nm)/Co(1.2 nm)/Ir(4 nm) and Si(sub.)/Ta(10 nm)/AlO_x(2.5 nm)/Co(1.15 nm)/Pt(4 nm) with perpendicular magnetic anisotropy (PMA), respectively. The first one has bottom Pt, while the second has top Pt layer, so they are expected to have opposite DMI. All samples are deposited by dc-magnetron sputtering, especially, we fabricated well-defined microstructure of triangle in order to introduce lateral asymmetry, and squares with lateral symmetry by using electron beam lithography and Ar⁺ ion milling technique. In order to obtain asymmetry hysteresis properties and extract DMI energy density, we carried magneto optical Kerr effect (MOKE) measurement with microscopic imaging technique by applying positive and negative biased magnetic field [5]. For triangular-shaped microstructures of Pt/Co/Ir and AlO_x/Pt/Co, we found a shift of the hysteresis loop by applying additional in-plane magnetic field ($+H_x$, $-H_x$). On the other hands, for the case of square-shaped microstructure, there is no shift of loop. Consequently, we establish a unique, simple, and reliable approach to quantify the DMI in thin film structures and observe a shift in magnetic hysteresis loops arising from the DMI, by introducing a lateral asymmetry in microstructures and applying additional in-plane bias field.

References

- [1] J. Cho *et al.*, Nat. Commun. **6**, 7635 (2015).
- [2] N.-H. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. **108**, 142406 (2016)
- [3] S. G. Je *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 214401 (2013).
- [4] D. S. Kim *et al.*, J. Korean Phys. Soc. **67**, 906 (2015).
- [5] D.-S. Han *et al.*, Nano Lett. **16**(7), 4438(2016).

Efficient control of perpendicular magnetization through spin-orbit torques in antiferromagnet/ferromagnet/oxide structures

Young-Wan Oh¹, Seung-heon Chris Baek^{1,2}, Chang-Geun Yang³, Eun-Sang Park^{4,5}, Ki-Seung Lee³, Kyoung-Whan Kim^{6,7}, Gyungchoon Go³, Jong-Ryul Jeong⁸, Byoung-Chul Min⁵, Hyun-Woo Lee⁶, Kyung-Jin Lee^{3,4} and Byong-Guk Park^{1*}

¹Department of Materials and Science and Engineering, KAIST, Daejeon, Korea

²School of Electrical Engineering, KAIST, Daejeon, Korea

³Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul, Korea

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

⁵Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

⁶PCTP and Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea

⁷Center for Nanoscale Science and Technology, NIST, Gaithersburg, Maryland 20899, USA

⁸Department of Materials and Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

*Byong-Guk Park, e-mail: bgpark@kaist.ac.kr

Perpendicular magnetization in heavy metal (HM)/ferromagnet (FM)/oxide structures can be efficiently manipulated by in-plane current via spin-orbit torques (SOT). However, in order to achieve SOT-induced deterministic switching, an in-plane magnetic field is required, which is one of the major obstacles for device applications. To tackle such challenge, we introduce antiferromagnets (AFM) instead of HM as the source of both SOT and external magnetic field as AFM can create an effective field through exchange bias [1].

In this work, we report sizable SOT as well as in-plane exchange bias field in IrMn/CoFeB/MgO structures, which allows for purely electrical deterministic switching of perpendicular magnetization. We could further improve the switching performance by integration of an additional in-plane FM layer below the IrMn layer creating a stronger exchange bias. These results suggest that AFM is a promising material candidate in SOT-based devices because of its sizable SOT and exchange bias.

Reference

- [1] Y.-W. Oh *et al.*, Nature Nanotech. (DOI: 10.1038/NNANO.2016.109)

Dynamics of Magnetic Domain Wall in Ferrimagnets

Kab-Jin Kim^{1*}, Takayuki Tono², Arata Tsukamoto³, Takahiro Moriyama², and Teruo Ono²

¹Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 305-701, Korea.

²Institute for Chemical Research, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan

³College of Science and Technology, Nihon University, Funabashi, Chiba 274-8501, Japan

*Kab-Jin Kim, e-mail: kabjin@scl.kyoto-u.ac.jp

Magnetic domain walls, which separate regions of opposing magnetic domains, can be manipulated and used to encode information for storage¹ or to perform logic operations². Owing to these fascinating technological applications, magnetic domain walls have been intensively studied during the last decade. To compete with other technologies, high-speed operation, and hence fast domain wall propagation, is essential. In this talk, we show that it is possible to achieve high domain wall velocity using ferrimagnets. In ferrimagnetic GdFeCo wire, in which the magnetic moments of Gd and FeCo are coupled antiferromagnetically, we observe a drastic increase of domain wall velocity at the angular momentum compensation temperature, T_A , of ferrimagnet. A maximum field-driven domain wall velocity as high as 2 km/s (wall mobility as large as $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$) is obtained at T_A . The effects of current on the DW motion across T_A are also investigated and will be discussed in this talk.

References

- [1] Parkin *et al.* Science **320**, 190 (2008)
- [2] Allwood *et al.* Science **309**, 1688 (2005)]

Recent Development Status of MTJ with TEL PVD EXIM™

Chang Man Park*

Director of Advanced Technology, Corporate Marketing, Tokyo Electron U.S. Holdings, Inc.
3100 West Warren Avenue, Fremont, California 94538, USA
chang-man.park@us.tel.com

STT-MRAM (Spin Transfer Torque-Magnetic RAM) has been demonstrated in globe with many technical breakthrough as next generation emerging memory this year. Despite the steep demands to use the memory as embedded memory, cache memory, standalone memory, storage-class memory and so on, challenges in process, material, and circuit technology still remain. The author will update the latest development of TEL EXIM™ PVD tools for STT-MRAM p-MTJ stack deposition process.

From device characteristic perspective, major targets are to accomplish small write current, high MR ratio / low RA product, and high thermal stability. The first demand for PVD tools in STT-MRAM fabrication are to set the basis of such properties, as they are highly decided by the engineered stacks and actual PVD processes. Another important aspect of PVD tool is flexibility, to deposit stacks with perpendicular magnetization, and also stacks using unknown future technologies that lie ahead, which makes the Spintronics device more appealing. Finally, depositing complex multi-layer MTJs with stableness, from within wafer uniformity to tool marathon run performance, is essential to take STT-MRAM into high volume manufacturing.

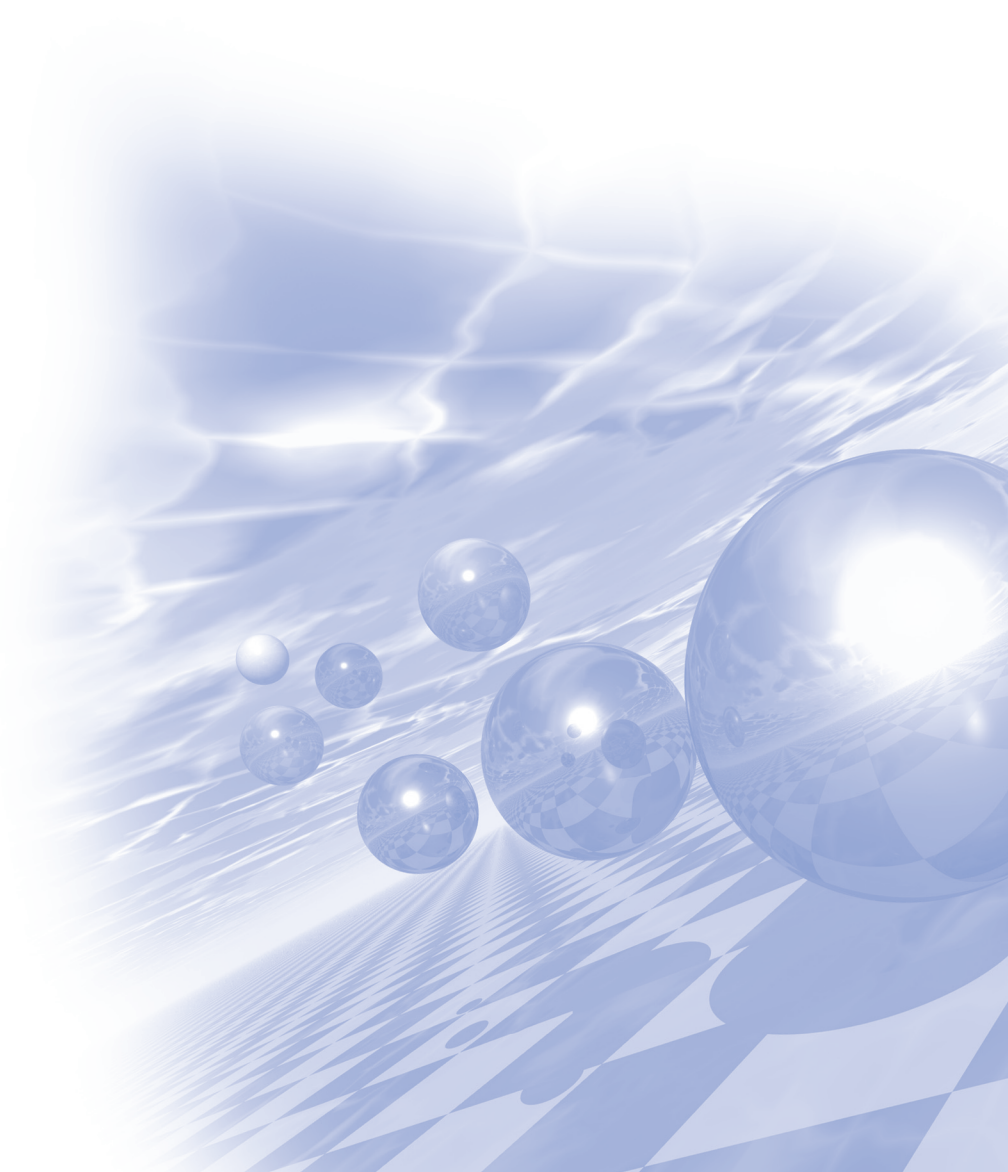
In this presentation, the latest MTJ film properties deposited with high throughput on EXIM™, along with read/write characteristics with patterned MTJ elements will be discussed.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

Special Session III

‘Applications of Magnetic Nanoparticles’



Asymmetric Bead Immunoaggregation for Label-free Protein Detection

Junghoon Lee^{*}

School of Mechanical & Aerospace Engineering, Interdisciplinary Program of Bioengineering,
Seoul National University

This talk presents a novel immunoaggregation assay based detection of target protein up to femto-molar concentration for detecting A H1N1 influenza. This detection assay is a sandwich assay using specific antibody immobilized magnetic nanoparticles (MG) and polystyrene micro-particles (PS). A label-free detection is achieved by using a portable CMOS image sensor (CIS). Influenza type A H1N1 nucleoprotein (NP) triggered aggregation of MG and PS is selectively imaged by CIS, using magnetic attraction, to measure the size and count the number of beads. The number of beads counted represents the concentration of target protein. Our verification procedure includes fluorescence verification of molecular protocol and comparison with conventional single-type bead assay. This protein detection is rapid, label-free, and capable of the quantitative measurement of protein concentration and has potential for incorporating other contents. Our platform opens up new applications for protein detection.

Applications of Metal doped-Ferrite Bismuth as Reusable Magnetic Nanoparticles for Fast Removal of Organics under Visible Light Irradiation

Byeong-Kyu Lee* and Tayyebbeh Soltani

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Ulsan,
Daehak-ro 93, Nam-gu, Ulsan 680-749, Republic of Korea

*B-K. Lee (Tel: 82-52-259-2864, Fax: 82-52-259-2629; E-mail address: bklee@ulsan.ac.kr)

Pure BiFeO₃ magnetic nanoparticle (BFO MNPs), Ba-doped BFO MNPs, Cu-doped BFO MNPs, and Cu-Ba co-doped BFO MNPs as visible-light driven photocatalysts have been successfully synthesized via a simple and rapid sol-gel method at a low temperature and with rapid calcination. Metal loading (Ba²⁺, Cu²⁺) in BFO MNPs brought a distorted structure of BFO MNPs, consisting of small, randomly oriented and non-uniform grains, increased surface area and improved magnetic and photocatalytic activities. Metal doping into pure BFO greatly increased magnetic saturation at least 3.0 emu/g and significantly decreased the band-gap energy until 1.7 eV, as compared to 2.1 emu/g and 2.1 eV, respectively, for pure BFO MNPs. The decrease in the band-gap energy of metal-doped BFO MNPs along with oxygen vacancy, and the increase in ferromagnetism and surface area, compared with pure BFO MNPs, led to a marked increase in the photocatalytic activity of the nanomaterials. The metal doped BFO MNPs showed great photocatalytic degradation of volatile organic compounds (VOCs) and phenolic compounds under visible light irradiation. It was identified that both Fe³⁺/Fe²⁺ and Cu⁺/Cu²⁺ pairs in synthesized nanomaterials greatly promoted the heterogeneous decomposition of H₂O₂ to \cdot OH and S₂O₈²⁻ to SO₄^{•-}. Thus the enhanced photocatalytic degradation of organics removal is due to the improved photocatalytic and photo-Fenton catalytic activities. The high degradation efficiency of organics along with high reduction in chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC) and high concentration of carbon dioxide (CO₂), proved the high mineralization efficiency of whole organic pollutants under visible light irradiation. After photodegradation, the whole nanoparticles were easily separated from aqueous solutions by applying an external magnetic field. The identified major intermediates of photodegradation enabled to predict the proposed organics degradation pathway. The nano catalysts did not exhibit significant loss of photocatalytic activity after their successive using.

Keywords: Visible light; Photo-degradation; Metal doped BiFeO₃; Magnetic nanoparticle

Ferrite material for Hyperthermia application with Mössbauer spectroscopy

김철성*

국민대학교 물리학과

나노 기술이 발전하면서 나노입자의 합성, 분석 및 응용이 가능하게 되면서 나노입자의 미세구조와 형태를 조절하고 분석하는 능력은 바이오 분야에서 중요성이 높은 연구 대상이 되고 있다. 나노입자의 바이오 응용은 질병 진단 및 치료 분야에서도 크게 관심이 집중되고 있는 분야이다. 그 중에서도 페라이트(ferrite)를 이용한 온열치료(hyperthermia)는 나노바이오기술을 통하여 연구가 활발히 진행되고 있는 중이다.

암세포나 종양과 같은 신체조직은 41~45 °C 정도의 열에 노출되면 쉽게 손상을 받는다. 기존의 항암치료는 약물화학요법이나 방사선 요법이 주로 이용되었으나 이는 약물 부작용과 합병증을 유발시키는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 개선시키고자 연구되는 것이 온열치료로서, 국부적인 부위의 암세포를 사멸시키기 위하여 림프절 내부에 페라이트와 같은 자성물질을 삽입하고 자기장을 인가함으로써 자성물질의 자기발열에 의해 열을 발생시켜 괴사시키는 것이 목적이다. 그러나 높은 외부자장은 인체에 매우 유해하므로 실제 응용 시에는 적절한 크기의 자장이 요구된다. 이렇듯 외부 자기장으로 인한 자성 나노입자의 발열을 극대화하기 위하여, 자성입자에 플라즈마 처리를 진행하였으며, 그 결과 발열 온도가 플라즈마 처리전보다 증가한 것을 확인할 수 있었다. 자성입자를 이용한 온열치료 기술 개발에 있어서, 플라즈마 처리 후의 향상된 발열 특성을 알아보기 위하여 고외부자기장 뫼스바우어 분광 실험을 진행하였다.

Magnetic characterization of Fe nano-sized powder synthesized by pulsed wire evaporation method

D. H. Kim^{1*}, S. H. Lee¹, D. J. Lee², J. H. Park² and B. W. Lee¹

¹Department of Physics and Oxide Research Center, Hankuk University of Foreign Studies,
Yongin, Gyeonggi 17035, South Korea

²Nano Technology Inc.A-3F, 63, Daehwa-ro 50beon-gil, Daedeok-gu, Daejeon-si, 34364 South Korea

Recently, soft magnetic metal powder composite have been used for chip power inductors for high frequency applications due to their ability to prevent eddy current loss and higher saturation magnetization than ferrite. Fe based amorphous powder that possesses good magnetic properties and low core loss is a favorite element for the chip power inductor. However, the amorphous powder has a lower saturation magnetization (M_s) as compared to crystalline Fe powders and also shows a high core loss at the high frequency range. In order to achieve high performance (i.e. having high M_s and low core loss) when operated at a wide frequency range above 1 MHz, Fe based nano-sized particles with an insulating shell layer has been intensively investigated [1]. To prepare the Fe nano-sized core-shell particles with specific functional properties, many synthesis techniques have been attempted [2, 3]. The pulsed wire evaporation (PWE) is known as a one-step synthetic technique with high efficiency as compared with other methods involving several treatment steps [2]. In this work, we characterized the microstructure and magnetic properties of Fe/Fe₃O₄ nano-sized core-shell powder prepared by the PWE method.

References

- [1] H. K. Kim and S. Y. An, J. Magn. **20**, 138 (2015).
- [2] H. M. Lee, Y. R. Uhm, and C. K. Rhee, J. Alloys and Comp., **461**, 604 (2008).
- [3] S. Peng, C. Wang, J. Xie, and S. Sun, J. AM. CHEM. SOC., **128**, 10676 (2006).

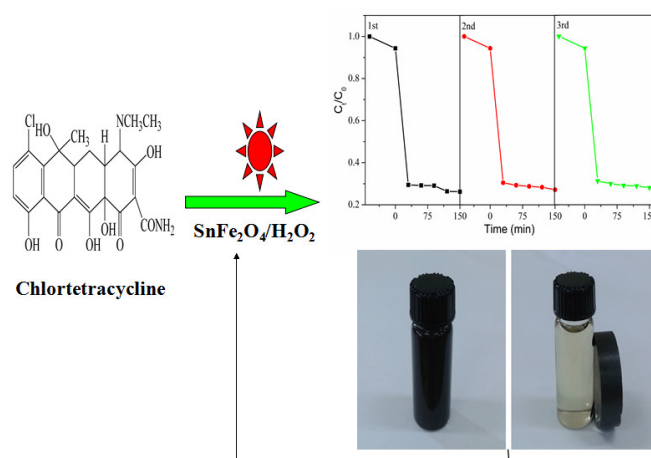
Magnetic SnFe_2O_4 nanoparticles: synthesis and their application for visible light photocatalyst for chlortetracycline

Yuefa Jia* and Chunli Liu

Department of Physics and Oxide Research Center, Hankuk University of Foreign Studies, Yongin 449-471, Korea

Due to their moderate bandgap energy and magnetization, spinel ferrite nanomaterials such as CoFe_2O_4 , ZnFe_2O_4 , MnFe_2O_4 , and NiFe_2O_4 have recently raised increased research interest for their applications in magnetically retrievable photocatalyst[1-4]. Considering the advantages such as environmental friendliness and abundant element storage, we attempted in preparing SnFe_2O_4 nanoparticles and studied their magnetic properties. Highly crystalline SnFe_2O_4 nanoparticles with high saturation magnetization were prepared in alkaline solutions containing SnCl_2 and $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ with NaOH and NH_4OH by a one-pot solvothermal method at 200°C . The technique requires neither long time high temperature calcination nor any other supplementary reagents during the preparation process. The structural, optical, morphology, and magnetic properties were investigated by XRD, FT-IR, PL, HRSEM, HRTEM, XPS, and VSM. The results showed that SnFe_2O_4 nanoparticles have the crystallite size in 40-50nm with a high saturation magnetization of 74.3 emu/g, which is much higher than the reported values for SnFe_2O_4 nanoparticles prepared using precipitation exchange[5,6]. The photocatalytic experiments showed that the SnFe_2O_4 nanoparticles can effectively degrade chlortetracycline with the assistance of H_2O_2 under the visible light radiation, and can maintain a stable performance with continuous recycled usages. Our results demonstrated that that SnFe_2O_4 can be a potential photocatalyst for removing the organic pollutions in environment water.

Keywords: olvothermal, SnFe_2O_4 , saturation magnetization, degradation, chlortetracycline



Highly crystalline SnFe_2O_4 nanoparticles with high saturation magnetization and superior chlortetracycline degradation efficiency was developed using a one-pot solvothermal method.

References

- [1] Z. Zhu, X. Li, Q. Zhao, Y. Shi, H. Li and G. Chen, *J. Nanopart. Res.*, 2011, 13, 2147-2155.
- [2] L. Han, X. Zhou, L. Wan, Y. Deng and S. Zhan, *J. Environ. Chem. Eng.*, 2014, 2, 123-130.
- [3] Y. Shen, L. Wang, Y. Wu, X. Li, Q. Zhao, Y. Hou and W. Teng, *Catal. Commun.*, 2015, 68, 11-14.
- [4] P. Xiong, Y. Fu, L. Wang and X. Wang, *Chem. Eng. J.*, 2012, 195, 149-157.
- [5] F. X. Liu and T. Z. Li, *Mater. Lett.*, 2005, 59, 194-196.
- [6] K. T. Lee and S. Y. Lu, *J. Mater. Chem. A*, 2015, 3, 12259-12267.

Tunable magnetic properties and large magnetocaloric effect of non-stoichiometric LaMnO₃ nanoparticles

P. S. Tola* and T. L. Phan

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

LaMnO₃ nanoparticles (NPs) with various particle sizes of 28-101 nm have been studied the structural characterization, and magnetic and magnetocaloric properties. Rietveld refinements revealed that all NPs crystallized in the rhombohedral structure, with varied structure parameters dependent on the particle size (D). Magnetization (M) measurements indicate a large difference in magnitude between zero-field-cooled and field-cooled magnetizations at temperatures (T) below ferromagnetic-paramagnetic (FM-PM) phase transition, particularly for the samples with $D = 36$ -43 nm, which are ascribed to spin-glass-like behaviors and magnetic inhomogeneity. We also found the possibility of tuning the FM-PM phase transition temperature (T_C) from 77 to 262 K, which is dependent on D , and W as well. Under an applied field $H = 50$ kOe, the maximum magnetic entropy change ($|\Delta S_{\text{Max}}|$) achieved around T_C can improve from 4 J \llcorner kg⁻¹ \llcorner K⁻¹ for $D = 43$ nm to 6.4 J \llcorner kg⁻¹ \llcorner K⁻¹ for $D = 101$ nm, corresponding to relative-cooling-power (RCP) values of 241~286 J \llcorner kg⁻¹. We also analyzed carefully the data of $M(T, H)$, and magnetic entropy change ($|\Delta S_m|$) versus T and H based on theoretical models to further understand the magnetic properties and phase-transition type.

Keywords: Perovskite manganites, Nanoparticles, Magnetic and magnetocaloric properties

Vortex-state nanoparticles for bio-imaging and magnetic hyperthermia

Sang-Koog Kim^{*}

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

Bio-imaging and bio-medicine industries have grown significantly in pursuit of earlier diagnosis of, and more timely therapy for, human diseases. MRI (Magnetic Resonance Imaging) is becoming more widely used to visualize internal organs and structures of the human body. To be able to take full advantage of MRI's and other bio-imaging techniques' special utility, however, it is essential that their signal sensitivity and spatial resolution be improved to the point that tumor-candidate cells can be isolated and identified. Currently one of the most promising MRI modalities involves the use of contrast agents constituted of super-paramagnetic nanoparticles. Yet this technique requires the application of extremely high magnetic fields (1 - 7 Tesla) to obtain a sufficient number of net signals. The generation of fields of such strength incurs significant cost in superconductor maintenance, and moreover, could have as-yet-unknown side-effects on the human body. Thus, it is necessary to find a new, innovative approach - one that entails extremely high-sensitivity, high-spatial-resolution, yet low-magnetic-field bio imaging - and to develop the relevant diverse and proven applications to in-vivo diagnosis and therapy.

To this end, we report for the first time that the resonantly excited precession and reversal dynamics of vortex cores in soft magnetic nanoparticles and their size-specific resonant effect [1] may be used to develop new-paradigm bio-imaging techniques as well as hyperthermia therapy. These approaches, though challenging, are very creative. In this presentation we will report the synthesis of vortex-state nanoparticles [2], micromagnetic numerical calculations of novel vortex-state particles' dynamics [1] as well as the concept of the use of those particles and novel spin dynamics for bio-imaging and hyperthermia applications. This concept will provide the original and core technologies that exceed the limitations of conventional bio-imaging tools and therapy to realize the simultaneous implementation of bio-imaging diagnosis and immediate therapy.

References

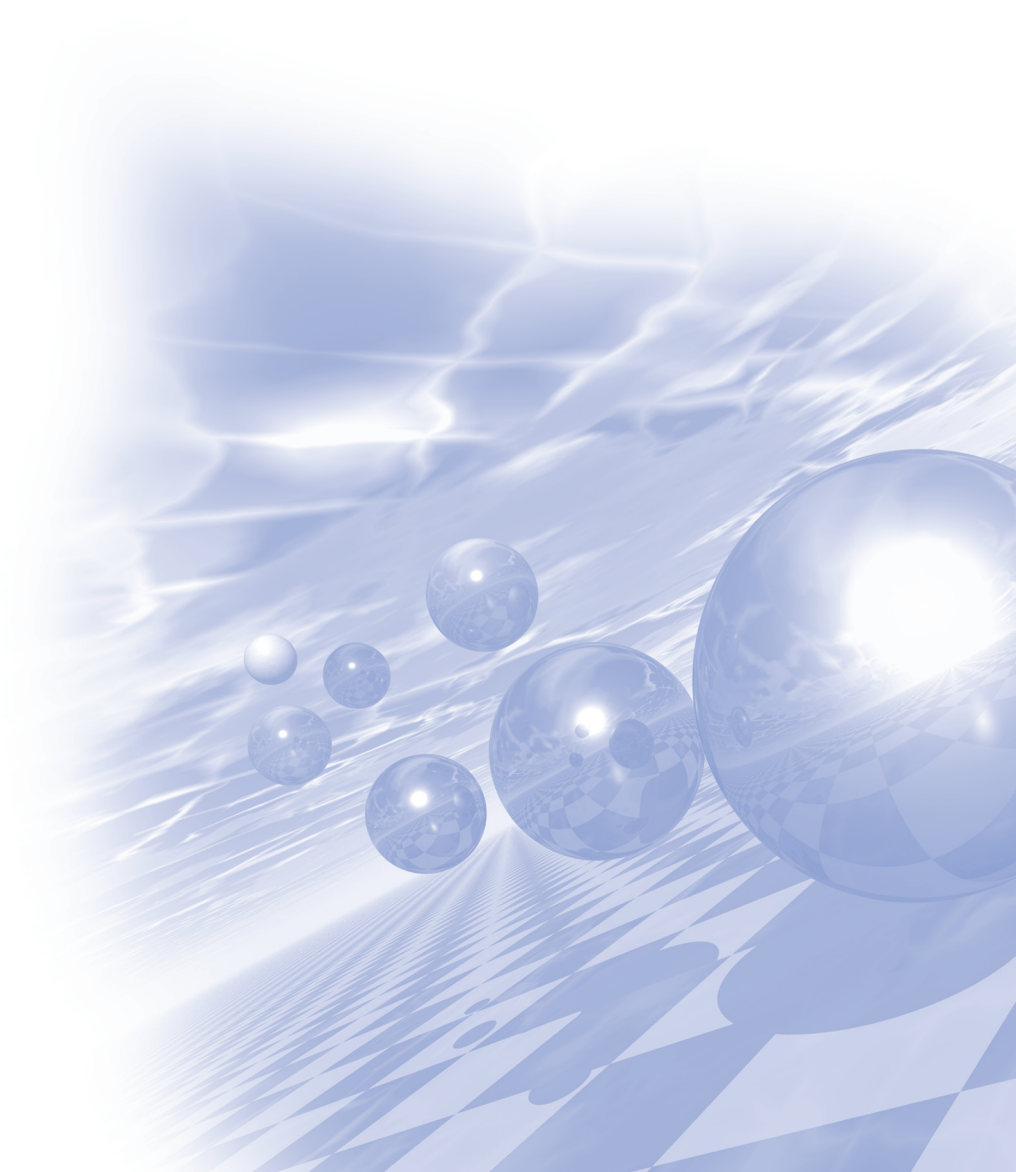
- [1] S.-K. Kim *et al.*, Sci. Rep. 5, 11370 (2015).
- [2] M.-K. Kim *et al.*, Appl. Phys. Lett. 105, 232402 (2014).



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

Special Session IV

‘제일원리 양자시뮬레이션 심포지엄’



Ab initio Theoretical Studies on Multiferroicity in Transition Metal Oxides

Kunihiko Yamauchi*

ISIR-SANKEN, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

“*Multiferroics*” are attractive multifunctional materials where magnetism and ferroelectricity are strongly coupled [1,2]. They are also playgrounds for magnetoelectric effect, which enables control of magnetization via external electric field. Multiferroics can be classified according to different driving forces, which primarily break the spatial inversion symmetry paving the way to ferroelectricity: (i) spin order, (ii) charge order and (iii) orbital order. In this talk, theoretical studies on the various multiferroics based on density functional theory (DFT) will be summarized.

In the first group, plenty of studies have been focused on spin-driven ferroelectricity in perovskite rare-earth manganites, $RMnO_3$. It has been known that antisymmetric Dzyaloshinskii–Moriya interaction causes weak electric polarization in spin-spiral $TbMnO_3$, while exchange striction mechanism causes stronger polarization in E-type antiferromagnetic $HoMnO_3$. Recently, a high-pressure experiment reported that $TbMnO_3$ shows the magnetoelectric phase transition to have large polarization, which is caused by the magnetic transition as confirmed by a DFT calculation [3].

In the second group, $LuFe_2O_4$ has emerged as a prototype of charge-order induced multiferroics for a long time, however, recently magnetite (Fe_3O_4) has been also suggested as a new candidate, which would depict it as the first multiferroic known to mankind. Magnetite shows the first-order metal-insulator Verwey transition at $T_V = 120$ K, below which the crystal structure has a polar Cc space group. By comparing the polar crystal structure with the centrosymmetric structure via DFT calculation, we got the sizable ferroelectric polarization, which value is consistent with the experimental measurement [4]. It is revealed that the ferroelectricity is induced by a polar charge-ordering and the polarization is primarily caused by local electric dipoles between divalent and trivalent Fe ions in magnetite.

If time permits, I would like to introduce an alternative mechanism of magnetoelectric effect, called “spin-dependent *pd* hybridization”. It has been reported that the mechanism can be responsible for the magnetoelectric effect observed in $Ba_2CoGe_2O_7$, where two neighboring Co spins are aligned in a C-type antiferromagnetic configuration. According to a theoretical analysis, the microscopic origin of the magnetoelectricity is based on two relevant ingredients, i.e., the anisotropic *p-d* hybridization between Co and O states and the on-site spin-orbit coupling at Co sites [5]. This mechanism may be applied to magnetoelectric effect measured in magnetite [6].

References

- [1] S. W. Cheong and M. Mostovoy, *Nature Mater.* **6**, 13 (2007).
- [2] K. Yamauchi and P. Barone, *J. Phys.: Condens. Matter* **26**, 103201 (2014).
- [3] T. Aoyama, K. Yamauchi, *et al.*, *Nat. Commun.* **5**, 5927 (2014).
- [4] K. Yamauchi, T. Fukushima, and S. Picozzi, *Phys. Rev. B* **79**, 212404 (2009).
- [5] K. Yamauchi, P. Barone, and S. Picozzi, *Phys. Rev. B* **84**, 165137 (2011).
- [6] K. Yamauchi and S. Picozzi, *Phys. Rev. B* **85**, 085131 (2012).

Record-high spin-driven polarization and light-matter interactions in BiFeO₃

Jun Hee Lee*

Ulsan National Institute of Science & Technology, Ulsan, Korea

Although BiFeO₃ is one of the most investigated multiferroics, its magnetoelectric couplings are barely understood on an atomic level. By combining a first-principles approach with a spin-cycloid model, we report hidden but huge spin-driven polarizations at room temperature in bulk BiFeO₃. One of the ferroelectric polarizations reaches $\sim 3.0 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, which is larger than any other spin-driven polarization in a bulk material by one order of magnitude [1]. The broken inversion symmetries of the *R3c* BiFeO₃ induce the strong response of the magnetic interactions to an electric field and are responsible for the associated huge spin-driven polarizations. Second, we show strong THz non-reciprocal directional dichroism induced by the spin-driven polarizations [2]. The broken inversion symmetries of the *R3c* structure are responsible for the huge spin-driven polarizations and subsequent uni-directional light propagation at room temperature. Beyond the spin-current polarization governed by the inverse Dzyaloshinskii-Moriya interaction, various spin-current polarizations derived from both ferroelectric and antiferrodistortive distortions cooperatively produce the strong non-reciprocal directional dichroism or the asymmetry in the absorption of counter-propagating light in BiFeO₃. Our systematic approach can be generally applied to any multiferroic material, laying the foundation for exploiting optical magnetoelectric effects in the next generation of technological devices such as optical diodes [3,4].

References

- [1] J. H. Lee* and R. Fishman, Physical Review Letters 115, 207203 (2015).
- [2] R. Fishman, J. H. Lee*, *et al.*, Physical Review B 92, 094422 (2015).
- [3] I. Kezsmarki, U. Nagel, S. Bordacs, R. S. Fishman, J. H. Lee* *et al.*, Physical Review Letters 115, 127203 (2015).
- [4] J. H. Lee* and R. Fishman, New Journal of Physics 18, 043025 (2016).

DFT calculations for magnetic systems

- a simple guide for non-experts

S. H. Rhim^{*}

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

A simple guide on first-principles calculations for non-experts will be given.

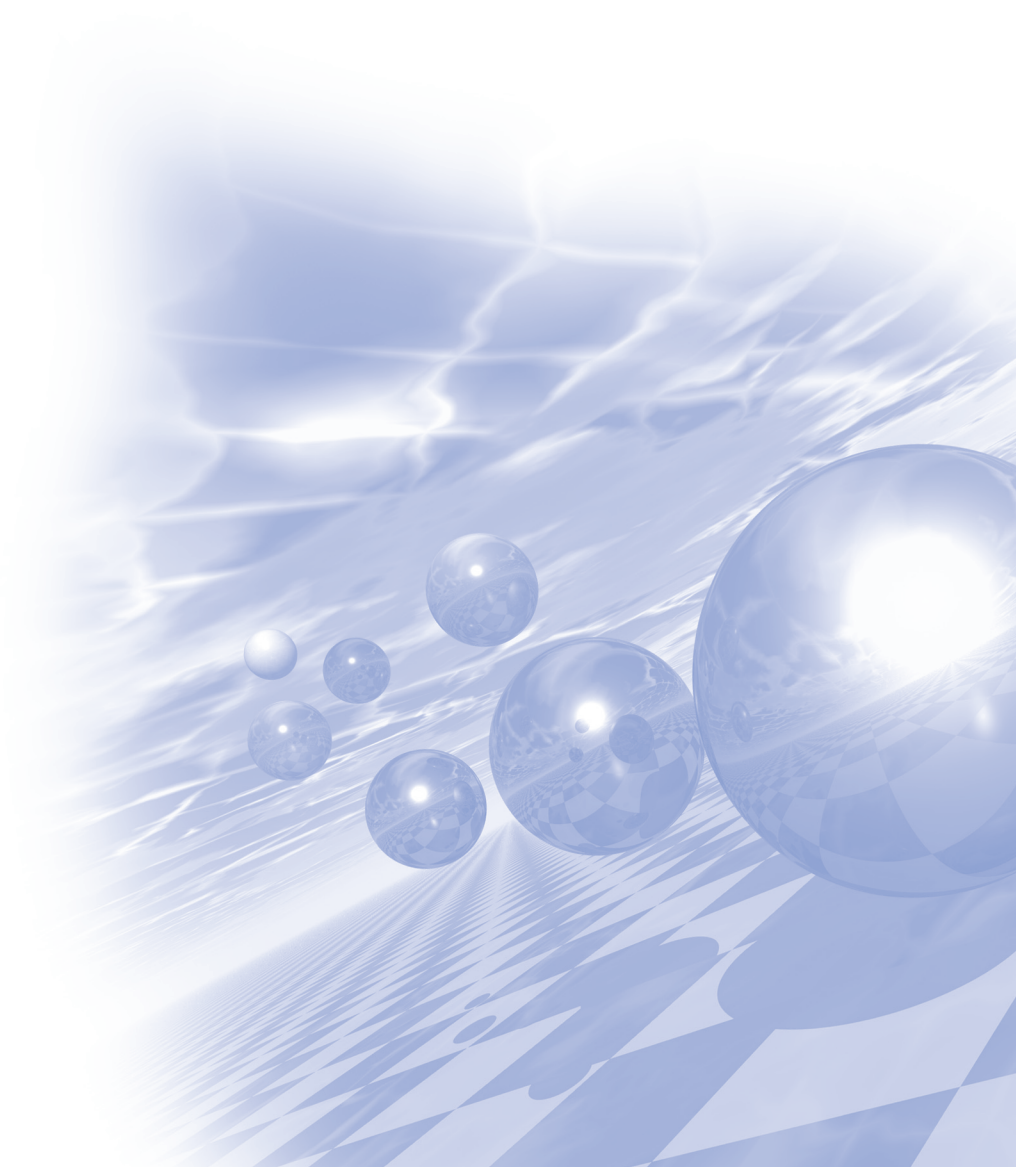
First, a brief outline of density functional theory will be provided with classification and summary of various first-principles method and name of packages. Issues with magnetism in the scope of DFT realm are listed first, and DFT approach for those properties will be reviewed - basic magnetism, magneto-crystalline anisotropy(MCA), magnetic circular dichroism (MCD), and magneto-optical Kerr effect (MOKE). Comparison with experiments and recently popular Berry phase technique will be covered as well.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

구두발표 I

(Hard/Oxide/Nano struc.)



Nd₂Fe₁₄B 소결자석에서 확산물질에 따른 Dy의 입계확산 거동

차희령^{1,2*}, 유지훈¹, 권해웅³, 김양도², 이정구¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소

²부산대학교

³부경대학교

최근 하이브리드/전기자동차의 수요증가와 함께 이들의 구동모터에 사용하기 위한 Nd계 영구자석의 수요 또한 증가하고 있다. 내열특성이 취약한 Nd₂Fe₁₄B 영구자석을 고온, 고출력 환경에서 안정적으로 사용하기 위해서는 상온에서 높은 보자력이 요구되며, 현재 고보자력의 Nd₂Fe₁₄B 자석을 제조하기 위해서 Dy와 같은 중희토류 금속을 첨가하고 있다. 하지만 Dy의 경우 자원이 한정되어있어 자원의 수급이 불안정할 뿐만 아니라 첨가량이 증가할수록 자석의 세기가 저하되기 때문에 최근에는 자석의 결정립 크기 또는 입계상 등의 미세구조 제어를 통해 Dy의 사용량을 줄이면서 보자력을 향상시킬 수 있는 기술에 대한 연구가 주목받고 있다. Nd₂Fe₁₄B 자석의 입계확산 기술은 Dy를 핵생성이 쉬운 입계 영역에 집중적으로 분포시킴으로서 적은 양의 Dy 첨가로도 높은 보자력을 얻을 수 있는 대표적인 방법 중 하나로 확산 물질로는 주로 DyF₃, DyH_x 등이 사용된다.

본 연구에서는 Nd_{21.8}Pr_{6.7}Dy_{1.4}Fe_{bal}B_{0.9}M(Co,Al,Cu,Ga,Nb)_{2.0} (wt.%) 조성의 소결자석에 DyF₃와 DyH_x를 입계 확산처리하여 확산물질에 따른 Dy의 입계확산 거동을 관찰하였다. 실험은 먼저 제조된 중희토화합물 슬러리에 자석을 담궈 자석 표면에 확산물질을 도포하였다. 도포완료 된 시료는 건조 후 750~900℃에서 확산 열처리하였으며 입계상 제어를 위해 500℃에서 다시 후열처리를 시행하였다. 이 때 자석의 입계확산 과정에서 화합물의 F와 H가 어떠한 영향을 미치는지 관찰하였으며 도포물질 및 도포량에 따른 자기특성 및 미세구조 변화를 살펴보았다. 제조 된 자석의 미세구조 및 자기특성은 SEM 및 BH-tracer를 통해 분석하였다.

DyF₃ paste를 활용한 Nd-Fe-B 입계확산 자석의 보자력 향상 연구

전광원*, 차희령, 이정구*

한국기계연구원 부설 재료연구소

1. 서론

자성 재료는 전기적 에너지와 기계적 에너지가 상호변환이 가능한 유일한 소재로, 발전기, 모터 등과 같은 에너지 변환 소재에 주로 사용되고 있다. 이러한 에너지 변환 소재의 높은 효율을 위해서는 높은 특성의 영구 자석을 사용하여야 한다. Nd-Fe-B 영구자석이 주로 사용되고 있으나, 최근 친환경 자동차(하이브리드 및 전기 자동차)에 적용되는 구동 모터는 사용온도가 150℃ 이상으로 높아 상대적으로 낮은 큐리 온도와 높은 보자력 온도계수를 지니는 Nd-Fe-B계 영구자석을 사용하기 힘들다는 단점이 있다. 그로 인하여 고온에서 사용하기 위해서 Nd-Fe-B 영구자석에 Dy 또는 Tb와 같은 중희토류원소(HRE)를 첨가하여 보자력(iH_c)을 향상시키는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 중희토류 원소는 상대적으로 가격이 비싸고, 매장량이 한정되어 있어 Dy의 첨가량을 줄이려는 연구가 많이 진행되고 있으며, 주로 dip-coating을 통한 입계확산공정을 통해 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 기존 dip-coating 기법에 의한 입계확산 공정은 Nd-Fe-B 자석 표면에 균질한 Dy 금속염을 도포하기 힘들고, 공정 중 loss가 발생하기 쉽다는 단점이 있다. 본 연구에서는 DyF₃ 분말을 이용하여 점도가 높은 DyF₃ paste를 제조하고 이를 tape casting 기법으로 균질하게 도포하고 입계확산 공정을 통해서 Nd-Fe-B 소결 자석의 보자력을 향상이 향상된 Nd-Fe-B 소결자석을 제조하고자 하였다.

2. 실험방법

paste를 제조하기 위하여 ethanol에 ethyl cellulose를 3~10 wt%로 조절하여 용해시켜 기본 paste 용액을 제조하였다. 응집되어있는 DyF₃ 분말을 유발을 이용하여 약 5분 동안 파쇄하여 앞서 제조된 기본 paste 용액에 질량비로 5:5, 6:4, 7:3의 비율로 혼합하여 DyF₃ paste를 제조하였다. 제조된 DyF₃ paste를 tape casting 기법을 이용하여 Nd-Fe-B 소결 자석에 약 100 μ m 두께로 균질하게 도포하였다. DyF₃ paste가 도포된 Nd-Fe-B 소결 자석은 850℃에서 12시간 동안 10⁻⁵ torr 진공 분위기에서 입계확산 공정을 진행하였고, 500℃에서 2시간 동안 추가 열처리를 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

Binder로 사용되는 ethyl cellulose는 열분석 결과 약 400℃에서 대부분 제거가 되었다. DyF₃ paste를 도포한 Nd-Fe-B 소결 자석의 입계확산 공정 동안 400℃에서 1시간의 탈지 공정이 없는 경우 잔류하고 있는 ethyl cellulose에 의해 Dy가 충분히 확산되지 않아 탈지 공정이 있는 시편에 비하여 보자력의 향상 정도가 덜한 것으로 나타났다. 또한, DyF₃ paste 내에서 DyF₃ 분말의 함량이 높을수록 보자력이 더욱 향상되는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 DyF₃ 분말을 이용하여 paste를 제조하였고, 제조된 DyF₃ paste를 Nd-Fe-B 소결 자석에 균질하게 도포하여 입계확산 공정을 진행하였다. 입계확산 공정 중 binder를 제거하기 위한 탈지 공정의 유무를 통해 탈지 공정이 Nd-Fe-B 소결 자석의 보자력 향상에 영향을 미침을 확인하였고, ethanol 내 ethyl cellulose의 함량이 낮을수록, paste 내 DyF₃ 분말의 함량이 높을수록 보자력의 향상 정도가 높아지는 것을 확인하였다.

5. 참고문헌

- [1] J. Lee, Y. Baek, J. Yu, and C. Choi, *J. Korean Powder Metall. Inst.*, vol. 19, pp. 151, 2012.
- [2] D. Brown, Z. Wu, F. He, D. Miller, and J. Herchenroeder, *J. Phys. Condens. matter*, vol. 26, pp. 064202, 2014.
- [3] S. Hirosawa, *J. Magn. Soc. Jpn.*, vol. 39, pp. 85, 2015.

전기영동법으로 코팅한 DyF₃의 확산처리를 이용한 Nd-Fe-B 계 자성분말의 보자력 향상

김경민^{1*}, 권해웅¹, 이정구², 유지훈², 김태훈³, 양철웅³

¹부경대학교 재료공학과, 부산광역시 남구 신선로 365, 48513

²재료연구소, 경상남도 창원시 성산구 창원대로 797, 51508

³성균관대학교 신소재공학부, 수원시 장안구 서부로 2066, 16419

1. 서론

Nd-Fe-B계 고성능 영구자석의 응용분야가 여러 산업분야에서 확대되면서 고밀도의 벌크자석에서 뿐만 아니라 본드자석용 분말에서도 높은 보자력이 요구되고 있다. Nd-Fe-B계 영구자석에서 보자력을 높이는 일반적인 방법은 Tb, Dy와 같은 중희토류 원소로 Nd₂Fe₁₄B경자성상의 Nd의 일부를 치환해서 Nd₂Fe₁₄B경자성상의 이방성 자장을 높이는 것이다. Nd-Fe-B계 자석에서 Nd의 일부를 중희토류 원소로 치환하기 위해서 널리 이용되는 기술은 합금화 방법 혹은 결정립계 확산방법 등이다. 전반적인 자기적 성능을 고려할 때 결정립계 확산방법이 유리하여 최근에는 이 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 결정립계 확산방법에서 중희토류 원소의 공급원으로서 RF₃(R = 희토류 원소)와 같은 염이 널리 이용되고 있으며, RF₃ 염을 알코올과 같은 용매와 혼합하여 현탁액을 제조하고 이를 소결자석 등 고밀도자석의 표면에 코팅, 건조 후 고온 확산처리 한다. 본 연구에서는 Nd-Fe-B계 자성분말 입자를 DyF₃염으로 코팅하고 확산처리하여 보자력을 향상시키고자 하였다. Nd-Fe-B계 자성분말 입자를 DyF₃ 염으로 코팅하기 위하여 전기영동법 (EPD : Electrophoresis Deposition)을 적용하였으며, 흔히 이용하는 현탁액과의 혼합을 이용하는 코팅법 (dipping)과 비교하여 보자력 향상에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 사용한 Nd-Fe-B계 자성분말은 HDDR 처리하여 제조한 Nd_{12.5}Fe_{80.6}B_{6.4}Ga_{0.3}Nb_{0.2} 분말이며, 여러 가지 농도의 DyF₃ 염-알코올 현탁액에 자성분말을 혼합한 후 EPD 및 dipping 법으로 자성입자 표면을 DyF₃로 코팅하였다. 염으로 코팅한 자성분말은 완전히 건조시킨 후 진공 중 800 °C에서 확산 처리하였다. 재료의 자기적 특성은 VSM 을 이용하여 측정하였으며 미세구조는 TEM 및 SEM으로 조사하였다. 확산 처리 후 재료 내 원소 분석은 EPMA를 이용하여 실시하였다.

3. 실험결과

- 자성입자 표면에 형성된 DyF₃염 코팅막은 EPD법을 적용한 경우가 dipping법을 적용한 경우에 비하여 훨씬 균일하였다.
- 최적의 확산처리 후 보자력의 향상효과는 EP법을 적용한 경우가 dipping법을 적용한 경우에 비하여 높았다. 확산 처리하지 않은 초기 분말에서 12.5 kOe였던 보자력은 EPD법을 적용한 경우에는 16 kOe로 증가하여 약 3.5 kOe의 향상을 보였으며 dipping 법을 적용한 경우에는 14 kOe로 증가하여 1.5 kOe의 향상을 보이는데 그쳤다 (Fig. 1).
- DyF₃염 확산처리하지 않은 자성분말의 보자력은 고온 어닐링 후 냉각속도에 크게 영향을 받았다. 급냉한 경우의 보자력이 서냉한 경우에 비하여 높게 나타났다. 그러나, DyF₃염을 확산처리한 자성분말의 보자력은 고온 확산 처리 후 냉각속도에 크게 영향을 받지 않았다.

- dipping법을 적용한 경우에 비하여 EPD법을 적용한 경우에는 DyF_3 염의 코팅량에 따른 보자력의 변화가 크지 않았다.

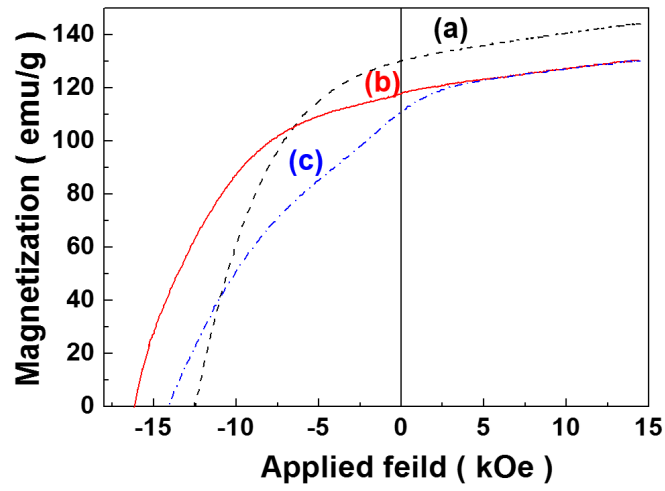


Fig. 1. Demagnetisation curves of the $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ powder.
(a) initial, and 2 wt% DyF_3 coated by (b) EPD or (c) dipping. Diffusion-treated at 800 °C.

Magnetic properties in $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ru}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ thin film

Chang Uk JUNG* and Umasankar Dash

Department of Physics and Oxide Research Center, Hankuk University of Foreign Studies,
Yongin, Gyeonggi 17035, Korea

*cu-jung@hufs.ac.kr

1. Introduction

The Mamchik et al. measured the magnetotransport behavior and ferromagnetism in $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ru}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ (SLRFO) polycrystalline material.[1] They observed spin glass behavior and high negative magnetoresistance in spin-frustrated SLRFO polycrystalline material. Their results accompanied by grain boundary and a disorder in the material. Gupta et al. studied the effect of grain boundary on the magnetoresistance behavior of LCMO bulk polycrystalline materials. They showed that domain boundaries have a major role in spin dependent scattering in LCMO polycrystalline samples and the value of MR in LCMO epitaxial thin films is less as compared to bulk polycrystalline samples.

In our earlier report, we had shown by using epitaxial strain, we could stabilize single crystalline thin film of $\text{Sr}(\text{Ru},\text{Fe})\text{O}_3$ thin films without co-doping in Sr site and we had tried to address the ‘intrinsic’ aspect of ‘self-spin valve’.[2] However we changed two things together, co-doping vs. single doping and polycrystal vs. epitaxial thin film. Now we want to focus on only one change from the Mamchik’s work; polycrystal vs epi thin film. In the current study, we made single crystalline epitaxial thin films of $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ru}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x = 0.00, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30$) on SrTiO_3 (001) substrates.

2. Experimental

For the current study, LaFeO_3 doped SrRuO_3 epitaxial thin films $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ru}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x = 0.05, 0.10, 0.20, 0.30$) on STO (001) substrate were grown by pulsed laser deposition, using KrF excimer Laser (35 mJ/cm^2 , 4Hz). The substrate temperature was maintained around 750°C during thin film growth. Two different oxygen partial pressures were used during the film deposition. SLRFO 5 and 10% films were deposited on 175 mTorr whereas SLRFO 20% and 30% films were deposited on 250 mTorr oxygen partial pressure. As we know oxygen partial pressure has the key role in determining the quality of thin films. This oxygen partial pressure is higher than that for the earlier oxygen deficient films in our previous study.[2] The thickness of films have been characterized by field emission transmission electron microscope (FESEM) and found to be about 60 nm. Surface morphology and lattice parameters were used to evaluate the film quality. Crystal structure was characterized by using high-resolution X-ray diffraction. Surface morphology of films was analyzed by atomic force microscopy. Magnetic measurements were carried out by using a superconducting quantum interface device Vibrating sample magnetometer (SQUID-VSM). In order to investigate the magnetoresistance (MR), we have used a standard four point hall bar geometry for all thin films. A magnetic field up to 9 T was applied parallel to the applied current. By applying magnetic field sweep 9 T, the sample resistivity (R_{xx}) decreased giving rise to negative magnetoresistance. The temperature dependence resistance and field dependence resistance of all compositions were measured by using a cryogen-free cryostat and dual channel source measure unit (Keithley).

3. Results and Conclusion

All the films showed excellent *c*-axis orientation with the STO (001) substrate. The change of the calculated *c*-axis lattice constant remains the same within ± 0.003 Å. The reciprocal space mapping showed that SLRFO has grown coherently with the in-plane lattice constant values as same as those of the underlying STO (001) substrate. Zero field resistivity values of the SLRFO films were measured and compared with that for Ru doped film, SLRO bulk crystal. In comparison between SRFO with higher oxygen vacancy and SRFO with lower oxygen vacancy, higher oxygen vacancy in the film gives pronounced effects on the resistivity at low-temperature while high-temperature resistivity does not change much. The Co-doping of La³⁺ at Sr²⁺ site together with Fe³⁺ doping at Ru⁴⁺ site was reported to be useful to make single phase sample in poly-crystal. The Co-doping in SRO thin film increased resistivity much more than single Fe doping in SRO thin film while the latter accompanies with oxygen vacancy problem. The disorder affecting the increase of resistivity is stronger for co-doping shown in SLRFO than single doping with oxygen vacancy in the SRFO. Also making thin films of SLRFO, we could minimize the contribution of grain boundary and can compare MR with bulk magnetic measurement. We have observed a large negative magnetoresistance (~35%) in SLRFO epitaxial thin films grown on STO (001) substrates. With increasing LFO doping concentration, decreasing *T_c* and increasing resistivity of the thin film was observed. It was found that metal insulator transition persists in the SLRFO epitaxial thin film. Upon application of external magnetic field sweep up to 9 T the film resistivity decreased giving rise to a large negative magnetoresistance which was stronger in low temperature (down to 10 K). It was also noticed that the absolute value of MR increased with increase in doping concentration from $x = 0.05$ % to 0.30%.

4. References

- [1] A. Mamchik, et. al., Phy. Rev. B. 70, 104409 (2004).
- [2] K. R. N. Toreh, et. al., J. Alloys Compd. 657, 224 (2016).

Influence of the tip material on the formation and resistive switching properties of NiO nanodots

Jihye Kim^{1,2*}, William Jo¹ and Christian Mény²

¹Department of Physics, Ewha Womans University, Seoul, 03760, Korea

²Institutes of Physics and Chemistry of Materials of Strasbourg, UMR 7504 ULP-CNRS, Strasbourg, 67043, France

E-mail: wmjo@ewha.ac.kr, christian.meny@ipcms.unistra.fr

Resistive switching (RS) consists in changing the resistance state (low resistance state, LRS to High resistance state, HRS or inversely) of a device through the application of an external voltage or current.¹ It has been suggested that the interface effects between electrodes and thin film are critical parameters for understanding the RS behavior.² Most of RS behaviors have been studied extensively in thin films with various electrode materials. Few studies on RS behaviors in nanodots have been reported so far. Since the AFM probe can also be used as the top electrode, effects of the electrode material can also be studied. Au and Co-coated tips are used to study material effects on the formation of NiO nanodots. The formation results showed a large dependence on the tip material in the formation of NiO nanodots. Under sufficient humidity, the tip material dependence on the formation of nanodots seems to indicate that the interface effect between the tip and sample surface could be a more important parameter than other parameters. It could be related to the change of the end-shape of the tip during electric field application. The end-shape of the tip may also result in different magnitude of induced electric field between tip and sample surface. NiO nanodots we have grown show bipolar resistive switching characteristics, but the detailed analysis of electrical transport properties show a behavior that was very different depending on the tip material. Moreover, HRS/LRS ratio (on/off ratio) of the tips is different under positive bias, while the ratio is similar under negative bias. The tip material dependence of RS properties could be described by work function and oxygen affinity. Since the oxygen affinity of Co is large, a cobalt oxide layer could be formed at the surface of the Co tip when positive bias is applied. The electrical current transport mechanism can be explained using I-V fitting with various contact barrier models like the Richardson Schottky Simmons model. My work suggests that it is possible to improve RS characteristic by selecting an appropriate electrode material in nanoscale devices.

References

- [1] D. B. Strukov, G. S. Snider, D. R. Stewart and R. S. Williams, *Nature*, **453**, 80 (2008).
- [2] N. Ge, M. Zhang, L. Zhang, J. J. Yang, Z. Li and R. S. Williams, *Semicond. Sci. Technol.* **29**, 104003 (2014).

사출식 영구 자석에 의한 IPM모터의 특성 향상에 관한 연구

하정무^{1*}, 박관수²

¹LG전자 모터연구실

²부산대학교

1. 서론

주 성분인 희토류 금속은 특정 지역에 편중된 매장량으로 불안정한 가격을 가진다.

[그림1]에서와 보는 바와 같이 희토류 금속 가격이 2011년 상반기에 급격하게 상승을 하였다.

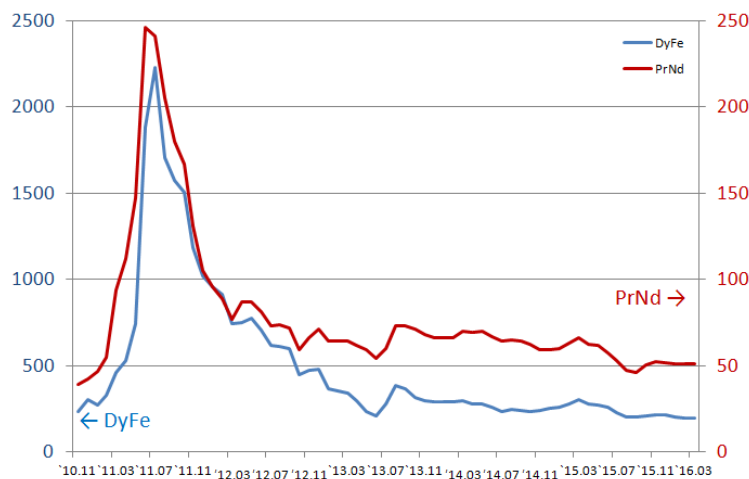


그림 1. 희토류 금속 가격 추이

주 성분인 희토류 금속의 불안정한 공급으로 원활한 자석 공급이 되지 않는다.

그 중 Dy(디스포슘)이 심각하여, Dy를 함유하지 자석의 많은 자석을 적용한 모터가 필요로 한다.

2. 실험 방법과 결과

가정용 모터에 주로 사용하는 자석의 특성을 비교를 하였다, Nd(소결식) 자석이 자석의 세기가 강하며, 고 출력 모터 및 소형화에 유리하며, Ferrite 자석은 자석의 세기가 약한 반면 저렴한 가격으로 범용으로 사용을 하고 있다,

반면 Nd(사출식) 자석은 Nd(소결식) 자석과 Ferrite 자석의 중간 특성을 가진다.

Nd(소결식) 자석은은 중희토류 금속인 Dy(디스포슘)을 함유 하지 않는 특징이 있다.

표 1. 영구 자석 종류별 특성 표

구성성분	Nd(소결식)	Nd(사출식)	Ferrite
Br(kG)	13.1	7.4	4.4
J max(kG)	13.5	7.6	4.6
B max(Bs) (kG)	62.6	32.0	17.2
iHc(kOe)	22.7	14.7	4.5
bHc(kOe)	12.7	6.1	4.1

[그림2]와 같이 동일한 모터 코어의 형상에 자석 특성을 반영한 해석 결과에서 자석에 따른 특성이 나타난다. 자석의 세기가 가장 큰 Nd(소결식) 자석을 이용한 모터가 동일 전류 시 토크, 효율 가장 우수한 반면, Ferrite 자석을 이용한 모터는 토크, 효율이 가장 좋지 않은 결과가 나타난다

자석의 세기에 따라 나타나는 현상으로 자석의 세기에 따라 모터의 토크의 크기가 비례([그림3])하고, 자석의 세기가 가장 큰 Nd(소결식) 자석을 이용한 모터가 동일 전류 시 토크, 효율 가장 우수한 반면, Ferrite 자석을 이용한 모터는 토크, 효율이 가장 좋지 않은 결과([표2])가 나타난다

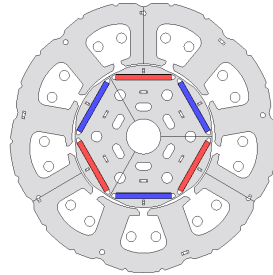


그림 2. 모터 특성 해석 모델

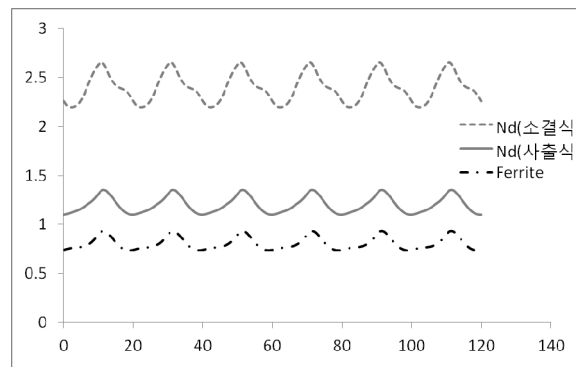


그림 3. 영구 자석 종류에 따른 토크 특성

표 3. 영구 자석 종류에 따른 모터 특성

구분	Nd(소결식)	Nd(사출식)	Ferrite
Speed(rps)	60	60	60
Current(rms)	3.73	7.10	9.60
Total Torq.	2.40	2.40	2.40
Kt	0.64	0.34	0.25
Output(Watt)	905.1	905.3	905.2
Input(Watt)	952.6	1,038.1	1,143.6
Efficiency(%)	95.0	87.2	79.2

3. 고찰

영구 자석 특성에 따라 모터의 특성의 차이가 있는 것을 확인을 하였다. 각 영구 자석 특성을 이해하고, 적용된 영구 자석을 바탕으로 모터의 특성을 이해 하고 최적화 되는 모터의 설계를 할 수가 있다.

4. 참고 문헌

희토류 자석 저감을 위한 영구자석 동기전동기 구조에 관한 연구

First-principles prediction of novel $\text{Fe}_{14}\text{M}_2\text{N}_2$ (M=Al, W, Zr) alloys with high coercivity

Taewon Min^{*}, Jinho Byun, Hyoungjeen Jeon, Sungkyun Park, Jaekwang Lee

Department of Physics, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

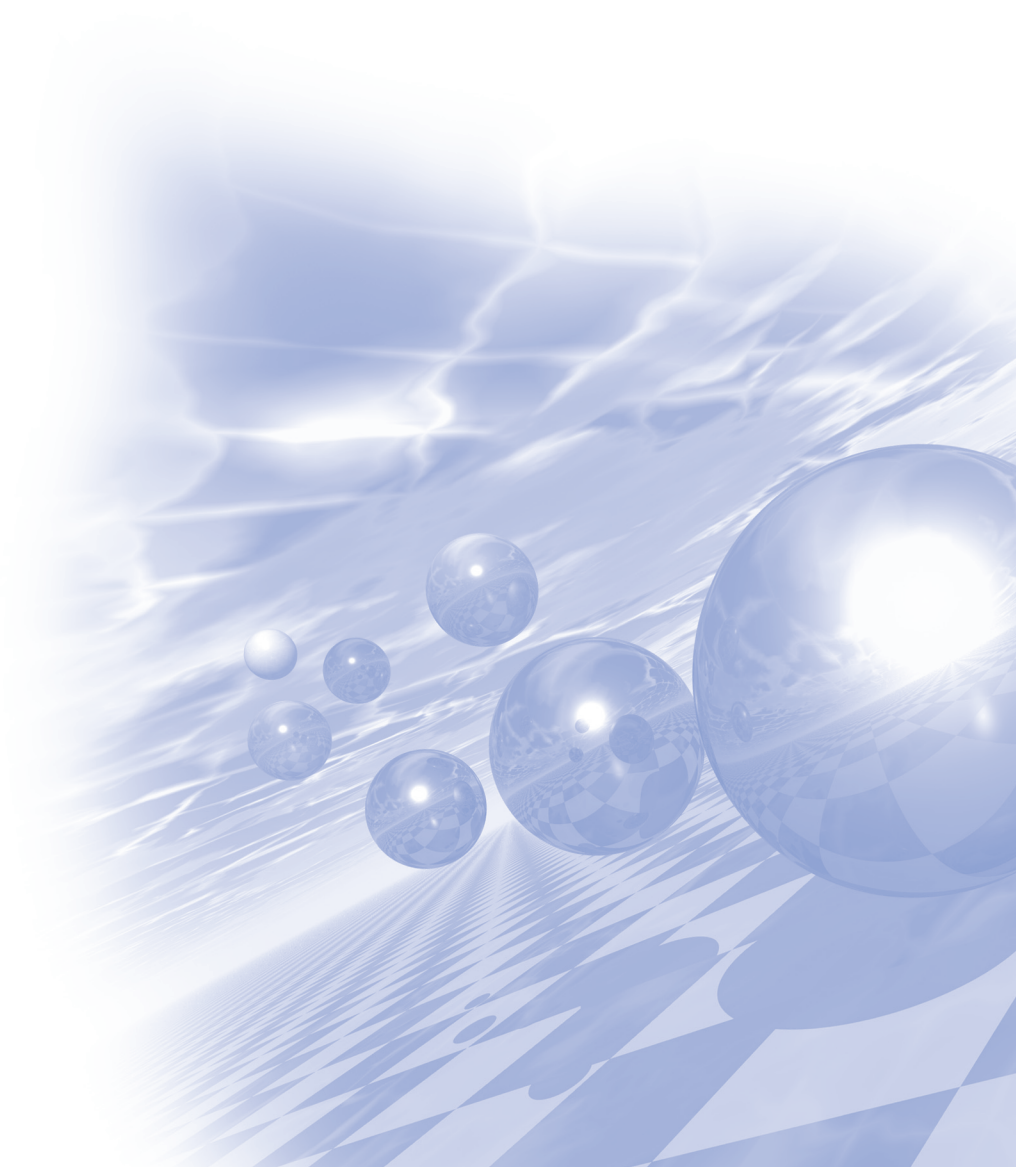
Fe_{16}N_2 has a potential applications as one of the promising rare-earth-free permanent magnets due to its extremely high magnetization. However, the low coercivity of Fe_{16}N_2 hinders its practical application. Here, using density functional theory calculations, we explored the change of tetragonality, volume and magnetization in various $\text{Fe}_{14}\text{M}_2\text{N}_2$ (M=Al, W, Zr) alloys depending on atomic position of two M atoms. We find that a $\text{Fe}_{14}\text{Zr}_2\text{N}_2$ alloy has a tetragonality of 1.29 and exhibit almost ten times higher coercivity than the Fe_{16}N_2 coercivity, which will be desirable for the application. We expect that our results provide essential information to understand the underlying mechanism related to coercivity, and develop novel Fe_{16}N_2 -based permanent magnets with high coercivity.

This work was supported by the Industrial Strategic Technology Development Program (10062130, Theory-driven R&D for non-centrosymmetric structured rare-earth free Fe-based permanent magnet materials) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MI, Korea).



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

초청강연 II



Effect of Alternative Magnetic Field on the Cancer Cells - Suppressing Frequency -

황도근*, 박혜지

상지대학교 한방의료공학과

자기장을 이용한 의료가기 분야에서는 대부분 진단기기로 많이 이용되고 있다. 자기장 치료시스템의 경우 비접촉, 비침습적이라는 장점을 가지고 있으나 그 치료효과에 있어 치료시간이 소요되며 결과도 생물학적인 뚜렷한 결과를 내기 어렵다는 점에서 임상부분에서도 많은 연구가 필요하다.[1] 실제로 자기장이 인체에 미치는 정확한 생체기전은 밝혀지지 않고 있기 때문에 자기장 치료기의 다양한 질병에 대한 적용을 위해서 지금까지 사용되지 않은 자기장의 다양한 주파수 영역과 세기조절을 이용한 연구와 응용이 필요하다.[2-4]

본 연구에서는 암세포에 교류자기장(세기: 5mT, 주파수: 200 Hz - 2 kHz)을 인가하여 암세포의 성장률 및 성장률 측정하였고, Western blot을 이용하여 성장단백질의 변화를 확인 하였다. 또한 교류자기장을 자극 받은 암세포 내 이온채널들의 변화를 확인하기 위해 세포 내 칼슘 양의 변화를 확인 하였다. 특히 본 연구에서는 암세포의 종류를 다양하게 선정하였다. 세포배양시 세포의 수가 두배가 되는 doubling time이 24시간인, 쥐 호염기성 백혈병 암세포(RBL-2H3, rat basophilic leukemia)와 doubling time이 48시간 인, 인간 간암세포(HepG2, hepatocellular carcinoma), doubling time이 72시간 인, 인간 유방암세포(BT-20, breast cancer cells)를 주파수에 따라 세포 증식률 차이를 조사하였다. 또한 암세포와 정상세포 간에 증식률 차이를 비교분석하기 위해 간 정상세포(WRL-68, human liver cells)과 유방 정상세포(MCF-10A, breast cancer)를 조사하였다.

교류자기장 자극은 switched-mode power supply와 디지털 제어 회로로 이루어진 시스템을 사용하였으며, 24에서 72시간 이상의 장시간 자기장자극 동안 열적 안정성을 조절하기 위해 duty factor를 도입하여 자기장세기(5 mT)를 유지하며 주파수 변화(200 Hz- 2 kHz)까지 변화시키며 증식률을 조사하였다. 또한 세포에 자극하는 자기장자극 시스템은 냉각 수조를 이용하여 자기장 코일 위에 냉각수가 흐르게 하여 코일의 열 발생을 최소화 하였다. 적외선 온도계를 이용하여 실시간으로 세포의 온도를 모니터링 하여 열적 안정성을 37 °C 로 유지 하였다. 각각의 세포의 doubling time에 따라 백혈구 암세포, RBL-2H3 에서는 24 시간, 간세포인 HepG2와 WRL-68에서는 48시간, 유방세포인 BT-20과 MCF10A 에서는 72시간 자극하였다.

각 세포의 성장률을 확인한 결과, 그림 1에서와 같이 3가지 종류의 암세포는 각각 다른 주파수영역에서 성장률 차이를 확인하였다. RBL-2H3, HepG2, BT-20 3가지 암세포에서 특정주파수(1 kHz, 1. kHz, 2 kHz)에서 생존율이 최소로 감소하였다. 단지 유방암세포의 경우는 2 kHz 이상에서 조사하지 못했다. 발열문제를 해결하기 위해서 새로운 교류자기장 자극시스템을 시도하였다. 한편 각 부위의 암세포와 정상세포를 비교분석하기 위해 간 정상세포 WRL-68 과 유방 정상세포 MCF-10A 에서 성장률을 조사한 결과 정상세포는 모두 암세포의 증식률이 최소가 되는 특정주파수(Suppressing Frequency)에서 정상적으로 증식하여 암세포와 많은 차이를 보였다. 성장단백질 분석(Western blot)에서 자기장 자극받지 않은 Control cell 과 성장단백질의 양이 유의하게 감소하였다. 세포 내 칼슘 양 측정하는 calcium level 실험에서는 자기장자극 받은 암세포의 칼슘의 양이 유의하게 감소하였다.

본 연구결과, 교류자기장 자극이 암세포의 성장률과 생존율, 또한 암세포의 성장 단백질의 발현 농도와 세포 내 칼슘농도에 대한 분명히 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 또한 각각의 암세포의 성장률이 낮은 주파수 영역(Suppressing Frequency range)을 확인 하였고, 이에 대해 생물학적 분석 결과 성장단백질의 발현이 유의하게 감소하였으며 또한 세포 내 칼슘 이온들의 변화 또한 확인하였다. 본 연구에서는 신경을 포함한 대부분의

세 포막의 전해물질 이동이 이온들로 구성되어 있으며 이들의 교환시간이 수백Hz에서 수kHz의 주파수 영역과 일치하기 때문에 교류자기장을 이용한 생체의 반응 연구는 매우 중요한 것으로 예상하고 있다.

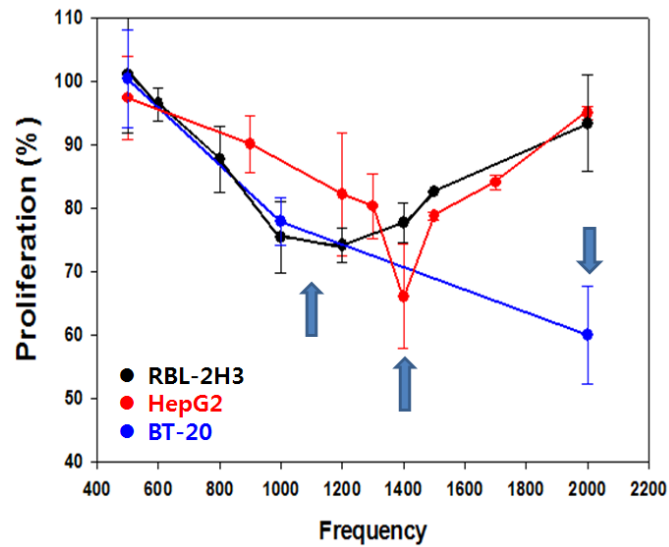


그림 1. 교류자기장 자극 주파수에 따른 암세포의 성장률

참고문헌

- [1] Bouwens, M., et al. Bioelectromagnetics 33(3):226-237.(2012)
- [2] Dallari, D., et al. Bioelectromagnetics 30(6):423-30.(2009)
- [3] Di Sabatino, A., et al.. J Immunol 183(5):3454-62.(2009)
- [4] Dini, L., et al.. Bioelectromagnetics 30(5):352-64. (2009)

4차 산업혁명과 자기학

김희중*

한국과학기술연구원

금년 봄 이세돌 9단과 인공지능 알파고가 세기의 바둑대결을 펼쳐 크게 세인의 주목을 받았다. 한편 금년 다보스포럼(WEF)의 주최자들은 인공지능과 로봇 등이 결합된 융합기술이 앞으로 산업과 사회의 패러다임을 바꾸면서 세상을 크게 변화시키는 4차 산업혁명으로 발전해 나갈 것이라고 주장하였다.

과거 증기기관의 등장(1차 산업혁명), 전기와 전화의 발명(2차), 디지털 정보기술의 혁신(3차)이 인류 사회의 많은 부분을 변모시킨 것을 아는 우리는 4차 산업혁명이 시작되었거나 목적에 두고 있다는 느낌을 받고 있다.

전자의 스핀현상에 기초한 자기학은 2차 산업혁명의 핵심인 전기의 발전과 변전 기계, 모터 등 전기-동력 변환을 응용하는 수많은 제품들을 발명하는 기반이 되었다. 또한 자기학은 벨이 발명한 자석식 전화기 등 통신 기계에도 핵심역할을 하였다.

3차 산업혁명의 기반이 된 정보기술에도 자기학의 공헌은 현저하였다. 아날로그형 정보저장장치인 워크맨과 같은 녹음기, VTR 등에 자기테이프가 결정적 기여를 하였다.

디지털 정보기술의 초기 발전도 자기학이 기반이 되었다. 메인프레임 컴퓨터의 정보처리장치(CPU)에 페라이트코어 메모리, 정보저장장치에 테이프 및 HDD가 주도적 역할을 하였다.

70년대 말 개발되어 정보혁명을 촉발한 스티브 잡스가 개발한 애플II PC에는 플로피디스크가 중요한 역할을 하였다. 애플의 iPod MP3의 개발에도 마이크로 HDD의 역할이 지대하였다.

그러나 현재 메인프레임의 CPU, PC의 정보저장장치, 오디오/비디오 기기들에서 자기부품은 대부분 반도체로 바뀐 상태이다. 정보기술분야에서는 현재 자기부품이 반도체와의 경쟁에서 우위를 상실한 상태라 해도 과언이 아니다.

하지만 현재 STT-MRAM을 비롯한 신개념의 자기메모리는 중요성을 인정받아 여러 반도체기업들에서 활발히 연구개발되고 있으므로 조만간 산업화가 될 가능성이 높다.

차세대 전기자동차나 일반 자동차에도 다양한 기능의 자기부품들의 사용이 대폭 증가할 것으로 여겨지고 있다.

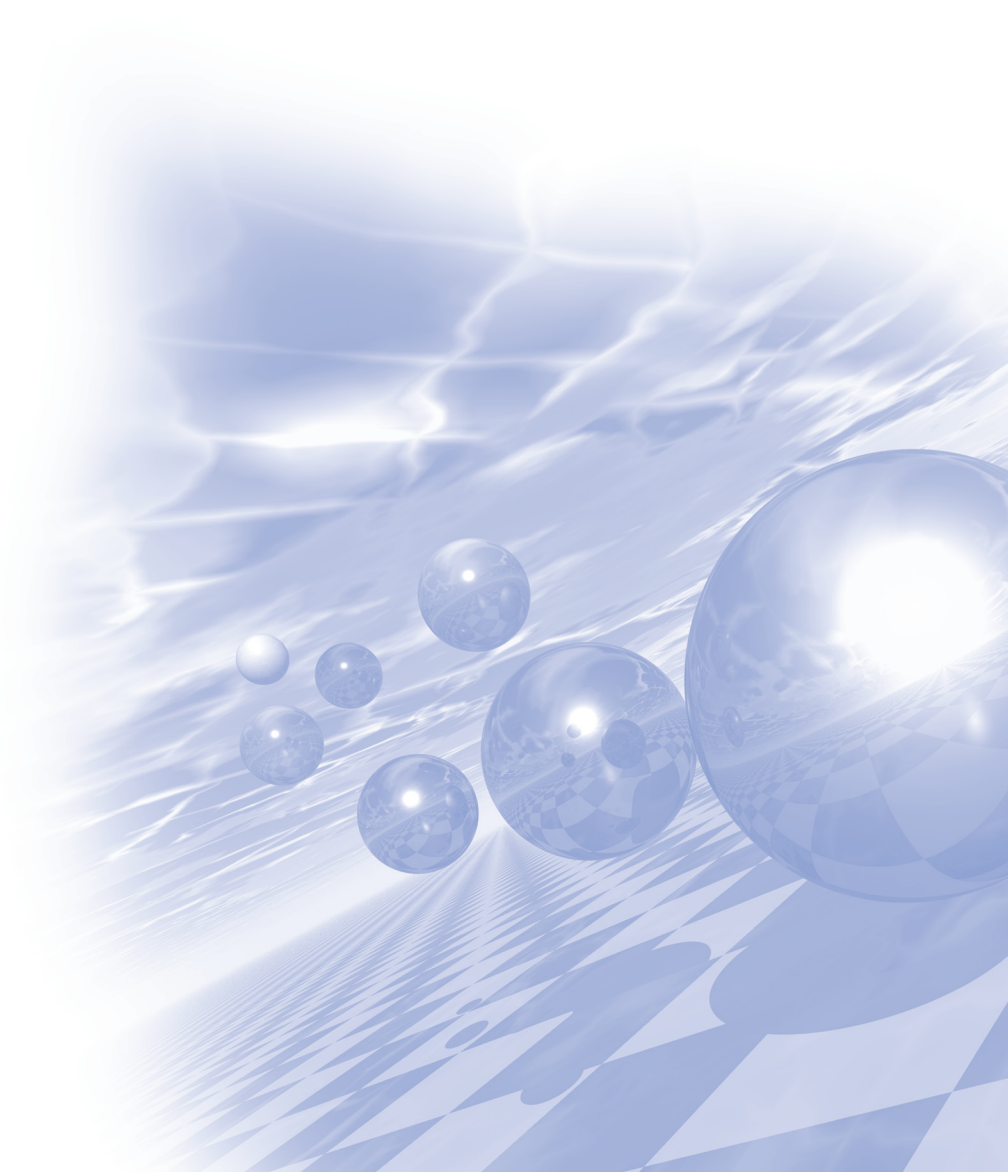
금번 강연에서는 과거 자기학이 2, 3차 산업혁명을 주도한 전기기술, 정보기술에 어떻게 활용되었는가를 역사적으로 살펴보고, 현재 도래하고 있는 4차 산업혁명시대에 자기학이 어떻게 대응할 것인가를 함께 생각해 보고자 한다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

Special Session V

**‘Design of novel rare-earth-free
permanent magnets’**



Theoretical Study of Rare-Earth Lean Magnet Compound NdFe₁₂N

Takashi Miyake^{1,2*}

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba 305-8568, Japan

²National Institute for Materials Science, Tsukuba 305-0047, Japan

*Takashi Miyake, E-mail: t-miyake@aist.go.jp

The ThMn₁₂-type iron-based rare-earth compounds have attracted interest as potential strong permanent magnet compounds because of their high iron content (low rare-earth content) which is favorable for achieving large magnetization. Recently, NdFe₁₂N film has been synthesized [1] following first-principles calculation [2], and it was reported that NdFe₁₂N exhibits larger saturation magnetization and anisotropy field than those of Nd₂Fe₁₄B. Here we present a theoretical study of this compound. Our first-principles calculations show that magnetism in NdFe₁₁TiX and NdFe₁₂X for X=B,C,N,O,F is sensitive to X. The magnetization is substantially larger for X=N,O,F than for X=B,C, while the magnetocrystalline anisotropy becomes the strongest for X=N [3]. Analysis using a classical spin-model clarifies that the magnetic anisotropy above the room temperature is strongly influenced by the exchange coupling between Fe and Nd [4,5]. We also report the effect of the third element M (M=Ti,V,Cr,Mn,Co,Ni,Cu,Zn) on the energetics and magnetism in NdFe₁₁M [6].

References

- [1] Y. Hirayama *et al.*, Scripta Materialia **95**, 70 (2015).
- [2] T. Miyake *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 043702 (2014).
- [3] Y. Harashima *et al.*, Phys. Rev. B **92**, 184426 (2015).
- [4] M. Matsumoto *et al.*, J. Appl. Phys. **119**, 213901 (2016).
- [5] Y. Toga *et al.*, arXiv:1606.00333.
- [6] Y. Harashima *et al.*, arXiv:1609.07227.

Optimization of spontaneous magnetization : Slater-Pauling curve revisited

B. I. Min*

Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, Pohang 37673, Korea

One of the key factors for the advanced permanent magnet is the large spontaneous magnetization. By investigating the magnetization variation of Fe-rich multicomponent alloys, the magnetization is optimized with average valency. For binary alloys of Fe-X (X=transition-metal(TM)), the characteristic mountain-shape Slater-Pauling curve for X=3d TM elements (Fig. 1) is produced even for X=4d-5d TM elements. For ternary alloys of Fe-Si-X, the magnetization is found to repeat the Si-absent binary pattern of the Slater-Pauling curve with the shifted reference moment. We have also investigated the magnetic properties of (FeX)₁₆N₂, Fe-Y (Y=s,p metal), and Fe-RE (RE-metallic elements), and discussed the materials design of advanced permanent magnets.

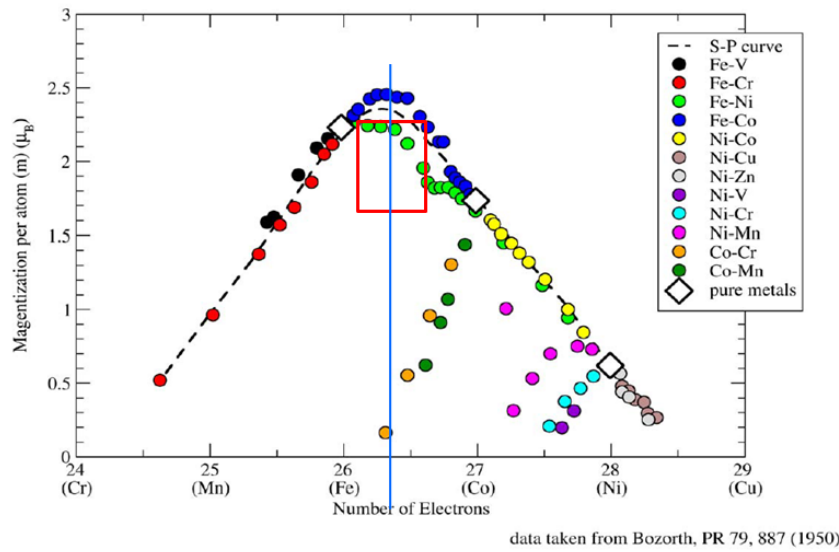


Fig. 1. Slater-Pauling curve [J. C. Slater, J. Appl. Phys. (1937) ; L. Pauling, Phys. Rev. (1938)]

Role of heavy transition metals on magnetic anisotropy in TM/Fe/MgO(001)

P. Taivansaikhani¹, D. Odkhuu², S. H. Rhim¹, and S. C. Hong^{1*}

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

²Department of Physics, Incheon National University, Incheon 406-772, Republic of Korea

Capping by 5d transition metal (TM= Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, and Au) on a typical magnetic tunnel junction Fe/MgO(001) is investigated using a first-principles calculations for their magnetism and magnetocrystalline anisotropy (MCA), which exhibits systematic changes with the atomic number of the capping TM. The early (late) TMs, less (more) than half-filled, show antiparallel (parallel) magnetizations with respect to Fe. This magnetic behavior is explained by kinetic exchange energy gain of electrons in the minority spin states of TMs and Fe. The cappings of the center TMs, Re, Os, and Ir, enhance MCA of Fe/MgO(001) significantly, particularly in Os/Fe/MgO(001) perpendicular MCA (PMCA) reaches gigantic 8.52 meV/cell. On the other hand, the cappings by the very early and the late TMs, Hf, Ta, and Au, do not change much the MCA of Fe/MgO(001), while the capping by W and Pt turn PMCA to in-plane. The variation of MCA is due to the shifting-down of the TM *d*-bands as the number of valence electrons increase.

Keywords: A first principles study, Magnetic moment, Magnetocrystalline anisotropy, and Capping effect

Potential rare earth free permanent magnetic: The α'' -Fe₁₆N₂

Jisang Hong* and Imran Khan

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

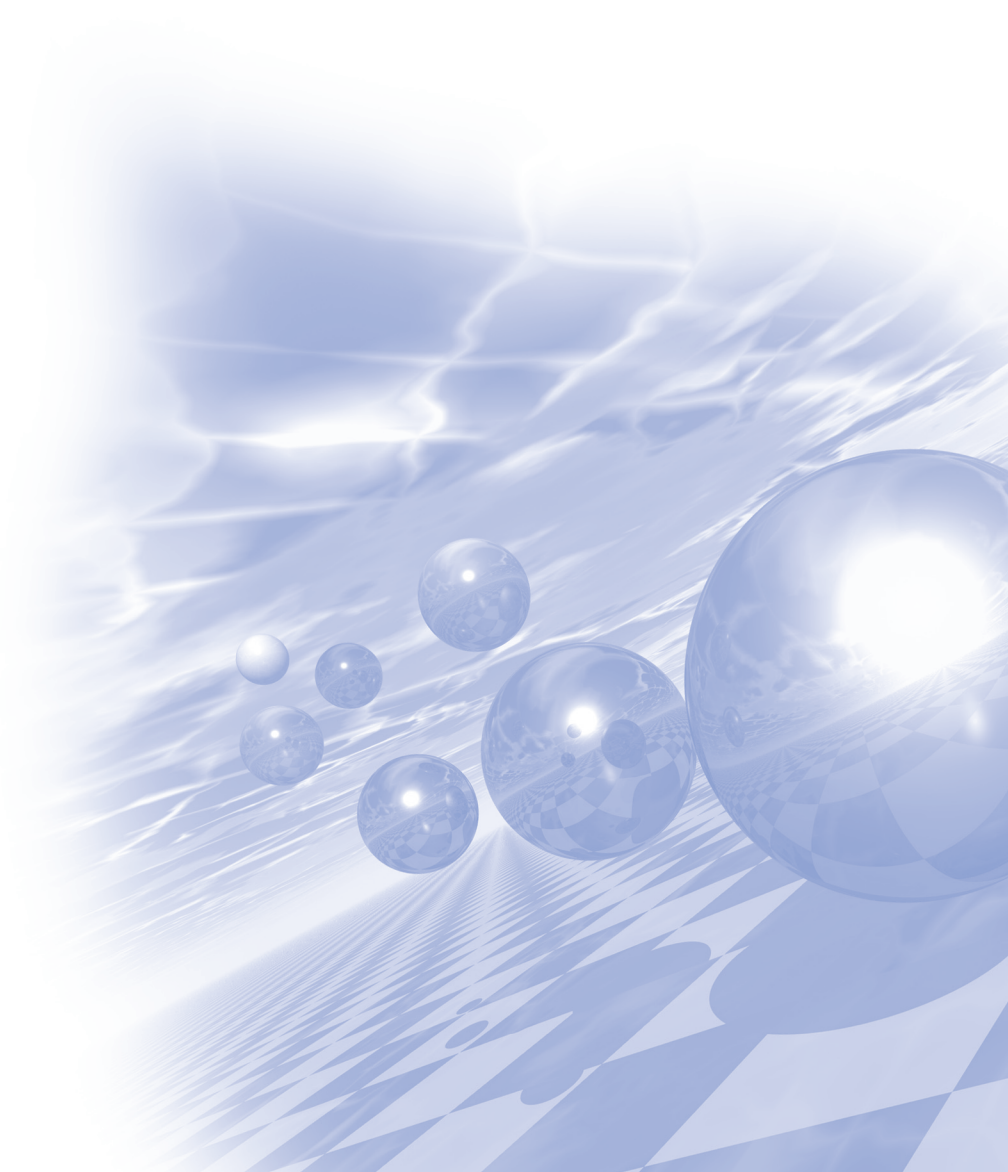
Using the first principles method, we have investigated the electronic structure and magnetocrystalline anisotropy of α'' -Fe₁₆N₂ systems. In order to tune the magnetocrystalline anisotropy of the pure α'' -Fe₁₆N₂ we follow two routes, firstly the impurity doping both substitutional and interstitial, and secondly the multilayer approach. The impurity doping induces local lattice distortions near the impurity site, however the volume of the cell and total magnetic moment of the doped systems were not much affected. The substitutional heavy 4d, 5d elements were found to be more helpful for the enhancement of magnetocrystalline anisotropy than interstitial doping of 2s and 2p elements. Due to the increased magnetocrystalline anisotropy we found almost 50~58 % enhancement of coercivity for 5d element (W and Pt) doping in α'' -Fe₁₆N₂. In multilayer approach we have studied two systems, (i.e) α'' -Fe₁₆N₂/Ag/ α'' -Fe₁₆N₂ and α'' -Fe₁₆N₂/Au/ α'' -Fe₁₆N₂. Here we used a very thin layer (3 monolayer) of Ag and Au. In this approach the magnetocrystalline anisotropy was enhanced almost 60 % of the pure α'' -Fe₁₆N₂ for Ag doping. Besides the saturation magnetization drops almost 40 % of the pure Fe₁₆N₂. Due to enhancement of the magnetocrystalline anisotropy and reduction in saturation magnetization the coercivity was enhanced to almost 80 % of the pure α'' -Fe₁₆N₂. Besides the maximum energy products were also seen to enhance in impurity doped systems. In the light of the obtained results α'' -Fe₁₆N₂ could be a potential candidate for the future cost effective rare earth free permanent magnet.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

Special Session VI

‘New permanent magnetic materials’



High Clarke number element based new permanent magnetic materials

Chul-Jin Choi*, Kook-Chae Chung and Jong-Woo Kim

Korea Institute of Materials Science, Changwon, 51508, R. Korea

*E-mail: cjchoi@kims.re.kr

With the advent of high performance permanent magnets based on the rare earth elements such as Sm-Co, Nd-Fe-B alloys in the 1980s, the application areas have been extended from the electronics to hybrid electric vehicles and wind turbines etc. However, the advantages of these rare-earth element based magnets may be overshadowed by the supply constraints, high prices and environmental issues.

Therefore, many researchers have paid much attention on the non-rare earth element, i.e. the high Clarke number element (relatively abundant element in the globe), based permanent magnetic materials. In recent years, the researches on several materials systems have been focused on the nanocomposite made from transition-metallic alloys, tetragonal L1₀ FeCo alloys, anisotropic Mn-based alloys and body centered tetragonal Fe₁₆N₂ iron nitride alloys, etc. A variety of methods are available to manufacture rare earth free, high Clarke element based permanent magnetic materials in bulk, nanostructure, nanocomposite and thin films.

How to make the high Clarke element based magnetic materials with large energy product is still big hurdle to solve. The proper scale-up methods to produce magnetic nanostructures with high energy efficiency have still been a significant challenge, which are also very important to the development of novel high Clarke element based permanent magnetic materials to meet tomorrow's energy needs.

In this paper, we outline the challenges, prospects and research status for several potential alloys with high Clarke number elements, which could replace Nd based permanent magnetic materials

References

- [1] D. Li, D. S. Pan, S. J. Li, Z. D. Zhang, Recent developments of rare-earth free hard magnetic materials, *Sci. China-Phys. Mech. Astron.*, 59(1), 617501 (2016)
- [2] H. Zeng, J. Li, J. P. Liu, Z. L. Wang, S. H. Sun, Exchange-coupled nanocomposite magnets by nanoparticle self-assembly, *Nature* 420 (6914), 395(2001)
- [3] T. Otani, N. Kato, S. Kojima, Y. Sakamoto, I. Konno and T. Kubo, Magnetic properties of Mn-Al-C magnetic alloys, *IEEE transactions on Magnetism*, Mag-13(5), 1328(1977)
- [4] I. Khan, J. S. Hong, Potential rare earth free permanent magnet : interstitial boron doped FeCo, *J. Appl. Phys.*, 47, 415002(2014)

신조성 영구자석 디자인을 위한 다중물리 전산모사 방법

Multi-functional simulations for designing new permanent magnetic materials

이기석^{1*}, 이억균², 심지훈³

¹울산과학기술원,

²한국과학기술원,

³포항공과대학교

신조성 영구자석을 개발하기 위해서는 우수한 자성특성을 가지는 새로운 조합의 신물질 합성과 실제 제작을 위한 공정 개발이 모두 필요하다. 전산모사를 통해 이를 디자인하기 위해서는 원자단위에서부터 미세조직에 이르는 광범위한 스케일과 다양한 물리적 모델을 기반으로하는 계산이 필요하며 이러한 계산들이 유기적으로 이루어져야한다. 지금까지 다양한 자성물질에 대한 전산모사가 이루어져 왔지만 이러한 다양한 스케일의 전산모사에 적용되는 모델과 접근 방식이 달라 각 스케일별로 독립적으로만 수행되어 왔다. 예를 들어 원자단위에서는 제일원리 기반의 계산을 통한 조성에 따른 최대자화량, 결정자기이방성 상수, 상호교환작용상수등의 기초적인 자성 물성 예측이 이루어지거나 알려진 기초 상수들을 기반으로 미소자기 전산모사를 통해 자구구조나 자화이력곡선, 자기동역학등을 계산하였다. 미세조직구조의 경우 열역학을 기반으로 수행되어 왔다.

본 연구에서는 우선 제일원리 기반 신조성의 물성을 탐색하고 이를 바탕으로 원자단위 미소자기 전산모사 및 일반 미소자기전산모사를 통해 열적특성 및 자구구조를 예측하고 열역학 기반의 미세조직구조와 연계하여 실제 영구자석의 자기적 특성 및 공정 디자인을 수행하고자 한다.

본 발표에서는 각각의 계산 방법에 대한 간략한 소개와 각 계산 단계의 효율성을 높이는 새로운 계산 방식의 적용 가능성, 그리고 전체 계산을 유기적으로 통합하는 방법등을 살펴보고자 한다.

1-D magnetic material fabrication for developing new permanent magnetic materials

좌용호, 김종렬*

한양대학교 재료화학공학과, 경기도 안산시 상록구 한양대학로 55

자성재료는 전기적 에너지와 기계적 에너지의 상호 대규모 전환이 가능한 유일한 물질로, 발전 및 모터 분야 등의 핵심 소재로 활용되고 있다. 최근 에너지 저감, 부품의 소형화 및 고성능화에 따라 모터의 효율성 향상을 위해서 외부이 자장이 인가되지 않아도 지속적으로 자기장을 발생시킬 수 있는 영구자석에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 특히, 높은 온도에서도 우수한 특성을 유지할 수 있는 새로운 영구자석의 개발은 기존 자성체의 한계적인 특성을 극복하는데 매우 유효할 것으로 예상되고 있어, 이러한 분야에 많은 연구가 진행되고 있다.

영구자석의 특성 향상을 위해서 새로운 조성의 영구자석 물질 개발에 많은 연구가 진행되고 있으나, 영구자성 소재가 갖고 근원적인 제약으로 인하여 현재까지 가시적인 성과는 발견되고 있지 않은 상황이다. 따라서 본 연구는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 박막에서 그 가능성을 인정받고 있는 나노복합자석을 벌크 형상으로 구현할 수 있는 방법을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 벌크 형상 구현을 위해서 요구되는 분말 공정에서 발생하는 분말의 응집현상으로 인한 연/경자성의 분균일 혼합 및, 벌크화 과정에서 발생하는 연/경자성상의 반응 등의 문제점으로 현재까지 벌크형 나노복합자석의 공정 개발은 한계에 봉착하고 있는 상황이다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 하나의 방법으로 일차원 구조체의 경자성 SmCo 물질을 합성하여 exchange-coupled 복합자석의 가능성을 확인하고자 한다.

High throughput synthesis and analysis of new permanent magnetic materials

Ho-Sup Kim^{1*}, Dong-Woo Ha¹, Chul-Jin Choi², Kook-Chae Chung², Jong-Woo Kim², Ki-Suk Lee³

¹Korea Electrotechnology Research Institute

²Korea Institute of Materials Science

³Ulsan National Institute of Science and Technology

1. Introduction

Searching for new materials have been always demanding time and process cost. High-throughput technology is an approach to the rapid discovery, optimization of new materials[1-3]. In this study, high-throughput method of synthesis and analysis of magnetic materials was introduced to search for new magnetic materials.

2. Experiment

High-throughput synthesis of thin film was carried out in the vacuum chamber with the components of Quartz Crystal Microbalance (QCM) to measure the deposition rate of each source, heater to increase the temperature of large area substrate, and thermal evaporators. We could obtain continuous composition spread on the large area substrate by means of the disposition of evaporation crucibles and the distances between substrate and crucibles. The samples with composition spread were used to investigate the effect of composition ratios of magnetic materials on magnetic properties, microstructure, and preferred orientation. High-throughput analysis system is composed of the permanent magnets with surface magnetic intensity of 1.3 T, a continuous reel to reel tape moving device, and a three-axis Hall sensor. The system can measure the hysteresis loop in each position of tape using a permanent magnet while the tape moves at regular intervals. The advantages that can be obtained in this high throughput experiment are as follows. 1) We can obtain compounds having different composition ratios in a run. The magnetic properties of them can be quickly determined through the continuous measurement results. 2) The reliability of results of the composition ratio dependency is high because all the compounds on the substrate experience the same deposition conditions except for the composition ratio.

3. Conclusion

The high-throughput methodology offers rapid and efficient magnetic materials screening, optimization and discovery.

4. References

- [1] D Goll et al, J. Phys.: Condens. Matter **26**, 064208 (2014).
- [2] W. F. Maier, Angew. Chem. Int. Ed. **46**, 6016 (2007).
- [3] D. Goll et al, J. Appl. Phys. **96**, 6534 (2004).

High-gas pressure stabilization of the meta-stable magnetic hydrides, oxides, and nitrides

Ping-Zhan Si^{1,3*}, Nai-Kun Sun², Chul-Jin Choi³

¹Zhejiang Key Lab of Magnetic Materials, China Jiliang University, Hangzhou, 310018, China

²School of Science, Shenyang Ligong University, Shenyang, 110159, China

³Korea Institute of Materials Science, Changwon, 51508, R. Korea

*E-mail: pzsi@mail.com; pzsi@cjlju.edu.cn

A number of ferromagnetic materials, including La-Fe-Si-H, Sm-Fe-N, CrO₂, α'' -Fe₁₆N₂, etc., are unstable at elevated temperatures, and this has become bottleneck for the synthesis and applications of these materials. In this work, a high-gas pressure heat-treatment device designed by Si was employed to suppress the decomposition of La-Fe-Si-H, Sm-Fe-N, and CrO₂. The self-made device can work under H₂/O₂/N₂ gas pressures up to 100 MPa and in temperatures up to 1000 °C. [1] High-density La_{0.5}Pr_{0.5}Fe_{11.4}Si_{1.6} hydride sintered plate with a large magnetic-entropy change that almost twice as large as that of bonded La(Fe,Si)₁₃ hydrides were obtained under 50 MPa H₂ heat-treatment.[2] The high pressure H₂ suppresses desorption of H atoms and thus makes high temperature sintering possible. This work opens an effective route for synthesizing thin magnetic refrigerants of La(Fe, Si)₁₃H_x hydrides. [3] High-performance Sm₂Fe₁₇N_x powders were obtained by nitriding Sm₂Fe₁₇ under N₂ with gas pressures up to 40 MPa, which is beneficial in suppressing the decomposition of Sm₂Fe₁₇N_x and enhancing the nitrogen absorption rate, and thus is effective for synthesizing high-quality Sm-Fe-N.[4] The Mn₄N prepared under high N₂ gas pressures exhibits much larger coercivity in comparison with that prepared under ambient N₂ pressures.[5] Ultra-high purity CrO₂ were prepared by decomposing CrO₃ under 40 MPa O₂. [6] The CrO₂ nano- and micro-particles were prepared by nitriding Cr₂O₃ under high O₂ pressures. [7, 8] The influence of high-pressure nitrogenation on the structure and magnetic properties of SmFe₁₀Mo₂ and La_{0.5}Pr_{0.5}Fe_{11.4}Si_{1.6} has also been studied. [9, 10] High gas pressure heat-treatment can to some extent enhance the gas-solid reaction rate, enriching the gas-atom concentration in the final products, and suppress the decomposition of meta-stable compounds.

References

- [1] PZ Si, H Feng, XF Xiao, SJ Yu, HL Ge, A Device for High Gas Pressure Heat-treatment, Patent of China, No. ZL201220599278.1
- [2] NK Sun, J Guo, XG Zhao, PZ Si, JH Huang, ZD Zhang, High magnetic-refrigeration performance of plate-shaped La_{0.5}Pr_{0.5}Fe_{11.4}Si_{1.6} hydrides sintered in high-pressure H₂ atmosphere, Applied Physics Letters, 106(2015)092401
- [3] NK Sun, ZX Ren, J Guo, PZ Si, MZ Sun, Effect of B-doping on the structure and magnetocaloric properties of plate-shaped La_{0.6}Pr_{0.4}Fe_{11.4}Si_{1.6}H_x sintered in high-pressure H₂ atmosphere, AIP Advances, in press
- [4] XF Xiao, PZ Si, HL Ge, NK Sun, CJ Choi, Direct diffusion synthesis of high-performance Sm-Fe-N under high N₂-gas pressures, Physics Letters A, Submitted

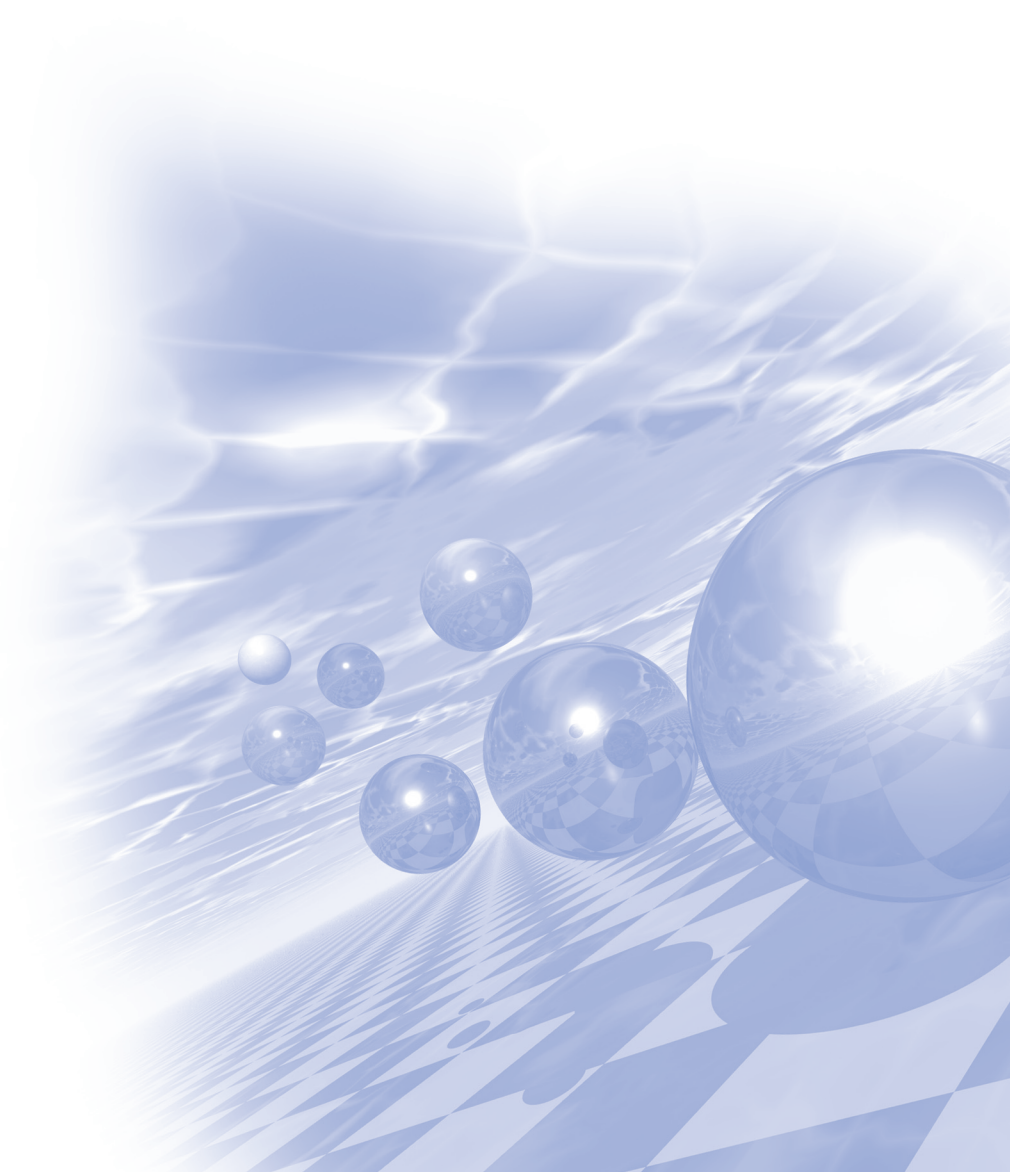
- [5] PZ Si, W Jiang, HX Wang, M Zhong, HL Ge, CJ Choi, JG Lee, The high nitrogen pressure synthesis of manganese nitride, *Chinese Physics Letters* 29(2012)128101
- [6] PZ Si, XL Wang, CJ Choi, et al., High-O₂ Pressure synthesis, structure, and magnetic properties of high purity CrO₂, to be submitted
- [7] PZ Si, XL Wang, XF Xiao, HJ. Chen, XY Liu, L Jiang, JJ Liu, ZW Jiao, HL Ge, Structure and magnetic properties of Cr₂O₃/CrO₂ nanoparticles prepared by reactive laser ablation and oxidation under high pressure of oxygen, *Journal of Magnetism* 20(2015) 211-214
- [8] CH Jin, PZ Si, XF Xiao, H Feng, Q Wu, HL Ge, M Zhong, Structure and magnetic properties of Cr/Cr₂O₃/CrO₂ microspheres prepared by spark erosion and oxidation under high pressure of oxygen, *Materials Letters* 92(2013)213-215
- [9] NK Sun, J Guo, SJ Du, SN Xu, PZ Si, JJ Liu, Influence of high-pressure nitrogenation on the structure, magnetism and microwave absorption properties of SmFe₁₀Mo₂, *Acta Metallurgica Sinica-English Letters* 28(2015)781–786
- [10] NK Sun, ZX Ren, J Guo, SJ Du, PZ Si, Influence of high-pressure nitrogenation on the structural, magnetic and magnetocaloric properties of La_{0.5}Pr_{0.5}Fe_{11.4}Si_{1.6}, *Acta Metallurgica Sinica-English Letters* 28(2015)1382–1386



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

Special Session VII

‘MRI 및 방사선 분야 (의과학연구회)’



자기장을 이용한 6 MV 광자선의 선량 상승 영역 변조 기술에 관한 유용성 평가

안우상^{1*}, 박정원², 조병철², 신성수¹, 최원식¹

¹울산의대 강릉아산병원 방사선종양학과

²울산의대 서울아산병원 방사선종양학과

1. 서론

성문암의 경우에는 표적체적(target volume)이 피부와 가까이 위치해 있어 표체면에 충분한 선량을 전달하기 위해서는 전통적으로 저 에너지 광자선(4 MV 또는 Co-60)을 이용하거나 6 MV 이상의 광자선의 경우에는 조직등가물질인 bolus를 선택적으로 사용하여 표체면의 선량을 증가시켜준다. 본 연구의 목적은 자기장을 이용하여 6 MV 광자선의 선량 상승 영역(build-up region)을 변조함으로써 피부 주변의 표적체적에 충분한 선량을 제공하면서 피부 선량 감소(skin sparing) 효과의 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

5×5×5 cm³ 크기의 두 개의 네오디뮴 영구자석을 양쪽으로 고정하면서 거리를 조절할 수 있는 고정용 장치를 자체 제작하였다. 선원표면간거리(source-to-surface distance, SSD)는 100 cm에서 조사야는 5×5 cm²으로 하였고 효과적인 이차 전자 생성을 위하여 2 cm 두께의 물등가고체팬텀(solid water phantom)을 영구자석 위에 위치시켰다. 0.5T 자기장을 광자선의 수직방향으로 인가한 후, 영구자석 사이의 거리(magnet-to-magnet distance, MMD)와 영구자석과 물팬텀 사이의 거리(magnet-to-surface distance, MSD)에 따른 심부선량백분율(percent depth dose)을 유효부피가 작은 CC13 (IBA Dosimetry, Schwarzenbruck, Germany) 이온전리함을 사용하여 측정하였다. 광자선의 선량 상승 영역을 정량적으로 평가하기 위해 심부선량백분율의 D₀(%), D_{2mm}(%), D_{5mm}(%), D_{10mm}(%)를 비교 및 분석하였다.

3. 결과

자기장을 적용하지 않은 심부선량백분율의 D₀(%), D_{2mm}(%), D_{5mm}(%), D_{10mm}(%)는 4 MV에서 47.5%, 58.7%, 86.2%, 99.7% 이었고, 6 MV에서 38.0%, 49.3%, 76.7%, 95.7% 이었다. MMD=10 cm이고 MSD=2.5 cm의 경우에서 D₀(%), D_{2mm}(%), D_{5mm}(%), D_{10mm}(%)가 43.4%, 59.1%, 82.8%, 98.6%으로 자기장 적용하지 않은 4 MV의 유사한 선량 상승을 보였고, MMD=10 cm이고 MSD=5 cm의 경우에서 D₀(%), D_{2mm}(%), D_{5mm}(%), D_{10mm}(%)가 38.7%, 49.8%, 77.2%, 96.2%으로 자기장 적용하지 않은 6 MV의 유사한 선량 상승을 보였다. MMS=6 cm이고 MSD=2.5 cm의 조건에서는 D₀(%), D_{2mm}(%), D_{5mm}(%), D_{10mm}(%)가 38.8%, 53.4%, 79.6%, 96.6%으로 자기장을 적용하지 않은 4 MV와 6 MV의 각 선량 상승 영역 사이에 분포하였다.

4. 결론

0.5T 자기장을 이용하여 6 MV 광자선의 선량 상승 영역 변조 가능성을 평가하였다. MSD가 증가할수록 피부 선량(D₀(%), D_{2mm}(%)) 감소 효과가 나타났으며, MSD가 감소할수록 충분한 표적체적 선량(D_{5mm}(%), D_{10mm}(%))을 제공함을 보였다. 특히, MMS=6 cm이고 MSD=2.5 cm에서 기존의 6 MV 광자선과 비교하여 표체면에 좀 더 충분한 선량을 제공하면서 유사한 피부 선량을 보여 임상 적용의 가능성을 확인할 수 있었다.

3차원 재구성 방법의 차이에 따른 동맥류영상의 정확성 측정

A study of the aneurysm measurement and analysis at the CT image reconstruction techniques

김유민^{1*}, 박철수², 나길주³, 김기홍⁴, 김명삼⁵

¹한림대학교 춘천성심병원 영상의학과

²한림성심대학 방사선학과

³목포과학대학 방사선학과

⁴춘해보건대학교 방사선학과

⁵한림대학교 방사선학과

목적 : 여러 뇌혈관질환 중 하나인 뇌동맥류는 크기가 클수록 파열 위험이 커지는데 보고에 따르면 7mm 이하의 크기를 가진 동맥류를 제외하고는 적극적인 치료를 권한다. 이에 따른 뇌동맥류의 진단법중 CTA는 빠른시간안에 환자를 검사할 수 있고 민감도와 특이도 또한 다른 검사법과 차이가 미미하다. 하지만 선행연구에서는 CTA의 혈관영상이 실측보다 가장 크게 나왔고 본 연구에서는 CT의 삼차원재구성영상 기법별로 실측과 비교 하고자 한다.

대상 및 방법 : 뇌동맥류의 크기를 정확히 재현하기 위해 팬텀을 3D Printer로 출력하였고 팬텀의 안쪽을 조직등가물질인 파라핀으로 채웠다. 64 Channel과 16 Channel CT로 스캔하였고Contrast Media는 비이온성 요오드 조영제 (Iopamidol : 요오드 함유율 300mg)를 3D Printing된 혈관모형의 도관에 50cc Syringe로 생리식염수와 6:4의 비율 (생리식염수30ml 조영제20ml)로 혼합 후 주입하였다. 스캔 후 영상은 3D workstation으로 전송한 후 각각 다평면재구성 (Multi Planner Reconstruction)기법, 명암표면묘사 (Shaded surface display)기법, 최대강도투사 (Maximum intensity projection)법, 용적묘사기법 (Volume Rendering Technique)을 이용해 재구성하였다. 측정은 워크스테이션에서 제공하는 Distance measurement를 이용하였고, 영상의 관상면의 중심부에서 재구성기법별로 30회씩 측정하였다.

결과 : MPR 기법이 $12.40 \pm 0.35\text{mm}$ 로 가장 작게 측정되었고 VRT는 $12.98 \pm 0.55\text{mm}$ 로 가장 크게 측정되었고 실측값(10mm)과의 비교에서도 VRT는 평균 2.98mm 크게 확대되었다. 본 연구에서 VRT로 재구성한 영상이 실측과 비교하여 가장 확대되어 나타났고, MPR영상이 실측과 가장 가까운 실측 크기를 보여 주었다.

고찰 및 결론 : MIP, MPR, VRT, SSD네가지의 재구성기법을 실측과 비교하였을 때 모두 확대 된 결과 값이 나타났으며, VRT로 재구성한 영상이 실측과 비교하여 가장 확대되어 나타났다. MPR기법이 실측과 가장 가까운 크기를 보여 주었고 따라서 비파열성 뇌동맥류의 컴퓨터단층촬영 검사 후 삼차원영상재구성시 MPR기법을 사용하여 실측을 측정하는 것이 정확한 시술의 결정과 추적관찰에 도움이 될 것이라 사료된다.

수동형 콜리메이터를 이용한 양성자치료 Apply proton beam therapy using passive collimator

최재혁^{1*}, 전민철², 서선열³, 김갑중⁴, 황도근⁵

¹국립암센터 양성자치료센터

²충남대병원 영상의학과

³울지대학병원 영상의학과

⁴충북대학교 의공학과

⁵상지대학교 한방의료공학과

목적 : 방사선치료에서 정상조직은 보호하고 종양조직에만 방사선을 조사하는 것은 매우 중요하다. 양성자를 이용한 방사선 치료에서 사용되는 차폐물인 황동은 제작할 때 정밀도와 정확성이 요구된다. 황동을 가공하는데 소요되는 시간과 재료의 원가 절감을 위하여 다엽콜리메이터(Multi Leaf Collimator : MLC)를 자체 제작하였다. 제작한 MLC의 정확성 및 누설선량을 측정하여 황동의 대체사용 가능성을 알아보고자 한다.

대상 및 방법 : 자체 제작한 MLC의 leaf 사이즈는 폭 1~5 mm, 세로 45~160 mm, 높이 60 mm 스틱형태의 황동으로 제작 하였고, 조사되는 면적은 120 * 120 mm로 실제 빔으로 이용되는 면적은 100 * 100 mm이 되도록 하였다. 프레임의 중심부에 대해 좌우 대칭으로 짝을 이루도록 배치하며, 프레임에 대해 각각 슬라이딩 가능하게 설치하였다. 콜리메이터에 랙기어와 분리가능하게 결합된 프레임을 구비하였고, 프레임의 좌우방향과 상하방향으로 각각 이동이 가능하도록 하였다. 자체 제작한 MLC는 노즐의 입구에서 20 cm 상단에 위치시키고 빔 이송 모델을 구축하였다. 장비에 무리를 주지 않는 한도에서 제작하였으며, 입사되는 양성자선의 leaf간 누설이 발생하지 않도록 하였다. 235 MeV의 양성자 빔을 자체 제작한 MLC에 입사하여 누설방사선을 측정하였다. 기존의 차폐체인 황동과 자체 제작한 MLC의 조사부위 및 제작 단가를 비교하였다.

결과 : 235 MeV 양성자를 필름에 조사하였을 때 자체 제작한 MLC와 연결부위 및 leaf간 누설방사선은 확인되지 않았다. 치료계획용 영상과 비교하여 기존 황동 블록과 자체 제작한 MLC의 영상구현에서 1 mm 미만의 차이를 보였다. 치료계획과 비교하여 중심부와 임의의 주변부 네 지점의 선량은 각 1 % 미만의 선량 차이를 보였다. 황동 블록과 자체 제작한 MLC 제작비용을 비교하였을 때 약 50 % 단가절감 효과를 보였다.

고찰 및 결론 : 자체 제작한 MLC는 현 시스템의 모든 치료 모드에서 사용이 가능하도록 IBA사 모델에 적용하여 설치하였다. 자체 제작한 양성자 치료용 MLC는 환자의 치료부위에 연속적이고 정확하게 방사선이 조사될 수 있도록 개발한 장치이다. 가격이 고가인 기존 황동 차폐물을 이용한 장치의 단점을 개선하여 경제적으로 저렴하면서도 효율적인 MLC 장치를 제공하여 양성자 치료에 사용 할 수 있을 것이다.

의료용 가속기의 시간인자를 고려한 광중성자 발생에 관한 연구

김정호^{1*}, 한만석², 배석환³, 유세종⁴, 김창규⁵

¹건양대학교 방사선종양학과

²강원대학교 방사선학과

³건양대학교 방사선학과

⁴건양대학교병원 영상의학과

⁵김천대학교 방사선학과

1. 서론

의료용 가속기는 암환자를 대상으로 고에너지 광자선 및 전자선을 이용하여 암을 치료하는 장치이다.¹⁾ 하지만 10MV 이상의 광자선의 경우 가속기 내의 금속과 핵 반응을 통해 중성자를 발생하게 된다.²⁾ 이러한 의료용 선형가속기의 광중성자 발생에 관한 선행 연구가 많았지만, 시간경과에 따른 평가가 이루어진 연구는 없었다.^{3)~10)} 이에 본 연구에서는 기존에 평가되지 않았던 시간인자를 고려한 광중성자 발생을 평가하고자 한다.

2. 실험방법과 결과

대전 일개 대학에서 운용중인 의료용 가속기인 CLINAC-IX(VARIAN, USA)를 대상으로 BF3 비례계수관(FLUKE, USA)을 이용하여 치료실 내 치료대(A), 치료실 모서리(B), 미로 입구(C), 치료실 외부(D) 지점에서 광중성자 선량률을 측정한다. 조사조건은 10MV 광자선을 이용하며, Gantry angle은 0도, 조사범위는 40X40cm², 선량률은 600MU/min으로 한다. 또한 시간경과에 따른 선량률을 평가하기 위해서, 각 지점별 광자선 조사 종료 후부터 80초까지 광중성자 선량률을 측정한다. 이때 광중성자 선량률 값은 연속성을 가지고 있으므로 최대값을 기록한다. 그 결과 조사 종료부터 최대 50초까지 광중성자 선량률이 측정되었다.

3. 고찰

기존에 연구되어진 의료용 선형가속기의 광중성자 발생은 조사조건에 따른 광중성자량을 등가선량 혹은 플루언스로 평가하였다. 하지만 시뮬레이션 프로그램을 이용한 평가에서는 시간적 개념이 정의되기 어렵고, 측정을 통한 실험적 연구에서도 측정 시간을 고려하지 않았다. 이에 본 연구에서 시간적 개념을 적용한 측정을 실시하고자 한다. 하지만 본 연구를 진행함에 있어서 제한점으로는 의료용 선형가속기의 종류 선정에 한계가 있으며, 이에 따른 에너지 선정의 한계 및 구성의 특이성에 제한을 가지게 된다. 또한 치료실의 구조 및 차폐방식의 차이가 있으며, 선량률 측정에 이용되는 계측기의 방향성을 고려하지 못하였다.

4. 결론

의료용 선형가속기의 광중성자 발생을 시간적 개념을 적용하여 평가한 결과, 최대 50초까지 광중성자 선량률 값이 측정되었다. 이는 기존 선행 연구에서 시간적 개념을 적용하여 추가 연구가 진행되어야 할 필요성을 가지게 되었다. 또한 방사선 방호적 측면에서는 환자 및 방사선사가 치료실 내에서 체류시간이 길어짐에 따른 불필요한 피폭이 발생하므로, 추가 선량계 착용 및 체류시간 제한이 필요할 것이다.

5. 참고문헌

[1] Ahn, Yong Chan. "Introduction of intensity modulated radiation therapy." Journal of the Korean Medical

- Association/Taehan Uisa Hyophoe Chi 54.11 (2011).
- [2] NCRP, "Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators", National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Report No. 79 (1984).
 - [3] H. Ing, W. R. Nelson, R. A. Shore, "Unwanted photon and neutron radiation resulting from collimated photon beams interacting with the body of radiotherapy patients", *Med. Phys.*, 9, 27-33 (1982).
 - [4] R. Nath, E. R. Epp, J. S. Langhlin, W. P. Swanson, V. P. Bond, "Neutrons from high-energy X-ray medical accelerators : Anestimate of risk to the radiotherapy patient", *Med. Phys.*, 11, 231-241 (1984).
 - [5] S. Agosteo, A. Froglio Para, F. Gerardi, M. Silari, A. Torresin, G. Tosi, "Photoneutron dose in soft tissue phantoms irradiated by 25 MV X-rays", *Phys. Med. Biol.*, 38, 1509-1528 (1993).
 - [6] Jao-Perng Lin, Tieh-Chi Chu, Sung-Yen Lin, Mu-Tai Liu, "The measurement of photoneutrons in the vicinity of a Siemens Primus linear accelerator", *Appli. Radiat. Isotop.*, 55, 315-321 (2001).
 - [7] Francesco D'Errico, Ravinder Nath, Giovanni Silvano, Luigi Tana, "In vivo neutron dosimetry during high-energy bremsstrahlung radiotherapy", *Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 41(5), 1185-1192 (1998).
 - [8] Eric J. Hall, Stewart G. Martin, Howard Amols, Tom K. Hei, "Photoneutrons from medical linear accelerators-Radiobiological measurements and risk estimates", *Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 33(1), 225-230 (1995).
 - [9] M. Sohrabi, A. Mostofizadeh, "Measurement of photoneutron does in and out of high-energy X-ray beam of a SATURNE-20 medical linear accelerator by ECE polycarbonate detectors", *Radiat. Measurem.*, 31, 479-482 (1999).
 - [10] Mala Das, T. Sawamura, M. Kitaichi, S. Sawamura, "Application of superheated emulsion in neutron spectrometry at 45 MeV electron linac", *Nuc. Inst. Metho. Phys. Resear.*, A 517, 34-41 (2004).

상자성체 조영제의 몰농도와 MRI 외부자기장 강도에 따른 T1 이완시간의 차이에 관한 고찰

서정민^{1*}, 김종명¹, 공문희¹, 신형섭¹, 조성호¹, 서아라¹, 강충환²

¹대원대학교 방사선과

²건국대학교병원 영상의학과

1. 서론

같은 농도로 희석되었으나 몰농도가 다른 두 조영제의 외부자기장 강도에 따른 T1 이완시간의 차이를 확인하고자 한다.

2. 실험방법과 결과

자기공명영상검사에 사용하는 상자성체 조영제 D(0.5mmol/mL)와 G(1.0mmol/mL)를 각각 멸균정제수와 희석한 1mmol/L, 0.5mmol/L, 0.25mmol/L, 0.125mmol/L의 희석용액 및 순수한 멸균정제수만으로 이루어진 5세트의 팬텀을 제작하여 사용하였으며, 외부자기장 1.5T(SIGNA HDxt, GE)와 3.0T(SIGNA HDxt, GE)에 대하여 Inversion Time을 150ms, 300ms, 700ms, 1100ms, 2500ms로 설정하고 각 팬텀을 scanning후 T1 mapping (MRmap, v.1.4)으로 영상을 융합 및 분석하여 외부자기장 강도와 조영제의 몰농도에 따른 T1 이완시간을 측정하고 그 차이를 알아보았다.

두 종류의 조영제 모두 1mmol/L 농도의 팬텀은 1.5T보다 3.0T에서 더 짧은 T1 이완시간을 보였으며, 이를 제외한 다른 모든 팬텀에서는 1.5T보다 3.0T에서 T1이완시간이 긴 결과를 보였다. 희석된 농도별로 조영제의 고유 몰농도에 따른 T1 이완시간의 차이는 1.5T에서 유의한 차이가 없었으며(p 0.072) 3.0T에서는 차이를 보였다(p 0.0071).

3. 고찰

동일한 농도로 희석된 팬텀에서 1.5T보다 3.0T에서 T1 이완시간이 더 길어지는 경향이 있었으며, 동일한 농도로 희석된 팬텀이라도 사용된 조영제 고유의 몰농도에 따른 T1 이완시간의 차이는 1.5T에서는 적었으며 외부자기장이 높은 3.0T에서 유의한 차이를 보였다.

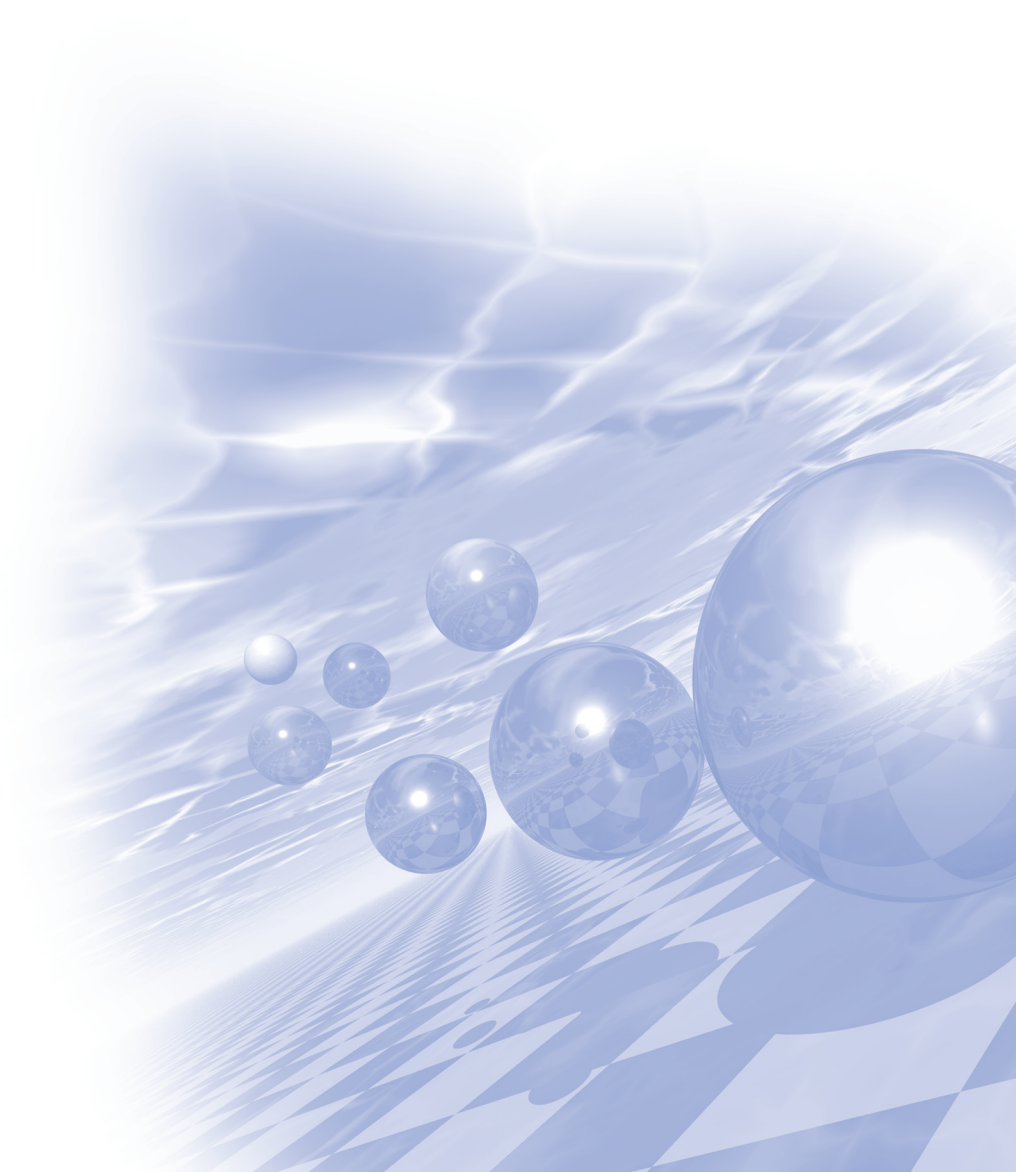
4. 결론

임상 의료 현장에서 여러 종류의 상자성체 조영제를 동일한 농도로 희석하여 사용하더라도 조영제의 고유 몰농도와 외부자기장에 따라 T1 이완시간의 변화에 차이가 발생하며 이는 높은 외부 자기장을 사용할수록 더 심해진다고 할 수 있으므로, 높은 외부자기장의 MR 장비를 사용하는 경우 효과적인 검사를 위하여 적절한 몰농도의 조영제 선택이 중요하다고 사료된다.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

초청강연 III



Development of $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ Sintered Magnets

Kenta Takagi*, Rikio Soda, Wataru Yamaguchi and Kimihiro Ozaki

Magnetic Powder Metallurgy Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,
Anagahora, Shimoshidami, Moriyama, Nagoya, Japan
E-mail: k-takagi@aist.go.jp

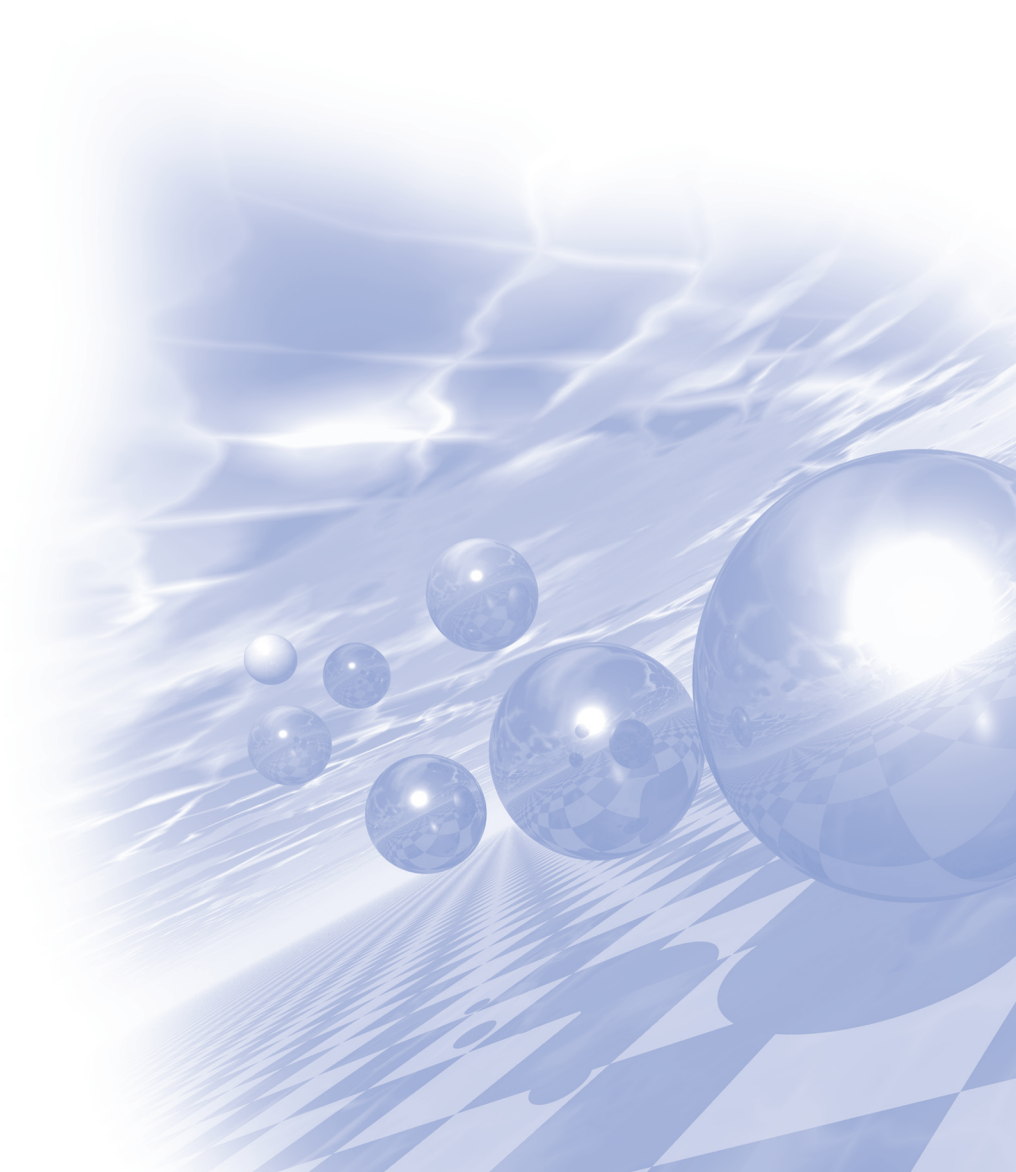
$\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ alloy has the potential to exhibit higher $(BH)_{\text{max}}$ than $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ magnets under hot environments such as driving motors of electric vehicles. However, it has been hampered by difficulty of producing sintered magnets. The primary reason of this difficulty is a drastic degradation of coercivity during sintering. We recently proposed that this coercivity degradation occurs due to the existence of surface oxide film of powder. Therefore, this study constructed a low-oxygen process capable of producing $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ sintered magnets while avoiding the oxidation of particle surfaces. As a result, the sintered magnets produced under the low-oxygen environment successfully maintained the original coercivity of raw powder. In addition, it was proven that the coercivity was gradually decreased as the oxygen content was increased. In conclusion, this study demonstrated that $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ sintered magnets can be realized by avoiding surface oxidation of powder.



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

Special Session VIII

‘군사분야의 자기응용’



한반도 해양(수상·수중)환경을 고려한 해상탐지 시스템 발전방향

최봉완*, 손대락

한남대학교, 대전광역시 대덕구 한남로70(오정동)

한반도를 둘러싸고 있는 해양환경은 그 어느 지역의 해양환경보다도 복잡하고 미묘한 특성을 지니고 있다. 이러한 해양환경은 바다를 관리하고 보호하는 데에도 대단히 어려운 과제가 부여되고 있지만, 특별히 우리의 해양을 수호하기 위한 준비를 해야 하는 국방측면에서도 많은 노력과 투자가 이루어 져야 한다. 이는 최근 많은 국가에서 비익무기인 잠수함뿐만 아니라 방어가 어려운 바다를 적극 활용하는 위협수단 개발에 막대한 투자를 수행하고 있다는 사실에서도 교훈을 삼아야 한다. 이러한 시점에서 우리도 바다를 수호하고 바다를 통해 가시화 될 수 있는 위협을 어떻게 대비해야 할 것인가에 대한 보다 충실한 준비가 필요한 시점을 지나고 있다.

본 연구에서는 해양환경의 복잡도와 난이도를 활용하여 우리의 바다와 또한 바다를 통하여 우리 국민과 영토를 위협하는 수단에 대한 방어 시스템을 어떻게 구축하고 그에 필요한 기술들을 어떻게 발전시켜야 하는가에 대하여 논의 하고자 한다. 이를 위해서 첫째로, 한반도 해양환경을 생각해보고, 둘째로 우리의 바다와 바다를 통한 영토를 위협하는 요소가 무엇인가? 셋째로 이를 대비 할 수 있는 시스템과 시스템구축방법, 필요한 기술요소 식별, 그리고 향후 우리가 발전 시켜야 할 내용들에 대하여 소개 하고자 한다.

수중무기체계 자기센서 응용 및 발전방향

임병선*, 문상택

LIG넥스원(주), 경기도 성남시 분당구 판교로 333

북한의 위협이 지속되고 있는 현 상황에 비추어 전시 뿐 만 아니고 평시에도 적 위협에 대한 끊임없는 대비와 안보태세 완비는 초미의 관심사가 아닐 수 없다. 특히, 현 상황은 은밀히 침투 또는 수중은닉 하에 SLBM 등의 발사가 가능한 잠수함 등 수중세력의 위협성이 날로 증대가 되고 있다. 이러한 수중 위협세력에 대응하기 위해 수상 및 수중 무기체계에서 표적을 탐지할 수 있는 주(主)센서로도 활용되고 있는 자기센서 응용 분야와 개선 및 발전방향을 제시해 본다. 수중무기체계 중에서 공격과 방어용으로 모두 활용 가능한 기뢰의 주탐지센서인 자력계를 중심으로 개발·운용 현황과 최신화 설계 및 육/해상 시험 결과 그리고, 기타 수상 및 수중의 감시체계 등에 활용되고 있는 자기센서 응용분야를 고찰해 본다.

함정 요동에 의해 발생하는 와전류 자기장 모사 및 측정에 관한 연구

조동진*, 정현주, 양창섭, 정우진
국방과학연구소

1. 서론

함정이 운행하는 과정에서 함의 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 및 요잉(Yawing)에 의해서 전도성 재질로 제작된 선체 표면에서는 지구자기장과 쇄교하는 자속의 변화가 발생된다. 이러한 자속 변화에 의해서 선체 표면에서는 자속의 변화를 방해하는 방향으로 자기장을 생성하는 와전류(Eddy current)가 발생한다. 와전류에 의한 2차 자기장(와전류 자기장)은 강자성 선체로부터의 정 자기장보다는 그 크기가 매우 작지만, 소자 및 탈자 기법 등과 같은 정 자기장 신호에 대한 감소 기술이 지속적으로 발전함에 따라 와전류 자기장의 상대적인 비중이 커지고 있다. 따라서 자기장 신호에 의해 아함이 피탐되는 것을 방지하기 위해서는 와전류 자기장에 대한 감소 대책이 필요하며, 이를 위해서는 함정의 요동에 의해 발생하는 와전류 자기장을 정확하게 측정하는 것이 수반되어야 한다. 함정의 요동에 의한 와전류 자기장을 측정하기 위해서는 운항 시의 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 및 요잉(Yawing)에 대응하는 요동 환경을 만들어 주어야 한다. 표적을 직접 움직여서 요동 환경을 만드는 방법은 해상뿐만 아니라 실험실 환경에서도 적용하기가 매우 어렵다.

따라서 본 연구에서는 표적을 움직이는 대신 요동에 대응하는 교류 자기장을 표적에 인가함으로써 지구자기장과 표적의 쇄교 자속 변화를 모사하였고, 이를 통해서 표적으로부터의 와전류 자기장을 정밀하게 분석할 수 있는 방법을 고안하였다.

2. 실험방법 및 결과

그림 1은 표적 와전류 자기장 환경 모사장치의 기본 개념을 나타내며, 그림 2는 표적이 위치하는 공간에서의 수평 혹은 수직 성분의 교류 자기장을 생성시키기 위한 자장발생 코일을 나타낸다. 자장발생 코일은 수평, 수직 방향의 코일로 구성되고, 코일 전원은 각각의 코일단에 개별적으로 전류를 인가하기 위해 총 2대의 전원 장치로 구성된다. 그리고 신호분석 장비제어기에 탑재된 운용프로그램을 통해서 각 코일 전원을 제어함으로써, 표적의 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 및 요잉(Yawing) 운동에 대응하는 교류 자기장 환경을 제공한다.

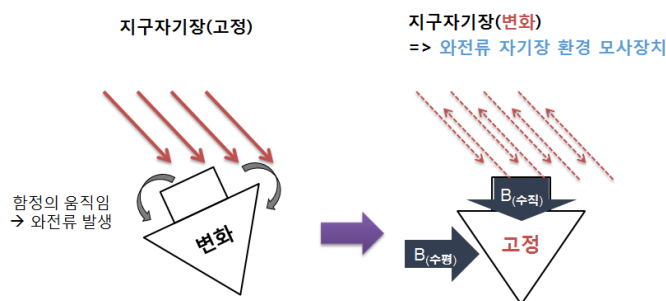


그림 1.

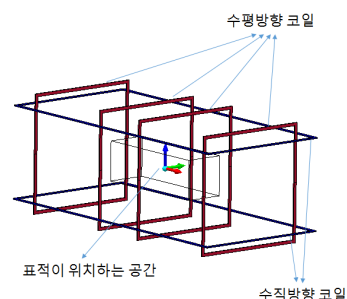


그림 2.

표적의 롤링에 의한 지구자기장과 표적이 쇄교하는 자속의 변화를 수직성분(Bh')과 수평성분(Bh')으로 분리하여 나타내면 식 (1)과 식 (2)와 같다. 수직방향 코일과 수평방향 코일에 각 식에 해당하는 전류를 인가함으로써 와전류 자기장을 생성한다.

$$Bv' = \left(\frac{Bz}{2} \right) (1 - \cos(\theta_r)) \cos(2\omega_r t) + By \sin(\theta_r) \sin(\omega_r t) \quad \text{식 (1)}$$

$$Bh' = Bz \sin(\theta_r) \sin(\omega_r t) + \left(\frac{By}{2} \right) (1 - \cos(\theta_r)) \cos(2\omega_r t) \quad \text{식 (2)}$$

여기에서 Bz 는 수직방향 지구자기장의 크기이고, By 는 수평방향 지구자기장의 크기이며, θ_r 은 표적의 최대 롤링각을 나타내며, ω_r 은 표적의 롤링 주파수의 크기이다.

표적 와전류 자기장 측정 및 분석을 위한 순서는 다음과 같다.

- ① 우선 와전류 자기장을 측정하고자 하는 표적이 위치할 지역의 수직 및 수평 방향 지구자기장 크기와 표적의 최대 롤링각과 롤링 주파수를 신호분석 장비 제어기에 입력한다.
- ② 신호분석 장비 제어기는 자장발생코일에 인가할 전류 크기 및 주파수를 산출한다.
- ③ 표적이 없는 상태에서 자장발생 코일에 교류 자기장 발생을 위한 전류를 투입한다.
- ④ 자기센서를 이용하여 자장발생 코일 내부에서의 자기장과 코일 인가전류를 동시에 측정한다. 측정된 자기장은 자장발생코일에 의한 자기장만을 포함한다.
- ⑤ 자장발생코일의 전류 투입을 종료한다.
- ⑥ 측정 대상 표적을 자장발생코일 중심에 위치시킨다.
- ⑦ ③과 동일한 크기의 전류를 자장발생 코일에 투입한다.
- ⑧ 자기센서를 이용하여 ④와 동일한 위치에서 자장발생 코일 내부에서의 자기장과 코일 인가전류를 동시에 측정한다. 측정된 자기장은 자장발생코일에 의한 자기장과 표적의 와전류 자기장이 함께 포함된다.
- ⑨ ⑧에서 측정된 자기장(표적이 자장발생코일에 위치한 후 측정된 자기장)으로부터 ④에서 측정된 자기장(표적이 자장발생코일에 위치하기 전 측정된 자기장)을 서로 뺀다. 이렇게 뺀 경우는 수평방향 코일 shunt 저항과 수직방향 코일 shunt 저항에서 측정된 전류를 기준으로 코일에 인가되는 자기장의 위상을 동기화하여 뺀다. 따라서 이렇게 획득된 자기장은 순수하게 표적의 와전류 자기장만을 포함하게 된다. 표적이 피칭 및 요잉 운동을 할 경우에도 롤링 운동과 동일한 방법으로 표적을 움직이는 대신 외부 지구 자기장 환경 변화를 통해서 표적의 와전류 자기장 환경을 모사할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 표적을 움직이는 대신 외부에서 표적의 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 및 요잉(Yawing)에 대응하는 교류 자기장을 표적에 인가함으로써 지구자기장과 표적의 쇄교 자속 변화를 모사하였다. 따라서 사용자의 요구조건에 부합되는 와전류 자기장 환경을 정밀하게 조성할 수 있을 뿐만 아니라 표적으로부터의 와전류 자기장의 측정 정확도 또한 향상시킬 수 있으므로 적절한 감소 기술 개발을 통해서 기뢰등과 같은 자기감응 무기체계로부터 아함의 생존성을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

- [1] Official Website of the UNITED STATES NAVY <<http://www.navy.mil>>.
- [2] John J. Holmes, Exploitation of a Ship's Magnetic Field Signature, 1st ed, Morgan&Claypool Publishers, 2008.

수중운동체에서 근접 표적 탐지를 위한 능동형 자기센서

정현주*, 양창섭, 조동진

국방과학연구소

1. 서론

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

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

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

2. 실험방법 및 결과

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

알 수 있었다.

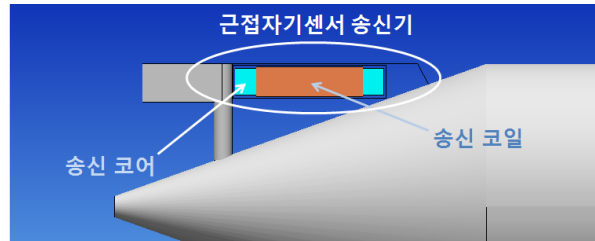


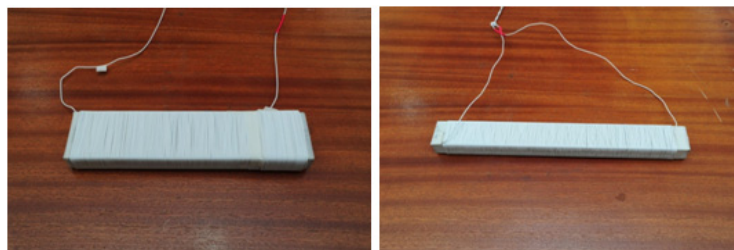
그림 1. 수중운동체 몸체에 장착된 능동형 자기센서 송신기

표 1. 유한요소 해석을 통한 송신기 출력 특성

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

표 2. 유한요소 해석결과와 측정 결과 비교

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



송신기1

송신기4

그림 2. 실제로 제작된 송신기

3. 결 론

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

4. 참고문헌

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

K4 기관총 40mm 고속유탄의 Action Time 계측장치 개발

양승호¹, 김은애^{2*}, 손대락³

¹(주)한화종합연구소, 대전광역시 외삼로 8번길 99(외삼동)

²센서피아, 대전광역시 유성구 유성대로 1596번길 2층

³한남대학교, 대전광역시 대덕구 한남로70(오정동)

40mm 고속유탄을 연속 발사하는 K4 기관총에서 공이가 탄의 뇌관을 격발한 순간부터 총구를 이탈할 때까지 걸리는 시간을 Action Time(동작시간)이라고 한다. 탄이 장전되면서 격발되는 구조이므로 action time이 4ms 이내에 이루어져야만 노리쇠 후퇴 장전과 탄피 추출이 정상적으로 이루어져 탄피 고착(Jamming)과 같은 악작용을 방지할 수 있다.

종래 K4 기관총의 action time은 공이가 뇌관을 타격하여 탄피 뇌관부의 코일이 끊어진 후 탄이 발사되어 총구를 이탈할 때 총구의 탄소 막대를 부러뜨리는 순간까지의 시간을 측정해왔다. 이 방법에는 장전 시 코일이 끊어지는 문제와 함께 계측의 균일성과 연속성 확보에 어려움이 있어 왔다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 탄의 외부에서 탄의 속도를 비접촉 측정하는 방법으로 자기적인 방법을 선택하였다. 와전류 탐촉자는 코어에 코일을 권선하고 교류전압을 인가한 상태에서 탐촉자 표면에 피측정 대상물체인 금속이 접근하면, 탐촉자에서 발생하는 교류자기장에 의하여 피측정 대상물체인 금속에 와전류가 발생하게 되고, 이에 따라 탐촉자의 인덕턴스가 변화하는 량을 측정하는 방법이다. 와전류 탐촉자가 외부의 자기장이나 자성체에 영향을 받지 않게 하기위하여 Mn-Zn 페라이트재료의 pot형 코어를 가공하여 교류자기장이 오직 총열 내부로만 발생되게 하였다.

남극 장보고기지용 지상용 서치코일 자력계 개발

진호^{1,2*}, 김관혁^{1,2}, 신재혁¹, 김효민³, 권종우¹, 이승아²,
이정규¹, 이성환¹, 지건화⁴, Marc R. Lessard⁵

¹경희대학교 우주탐사학과

²경희대학교 우주과학과

³Center for Solar-Terrestrial Research, New Jersey Institute of Technology

⁴극지연구소

⁵Space Science Center, University of New Hampshire

1. 서론

지구 자기권과 전리층 사이에서 발생하는 커플링 현상연구는 자기 섭동 관측을 통해 가능하며, 그 중 커플링 현상의 에너지 전달을 일으키는 ULF (Ultra Low Frequency) 파동은 우주과학 연구에서 주요 관측대상이다(C. Coillot & P. Leroy 2012, Séran & Ferreua 2005). 이에 우리는 ULF파동의 발생원인과 전달방식의 연구를 위해 서치코일 자력계를 개발 하였다. 서치코일 자력계는 1 mHz에서 5 Hz의 측정 범위를 가지도록 설계하였으며, 2축으로 구성되어 자기파동을 측정한다. 자력계의 성능은 검교정 시험과 필드테스트를 통해 확인하였으며, 시스템 분해능은 $0.11 pT / \sqrt{Hz} @ 1 Hz$ 이다. 특히 남극 설치 전, 지상에서의 필드 테스트 중 Pi2 (Irregular Pulsations) 이벤트가 관측되어 그 성능을 확인하였다.

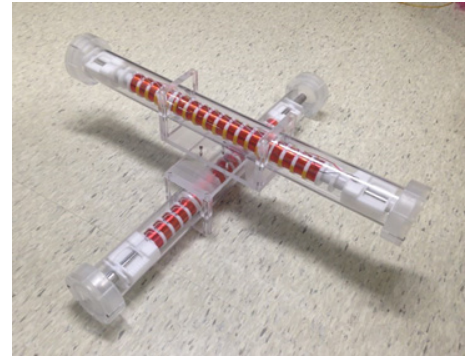


그림 1. 2축 서치코일 자력계

2. 시스템 구성

2축으로 구성된 서치 코일 자력계는 그림 1과 같다. 한 축의 센서 길이는 $920 (L) \times 130 (D)$ mm 이며 무게는 10.5 kg 이다. 센서와 컨트롤러는 약 200 meter의 케이블로 연결되며, 남극기지에서 센서가 멀리 떨어져 관측을 수행할 수 있도록 하였다. 보다 정확한 이벤트 신호 획득을 위한 시각동기화는 GPS 및 NTP를 이용하여 이루어지도록 구성하였다. 측정신호의 증폭과 필터링은 프리앰프와 메인아날로그보드에서 이루어지며, 데이터 수집 보드는 PC와 연동되어 UT시간에 맞추어 10 Hz의 샘플링 속도로 데이터를 획득 한다. 시스템의 구성도는 그림 2와 같다.

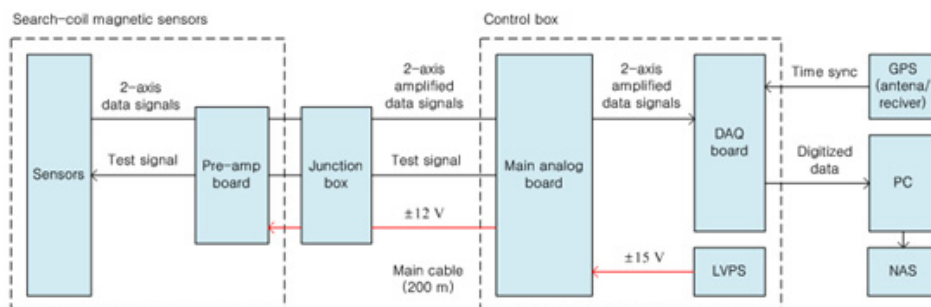


그림 2. 시스템 구성도

3. 시험 결과

자력계의 기능검증을 위해서 응답주파수, 분해능 그리고 필드 테스트의 3가지의 시험을 수행하였다. 응답 주파수와 분해능 테스트로 기기의 측정가능 주파수 및 잡음, 분해능의 성능을 확인 하였다. 외부 전자기적 간섭이 매우 작은 지상 환경에서 필드 테스트를 수행하여 실제 우주환경 관측 자료를 얻었으며, 이를 통해 기기 운용 성능을 확인하였다. 시험을 통한 시스템성능은 표 1에 나타내었다.

표 1. 서치코일 자력계의 분해능과 노이즈 성능

주파수 (Hz)	0.5	1	2
노이즈 (pT/\sqrt{Hz})	0.07	0.07	0.06
분해능 (pT/\sqrt{Hz})	0.11	0.11	0.09

4. 결 론

남극의 장보고 기지에서 활용할 우주과학용 서치코일 자력계를 개발하였다. 필드 테스트 결과, 우주과학 분야에서 요구하는 성능을 만족함을 확인 하였으며 2016년 11월에 남극기지에 설치하여 관측을 수행하게 된다. 기기의 응답주파수와 분해능 시험을 통해 1 mHz ~ 5 Hz의 측정가능 주파수와 시스템의 노이즈 및 분해능 성능을 확인되었다. 또한 필드 테스트를 통해 기기의 내구성이 시험되었으며, Pi2 이벤트의 관측으로 지상 관측용 자력계로써의 성능을 검증하였다. 개발된 자력계는 극지방에서 ULF 관측을 수행하여 우주과학 및 근지구 우주공간의 물리적 현상을 연구하는데 기여할 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

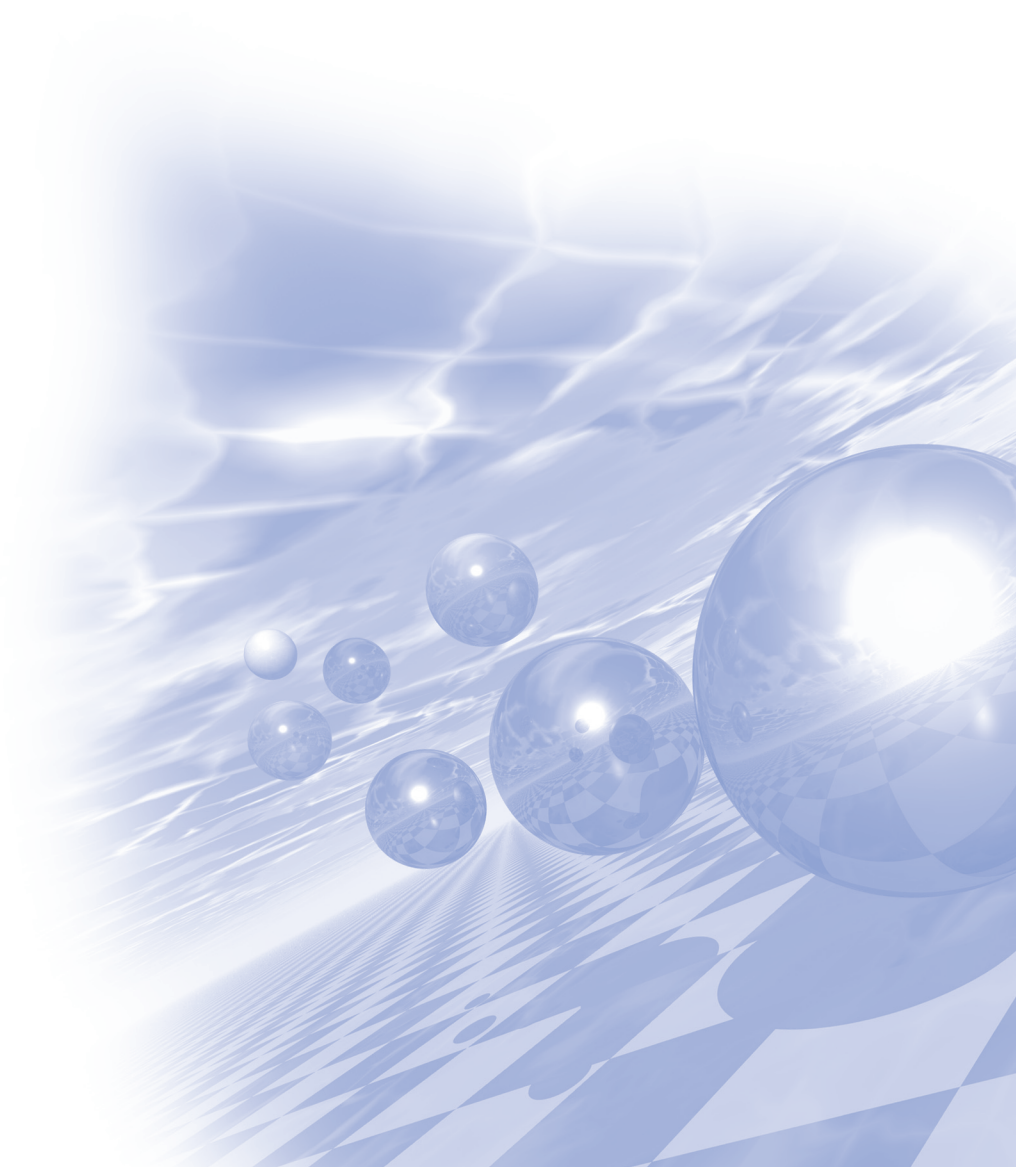
- [1] C. Coillot & P. Leroy, Induction Magnetometers: Principle, Modelling and ways of improvement, Magnetic Sensors – Principles and Applications, Dr Kevin Kuang (Ed.), ISBN: 978-953-51-0232-8, InTech, Open Access Publisher, 45-48, 2012
- [2] Séran & Fergeau, An optimized low-frequency three-axis search coil magnetometer for space research, Review of Scientific Instruments, 76, 044502, 1-2, 2005



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

구두발표 II

(Spin/Theory)



Thermal and Electrical Controls of Magnetization Reversal in FeRh films

Dorj Odkhuu^{*}

Department of Physics, Incheon National University, Incheon 22012, Republic of Korea

Phenomena originating from spin-orbit interaction such as magnetic anisotropy, Rashba-type interactions, or topological insulators have drawn huge attention for its intriguing physics as well as advances in practical applications. In particular, it seems that modern spintronics relies on perpendicular magnetic anisotropy (PMA) and its switching in an antiferromagnetic material. In this talk, I will present results of first-principles calculations on viable routes, by means of thermal and electric fields, that can lead to the large but also switchable PMA in FeRh films on MgO and BaTiO₃.

Cation redistribution of piezoelectric ferromagnetic $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$ (010) films by Co-doping

김재영^{1,2,3*}, 김동환^{2,3}, 오설희⁴, 조월렴⁴

¹Pohang Accelerator Laboratory, Pohang University of Science and Technology

²Department of Physics, Pohang University of Science and Technology

³Max Planck POSTECH Center for Complex Phase Materials, POSTECH

⁴Department of Physics, Ewha Womans University,

We have studied how Ga and Fe atoms distribute in the four different cation sites of GFO films by measuring X-ray absorption spectra and X-ray magnetic circular dichroism spectra and comparing them with theoretical models. The spectra were taken at Fe $L_{3,2}$ and Co $L_{3,2}$ edges of the $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$ and 1.2 % Co-doped $\text{Ga}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_3$ films. The X-ray absorption spectra on Co $L_{3,2}$ edges reveal that doped Co-ions favor O_h sites. The X-ray magnetic circular dichroism spectra on Fe $L_{3,2}$ edges before and after Co-doping are different by far and they show that the Td site occupation of Fe ions increases considerably after Co-doping, which implicates that the Co-doping leads to the overall redistribution of the cation atoms. The Fe occupation ratio of Td and O_h sites are estimated by fitting the X-ray magnetic circular dichroism spectra with a cluster calculation. Finally the cation distribution of these films were obtained by implementing Gilleo's classical model which considers the presence of magnetically dead sites. We found that the cation atoms redistribute entirely after small amount of Co-doping and the total magnetization values of both films were well reproduced from the obtained distributions.

Effects of MgO sputtering power and thermal annealing on the perpendicular magnetic anisotropy of Pt/Co/MgO trilayer

Hyung Keun Gweon*, Sang Ho Lim and Seong-Rae Lee

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

Pt/Co/MgO is an imperative model system that requires more thorough understanding, since in-plane current induced magnetization switching^{1,2}, chiral magnetic order³ and strong perpendicular magnetic anisotropy (PMA)⁴ have been demonstrated from this very brief structure. The interface contributions, arising from either Pt/Co (bottom) or Co/MgO (top) interfaces, are known to be the critical source that bring about such anomalous phenomena. Among these phenomena, we particularly focused on tailoring PMA, especially on the perspective of oxidation states and the degree of intermixing at the top Co/MgO interface. In order to manipulate the oxygen induced PMA from the top interface (Co/MgO), we have grown Pt/Co/MgO under two different MgO sputtering power, namely, 200 W and 50 W. When MgO sputtering power is relatively high (200 W), penetration of oxygen atoms into the Co layer prevails. While in the opposite case (50 W), the penetration is kept to a minimum. As a result, these two discrete samples exhibit disparate PMA properties, where each maximum value of effective anisotropy energy density (K_{eff}) from the two samples series (200 W, 50 W) show $1.64 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$ and $1.98 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$, respectively. Although it appeared that depositing oxide barrier with reduced MgO sputtering power can remarkably improve the PMA properties, thermal annealing treatment seems inevitable to further optimize the strength of PMA. This can be ascribed to the oxygen migration; the penetrated oxygen atoms, formed while the oxide barrier deposition, migrate back to the oxide barrier due to thermal-assisted diffusion. This eventually leads to interface smoothing and optimal oxidation at the interface, which are observed as improvements on PMA properties. Figure 1(a) and (b) clearly manifest these trends where K_{eff} values gradually ascend with rising annealing temperatures. The annealing treatments have been performed at 250°C and 300°C for 30 min at the

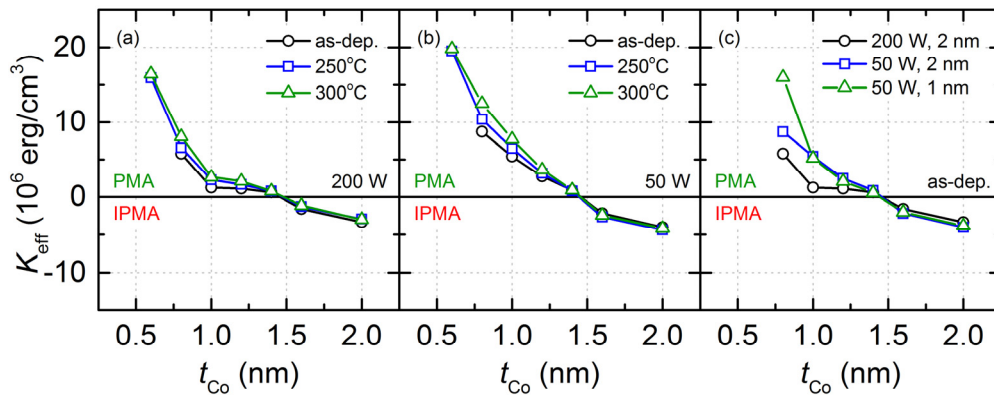


Fig. 1. K_{eff} values plotted as a function of t_{Co} for two different sputtering and annealing conditions: (a) MgO sputtering power of 200 W and (b) 50 W at different annealing temperatures. (c) Comparison between MgO sputtering power (200 W and 50 W) and t_{MgO} (1 nm and 2 nm) for as-deposited samples.

base pressure of under 10^{-6} Torr. Moreover, as it has been shown in Figure 1(c), we have also monitored increment of K_{eff} values when t_{MgO} are reduced to 1 nm. This is presumably due to an open structure of MgO layer, where oxygen atoms continuously penetrate the MgO barrier and oxidize the Co layer during the deposition. In other words, we can tentatively conclude that the degree of Co oxidation is proportional to t_{MgO} , and it can only be monitored specifically when $t_{\text{Co}} < 1$ nm.

This research was supported by Creative Materials Discovery Program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (2015M3D1A1070465).

References

- [1] C. O. Avci *et al.*, App. Phys. Lett. 100, 212404 (2012)
- [2] C. F. Pai *et al.*, Phys. Rev. B. 92, 064426 (2015)
- [3] J. M. Lee *et al.*, Nano Lett. 16, 62 (2016)
- [4] X. Chen *et al.*, App. Phys. Lett. 104, 052413 (2014)

Optical-helicity-driven magnetization dynamics in metallic ferromagnets

Gyung-Min Choi*

Korea Institute of Science and Technology

We experimentally study magnetization dynamics of metallic ferromagnets (Co, Fe, Ni) driven by angular momentum of light. With a thin film ferromagnet/Au or ferromagnet/oxide structure, circularly polarized light imparts instantaneous torque on magnetization primarily into the direction of the cross product of magnetization and the angular momentum of photons. When the ferromagnetic layer is capped with a thin layer of Pt, there is additional torque into the direction of the angular momentum of photons. We interpret these different behaviors in terms of inverse Faraday effect and optical spin transfer torque. Inverse Faraday effect is relatively insensitive to the composition of the ferromagnetic material or capping layer; the coefficient that relates the optomagnetic field to the intensity of the optical electric field is on the order of $10^{-18} \text{ T m}^2 \text{ V}^{-2}$. The optical spin transfer torque mostly comes from the Pt capping layer, which produces a spin polarization per photon of 0.03.

Capping and strain induced modification on magnetocrystalline anisotropy: 5d transition metal/Fe/MgO

P. Taivansaikhan^{*}, S. H. Rhim[†], and S. C. Hong[†]

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

[†]Corresponding author e-mail: sonny@ulsan.ac.kr

^{*}Corresponding author e-mail: schong@ulsan.ac.kr

Recently, magnetic tunnel junctions consist of transition metal capping/ferromagnetic metal/insulator (capping/metal/insulator) have triggered an overwhelming interest because of its strong PMCA as well as huge magnetoresistance. However, the origin of the PMCA is still poorly understood. Moreover, strain can be considered as one factor to engineer MCA, since lattice mismatch occurs quite often. In this talk, first-principles calculations of TM/Fe/MgO [TMs= Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, and Au] reveal systematically that magnetocrystalline anisotropy (MCA) is tremendously affected by the 5d-TM capping as well as interfacial strain. All TM/Fe/MgO except the W and Pt show perpendicular MCA. In particular, the cappings by Re (+3.25 meV/cell), Ir (+4.48 meV/cell) and Os (+8.52 meV/cell) enhance MCA gigantically. On the other hand, the MCA is less affected by strain except for W and Pt. Interestingly, in W and Pt cappings, transition from in-plane to perpendicular MCA occur at 4% compressive strain.

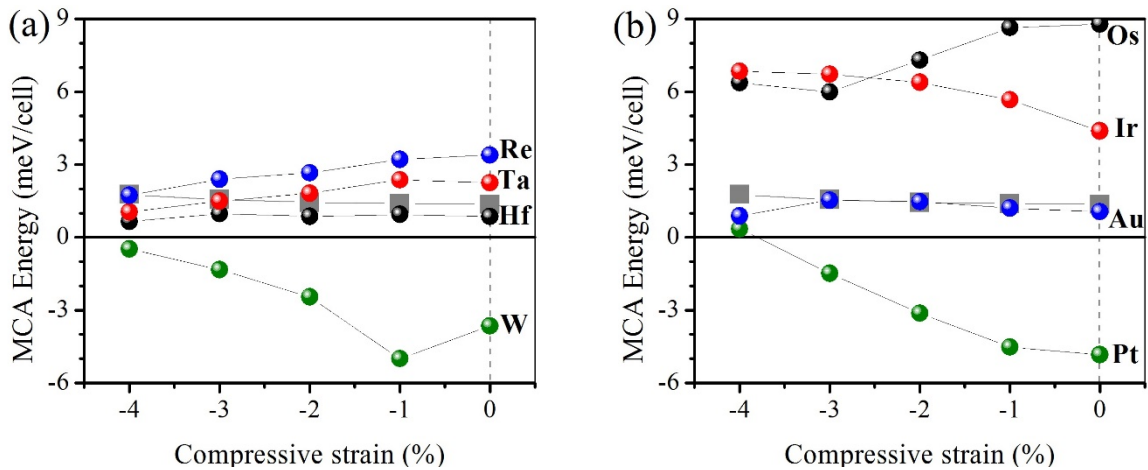


Fig. 1. MCA energy of 5d TM/Fe/MgO under different strain. (a) early TMs on Fe/MgO and (b) late TMs on Fe/MgO. Black, red, green, and blue-balls denote Hf (Os), Ta (Ir), W (Pt), and Re (Au) on Fe/MgO, respectively, while grey-square represents Fe/MgO.

Magnetic properties of tilted phosphorene nanoribbon under electric field

M. Umar. Farooq^{*}, Arqum Hashmi and Jisang Hong

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

Correspondence and requests for materials should be addressed to J.H. (hongj@pknu.ac.kr)

Study on phosphorene nanoribbon was mostly focused on zigzag and armchair structures and no ferromagnetic ground state was observed in these systems. Here, we investigated the magnetic property of tilted black phosphorene nanoribbons (TPNRs) affected by an external electric field. We also studied the edge passivation effect on the magnetism and thermal stability of the nanoribbons. The pure TPNR displayed an edge magnetic state, but it disappeared in the edge reconstructed TPNR due to the self-passivation. In addition, we found that the bare TPNR was mechanically unstable because an imaginary vibration mode was obtained. However, the imaginary vibration mode disappeared in the edge passivated TPNRs. No edge magnetism was observed in hydrogen and fluorine passivated TPNRs. In contrast, the oxygen passivated TPNR was more stable than the pure TPNR and the edge-to-edge antiferromagnetic (AFM) ground state was obtained. We found that the magnetic ground state could be tuned by the electric field from antiferromagnetic (AFM) to ferromagnetic (FM) ground state. Interestingly, the oxygen passivated TPNR displayed a half-metallic state at a proper electric field in both FM and AFM states. This finding may provoke an intriguing issue for potential spintronics application using the phosphorene nanoribbons.

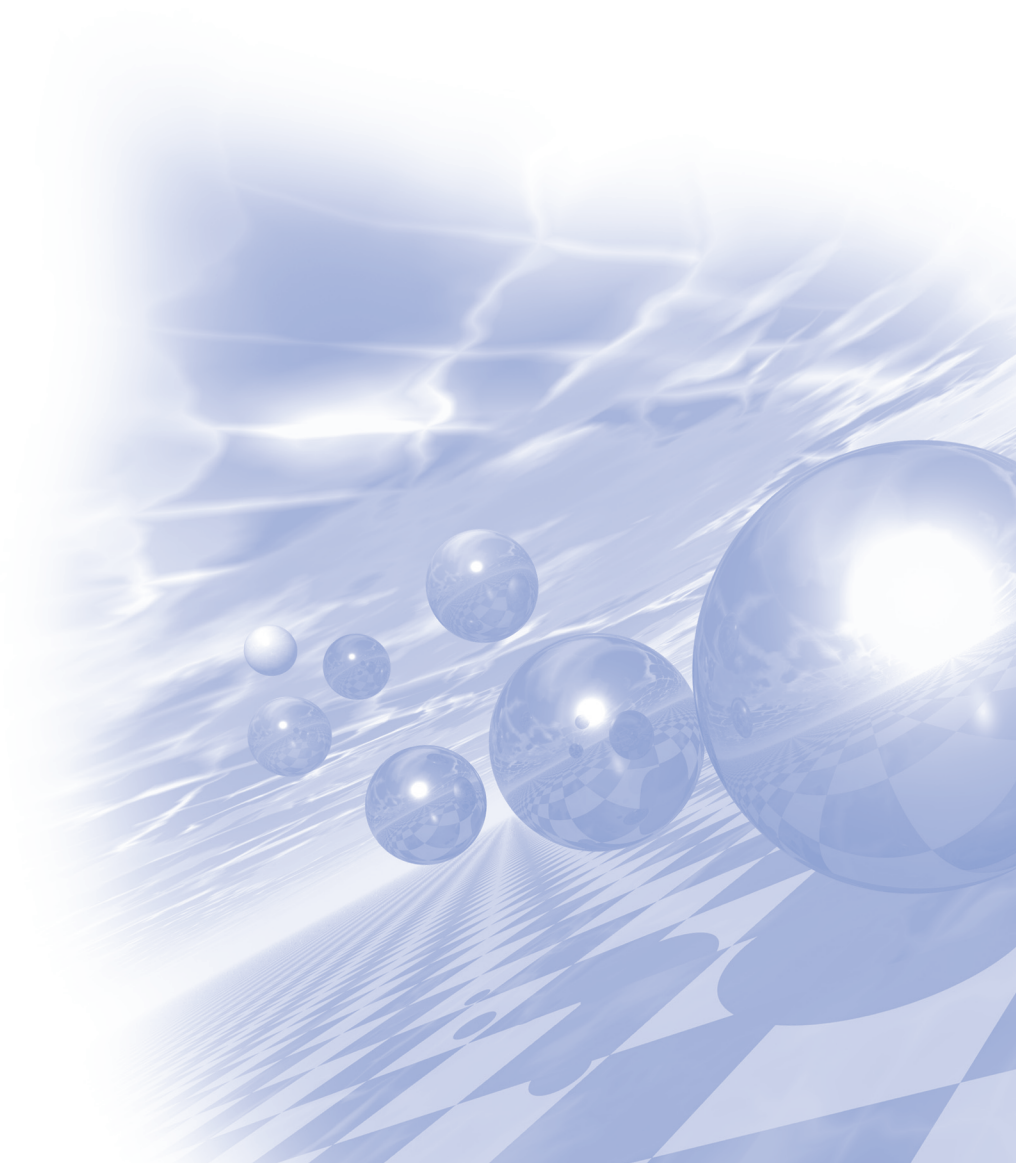
This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and future planning (2016R1A2B4006406)



**International Symposium on Magnetism and
Magnetic Materials 2016**

구두발표 III

(Soft mag. mater.)



Magnetic properties of Fe metal powder coated with alumina by the sol-gel method

Sungjoon Choi*, Sunwoo Lee, Jae-Hyoung Yoo, and Sang-Im Yoo

Department of Materials Science and Engineering, and Research Institute of Advanced Materials,

Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

In recent years, the soft magnetic composites (SMC) have attracted great interest of many researchers because of various potential applications for electromagnetic circuits, sensors, electromagnetic actuation devices, low frequency filters, induction field coils, magnetic seal systems, and magnetic field shielding. It is well-known that intolerably large high-frequency AC losses of magnetic metal powder can be effectively suppressed by their surface with an insulation coating. As such an effort, we tried to fabricate a core-shell structure composed of a Fe metal powder and layer of Al_2O_3 by the sol-gel method. The conditions of Al_2O_3 coating, such as reaction time, were controlled in order to obtain a uniform coating layer. Furthermore, the solutions were carried out using ultrasound treatment before alumina coating to avoid the agglomeration of Fe metal powder. To evaluate the AC losses of SMC, the magnetic core was fabricated by mixing and pressing Al_2O_3 -coated Fe metal powder with a resin. The analysis of the Fe metal powder coated with Al_2O_3 was carried out using field emission-scanning electron microscope (FE-SEM), transmission electron microscope (TEM), inductance analysis, and B-H curve analyzer. These results revealed that the Fe metal powder was uniformly coated with Al_2O_3 , and thus AC losses could be reduced by alumina coating.

Keywords: Eddy current, Insulation coating, Core-shell structure

Core Loss Improvement of SiO₂ Coated Fe Alloy Powder

Sunwoo Lee^{*}, Sungjoon Choi, Jae-Hyoung You, and Sang-Im Yoo

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

Fe based alloy metal powder has been used for alternative current (AC) applications such as inductors and converters due to excellent soft magnetic property, high saturation magnetization with very low coercivity, of the powder. However, because of high electrical conductivity of Fe powder, eddy current generation under AC frequency is unavoidable and it becomes more serious with increasing AC frequency, leading to increased core loss, which limits its applications in high-frequency regime. In this regard, insulation-coating on the surface of Fe powder was utilized to block inter-particle eddy current paths so that reduces the eddy current loss. As such an effort, SiO₂ coating layer on the surface of Fe alloy powder was fabricated by the sol-gel process using ultrasonication, employing Tetraethyl orthosilicate (TEOS) as its precursor, in this study. TEOS concentration, coating time and ultrasonication condition were controlled for an optimization of processing parameters. Transmission electron microscopy (TEM) and Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) results revealed that SiO₂ coating layer was formed core/shell structure of Fe alloy/SiO₂. Magnetic properties including permeability and core loss were measured under AC frequency using toroidal powder core samples. Even though SiO₂ insulation coating decreased permeability, SiO₂-coated powder samples showed much improved core loss values due to decreased eddy current loss. Details will be presented for a discussion.

Keywords: Fe powder, SiO₂ coating, insulating coating, eddy current loss, core loss

Electron beam-induced magnetism on MoS₂ surface along 1T phase transition

Sang Wook Han* and S. C. Hong

Department of Physics and Energy Harvest-Storage Research Center (EHSRC),
University of Ulsan, Ulsan 44610, Korea

In this presentation, we propose a simple method to improve transport property and induce room-temperature ferromagnetism through the optimal electron irradiation on the MoS₂ surface. The magnetic moments are found to be attributed to the unpaired spins of Mo⁴⁺ ions induced by exotic defects, which form a specific shape of concentric circles on the surface region along the 2H/1T phase transition.

The natural-single crystalline MoS₂ samples (SPI) were snipped from a large piece and, after a several exfoliation to take the clean surface, irradiated with different exposure times at the electron acceleration energy (ELV-8 linear accelerators) of 0.7 MeV and 2.0 MeV, respectively, in ambient conditions at room temperature. The area of the electron irradiation at the specific point of 400 ± 50 mm was of width 600 ± 20 × length 20 ± 5 mm² with beam diameter of 25 ~ 35 mm. The stability of the beam energy and dose was less than ± 5 %. The electron dose was checked by the dosimeter films.

In comparison with the diamagnetic susceptibility¹ of the pristine MoS₂, the electron dose of 300 kGy induces the diamagnetic to a ferromagnetic phase transition. Interestingly, along the out-of-plane (the *c*-axis) direction, the diamagnetic behavior still remains for higher magnetic fields than ± 10 kOe. The saturated magnetizations along the in-plane (the *ab*-plane) and out-of-plane directions are 0.057 emu/g (1.634×10^{-3} μ_B /Mo ion) and 0.030 emu/g (8.60×10^{-4} μ_B /Mo ion) at the $H = 35$ kOe and 1 kOe, respectively. These weak ferromagnetic states persist up to room temperature, but the saturated magnetizations of 5 K are significantly reduced to 0.011 emu/g (0.315×10^{-3} μ_B /Mo ion) and 0.008 emu/g (0.229×10^{-3} μ_B /Mo ion) at the $H = 2$ kOe along the in-plane and out-of-plane directions, respectively. The coercivities (0.2 kOe) of both directions at 5 K are also reduced to 0.1 kOe at room temperature. On the other hand, the higher electron dose of 600 kGy induces the diamagnetic to a paramagnetic phase transition along the in-plane direction while the out-of-plane direction still remains diamagnetic.

The electron irradiation with the electron dose of 300 kGy (6.70×10^{14} electrons/cm²) and the acceleration energy of 0.7 MeV creates the 1T-phase-like (V_{S2}) and 1T-3V_S defects on the MoS₂ surface. These defects reduce the bandgap and improve the transport property. The undulating magnetic domains of the MFM image due to weak ferromagnetic state are considerably related to the 1T-3V_S defects. This optimal electron irradiation to improve the magnetic and transport properties at the atomic-layer scale is a key step for the successful integration of 2D TMDs into possible device applications.

Reference

- [1] Han, S. W. *et al.* Controlling ferromagnetic easy axis in a layered MoS₂ single crystal. *Phys. Rev. Lett.* **110**, 247201 (2013).

Current driven nanosecond skyrmion dynamics

Kyung Mee Song^{1,2†*}, Seonghoon Woo^{1†}, Hee-Seung Han³, Min Seung Jung⁴, Mi-Young Im^{4,5},
Ki-Suk Lee³, Kun Soo Song¹, Jae-Sung Kim², Peter Fischer^{6,7}, Jung Il Hong⁴, Jun Woo Choi¹,
Byeong-Chul Min¹, Hyun Cheol Koo^{1,8} and Joonyeon Chang¹

¹Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea

²Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04130, Korea

³Department of Materials Science and Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan, Korea

⁴Department of Emerging Materials, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, Daegu 711-873, Korea

⁵Center for X-ray Optics, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 94720, USA

⁶Materials Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 94720, USA

⁷Department of Physics, University of California, Santa Cruz, California 94056, USA

⁸KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul 02792, Korea

[†]These authors equally contributed to this work

Magnetic skyrmions are topologically-protected small cylindrical swirling spin structures with fascinating physical properties. Its predicted small size, high mobility, and small current required to displace suggests that magnetic skyrmions are suitable for high-density and low-power spintronics device applications. Magnetic skyrmions can be stabilized in materials with strong spin-orbit coupling and large Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI). Recent studies have shown the creation of chiral magnetic skyrmion at room temperature in metallic thin film heterostructures [1-3] and their static motion on nanotracks [4]. However, the experimental observation of ultrafast dynamics of the chiral texture in real space has so far remained elusive due to the difficulty of experimentally obtaining nanosecond time resolution and sub-100nm spatial resolution simultaneously.

In this work, nanosecond-dynamics of a 100 nm-size magnetic skyrmions driven by current-induced spin-orbit torque is revealed. By using a time-resolved pump-probe soft X-ray imaging technique, the skyrmion dynamics during a current pulse application is measured. By changing the magnitude of the current pulse, the dynamic states of magnetic skyrmions, such as the breathing mode or the translational mode, can be reliably tuned. This shows that the dynamics of magnetic skyrmions can be controlled by the applied current density. We believe these observations open the door to versatile and novel skyrmionic applications.

References

- [1] W. Jiang *et al.*, Science, **349** (6245), 283-286 (2015)
- [2] C. Moreau-Luchaire *et al.*, Nature nanotechnology, **11**, 444-448 (2016)
- [3] O. Boulle *et al.*, Nature nanotechnology, **11**, 449-454 (2016)
- [4] S. Woo *et al.*, Nature materials, **15**, 501-506 (2016)

Magnetotransport and Seebeck coefficient of epitaxial FeGe film grown on GaAs(100)

Anh Tuan Duong^{1*}, Yooleemi Shin², Van Thiet Duong³, Van Quang Nguyen², and Sunglae Cho²

¹Center for Nano sciences and Technology, Hanoi University of Education, Hanoi, Vietnam

²Department of Physics and Energy Harvest-Storage Research Center, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Republic of Korea

³School of Engineering Physics, Ha Noi University of Science and Technology, Hanoi, Viet Nam

Skyrmions are small magnetic vortices, which was firstly discovered in manganese silicide thin film. FeGe thin film is one of magnetic materials with skyrmion state. [1, 2] Skyrmions could form the basis of future hard-disk technologies because they might be made much smaller to create storage devices, resulting in much higher density than the disks using magnetic domains. [3] Here we report the magnetism and anomalous Hall effect of FeGe epitaxy thin film grown on GaAs (100) substrate by molecular beam epitaxy (MBE). A hexagonal structure of FeGe thin film was confirmed by XRD pattern. Metallic behavior of film was confirmed by temperature dependence of resistivity. Ferromagnetic ordering was observed in temperature range from 20 to 400 K. Magnetic moments at 20 K and room temperature are 0.76 m_B/Fe and 0.71 m_B/Fe. The anomalous Hall effect (AHE) originating from asymmetric scattering in the presence of magnetization was observed.

References

- [1] X. Z. Yu *et. al.*, Nature Mater. **10**, 106 (2011).
- [2] S. X. Huang and C. L. Chien, Phys. Rev. Lett. **108**, 267201 (2012).
- [3] N. Romming *et. al.*, Science **341**, 636 (2013).

Author Index

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
A. Hrabec	Invited S-II-4	110	Dong-Woo Ha	초S-VI-4	162
A. Thiaville	Invited S-II-4	110	Dongwook Go	초S-II-2	108
Anh Tuan Duong	MO03	87	Dooyong Lee	SM04	53
Anh Tuan Duong	O-III-5	205	Dorj Odkhuu	초O-II-1	191
Arata Tsukamoto	초S-II-7	113	Duc Dung Dang	MO03	87
Arqum Hashmi	MT05	20	Duong Van Thiet	MO03	87
Arqum Hashmi	O-II-6	197	Euna Jo	SO03	76
B. I. Min	초S-V-2	154	Eun-Sang Park	초S-II-6	112
B. W. Lee	초S-III-4	120	Eunyoung Ahn	MD03	38
B.W. Lee	NS01	80	Gyungchoon Go	초S-II-6	112
Bert Koopmans	초S-II-5	111	Gyung-Min Choi	O-II-4	195
Byeong-Chul Min	O-III-4	204	H. Sukegawa	Invited S-II-1	107
Byeong-Kyu Lee	초S-III-2	118	H.S. Kim	NS01	80
Byong-Guk Park	초S-II-6	112	Haein Choi-Yim	SM06	55
Byoung-Chul Min	SO03	76	Haein Choi-Yim	SM08	58
Byoung-Chul Min	초S-II-6	112	Haein Choi-Yim	SM09	60
C. Meny	Invited O-I-3	11	Haein Yim	SM10	62
Chang Man Park	초S-II-8	114	Haile Arena Ambaye	SM07	56
Chang Uk JUNG	O-I-4	138	Hanchul Kim	MT12	33
Chang-Geun Yang	초S-II-6	112	Hee-Gyum Park	SO03	76
Changjae Roh	MO01	84	Hee-Seung Han	O-III-4	204
Changjin Wu	SS02	70	Henk J. M. Swagten	초S-II-5	111
Changyoung Kim	초S-II-2	108	Henk J.M. Swagten	SO01	73
Chaun Jang	NS02	81	Heon-Jin Choi	SS04	72
Chaun Jang	SO03	76	Hongjae Moon	HM04	46
Christian Mény	O-I-5	140	Hongjae Moon	HM05	47
Chul-Jin Choi	HM01	42	Hongtao Xu	SS02	70
Chul-Jin Choi	Invited S-VI-5	163	Ho-Sup Kim	초S-VI-4	162
Chul-Jin Choi	초S-VI-1	159	Hui-Dong Qian	HM01	42
Chul-Jin Choi	초S-VI-4	162	Hwaebong Jung	HM04	46
Chunli Liu	Invited S-III-5	121	Hwaebong Jung	HM05	47
Chunli Liu	SS02	70	Hyeok-Cheol Choi	SM07	56
Chun-Yeol You	SM07	56	Hyeonjun Kong	MD03	38
Chun-Yeol You	SO01	73	Hyoung Tae Kim	NS02	81
Chun-Yeol You	초S-II-5	111	Hyoungjeen Jeen	MD03	38
D. H. Kim	초S-III-4	120	Hyoungjeen Jeen	O-I-7	143
D. J. Lee	초S-III-4	120	Hyun Cheol Koo	NS02	81
D. Odkhuu	초S-V-3	155	Hyun Cheol Koo	O-III-4	204
D.H. Kim	NS01	80	Hyun Cheol Koo	SS01	69
Do Duc Cuong	MT06	21	Hyun Cheol Koo	SS03	71
Dong-Hyun Kim	SM07	56	Hyun Cheol Koo	SS04	72
Dong-Soo Han	SO01	73	Hyung Keun Gweon	O-II-3	193
Dong-Soo Han	초S-II-5	111	Hyung-Jun Kim	SS01	69

Name	Abstract ID	Page
Hyung-jun Kim	SS03	71
Hyun-jun Kim	SS04	72
Hyun-Sook Lee	HM04	46
Hyun-Sook Lee	HM05	47
Hyun-Woo Lee	초S-II-2	108
Hyun-Woo Lee	초S-II-6	112
Imran Khan	MT04	19
Imran Khan	초S-V-4	156
J. H. Park	초S-III-4	120
J. Sampaio	Invited S-II-4	110
Jae-Hoon Shim	MT01	15
Jae-Hoon Shim	MT10	29
Jae-Hoon Shim	MT11	31
Jaehun Cho	SO01	73
Jaehun Cho	초S-II-5	111
Jae-Hyoung Yoo	O-III-1	201
Jae-Hyoung You	O-III-2	202
Jaekwang Lee	MD03	38
Jaekwang Lee	O-I-7	143
Jae-Sung Kim	O-III-4	204
Jeehoon Jeon	NS02	81
Je-Ho Shin	SM07	56
Ji Woong Kim	SM04	53
Jicheol Son	MT04	19
Jihye Kim	O-I-5	140
Jin, Taewon	MT13	34
Jinho Byun	O-I-7	143
Jinhyung Cho	MD03	38
Jinki Hong	NS02	81
Jin-Kyu Byun	MT01	15
Jin-Kyu Byun	MT10	29
Jin-Kyu Byun	MT11	31
Jinyong Jung	SO01	73
Jisang Hong	MT04	19
Jisang Hong	MT05	20
Jisang Hong	O-II-6	197
Jisang Hong	초S-V-4	156
Jiyong Gu	SM07	56
Jiyun Oh	SM08	58
Jong Kahk Keum	SM07	56
Jong-Ryul Jeong	초S-II-6	112
Jongseok Lee	MO01	84
Jong-Woo Kim	HM01	42
Jong-Woo Kim	초S-VI-1	159
Jong-Woo Kim	초S-VI-4	162
Joo-hyeon LEE	SS03	71
Joonyeon Chang	NS02	81
Joonyeon Chang	O-III-4	204

Name	Abstract ID	Page
Joonyeon Chang	SS01	69
Joonyeon Chang	SS03	71
Joonyeon Chang	SS04	72
Josep Fontcuberta	Invited O-I-1	9
Jun Hee Lee	초S-IV-2	128
Jun Woo Choi	O-III-4	204
June-Seo Kim	SO01	73
June-Seo Kim	초S-II-5	111
Jung Il Hong	O-III-4	204
Jung-Goo Lee	MD03	38
Junghoon Lee	초S-III-1	117
Jung-Il Hong	MT07	22
Jung-Woo Koo	초S-II-5	111
K. Hono	Invited O-I-2	10
Kab-Jin Kim	초S-II-7	113
Kenta Takagi	Invited O-III-1	175
Kimihiro Ozaki	Invited O-III-1	175
Ki-Myung Song	SO02	75
Ki-Seung Lee	초S-II-6	112
Ki-Suk Lee	MT07	22
Ki-Suk Lee	O-III-4	204
Ki-Suk Lee	초S-VI-4	162
Ki-Yeon Kim	SM07	56
Kook-Chae Chung	HM01	42
Kook-Chae Chung	초S-VI-1	159
Kook-Chae Chung	초S-VI-4	162
Kun Soo Song	O-III-4	204
Kunihiko Yamauchi	Invited S-IV-1	127
Kyoung-Whan Kim	초S-II-6	112
Kyu-Jin Jung	MT01	15
Kyu-Jin Jung	MT10	29
Kyu-Jin Jung	MT11	31
Kyujoon Lee	SO01	73
Kyung Mee Song	O-III-4	204
Kyung-Jin Lee	초S-II-6	112
Lee, Changhoon	MT13	34
M. Umar. Farooq	O-II-6	197
M.B Kishore	SA02	90
M.B.Kishore	SA01	88
Marc R. Lessard	초S-VIII-6	186
Mathias Kläui	초S-II-5	111
Min Seung Jung	O-III-4	204
Min-Soo Choi	MT01	15
Min-Soo Choi	MT10	29
Min-Soo Choi	MT11	31
Mi-Young Im	O-III-4	204
Miyoun Kim	MT12	33
Myung-Hwa Jung	SO01	73

Name	Abstract ID	Page
Nai-Kun Sun	Invited S-VI-5	163
Nam-Hui Kim	SO01	73
Nam-Hui Kim	초S-II-5	111
Namkyu Kim	MT07	22
P. S. Tola	Invited S-III-6	123
P. Taivansaikhan	O-II-5	196
P. Taivansaikhan	초S-V-3	155
Peter Fischer	O-III-4	204
Ping-Zhan Si	HM01	42
Ping-Zhan Si	Invited S-VI-5	163
Q.Y. Xiang	Invited S-II-1	107
Rikio Soda	Invited O-III-1	175
S. C. Hong	O-II-5	196
S. C. Hong	O-III-3	203
S. C. Hong	초S-V-3	155
S. H. Lee	초S-III-4	120
S. H. Rhim	MT06	21
S. H. Rhim	O-II-5	196
S. H. Rhim	초S-IV-3	129
S. H. Rhim	초S-V-3	155
S. Kasai	Invited S-II-1	107
S. Mitani	Invited S-II-1	107
S. Rohart	Invited S-II-4	110
Sang Ho Lim	O-II-3	193
Sang Wook Han	O-III-3	203
Sang-Im Yoo	O-III-1	201
Sang-Im Yoo	O-III-2	202
Sang-Koog Kim	초S-III-7	124
Sangsu Kim	NS02	81
See-Hun Yang	초S-II-3	109
Sehwan Song	SM04	53
Seol Hee Oh	MO01	84
Seonghoon Woo	O-III-4	204
Seong-Rae Lee	O-II-3	193
Seongsu Lee	SO02	75
Seoyeon Kwon	SM09	60
Seung Ku Kang	SM07	56
Seung-heon Chris Baek	초S-II-6	112
Shim, Ji-Hoon	MT13	34
Sin-Yong Jo	SM07	56
Sol Jung	SM10	62
Soon Cheol Hong	MT06	21
Suk Hee Han	SS01	69
Suk Hee Han	SS03	71
Sukmock Lee	초S-II-5	111
Sumin Kim	HM04	46
Sumin Kim	HM05	47
Sumin Kim	SM06	55

Name	Abstract ID	Page
Sunghyun Yoon	NM01	83
Sungjoon Choi	O-III-1	201
Sungjoon Choi	O-III-2	202
Sungkyun Park	MD03	38
Sungkyun Park	O-I-7	143
Sungkyun Park	SM04	53
Sunglae Cho	MO03	87
Sunglae Cho	O-III-5	205
Sunwoo Lee	O-III-1	201
Sunwoo Lee	O-III-2	202
T. L. Phan	Invited S-III-6	123
Tae-Eon Park	NS02	81
Taewon Min	O-I-7	143
Taeyueb Kim	NS02	81
Takahiro Moriyama	초S-II-7	113
Takashi Miyake	Invited S-V-1	153
Takayuki Tono	초S-II-7	113
Tayyebbeh Soltani	초S-III-2	118
Teruo Ono	초S-II-7	113
Umasankar Dash	O-I-4	138
Valeria Lauter	SM07	56
Van Quang Nguyen	O-III-5	205
Van Thiet Duong	O-III-5	205
Wataru Yamaguchi	Invited O-III-1	175
William Jo	MO01	84
William Jo	O-I-5	140
Won Young Choi	SS01	69
Won Young Choi	SS03	71
Wooyoung Lee	HM04	46
Wooyoung Lee	HM05	47
Y. Iida	Invited S-II-1	107
Y. Shin	Invited O-I-3	11
Yooleemi Shin	O-III-5	205
Youn Ho Park	SS04	72
Young-Wan Oh	초S-II-6	112
Yuefa Jia	Invited S-III-5	121
Yunhee Cho	SM04	53
Yuon-Kyoung Baek	MD03	38
Yuxiang Yin	SO01	73
Yuxiang Yin	초S-II-5	111
Z.C. Wen	Invited S-II-1	107
강선주	SA01	88
강선주	SA02	90
강지훈	SM13	68
강충환	초S-VII-5	172
고두 산디아 라니	MD02	37
고병욱	SM11	64
공근승	초S-I-8	103

Name	Abstract ID	Page
공문희	초S-VII-5	172
곽정원	초S-VII-1	167
구태준	SM02	50
권세훈	HM03	45
권오룡	MT03	18
권종우	초S-VIII-6	186
권해웅	HM02	43
권해웅	MO02	85
권해웅	O-I-1	133
권해웅	O-I-3	136
권해웅	토크콘서트-1	3
김갑중	초S-VII-3	169
김건우	MD02	37
김경민	HM02	43
김경민	MO02	85
김경민	O-I-3	136
김관혁	초S-VIII-6	186
김규섭	MD01	35
김규식	MD01	35
김규원	SO05	78
김기홍	초S-VII-2	168
김남희	SO05	78
김대연	MD06	41
김대현	MD06	41
김덕호	MD06	41
김도환	SM13	68
김동석	MD04	39
김동석	MD05	40
김동석	SO04	77
김동영	SM01	49
김동영	SM02	50
김동영	ST01	82
김동환	O-II-2	192
김동환	초S-I-8	103
김명삼	초S-VII-2	168
김문환	SM12	66
김미루	초S-I-6	101
김미진	SM13	68
김범주	SM13	68
김범진	MD04	39
김범진	MD05	40
김범진	SO04	77
김삼진	SM05	54
김삼진	SM11	64
김삼진	SM12	66
김상국	토크콘서트-2	4
김상면	초S-I-9	104
김성백	SM12	66

Name	Abstract ID	Page
김성준	SM13	68
김수경	HM03	45
김수철	MD01	35
김신규	초S-I-6	101
김양도	O-I-1	133
김영근	SO05	78
김영민	초S-I-6	101
김용진	SO05	78
김원동	MD06	41
김유민	초S-VII-2	168
김유선	초S-I-5	100
김은애	초S-VIII-5	185
김재영	O-II-2	192
김정호	초S-VII-4	170
김종렬	초S-VI-3	161
김종명	초S-VII-5	172
김지웅	HM06	48
김지호	MD04	39
김지호	MD05	40
김지호	SO04	77
김창규	초S-VII-4	170
김창수	MD06	41
김철기	MD02	37
김철기	SM13	68
김철성	SM03	51
김철성	SM05	54
김철성	SM11	64
김철성	SM12	66
김철성	초S-III-3	119
김태훈	O-I-3	136
김현수	HM02	43
김현수	MO02	85
김형석	초S-I-6	101
김효민	초S-VIII-6	186
김효준	초S-I-9	104
김희중	초O-II-2	149
나길주	초S-VII-2	168
남궁호	MT09	25
문경웅	MD06	41
문상택	초S-VIII-2	180
박관수	O-I-6	141
박덕근	SA01	88
박덕근	SA02	90
박성균	HM06	48
박중학	초S-I-3	97
박진식	MT02	17
박철수	초S-VII-2	168
박혜지	초O-II-1	147

Name	Abstract ID	Page
배석	초S-I-5	100
배석환	초S-VII-4	170
배성철	ST01	82
백연경	HM03	45
서선열	초S-VII-3	169
서아라	초S-VII-5	172
서정민	초S-VII-5	172
서정철	SM03	51
손대락	초S-VIII-1	179
손대락	초S-VIII-5	185
손진영	SM11	64
신성수	초S-VII-1	167
신승욱	MT09	25
신재혁	초S-VIII-6	186
신형섭	초S-VII-5	172
심인보	SM05	54
심지훈	초S-VI-2	160
안미정	SM05	54
안성용	초S-I-1	95
안우상	초S-VII-1	167
안진남	MT09	25
양승남	초S-I-2	96
양승호	초S-VIII-5	185
양창섭	초S-VIII-3	181
양창섭	초S-VIII-4	183
양철웅	O-I-3	136
엄영량	SM03	51
엄원영	SM05	54
오설희	O-II-2	192
유세종	초S-VII-4	170
유지훈	O-I-1	133
유지훈	O-I-3	136
유지훈	초S-I-8	103
유지훈	토크콘서트-1	3
유천열	SO05	78
윤석수	SM01	49
윤석수	SM02	50
윤석수	ST01	82
윤정범	MD06	41
윤종환	MD02	37
윤창진	MD04	39
윤창진	MD05	40
윤창진	SO04	77
이경진	토크콘서트-3	5
이궁원	MD04	39
이궁원	MD05	40
이궁원	SO04	77
이기석	초S-VI-2	160

Name	Abstract ID	Page
이동진	초S-I-3	97
이두환	초S-I-6	101
이명호	초S-I-4	99
이병화	MD01	35
이상선	MD06	41
이상원	초S-I-5	100
이상훈	SM02	50
이상희	MT03	18
이성환	초S-VIII-6	186
이승아	초S-VIII-6	186
이억균	초S-VI-2	160
이정구	HM03	45
이정구	O-I-1	133
이정구	O-I-2	134
이정구	O-I-3	136
이정구	초S-I-8	103
이정구	토크콘서트-1	3
이정규	초S-VIII-6	186
이주은	MT08	24
이지성	HM06	48
이철규	SA01	88
이철규	SA02	90
이태경	초S-I-2	96
임병선	초S-VIII-2	180
임병화	MD02	37
임새울	SM05	54
임성현	MT02	17
임성현	MT08	24
임정태	SM03	51
전광원	O-I-2	134
전민철	초S-VII-3	169
전병선	MD06	41
전태형	SM13	68
정순영	HM02	43
정순영	MO02	85
정연준	초S-I-6	101
정우진	초S-VIII-3	181
정현주	초S-VIII-3	181
정현주	초S-VIII-4	183
정효연	초S-I-5	100
조동진	초S-VIII-3	181
조동진	초S-VIII-4	183
조병철	초S-VII-1	167
조성호	초S-VII-5	172
조윌렘	O-II-2	192
조윤희	HM06	48
좌용호	초S-VI-3	161
주성중	SO04	77

Name	Abstract ID	Page
지건화	초S-VIII-6	186
진호	초S-VIII-6	186
차인호	SO05	78
차희령	O-I-1	133
차희령	O-I-2	134
채종서	MT09	25
최광보	초S-I-2	96
최봉완	초S-VIII-1	179
최석봉	MD06	41
최성진	초S-I-2	96
최승호	SM13	68
최원식	초S-VII-1	167
최재혁	초S-VII-3	169
최현경	SM05	54

Name	Abstract ID	Page
최현경	SM12	66
하정무	O-I-6	141
한만석	초S-VII-4	170
한승희	초S-I-7	102
한은주	SM12	66
홍순직	초S-I-3	97
홍순철	MT02	17
홍순철	MT03	18
홍순철	MT08	24
황도근	초O-II-1	147
황도근	초S-VII-3	169
황찬용	MD06	41
후싱하오	MD02	37



Digests of the International Symposium on Magnetism and Magnetic Materials 2016
The Korean Magnetics Society
사단법인 한국자기학회

2016년도 자성 및 자성재료 국제학술대회

제 26권 2호

(06130) 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동635-4) 한국과학기술회관 신관 905호

TEL. (02)3452-7363, **FAX.** (02)3452-7364

E-mail. komag@unitel.co.kr, **Home-page.** www.komag.org