

한국자기학회 2016년도 임시총회 및 하계학술연구발표회

KMS 2016 Summer Conference

논문개요집



- 일시 2016. 5. 25(수) ~ 5.27(금)
- 장소 한화리조트 해운대 티볼리
- 주최 한국자기학회
- 후원 한국과학기술단체총연합회, 현대자동차

사단법인 한국자기학회

한국자기학회 2016년도 임시총회 및 하계학술연구발표회

KMS 2016 Summer Conference

논문개요집



- | | |
|----|--------------------------|
| 일시 | 2016. 5. 25(수) ~ 5.27(금) |
| 장소 | 한화리조트 해운대 티볼리 |
| 주최 | 한국자기학회 |
| 후원 | 한국과학기술단체총연합회, 현대자동차 |

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



공지사항

1. 포스터발표를 하시는 회원은 아래의 사항을 지켜주시기 바랍니다.

- 1) 포스터보드 크기는 한 분당 가로 120cm X 세로 180cm 사용할 수 있습니다.
- 2) 포스터는 목요일 오전 9시 30분부터 오후 6시까지 포스터를 부착하시면 되고,
포스터 발표 Discussion은 17:10~18:00 사이에 별도 진행됩니다.

2. 일정

5월 25일(수)	16:00~17:00	참가자 등록		
	17:00~18:00	환영 리셉션 (마나롤라)		
5월 26일(목)	09:00~	참가자 등록		
	09:30~12:00	Special Session I (마나롤라)	Special Session II (코닐리아)	포스터발표 (베르나차)
	12:00~13:30	점심식사		
	13:30~15:20	Special Session III (마나롤라)	Special Session IV (코닐리아)	
	15:20~15:30	Coffee Break		
	15:30~17:10	Special Session V (마나롤라)	구두발표 I (코닐리아)	
	17:10~18:00	포스터발표 Discussion & Bierstube (베르나차)		
	18:00~18:30	한국자기학회 임시총회 및 시상식 (마나롤라)		
	18:30~20:00	Dinner (블루시걸)		
5월 27일(금)	08:30~	참가자 등록		
	09:00~11:05	Special Session VI (마나롤라)	구두발표 II (베르나차1)	구두발표 III (베르나차2)
	11:05~13:00	점심식사		
	13:00~14:10	Special Session VII (마나롤라)	구두발표 IV (베르나차1)	구두발표 V (베르나차2)
	14:10~14:20	Coffee Break		
	14:20~16:00	Special Session VIII (마나롤라)	구두발표 VI (베르나차1)	
	16:00~16:10	폐회 (마나롤라)		

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

5월 26일(목) 18:00부터 시상식이 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여를 바랍니다.

(단, 수상자(발표자)가 불참 시에는 수상이 취소됩니다.)

5월 25일 [수]

시간	프로그램
16:00~17:00	참가자 등록
17:00~18:00	환영 리셉션 (마나톨라)

5월 26일 [목]

시간		프로그램			
09:00 ~		참가자 등록			
09:30 ~ 12:00	Special Session I (마나톨라) ‘Nanocomposite Magnet’ 좌장 : 강영수(서강대)		Special Session II (코닐리아) ‘국방 및 우주분야’ 좌장 : 손대락(한남대)		포스터발표 (베르나차) 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 MO [Magnetic Oxides and Multiferroics] Session SA [Sensor and Applications] Session OT [Others]
	09:30 ~ 10:00	(Invited)S-I-1. Chemical Synthesis of Magnetic Nanomaterials Yanglong Hou(Peking University)	09:30 ~ 09:50	초S-II-1. 함정 전자기스텔스 국내 연구개발 동향 양창섭(국방과학연구소)	
			09:50 ~ 10:10	초S-II-2. 강자성체 탈자시스템에서 자기포화를 고려한 최적인가자계 선정에 관한 연구 임상현(부산대)	
	10:00 ~ 10:30	(Invited)S-I-2. Preparation of bulk anisotropic nanocrystalline RCo ₅ (R=Sm, Pr) permanent magnets Ming Yue(Beijing University of Technology)	10:10 ~ 10:30	초S-II-3. 축소함 시험을 통한 실험실 환경에서의 함정 소자 전류 산출 기법 연구 정현주(국방과학연구소)	
			10:30 ~ 10:40	coffee break	
	10:30 ~ 11:00	초S-I-3. Preparation of Nd based nano composite by reduction-diffusion process 최철진(재료연구소)	Special Session II (코닐리아) ‘국방 및 우주분야’ 좌장 : 양창섭(국방과학연구소)		
			10:40 ~ 11:00	초S-II-4. 수중용 고감도 OFG 자기센서 신광호(경성대)	
	11:00 ~ 11:30	초S-I-4. Magnetic properties of MnBi/Sm ₂ Fe ₁₇ N ₃ hybrid sintered magnets using hot compaction process 김종렬(한양대)	11:00 ~ 11:20	초S-II-5. 지구 자기장의 이해와 지구 과학에의 응용 임무택(한국지질자원연구원)	
			11:20 ~ 11:40	초S-II-6. 차세대 소형위성 1호용 TAM 제작 손대락(한남대)	
	11:30 ~ 12:00	초S-I-5. Fabrication of Hard/Soft Magnetic Nanoparticle Nanocomposite Magnet 강영수(서강대)	11:40 ~ 12:00	초S-II-7. 대한민국 달탐사: 달 자기이상 현상 규명 진호(경희대)	
	12:00 ~ 13:30	점심식사			



5월 26일 [목]

시간		프로그램			
13:30 ~ 15:20	Special Session III (마나몰라) ‘자성체 조직평가’ 1부 좌장 : 이재광(부산대)		Special Session IV (코닐리아) ‘MRI 및 방사선 분야 (의과학연구회)’ 좌장 : 한만석(강원대)		포스터 발표 (베르나차) 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 MO [Magnetic Oxides and Multiferroics] Session SA [Sensor and Applications] Session OT [Others]
	13:30 ~ 13:50	초S-III-1. 입계확산자석의 확산층 안정화에 의한 보자력 향상기술 김동현(성림첨단산업)	13:30 ~ 14:30	초S-IV-1. 의료 영상연구를 위한 몬테칼로 모사코드: GATE 백철하(동서대)	
	13:50 ~ 14:10	초S-III-2. X-ray Magnetic Circular Dichroism and its applications 김재영(포항가속기연구소)	14:30 ~ 15:00	초S-IV-2. 몬테칼로 전산모사를 이용한 원뿔대 투과 형 타겟 모양의 근접치료용 소형 엑스선 선원에 대한 선량분포 평가 안우상(울산의대 강릉아산병원)	
	14:10 ~ 14:30	초S-III-3. Magneto-Optical Kerr/Faraday Microscopy for Magnetic Domain Observation and Spin Dynamics Study 김동현(충북대)			
	14:30 ~ 14:50	초S-III-4. Probing of nanoscalemagnetic properties using advanced magnetic force microscopy 김윤석(성균관대)			
	14:50 ~ 15:10	초S-III-5. Probing the magnetic states of centrocymmetric magnetic materials by magnetic force microscopy 김지훈(포항공대)	15:00 ~ 15:20	초S-IV-3. 전산화단층촬영영에서 물리적인자의 변화가 방사선치료계획에 미치는 영향 장재욱(충남대병원)	
15:20 ~ 15:30	coffee break				



5월 26일 [목]

시간	프로그램			
15:30 ~ 17:10	Special Session V (마나톨라) ‘고주파 전자성 분말소재의 제조 및 응용’ 좌장 : 김휘준(한국생산기술연구원)		구두발표 I (코닐리아) 좌장 : 최철진(재료연구소)	
	15:30 ~ 15:50	초S-V-1. 가스분사공정을 이용한 비정질 전자성 분말제조 김용진(재료연구소)	15:30 ~ 15:45	O-I-1. Study on electrical resistivity enhancement in die-upset Nd-Fe-B magnet by addition of fluoride salt 김경민(부경대)
	15:50 ~ 16:10	초S-V-2. 전자성 재료로의 적용을 위한 철계 비정질 합금 설계 전략 이승훈(경북대)	15:45 ~ 16:00	O-I-2. Creep과 Flow영역에서 나선형 감쇠(Chiral damping)에 의한 상이한 비대칭적 자구벽 운동 김덕호(서울대)
	16:10 ~ 16:30	초S-V-3. Fe-10Si-6Al 합금 분말의 실람 표면 처리한 복합체필름의 차폐특성에 관한 연구 이우성(전자부품연구원)	16:00 ~ 16:15	O-I-3. 용융염을 이용하여 형상 제어된 스트론튬 페라이트 경자성 분말의 제조 및 자성 특성 전광원(재료연구소)
			16:15 ~ 16:30	O-I-4. Fe-Co alloy powders prepared by mechanical milling: The effect of milling time and annealing temperature on the structural and magnetic properties D. H. Manh(Vietnam Academy of Science and Technology)
	16:30 ~ 16:50	초S-V-4. Fe계 비정질 합금의 전자성 특성에 대한 비금속 합금 원소의 영향 이민하(한국생산기술연구원)	16:30 ~ 16:45	O-I-5. The grain boundary diffusion process with Nd-Cu-Zn alloy on Nd-Fe-B magnets hot deformed by Spark Plasma Sintering Shu Liu(재료연구소)
17:10 ~ 18:00	16:50 ~ 17:10	초S-V-5. 개량된 수분사공정을 이용한 비정질 전자성 분말제조 김휘준(한국생산기술연구원)	16:45 ~ 17:05	O-I-6. Manufacturing Technologies for Magnetic Tunnel Junction PVD Materials Matthew T Willson(Materion Advanced Materials)
	포스터발표 Discussion & Bierstube (베르나차) 좌장 : 김향연(한국생산기술연구원) / 신광호(경성대)			
	한국자기학회 임시총회 및 시상식 (마나톨라)			
	Dinner (블루시걸)			

포스터발표 (베르나차)

- 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 MO
[Magnetic Oxides and Multiferroics]
- Session SA
[Sensor and Applications]
- Session OT
[Others]



5월 27일 [금]

시간		프로그램				
08:30~		참가자 등록				
09:00 ~ 11:05	Special Session VI (마나몰라) '자성체 조직평가' 2부 좌장 : 장서형(부경대)			구두발표 II (베르나차1) 좌장 : 임상호(고려대)		구두발표 III (베르나차2) 좌장 : 박덕근(한국원자력연구원)
	09:00 ~ 09:25	초S-VI-1. Neutron Diffraction Studies for Magnetic Materials 이성수(한국원자력연구원)	09:00 ~ 09:30	(Invited)O-II-1. Thermoelectric properties of Indium and Gallium- codoped ZnO thin films Bach Thang Phan(Vietnam National University in HoChiMinh City)	09:00 ~ 09:30	(Invited)O-III-1. Enhancing some characteristic properties of magnetic micro-/nano- materials Pham Duc Thang(Vietnam National University in Hanoi)
	09:25 ~ 09:50	초S-VI-2. In-situ Measurement for Magnetic Materials and Minerals Using Mössbauer Spectroscopy 엄영랑(한국원자력연구원)	09:30 ~ 09:45	O-II-2. 증착 에너지의 변화에 따른 박막특성 분석 및 수직자기이방성 연구 김지민(고려대)		
	09:50 ~ 10:15	초S-VI-3. Direct observation of magnetization in Nd-Fe-B permanent magnets by transmission electron microscopy 박현순(동아대)	09:45 ~ 10:00	O-II-3. Magnetic Properties of Fe alloy/SiO ₂ core/shell structure powder 이선우(서울대)	09:30 ~ 10:00	초O-III-2. Atomic Scale Design of Magnetic Materials for Electric Machine and Telecommunication Devices 홍양기(The University of Alabama)
			10:00 ~ 10:15	O-II-4. Characterization and Fabrication of Fe metal powder coated with Alumina Oxide 최성준(서울대)		
	10:15 ~ 10:40	초S-VI-4. AEM study on the texture development mechanism in HDDR processed Nd-Fe-B magnets 김태훈(성균관대)	10:15 ~ 10:30	O-II-5. The Effect of Oxygen Annealing on the Magnetic Properties of Strontium W-type Hexagonal Ferrite 유재형(서울대)	10:00 ~ 10:30	초O-III-3. Wireless magnetic actuators and applications 김성훈(원광대)
	10:40 ~ 11:05	초S-VI-5. Probing and imaging nanoscale Magnetism with Scanning magnetometers based on diamond quantum defects 이동현(고려대)	10:30 ~ 10:45	O-II-6. Magnetic Supercapacitor for Future Electric Vehicles 홍양기(The University of Alabama)		
			10:45 ~ 11:00	O-II-7. Magneto-resistance in doped SrRuO ₃ thin film 정창욱(한국외대)		
11:05 ~ 13:00	점심식사					

5월 27일 [금]

시간		프로그램			
13:00 ~ 14:10		Special Session VII (마나몰라) ‘희토류 자성재료 연구동향’ 좌장 : 이정구(재료연구소)		구두발표 IV (베르나차1) 좌장 : 홍순철(울산대)	구두발표 V (베르나차2) 좌장 : 김미영(숙명여대)
	13:00 ~ 13:20	초S-VII-1. E-Mobility용 구동모듈의 산업기술동향 과 과제 이상훈(대구가계부품연구원)	13:00 ~ 13:15	O-IV-1. 전자기 리니어 발전기의 발전량에 대한 영향도 분석 조성진(영남대)	13:00 ~ 13:15 O-V-1. Defect induced ferromagnetic interaction in Co^{2+} -doped Y_2O_3 nanorods Sandeep Patel(서울대)
	13:20 ~ 13:40	초S-VII-2. 중 희토류 저감형 Nd-Fe-B 소결자석 의 제조기술 동향 김효준(자화전자(주))	13:15 ~ 13:30	O-IV-2. Magnetic moment and Magnetocrystalline anisotropy of Fe_{16}N_2 : A first principles study Imran Khan(부경대)	13:15 ~ 13:30 O-V-2. Exchange bias and $R3c$ to $Ph2_1a$ phase transition in single crystalline Gd-doped BiFeO_3 nanowires Sandeep Patel(서울대)
	13:40 ~ 13:55	초S-VII-3. WS_2/Al 도핑된 Nd-Fe-B 소결자석에 서 WS_2 분말 크기 및 DyH_2 입계확산 처리 효과 연구 배경훈(고려대)	13:30 ~ 13:45	O-IV-3. Magnetic property of porous black phosphorene layer: electric field and edge passivation effect Arqum Hashmi(부경대)	13:30 ~ 13:45 O-V-3. 계면 Dzyaloshinskii-Moriya 상호작용 과 궤도 자기 모멘트의 상관관계 연구 김상훈(Kyoto University)
	13:55 ~ 14:10	초S-VII-4. Hot-deformation에 의한 Dy-free Nd- Fe-B 영구자석 제조 차희령(재료연구소)	13:45 ~ 14:00	O-IV-4. Manipulating magnetism by strain in $\text{FeRh}(001)$ thin films 제갈소영(울산대)	13:45 ~ 14:00 O-V-4. Intrinsic spin-orbit torque in two dimensional antiferromagnets 천수익(포항공대)
14:10 ~ 14:20	coffee break				



5월 27일 [금]

시간	프로그램			
14:20 ~ 16:00	Special Session VIII (마나톨라) ‘고주파 자성재료의 응용’ 좌장 : 이경섭(성균관대)		구두발표 VI (베르나차) 좌장 : 김철기(대구경북과학기술원)	
	14:20 ~ 14:40	초S-VIII-1. Medium Power 무선충전용 전자기차페 재 기술 및 동향 이상원(LG이노텍)	14:20 ~ 14:35	O-VI-1. 미소자기 전산모사를 이용한 NdFeB 영구자석의 미세구조 최적화 최진혁(서울대)
	14:40 ~ 15:00	초S-VIII-2. Fe-Co-X 자성금속섬유 복합재의 전자 파 차폐특성 연구 이상복(재료연구소)	14:35 ~ 14:50	O-VI-2. Photon-magnon coupling in a YIG- film split-ring resonant system Biswanath Bhoi(서울대)
	15:00 ~ 15:20	초S-VIII-3. 무선통신 기기에서의 자성재료 개발 동향 김진철(SKC)	14:50 ~ 15:05	O-VI-3. Collective gyration modes in one- dimensional skyrmion lattices 김준희(서울대)
	15:20 ~ 15:40	초S-VIII-4. Characterization of radiated noise on flexible magnetic film EMI filters 김상우(한국과학기술연구원)	15:05 ~ 15:20	O-VI-4. Magnetization dynamics and domain wall motion induced by circular rotating magnetic fields in soft magnetic nanotubes 양재혁(서울대)
	15:40 ~ 16:00	초S-VIII-5. 안테나 소형화를 위한 자성재료의 활용 이경섭(성균관대)	15:20 ~ 15:35	O-VI-5. 국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로에 서 자성유체의 열전달 성능에 관한 수 치적 연구 서재형(NTF TECH Co.)
16:00 ~ 16:10	폐회 (마나톨라)			



CONTENTS

KMS 2016 Summer Conference

5월 26일(목) 09:30~12:00

Special Session I 'Nanocomposite Magnet'

마나틀라

✽ 좌 장 : 강영수(서강대)

Invited S-I-1	09:30	Chemical Synthesis of Magnetic Nanomaterials	3
		Yanglong Hou [*]	
Invited S-I-2	10:00	Preparation of bulk anisotropic nanocrystalline RCo ₅ (R=Sm, Pr) permanent magnets	4
		Ming Yue [*]	
초S-I-3	10:30	Preparation of Nd based nano composite by reduction-diffusion process	5
		Chul-Jin Choi [*] and D. Kim	
초S-I-4	11:00	Magnetic properties of MnBi/Sm ₂ Fe ₁₇ N ₃ hybrid sintered magnets using hot compaction process	6
		Kiwoong Moon, Kwangwoon Jeon, Jongryoul Kim [*]	
초S-I-5	11:30	Fabrication of Hard/Soft Magnetic Nanoparticle Nanocomposite Magnet	7
		Young Soo Kang [*]	

5월 26일(목) 09:30~10:30

Special Session II '국방 및 우주분야'

코넬리아

✽ 좌 장 : 손대락(한남대)

초S-II-1	09:30	함정 전자기스텔스 국내 연구개발 동향	11
		양창섭 [*] , 정현주, 조동진, 정우진	
초S-II-2	09:50	강자성체 탈자시스템에서 자기포화를 고려한 최적인가자계 선정에 관한 연구	13
		임상현 [*] , 김건태, 박관수	
초S-II-3	10:10	축소함 시험을 통한 실험실 환경에서의 함정 소자 전류 산출 기법 연구	15
		양창섭, 정현주 [*] , 조동진, 정우진	

5월 26일(목) 10:40~12:00

Special Session II '국방 및 우주분야'

코넬리아

✽ 좌 장 : 양창섭(국방과학연구소)

초S-II-4	10:40	수중용 고감도 OFG 자기센서	17
		신광호 [*] , 임상호, 김영학, 양창섭	
초S-II-5	11:00	지구 자기장의 이해와 지구 과학에의 응용	18
		임무택 [*]	

초S-II-6	11:20	차세대 소형위성 1호용 TAM 제작 19 김은애, 손대락*
초S-II-7	11:40	대한민국 달탐사: 달 자기이상 현상 규명 21 진호*, 손대락

5월 26일(목) 13:30~15:10

Special Session III ‘자성체 조직평가’ 1부

마나틀라

✿ 좌 장 : 이재광(부산대)

초S-III-1	13:30	입계확산자석의 확산층 안정화에 의한 보자력 향상기술 25 김동환*, 공군승, 이정구, 유지훈, 오성욱, 이준형
초S-III-2	13:50	X-ray Magnetic Circular Dichroism and its applications 26 J.-Y. Kim*
초S-III-3	14:10	Magneto-Optical Kerr/Faraday Microscopy for Magnetic Domain Observation and Spin Dynamics Study 27 Dong-Hyun Kim*
초S-III-4	14:30	Probing of nanoscale magnetic properties using advanced magnetic force microscopy 28 Yunseok Kim*
초S-III-5	14:50	Probing the magnetic states of centrocymmetric magnetic materials by magnetic force microscopy 29 Jeehoon Kim*

5월 26일(목) 13:30~15:20

Special Session IV ‘MRI 및 방사선 분야 (의과학연구회)’

코넬리아

✿ 좌 장 : 한만석(강원대)

초S-IV-1	13:30	의료 영상연구를 위한 몬테칼로 모사코드: GATE 33 백철하*
초S-IV-2	14:30	몬테칼로 전산모사를 이용한 원뿔대 투과형 타겟 모양의 근접치료용 소형 엑스선 선원에 대한 선량분포 평가 34 안우상*, 최원식, 신성수, 박철수, 허영철, 서정민, 김기홍
초S-IV-3	15:00	전산화단층촬영에서 물리적인자의 변화가 방사선치료계획에 미치는 영향 35 장재욱*, 한만석, 서선열, 전민철, 배석환, 유세종

5월 26일(목) 15:30~17:10

Special Session V ‘고주파 연자성 분말소재의 제조 및 응용’

마나틀라

✿ 좌 장 : 김휘준(한국생산기술연구원)

초S-V-1	15:30	가스분사공정을 이용한 비정질 연자성 분말제조 39 김용진*, 양상선, 양동열
--------	-------	---

초S-V-2	15:50	연자성 재료로의 적용을 위한 철계 비정질 합금 설계 전략 40 이승훈*
초S-V-3	16:10	Fe-10Si-6Al 합금 분말의 실람 표면처리한 복합체필름의 차폐특성에 관한 연구 41 이우성*, 홍원식, 김상현
초S-V-4	16:30	Fe계 비정질 합금의 연자성 특성에 대한 비금속 합금 원소의 영향 43 오혜령, 김송이, 김종렬, 이민하*
초S-V-5	16:50	개량된 수분사공정을 이용한 비정질 연자성 분말제조 44 김휘준*, 권도훈, 홍성욱

5월 26일(목) 15:30~17:05
Session : 구두발표 I

코넬리아

✿ 좌 장 : 최철진(재료연구소)

O-I-1	15:30	Study on electrical resistivity enhacement in die-upset Nd-Fe-B magnet by addition of fluoride salt 47 K. M. Kim*, H. W. Kwon, J. Y. Kim, D. H. Kim, J. G. Lee and J. H. Yu
O-I-2	15:45	Creep과 Flow영역에서 나선형 감쇠(Chiral damping)에 의한 상이한 비대칭적 자구벽 운동 48 김덕호*, 유상철, 김대연, 민병철, 최석봉
O-I-3	16:00	용융염을 이용하여 형상 제어된 스트론튬 페라이트 경자성 분말의 제조 및 자성 특성 50 전광원*, 강민규, 김규민, 김종렬†, 이정구†
O-I-4	16:15	Fe-Co alloy powders prepared by mechanical milling: The effect of milling time and annealing temperature on the structural and magnetic properties 51 D. H. Manh*, D. K. Tung, N. X. Phuc, T. L. Phan and B. W. Lee
O-I-5	16:30	The grain boundary diffusion process with Nd-Cu-Zn alloy on Nd-Fe-B magnets hot deformed by Spark Plasma Sintering 52 Shu Liu*, Nam-Hyun Kang, Ji-Hun Yu, Hae-Woong Kwon, Jung-Goo Lee†
O-I-6	16:45	Manufacturing Technologies for Magnetic Tunnel Junction PVD Materials 54 Matthew T Willson*

5월 26일(목) 09:30~18:00
Session : 포스터발표

베르나차

✿ 좌 장 : 김향연(한국생산기술연구원) / 신광호(경성대)

○ Session MT[Magnetic theory and calculations]

MT01	Poster	Ab Initio Studies of Structure, Electronic and Optical Properties of Sn-doped Hematite 57 Taewon MIN*, Jaekwang LEE
MT02	Poster	Fe/Ni(001)의 자성에 대한 제일원리계산 58 이주은*, 제갈소영, 홍순철

MT03	Poster	응력이 MnSi의 자성에 미치는 영향에 대한 제일원리계산 59 박진식*, 임성현, 홍순철
MT04	Poster	CrPt ₃ 합금 박막의 자성에 대한 제일원리계산 60 정태성*, 제갈소영, 홍순철
MT05	Poster	Heavy metal capping and strain effects on magnetocrystalline anisotropy of 5d/transition metal/Fe/MgO: A-first principles study 61 P. Taivansaikhana*, S. H. Rhim and S. C. Hong [†]
MT06	Poster	Magnetism of Ag ₂ Se: a first principles study 62 Do Duc Cuong*, S. H. Rhim and Soon Cheol Hong
MT07	Poster	고효율 소형 리니어 발전 시스템 설계 및 발전량 측정 분석에 관한 연구 63 이수정*, 채준영, 김진호, 조성진, 조영욱
MT08	Poster	스커미온 어레이에 의한 스핀파 굴절제어 64 문경웅*, 전병선, 김원동, 이상선, 김창수, 박수현, 황찬용
MT09	Poster	Pt/Ru(111)의 자성과 촉매 반응성에 대한 제일원리계산 65 이상희*, 권오룡, 홍순철
MT10	Poster	Tuning the Schottky barrier of two-dimensional lateral heterostructure by strain engineering 66 Hwihyeon Hwang*, Jaekwang Lee

○ Session MD[Magnetization dynamics]

MD01	Poster	Fast current-induced motion of a transverse domain wall induced by interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction 67 Seo-Won Lee*, Byong-Guk Park and Kyung-Jin Lee
MD02	Poster	Current induced skyrmion dynamics via spin orbit coupling types 69 Seung-Jae Lee*, Kyung-Jin Lee
MD03	Poster	Antiferromagnetic domain wall motion driven by spin-orbit torques 71 Se-Hyeok Oh*, Takayuki Shiino, Paul M. Haney, Seo-won Lee, Gyungchoon Go, Byong-Guk Park, Kyung-Jin Lee
MD04	Poster	전류 인가 자구벽 운동의 확률적 특성 73 남윤석*, 김덕호, 박용근, 민병철, 최석봉
MD05	Poster	Interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction energy density and Gilbert damping at the Ir/Co interface 74 Nam-Hui Kim*, Jinyong Jung, Jaehun Cho, Dong-Soo Han, Yuxiang Yin, June-Seo Kim, Henk J. M. Swagten and Chun-Yeol You
MD06	Poster	Improving Brillouin light scattering intensity with MgO anti-reflective coating at the Pt/Co system 76 Jinyong Jung*, Nam-Hui Kim, Kwonjin Park, Hee Kyeong Hwang, Chun-Yeol You

○ Session HM[Hard-magnetic Materials]

HM01	Poster	Co계 자기열량 합금에서 방전 플라즈마 소결 공정이 자기열량 효과에 미치는 영향 78 이아영*, 김송이, 오혜령, 박규현, 김현아, 이민하
------	--------	--

HM02	Poster	Magnetic Properties and Magnetocaloric effect in $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Fe}_{10.5}\text{Si}_{2.5}$ ($x = 0.2, 0.4, 0.6$) Alloys 79
		Wen-Zhe Nan, Tran Dang Thanh, Seong-Cho Yu*, Gnu Nam, Tae-Soo You, Hong-Guang Piao and Liqing Pan

○ Session SM[Soft-magnetic Materials]

SM01	Poster	Analysis of Thermal and Magnetic Properties by adding Ta to Co-based and Fe-based Amorphous Alloys 80
		Jiyun Oh* and Haein Choi-Yim
SM02	Poster	Effect of Fe on the Magnetic Properties for Co-based Amorphous alloys 81
		Sumin Kim* and Haein Choi-Yim
SM03	Poster	CoNi 박막 재료의 감쇠상수와 two magnon 산란 특성 분석 83
		김동영*, 윤석수
SM04	Poster	자구 회전 효과에 의한 저자장 마이크로파 흡수 신호 분석 84
		김동영*, 윤석수
SM05	Poster	비정질 NiFeSiB 박막의 자성 특성 분석 85
		김동영*, 윤석수, 김영근, 조지웅
SM06	Poster	비틀림 스트레인 하에서 전기도금으로 제작된 Cu/NiFe 코어/셸 복합와이어에서 비대각 임피던스 스펙트럼의 자기장 의존성 86
		구태준, 조성언, 김동영, 윤석수*
SM07	Poster	비금속 원소 질소의 첨가가 Fe계 비정질 리본의 연자성 특성에 미치는 효과에 관한 연구 87
		오혜령*, 김송이, 김종렬, 이민하
SM08	Poster	Magnetic properties of $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanoparticles prepared by a hydrothermal method 88
		N. Tran*, P. T. Tho, D. H. Kim, D. H. Manh, T. L. Phan and B. W. Lee [†]
SM09	Poster	Ni-Zn 나노 페라이트 물질의 자기적 특성 연구 89
		최현경*, 윤성현, 김철성
SM10	Poster	Zn nano-ferrite의 플라즈마 처리를 통한 자기적 특성 및 온열치료 응용 연구 90
		이상준*, 임정태, 한은주, 김철성
SM11	Poster	Effect of pulsed magnetic field annealing on the resistance switching property of Fe doped ZnO thin films 92
		Chunli Liu*, Changjin Wu, Hongtao Xu, Deok Hyeon Kim
SM12	Poster	Mg이 치환된 LiFePO ₄ 의 자기 특성 연구 93
		김민지*, 김삼진, 김철성
SM13	Poster	Na이 치환된 LiFePO ₄ 의 Mössbauer 연구 94
		고병욱*, 서정철, 김삼진, 김철성
SM14	Poster	Rapid thermal annealing effect on magnetic property of thin-films consisting of amorphous CoSiB 95
		Sol Jung* and Haein Yim

○ Session SS[Semiconductor spintronics]

SS01	Poster	Evaluation of spin orbit interactions and its application for complementary spin logic devices 97 Youn Ho Park*, Hyun-jun Kim, Joonyeon Chang, Heon-Jin Choi, Suk Hee Han and Hyun Cheol Koo [†]	97
SS02	Poster	Helimagnetic Order in the Cubic FeGe Nanowires 98 Tae-Eon Park*, Byoung-Chul Min, Dongjea Seo, Hye Jung Chang, Sungwook Kim, Youn Ho Park, Heon-Jin Choi, Joonyeon Chang	98
SS03	Poster	Antiferromagnetic order induced by doping rare-earth metals in topological insulators 99 Jin-Su Kim*, Soo-Whan Kim, Hyun-Sung Lee, Myung-Hwa Jung [†]	99
SS04	Poster	Field-driven domain wall motion under a bias current in Pt/[CoSiB/Pt] _N nanowires 100 M. H. Jung*, Y. H. Choi, Y. Yoshimura, K.-J. Kim, K. Lee, T. W. Kim, T. Ono, C.-Y. You	100
SS05	Poster	Magnetic anisotropy properties of tetragonal and cubic Mn ₃ Ga thin films 101 H. W. Bang*, W. S. Yoo, C. M. Kim, S. H. Lee, J. Gu, M. H. Jung [†]	101
SS06	Poster	CoSiB/Pt/CoSiB 구조에 따른 Hall effect 연구 102 김영광*, 이하나, 김태완	102

○ Session SO[Spin orbit coupling and related phenomena]

SO01	Poster	Estimation of Rashba parameter using in-plane field induced magnetoresistance ... 103 Won Young Choi*, Hyung-jun Kim, Joonyeon Chang, Suk Hee Han and Hyun Cheol Koo	103
------	--------	---	-----

○ Session NS[Nano-structured materials]

NS01	Poster	Linear-chain assemblies of iron oxide nanoparticles 104 Min-Kwan Kim*, Prasanta Dhak, Jae Hyeouk Lee, Miyoung Kim and Sang-Koog Kim	104
NS02	Poster	현탁액 속에서 자기장에 대한 반응을 통한 Ni 디스크의 종횡비에 따른 자화상태의 평가 106 진선일, 김찬희, 김동영, 윤석수*, Sri Ramulu Torati, 김철기	106

○ Session ST[Spin transfer torque for magnetic memory]

ST01	Poster	Detrimental effect of interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction on perpendicular spin-transfer-torque magnetic random access memory 107 Peong Hwa Jang*, K.-J. Lee	107
ST02	Poster	Electrical synchronization of two spin-torque nano oscillators 109 Hee Gyum Park*, Chaun Jang, Byoung-Chul Min and Kyung-Ho Shin	109

○ Session MO[Magnetic Oxides and Multiferroics]

MO01	Poster	Enhancement of Saturation Magnetization through Mechanical Pressure on Y ₃ Fe ₅ O ₁₂ during Sintering Process 110 Min-Sun Jang*, Seung-Hyub Baek, Ki-Suk Lee	110
MO02	Poster	Structural characterization and magnetic properties of Bi _{0.84} La _{0.16} Fe _{1-x} Ti _x O ₃ 112 P. T. Tho*, D. H. Kim, T. L. Phan, M. H. Phan, E. Clements and B. W. Lee [†]	112

MO03	Poster	Influence of annealing temperature on structural and magnetic properties of LaMnO_3 nanoparticles 113 Pardi S. Tola*, D. H. Kim, T. L. Phan and B. W. Lee†
MO04	Poster	Physical properties of oxygen-annealed $\text{SrFe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_{2.5}$ thin films 114 Joonhyuck Lee*, Yunhyeong Jang, Jinhyung Cho, Inwon Lee, Hyoungjeen Jeon
MO05	Poster	$\text{La}_{0.88}\text{Sr}_{0.12}\text{MnO}_3$ 박막의 증착 조건 및 물리적 특성 연구 115 류상균*, 이준혁, 조진형, 진형진

○ Session SA[Sensor and Applications]

SA01	Poster	2중 공진을 이용한 비접촉 전류센서 116 유승민*, 장기영, 백성문, 신광호
SA02	Poster	Comparison between Finite Element Method and Micromagnetics for Integrate Magnetic Concentrator 117 Ki-Seung Lee*, Kwang-Ho Shin, Chun-Yeol You
SA03	Poster	MFL 비파괴검사 시스템에서 군집 결함에 의한 결함 검출신호 왜곡에 관한 연구 118 김희민*, 박정훈, 박관수
SA04	Poster	$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ Nanocomposite for Photocatalytic Degradation of Antibiotics 120 Chunli Liu*, Yuefa Jia and GuoDong Gong

○ Session OT[Others]

OT01	Poster	Influence of Cu doping on Magnetic and Magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Mn}_{0.92}\text{Cu}_{0.08}\text{O}_3$ 121 T. A. Ho*, S. H. Lim
------	--------	--

5월 27일(금) 09:00~11:05

Special Session VI ‘자성체 조직평가’ 2부

마나틀라

✿ 좌 장 : 장서형(부경대)

초S-VI-1	09:00	Neutron Diffraction Studies for Magnetic Materials 125 Seongsu Lee*
초S-VI-2	09:25	In-situ Measurement for Magnetic Materials and Minerals Using Mössbauer Spectroscopy 126 Young Rang Uhm*, Jong Bum Kim, Jin Hyung Lee and Kwang Jae Son
초S-VI-3	09:50	Direct observation of magnetization in Nd-Fe-B permanent magnets by transmission electron microscopy 127 Hyun Soon Park*
초S-VI-4	10:15	AEM study on the texture development mechanism in HDDR processed Nd-Fe-B magnets 128 김태훈*, 양철웅
초S-VI-5	10:40	Probing and imaging nanoscale magnetism with scanning magnetometers based on diamond quantum defects 130 Donghun Lee*

5월 27일(금) 09:00~11:00
Session : 구두발표 II

베르나차 1

✿ 좌 장 : 임상호(고려대)

Invited O-II-1	09:00	Thermoelectric properties of Indium and Gallium - codoped ZnO thin films 133 Hong Nhat Nguyen Tran, Huu Truong Nguyen, Thanh Tuan Anh Pham, Cao Vinh Tran, Sunglae Cho, Deniz P. Wong, Kuei-Hsien Chen and Bach Thang Phan [*]
O-II-2	09:30	증착 에너지의 변화에 따른 박막특성 분석 및 수직자기이방성 연구 134 김지민 [*] , 김동석, 김범진, 윤창진, 김지호, 전지훈, 이궁원
O-II-3	09:45	Magnetic Properties of Fe alloy/SiO ₂ core/shell structure powder 135 Sunwoo Lee [*] , Sungjoon Choi and Sang-Im Yoo
O-II-4	10:00	Characterization and Fabrication of Fe metal powder Coated with Alumina oxide 136 SungJoon Choi [*] , Sunwoo Lee, Jae-Hyoung Yoo and Sang-Im Yoo
O-II-5	10:15	The Effect of Oxygen Annealing on the Magnetic Properties of Strontium W-type Hexagonal Ferrite 137 Jae-Hyoung You [*] , SungJoon Choi, Sunwoo Lee and Sang-Im Yoo [†]
O-II-6	10:30	Magnetic Supercapacitor for Future Electric Vehicles 138 Yang-Ki Hong [*] , Jihoon Park, Woncheol Lee and Jaejin Lee
O-II-7	10:45	Magneto-resistance in doped SrRuO ₃ thin film 139 Chang Uk JUNG [*] and Umasankar Dash

5월 27일(금) 09:00~10:45
Session : 구두발표 III

베르나차 2

✿ 좌 장 : 박덕근(한국원자력연구원)

Invited O-III-1	09:00	Enhancing some characteristic properties of magnetic micro-/nano- materials 143 Pham Duc Thang [*]
초O-III-2	09:30	Atomic Scale Design of Magnetic Materials for Electric Machine and Telecommunication Devices 144 Yang-Ki Hong [*] , Jihoon Park, Woncheol Lee and Jaejin Lee
초O-III-3	10:00	Wireless magnetic actuators and applications 145 Sung Hoon Kim [*]
O-III-4	10:30	펄스와 전류를 이용한 배관감육 비파괴 탐지 146 이철규 [*] , M.B Kishore, 손대락, 박덕근

5월 27일(금) 13:00~14:10
Special Session VII '희토류 자성재료 연구동향'

마나틀라

✿ 좌 장 : 이정구(재료연구소)

초S-VII-1	13:00	E-Mobility용 구동모듈의 산업기술동향과 과제	149
		이상훈*	
초S-VII-2	13:20	중 희토류 저감형 Nd-Fe-B 소결자석의 제조기술 동향	150
		김효준*	
초S-VII-3	13:40	WS ₂ /Al 도핑된 Nd-Fe-B 소결자석에서 WS ₂ 분말 크기 및 DyH ₂ 입계확산 처리 효과 연구	151
		배경훈*, 이성래, 김효준, 이민우, 장태석	
초S-VII-4	13:55	Hot-deformation에 의한 Dy-free Nd-Fe-B 영구자석 제조	153
		차희령*, 유지훈, 권해웅, 김양도, 이정구	

5월 27일(금) 13:00~14:00
Session : 구두발표 IV

베르나차 1

✿ 좌 장 : 홍순철(울산대)

O-IV-1	13:00	전자기 리니어 발전기의 발전량에 대한 영향도 분석	157
		조성진*, 이수정, 신유정, 김진호	
O-IV-2	13:15	Magnetic moment and Magnetocrystalline anisotropy of Fe ₁₆ N ₂ : A first principles study	158
		Imran Khan*, Jisang Hong	
O-IV-3	13:30	Magnetic property of porous black phosphorene layer: electric field and edge passivation effect	159
		Arqum Hashmi*, M. Umar Farooq Umar and Jisang Hong	
O-IV-4	13:45	Manipulating magnetism by strain in FeRh(001) thin films	160
		Soyoung Jekal*, S. H. Rhim and S. C. Hong	

5월 27일(금) 13:00~14:00
Session : 구두발표 V

베르나차 2

✿ 좌 장 : 김미영(숙명여대)

O-V-1	13:00	Defect induced ferromagnetic interaction in Co ²⁺ -doped Y ₂ O ₃ nanorods	163
		Sandeep K.S. Patel*, Prasanta Dhak, Min-Kwan Kim, Jae-Hyeok Lee, Miyoun Kim, Sang-Koog Kim	
O-V-2	13:15	Exchange bias and R3c to Pn21a phase transition in single crystalline Gd-doped BiFeO ₃ nanowires	165
		Sandeep K.S. Patel*, Min-Kwan Kim, Miyoun Kim, Sang-Koog Kim	

O-V-3	13:30	계면 Dzyaloshinskii-Moriya 상호작용과 궤도 자기 모멘트의 상관관계 연구 167 Sanghoon Kim*, Kohei Ueda, Kihiro Yamada, Motohiro Suzuki, Yoshinori Kotani, Tetsuya Nakamura, Gyungchoon Go, Peong-Hwa Jang, Kyung-Jin Lee, Abderrezak Belabbes, Aurelien Manchon, Kohji Nakamura, Tomohiro Koyama, Daichi Chiba, Takahiro Moriyama, Kab-Jin Kim and Teruo Ono
O-V-4	13:45	Intrinsic spin-orbit torque in two dimensional antiferromagnets 169 Suik Cheon* and Hyun-Woo Lee

5월 27일(금) 14:20~16:00

Special Session VIII '고주파 자성재료의 응용'

마나를라

✿ 좌 장 : 이경섭(성균관대)

초S-VIII-1	14:20	Medium Power 무선충전용 전자기 차폐재 기술 및 동향 173 이상원*, 배석, 윤종흠, 김유선, 김소연, 송지연, 이미진, 정명재, 유선영
초S-VIII-2	14:40	Fe-Co-X 자성금속섬유 복합재의 전자파 차폐특성 연구 174 이상복*, 정병문, 최재령, 조승찬, 최우혁, 이상관, 김기현
초S-VIII-3	15:00	무선통신 기기에서의 자성재료 개발동향 175 김진철*
초S-VIII-4	15:20	Characterization of radiated noise on flexible magnetic film EMI filters 176 Sang Woo Kim*, Kyung Sub Lee
초S-VIII-5	15:40	안테나 소형화를 위한 자성재료의 활용 177 이경섭*

5월 27일(금) 14:20~15:35

Session : 구두발표 VI

베르나차 1

✿ 좌 장 : 김철기(대구경북과학기술원)

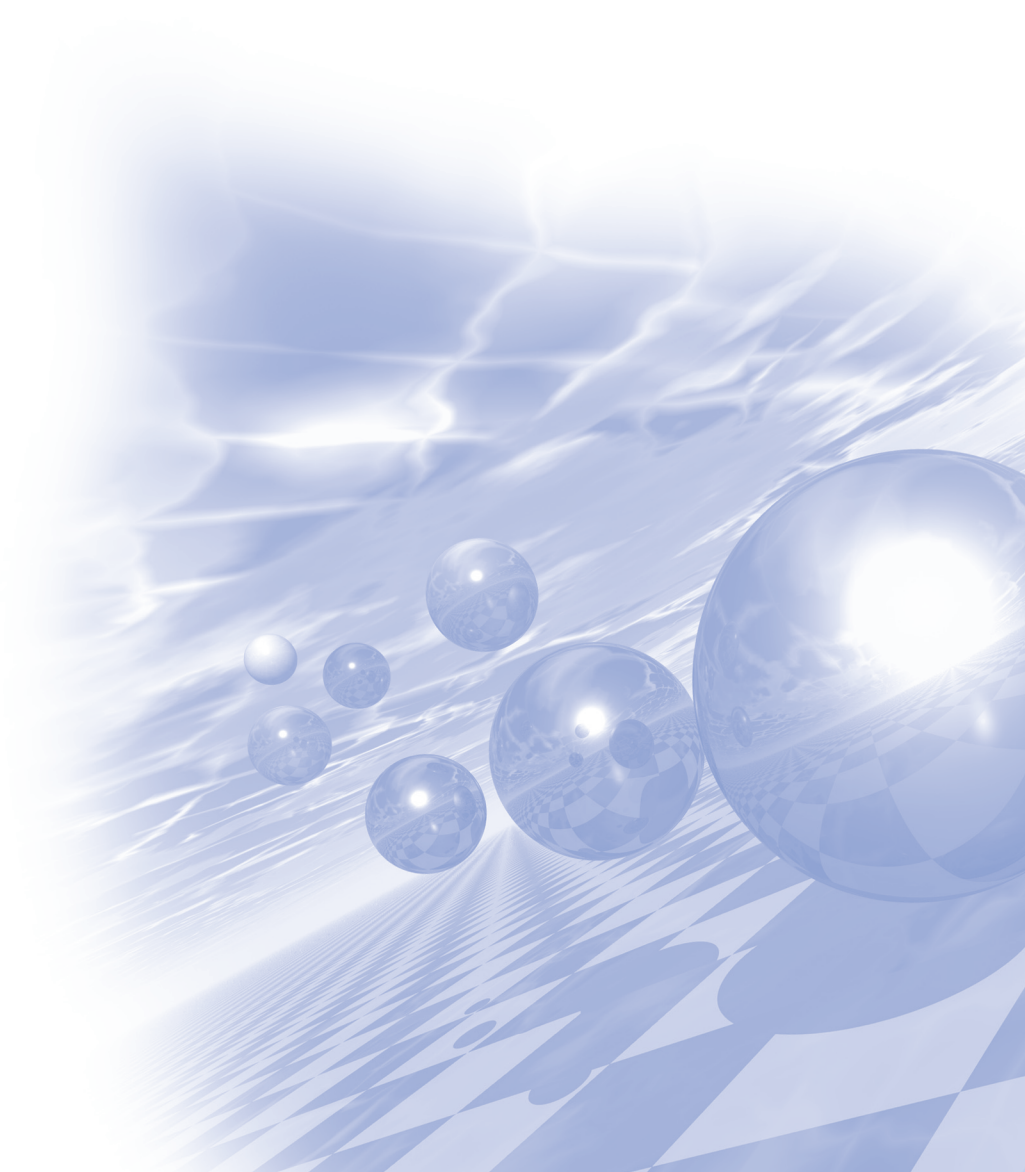
O-VI-1	14:20	미소자기 전산모사를 이용한 NdFeB 영구자석의 미세구조 최적화 181 최진혁*, 이재혁, 정연준, 한보경, 김상국
O-VI-2	14:35	Photon-magnon coupling in a YIG-film split-ring resonant system 183 B. Bhoi*, T. Cliff, I. S. Maksymov, M. Kostylev, R. Aiyar, N. Venkataramani, S. Prasad and R. L. Stamps
O-VI-3	14:50	Collective gyration modes in one-dimensional skyrmion lattices 186 Junhoe Kim*, Jaehak Yang, Young-Jun Cho, Bosung Kim and Sang-Koog Kim
O-VI-4	15:05	Magnetization dynamics and domain wall motion induced by circular rotating magnetic fields in soft magnetic nanotubes 188 Jaehak Yang*, Junhoe Kim, Bosung Kim, Young-Jun Cho, Jae-Hyeok Lee and Sang-Koog Kim
O-VI-5	15:20	국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로에서 자성유체의 열전달 성능에 관한 수치적 연구 ... 190 서재형*, 유병희, 김남원, 이무연



KMS 2016 Summer Conference

Special Session I

‘Nanocomposite Magnet’



Chemical Synthesis of Magnetic Nanomaterials

Yanglong Hou^{*}

Department of Materials Science and Engineering College of Engineering, Peking University, China
E-mail: hou@pku.edu.cn

Magnetic nanomaterials have attracted intensive interests due to their great applications in data storage and biomedical fields, including MRI, drug delivery and magnetic hyperthermia. It is a prerequisite to these kind of applications that these nanomaterials possess controlled size, shape and magnetic properties. It is worth noting that chemical methods offer an effective route to precisely control both phases at the nanoscale, and help understand magnetic interactions and develop advanced magnetic materials for various applications. In this talk, we will introduce our recent work on controlled synthesis of magnetic nanomaterials. We will first present a general protocol of chemical synthesis to monodisperse NPs, such as 0D Fe₃O₄, FePt, Fe₅C₂ nanoparticles, 1D FePt nanorods, 2D Fe₃O₄ nanoprisms, and nanocomposite magnets. And then, we will move to exchange-coupled nanoparticles with magnetically hard L1₀-FePt as core and magnetically soft Co (or Ni, or Fe₂C) as shell. Finally, a facile chemical route to prepare 200 nm single domain SmCo₅@Co core/shell magnets with coercivity of 20.7 kOe and saturation magnetization of 82 emu/g. The single domain SmCo₅ core contributes to the large coercivity of the magnets and the exchange-coupled Co shell enhances the magnetization. This method can be further utilized in the synthesis of other NdFeB based exchange-coupled magnets.

References

- [1] F. Liu, Y. Hou^{*}, and S. Gao^{*}, Exchange-coupled Nanocomposites: Chemical Synthesis, Characterization and Applications, *Chem. Soc. Rev.*, **2014**, 43, 8098-8113.
- [2] F. Liu, J. Zhu, W. Yang, Y. Dong, Y. Hou^{*}, C. Zhang, H. Yin and S. Sun^{*}, Building Nanocomposite Magnets by Coating a Hard Magnetic Core with a Soft Magnetic Shell, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2014**, 53, 2176-2180.
- [3] C. Yang, H. Zhao, Y. Hou^{*}, D. Ma^{*}, Fe₅C₂ Nanoparticles: A Facile Bromide-induced Synthesis and as an Active Phase for Fischer-Tropsch Synthesis (FTS), *J. Am. Chem. Soc.*, **2012**, 134, 15814-15821.
- [4] L. Yu, C. Yang and **Y. Hou^{*}**, Controllable Nd₂Fe₁₄B/ α -Fe Nanocomposites: Chemical Synthesis and Magnetic Properties, *Nanoscale*, **2014**, 6, 10638-10642.
- [5] C. Yang, L. Jia, S. Wang, C. Gao, D. Shi, **Y. Hou^{*}** and S. Gao^{*}, Single Domain SmCo₅@Co Exchange-coupled Magnets Prepared from Core/shell Sm[Co(CN)₆] · 4H₂O@GO Particles: A Novel Chemical Approach, *Scientific Report*, **2013**, 3, 3542.

Preparation of bulk anisotropic nanocrystalline RCo_5 ($\text{R}=\text{Sm}, \text{Pr}$) permanent magnets

Ming Yue^{*}

College of Materials Science & Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

Bulk nanocrystalline RCo_5 ($\text{R}=\text{Sm}, \text{Pr}$) permanent magnets with high coercivity and T_C are promising candidates for practical application at elevated temperature. Recently, strong c-axis crystallographic texture and magnetic anisotropy have been successfully developed in such kind of magnet (SmCo_5 for example) by severe hot deformation method. Up to now, however, mechanism of crystallographic texture development in nanocrystalline RCo_5 permanent magnet during hot deformation process is still unknown. In present study, the electron backscattered diffraction (EBSD) has been applied to study the microstructure and crystallographic texture evolution in hot deformed RCo_5 permanent magnets. Increase of height reduction rate of deformed RCo_5 magnets lead to the formation of platelet shape grains perpendicular to the press direction; correspondingly c-axis crystallographic texture were gradually enhanced. As a result, the remanence of the magnets increases substantially. For the first time, it is observed that the grain boundary planes are also textured in the magnet. Therefore, it is expected that the grain boundary (GB) sliding and grain rotation are responsible for the plastic deformation, namely the GB mediated plasticity.

References

- [1] X.K. Yuan, M. Yue, D.T. Zhang, T. N. Jin, Z. R. Zhang, J. H. Zuo, J. X. Zhang, J. Zhu, X. X. Gao, Orientation textures of grains and boundary planes in a hot deformed SmCo_5 permanent magnet. *Cryst. Eng. Comm.*, **2014**, 16(9), 1669-1674.
- [2] D.T. Zhang, X.K. Yuan, M. Yue, Q. Ma, J. Zhu, J.X. Zhang, Orientation texture of local habit planes and its relevance to local magnetic performance in a hot deformed PrCo_5 bulk permanent magnet. *RSC Adv.*, **2015**, 5(110): 90976-90982.
- [3] D.T. Zhang, X.K. Yuan, M. Yue, D. S. Zhou, J. Zhu, X. X. Gao, Crystallographic orientation-dependent magnetic properties of a PrCo_5 permanent magnet prepared by hot deformation, *Cryst. Eng. Comm.*, **2016**, DOI: 10.1039/c6ce00095a.

Preparation of Nd based nano composite by reduction-diffusion process

Chul-Jin Choi* and D. Kim

Powder & Ceramic Division, Korea Institute of Materials Science, Changwon 642-831, Korea

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

We designed rare-earth free alloys and fabrication process and developed novel route to prepare Nd based nanocomposite powders by wet process employing spray drying and reduction-diffusion (R-D) without the use of high purity metals as raw material. The novel route to prepare Nd-based nanocomposite powders by utilizing both spray drying and reduction-diffusion processes was designed and investigated in this study. Precursors were prepared by spray drying method using the aqueous solutions containing Nd salt, Fe salt and boric acid with stoichiometric ratios. Desalting of the precursors, milling and reduction in H_2 atmosphere were performed, followed by R-D process. It was revealed that the amount of Calcium (Ca) as reducing agent added in R-D step played an important role in the formation of $Nd_2Fe_{14}B$ phase, because vigorous H_2 evolution and dissociated hydrogen might be diffused into the lattice of $Nd_2Fe_{14}B$ interstitially to form $Nd_2Fe_{14}BH_x$ ($x=1-5$) during washing of powders in water obtained after R-D with excessive amount of Ca. In order to make the powders smaller and homogeneous size, we carried out ball milling in ethanol before washing with water. Finally, $Nd_2Fe_{14}B$ powders with high coercivity of more than 10 kOe were produced by adjusting the amount of Ca in reduction-diffusion (R-D) process. They showed spherical in shape with a mean size of $1\mu m$ and maximum energy product $(BH)_{max}$ was attained 17.8 MGOe. It is considered that this process can be applied for the recycling of RE-elements extracted from waste magnets including motors.

References

- [1] M. Sagawa, S. Fujimura, M. Togawa, H. Yamamoto, Y. Matsuura (1984) New material for permanent magnets on a base of Nd and Fe, *J. Appl. Physics*, 55, 2083-2087.
- [2] C.Q. Chen, D. Kim, C.J. Choi (2014) Influence of Ca amount on the synthesis of $Nd_2Fe_{14}B$ particles in reduction-diffusion process, *J. Magn. Magn. Mater.*, 355, 180-183.

Magnetic properties of MnBi/Sm₂Fe₁₇N₃ hybrid sintered magnets using hot compaction process

Kiwoong Moon, Kwangwoon Jeon, Jongryoul Kim*

Department of Materials Engineering, Hanyang University, Ansan, 15588, Korea

Permanent magnets (PM), the material for energy storage, have been used for a wide range of applications (consumer electronics, automotive, factory automation etc.). Among commercial PM products, NdFeB magnets have been widely used because they have the highest value of the maximum energy product at room temperature. However, NdFeB magnets have some problems, such as the limited resources of raw materials, and the degradation of magnetic properties in the high-temperature environment. In this respect, the development of new PM with excellent magnetic properties and thermal stability has attracted much attention due to a strong need in hybrid and electric vehicles.

There have been several efforts to develop sintered magnets using MnBi and Sm₂Fe₁₇N₃ compounds because a LTP (low temperature phase) MnBi compound possess a high anisotropy field and a positive temperature coefficient from -123 ~ 277°C¹ and a Sm₂Fe₁₇N₃ compound an excellent maximum energy product. However, the LTP MnBi has a relatively low saturation magnetization (80 emu/g) and changes into HTP (high temperature phase) MnBi at 355°C. On the other hand, the Sm₂Fe₁₇N₃ compound is decomposed at the elevated temperature, which makes it difficult to develop sintering processes. In this study, MnBi/Sm₂Fe₁₇N₃ hybrid magnets were fabricated to utilize the complementary relation in terms of magnetic properties and sintering processes.

In order to fabricate LTP MnBi ribbons, a single-roller melt-spinning method has been used and subsequent annealing carried out. Sm₂Fe₁₇N₃ powders were synthesized by reduction-diffusion and nitrogenation process². These MnBi and Sm₂Fe₁₇N₃ powders were mixed in proper weight ratios using surfactant assisted ball milling process. These mixed MnBi/Sm₂Fe₁₇N₃ powders were aligned under an applied field of 16 kOe and then compacted with a pressure of 300 MPa for 3 min at 260 °C.

The microstructure of synthesis ribbons and powders was investigated by a x-ray diffractometer and electron microscopes. The magnetic properties were measured under a maximum applied field of 25 kOe by a vibrating sample magnetometer and the thermal analysis was characterized by a thermogravimetry-differential thermal analyzer.

References

- [1] S. Saha, M. Q. Huang, C. Thong, B. Zande, V. Chandhok, S. Simizu, R. Obermyer and S. Sankar, Magnetic properties of MnBi_{1-x}R_x (R=rare earth) systems, *J. Appl. Phys.* **2000**, 87, 9, 6040
- [2] T. Ishikawa, K. Yokosawa, K. Watanabe and K. Ohmori, Modified Process for High-Performance Anisotropic Sm₂Fe₁₇N₃ Magnet Powder, *J. Phys.: Conf. Ser.* **2011**, 266, 012033

Fabrication of Hard/Soft Magnetic Nanoparticle Nanocomposite Magnet

Young Soo Kang *

Department of Chemistry, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

Soft and hard magnetic nanoparticles were prepared by hydrothermal methods. Soft phase magnetic nanoparticles such as α -Fe, Fe_3O_4 , FeCo and Co were synthesized and characterized on the structure and magnetic property with XRD, TEM and VSM. The homogeneous dispersion of them in the solution could be accomplished by coating dispersing surfactant on their surface and sonication with ultra-sonicator. On the other hand, hard phase magnetic nanoparticles such as $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, SmCo_5 and $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ nanoparticles were synthesized by hydrothermal method and annealing and reduction process. The size, morphology, structure and magnetic property were characterized with SEM, TEM, XRD and VSM. The dispersing ability in the solution was characterized by checking SEM and TEM images after coating dispersing surfactants on their surface. The soft phase magnetic nanoparticles were coated with cationic surfactant and hard phase magnetic nanoparticles were coated with anionic surfactant and mixed in the organic solvent to get neutral charge by the equi-molar ratio between soft and hard phase magnetic nanoparticles. The mixed solution of hard and soft phase magnetic nanoparticles was sonicated for 30 min at room temperature under the argon gas to suppress the oxidation of magnetic nanoparticles. A 30 min sonication resulted in the neutrally charged particle solution by the electrostatic interaction and neutralization of the surface charges of hard and soft phase magnetic nanoparticles. Then, the solvent was evaporated in a short period under the reduced pressure to suppress oxidation of the magnetic particles. The solid mixture of the magnetic particles was transferred into the glove box of nitrogen gas and pressed as a pellet. A mixture pellet of magnetic particles was reduced at 600 – 900 °C with Ar/H_2 (v/v%, 95/5) gas flowing for 5 hrs. The prepared hard/soft nanocomposite magnetic material was characterized with VSM on the magnetic property. $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ alloy has been successfully synthesized by the nitrate-citrate auto-combustion followed by reduction and diffusion process with low energy consumption. H_3BO_3 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ were used as precursors and citric acid is used as chelating ligands of metal ions. The ammonia water was used to adjust pH to 7. CaH_2 is used as reducing agent for reduction and diffusion process. NdFeO_3 and Fe_2O_3 were produced during auto-combustion of gels. The combustion process of gel has been investigated by TGA/DTA curve measurements. The phase compositions are studied by XRD measurement. The difference of overall morphology and magnetic property are measured by SEM, TEM and room temperature (300 K) vibrating sample magnetometer (VSM). The comparison on the magnetic property of the reduced samples between pellet type and random powder type has been studied with VSM and showed the better magnetic property of pellet type $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Making a compact pellet type sample for reduction is more efficient for solid reduction and phase transition for the higher coercivity.

References

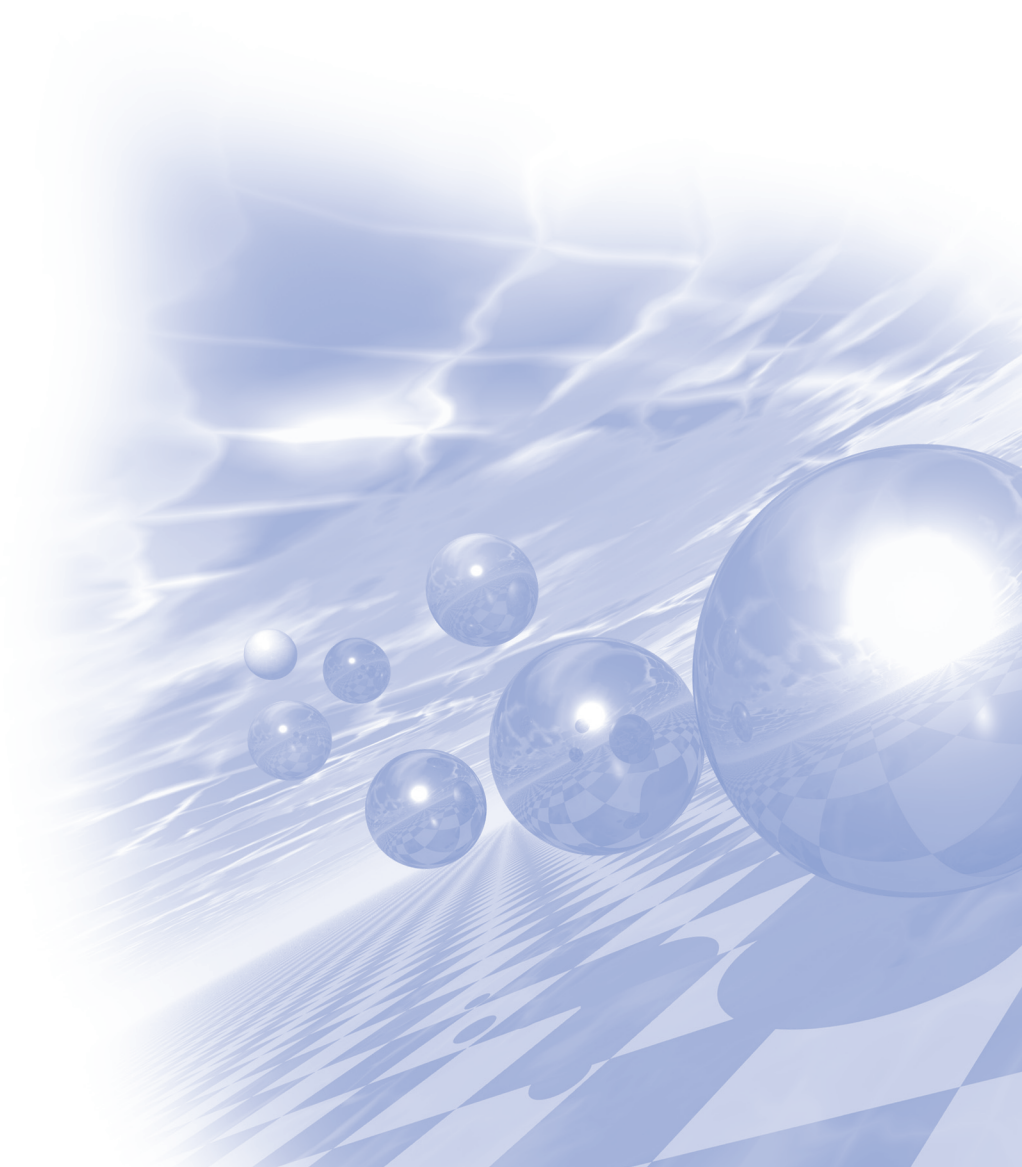
- [1] Hao Xuan and Young Soo Kang, Preparation of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ by Nitrate-citrate Auto-combustion Followed by Reduction-diffusion Process, *Nanoscale* **2015**, 7, 8016.
- [2] Chang Woo Kim, Young Hwan Kim and Young Soo Kang, Facile Synthesis and Magnetic Phase Transformation of Ln-TM-B Nanoclusters by Oxygen Bridging *J. Material Chemistry C* **2013**, 1, 275



KMS 2016 Summer Conference

Special Session II

‘국방 및 우주분야’



함정 전자기스텔스 국내 연구개발 동향

양창섭^{1*}, 정현주¹, 조동진¹, 정우진¹

¹국방과학연구소 제6기술연구본부 3부

1. 서론

함정에서 발생하는 수중 전자기 신호는 수중 감시체계 및 각종 무기체계들에서 가장 효과적인 탐지 수단으로 활용되고 있으므로, 함정은 자함 외부로 전파되는 전자기 신호를 최소화하여 위협세력으로부터 스스로 보호하기 위한 노력이 필요하게 된다. 현재 대부분의 군사 선진국들은 자국 함정의 수중 스텔스 능력을 비밀로 관리하고 있으며, 관련 기술의 국외 유출 또한 엄격히 통제하고 있다. 본 논문에서는 최근 국방과학연구소에 신규 착수한 함정 전자기 스텔스 관련 핵심 기술 과제를 포함한 함정 전자기 스텔스 분야의 국내 연구개발 동향에 대해 기술하고자 한다.

2. 함정 전자기스텔스 국내 연구 개발 동향

함정 전자기스텔스 기술 분야는 재료 기술, 해석 기술, 장비 기술 및 시험평가 기술로 구분할 수 있다. 먼저 재료 기술의 경우에는 선체 및 탑재장비를 비자성 재료로 제작하여 자기 신호가 원천적으로 외부로 발생되지 않도록 하는 선재 재료 기술이며, 해석 기술은 함정에 의해 발생하는 다양한 수중 전자기장 신호 특성에 대한 전산 모델링, 해석 및 감소대책기법 등의 기술이 해당된다. 또한 장비 기술은 선체 및 탑재장비에 의한 전자기 신호 발생을 억제하기 위한 함 탑재 또는 별도의 시설을 이용한 신호 감소 장비 설계/제작 기술을 의미하며, 시험평가 기술은 전자기 신호 감소장비 운용 전/후 신호 특성을 정밀 측정, 분석 및 평가하기 위한 기술들이 여기에 해당된다.

표 1. 함정 전자기 스텔스 분야 국내 기술 보유 현황

분야		보유 기관	비고
함정 전자기 스텔스	재료 기술	강남조선	FRP 선체 제작 기술 보유
	해석 기술	국방과학연구소	전자기 모델링/해석 기술 일부 보유
	장비 기술	케이씨	ICCP 장비 제작 기술 일부 보유
	시험평가 기술	해군(병기탄약창)	함정 자기측정/처리시설 보유
		국방과학연구소	축소함 및 탑재장비 자기측정시설 보유

3. 국방과학연구소의 함정 전자기스텔스 연구 현황

국방과학연구소는 2002년 이후부터 국내 일부 수상 함정들에 대해 기본설계 단계에서의 자기 신호 기준 설정 및 해석 관련 기술지원 업무를 일부 수행한 경험을 보유하고 있지만, 이후 관련 분야의 연구가 지속적으로 진행되지 못함으로 인해 최근 건조되는 국내 함정들에 대한 자기장 신호 해석 및 관련 감소대책 수립은 국외업체를 통한 기술용역을 통해 확보되고 있는 실정이다. 국방과학연구소는 전자기스텔스 기술 자립화를 위해 2009년부터 국방피탐지특화센터를 통해 “함정 최적 소자 및 탈자 기법 연구” 과제를 제안하여 국내 대학들과 연구를 진행 중이며, ‘15년 9월부터는 국내함정들에 대한 수중 전자기 특성 해석/감소 기술 및 위협무기체계로 부터의 국내 함정의 전자기 피탐 성능 분석 기술 개발을 위한 신규 응용연구 과제를 착수하여 진행 중에 있다. 본 연구를 통해 현재 군사 선진국 수준의 함정 전자기 스텔스 기술 확보가 가능할 것으로 기대된다.

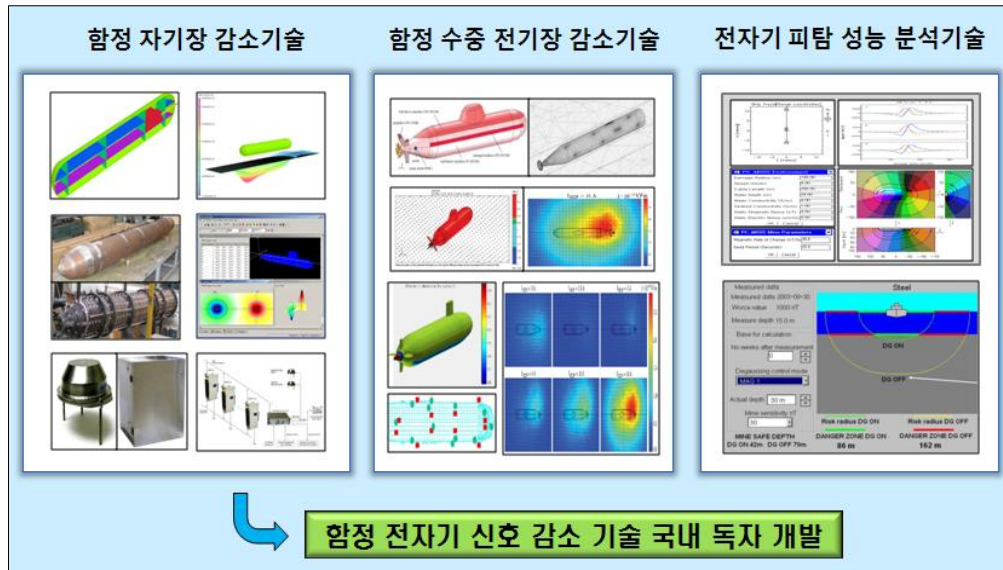


그림 1. 함정 전자기스텔스 신규 과제 개념도

4. 결론

본 논문에서는 함정 수중 전자기 스텔스 분야의 국내 연구 개발 동향에 대해 기술하였다. 최근까지 함정 전자기 스텔스 기술은 국외 기술 의존도가 높았지만, 국방과학연구소를 중심으로 관련 분야들에 대한 신규 과제가 진행되고 있어 향후 비약적인 기술 발전이 기대된다. 아울러 함정 수중스텔스 기술은 함정 작전 성능 및 생존 성능과도 직결되는 핵심 기술에 해당되므로 국내 산학연을 중심으로 한 관련 분야 신기술 제안 및 과제화를 위한 노력 또한 절실하다.

5. 참고문헌

- [1] 양창섭, 정현주, 전재진, 2012년 함정기술세미나, 42(2012)
- [2] 양창섭, 제38회 해양학술세미나, 38(2013)
- [3] 양창섭, 정현주, 전재진, 한국군사과학기술학회지, **16**(4), 465(2013)
- [4] 양창섭, 정현주, 정우진, 한국자기학회지, **24**(4), 114(2014)

강자성체 탈자시스템에서 자기포화를 고려한 최적인가자계 선정에 관한 연구

임상현^{1*}, 김건태¹, 박관수¹

¹부산대학교

1. 서론

합정은 강자성체로 이루어지고, 강자성체의 특징에 따라 제조 공정 및 외부 자기장에 의하여 착자되게 된다. 이렇게 착자되어진 합정은 수중 자기장을 이용하여 공격하는 기뢰, 어뢰, 대잠 초계기 등의 무기들에 의하여 피해를 받을 위험이 있다. 수중 무기에 의한 피해를 줄이기 위해서는 합정의 자기장을 줄이는 방법이 필요하고, 이를 탈자라고 한다. 탈자는 외부에서 교번하고 감소하는 자기장을 인가하여 자성체의 히스테리시스 특성에 따라 잔류 자화값을 0으로 만드는 과정을 뜻한다.

현재 세계적으로 사용되고 있는 탈자 기법들은 Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D이 있지만 이는 이론적인 증명보다는 선진국에서의 실험과 경험에 의존한 기법들로, 대상체의 자기적 특성을 반영하지 못한다는 한계가 있다. 또한 탈자 기법들의 여러 변수들에 대한 일정한 기준 또한 모호하기 때문에 탈자 프로토콜 적용에도 어려움이 존재하기 때문에 각 변수 설정 기준에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 Preisach 모델링을 이용하여 초기자기장 값에 따른 탈자 결과 해석을 수행하였다. 재질 특성이 다른 2가지 재질에 대하여 각각 적용하고, 탈자 결과를 비교하여 효율적인 탈자 프로토콜을 위한 초기자기장 값에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법과 결과

본 연구에서는 Preisach Modelling과 유한요소법을 결합한 2D Simulation tool을 이용하여 각 재질의 보자력 크기를 기준으로 하여 초기자기장 값을 변화시키며 해석을 진행하였고, 자세한 탈자 해석 과정은 다음과 같다.

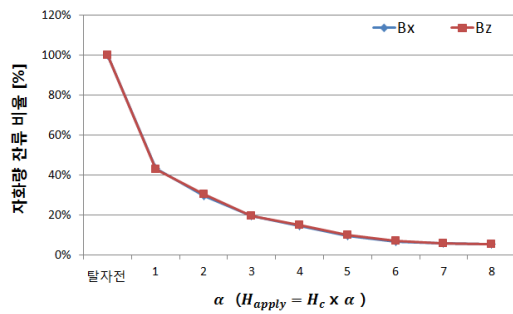
- 1) 그림 1과 같이 교번 자기장을 인가하는 X축 솔레노이드 코일과 탈자 대상체를 설계한다.
- 2) 탈자를 하기에 앞서, 먼저 솔레노이드에 착자 전류를 인가하여 탈자 대상체가 균일한 배열을 가지도록 한다.
- 3) <표 1>의 특성을 가지는 두 탈자 대상체에 초기자기장의 값을 변화시키며 탈자 해석을 수행한다.
- 4) 탈자 과정이 완료된 후, 탈자대상체의 수직방향으로 16cm 떨어진 위치에서 수평 자기장 성분 Bx 및 수직 자기장 성분 Bz의 값을 비교한다.
- 5) 그림 2와 같이 최종 탈자 결과를 비교 검토하여 효율적인 탈자를 위한 초기 자기장에 대하여 분석한다.

탈자 대상체

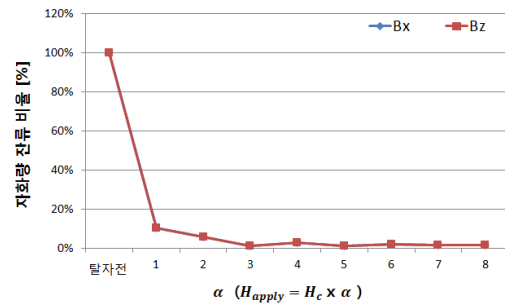
그림 1. 탈자 대상체 및 X축 Solenoid 배치도

<표 1> 탈자 대상체의 재질 특성 및 탈자 기법 사양

구분	특성	MMP1	MMP2
재질 특성	포화자속밀도 B_s [T]	2.14	1.67
	잔류 자속밀도 B_r [T]	0.32	1.67
	보자력 H_c [A/m]	0.0025×10^5	0.02×10^5
탈자 기법	탈자 기법	Anhysteretic deperm	
	초기 착자 전류값 [A]	2	16
	초기탈자자기장 크기 [A/m]	250 ~ 2000	2000~16000



(a) MMP1 재질



(b) MMP2 재질

그림 2. 잔류 자화량 비율 비교

3. 고찰

MMP1 재질의 경우보자력의 4배 이상일 때, 탈자 후의 최종 값이 착자 값의 15% 이하의 잔류 자기장 값을 가졌다. 또한 MMP2 재질의 경우보자력의 3배 이상일 때, 3% 이하의 잔류 자기장 값을 가졌다. 따라서보자력의 4배 이상일 경우, 효과적인 탈자 결과를 도출할 수 있을 것으로 예상된다. 이는보자력보다 월등히 큰 자기장을 외부에서 인가하여, 탈자 대상체 내부의 자구의 배열을 충분히 흔들기 때문으로 예상된다.

4. 결론

본 논문에서는 초기탈자자기장의 크기에 따른 탈자의 효율성에 대하여 연구하였다. 시뮬레이션 해석을 통하여 최종적으로보자력의 4배의 크기로 탈자를 시작하게 될 경우 탈자 결과가 우수함을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 탈자 프로토콜에 적용되는 여러 변수들에 대한 연구를 시행하고, 이론적인 배경 및 실험 검증을 통하여 최적의 탈자 프로토콜을 확립할 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

- [1] H. Won, H. S. Ju, S. Park and G. S. Park, IEEE Trans. Magn. 49(5), 2045 (2013).
- [2] 한국자기학회, 한국자기학회 학술연구발표회 논문개요집, 2014.5, 132-133 (2 pages).
- [3] 원혁, “강자성체의 자화 역학 구조에 따른 히스테리시스 현상의 수치 모델링에 관한 연구”, 공학 박사 학위 논문, 부산대학교, 2010.

축소함 시험을 통한 실험실 환경에서의 함정 소자 전류 산출 기법 연구

양창섭¹, 정현주^{1*}, 조동진¹, 정우진¹

¹국방과학연구소 제6기술연구본부 3부

1. 서론

함정 자기장을 최소화하기 위해서는 대상 함정으로부터 발생하는 자기장을 정확히 측정하고, 이를 최대한 상쇄시킬 수 있는 최적의 소자 전류를 산출하는 것이 매우 중요하다. 지금까지 함정의 최적 소자 전류를 산출하기 위한 목적으로 기자력 민감도와 역문제 해석에 기반한 최적 소자전류 산출 기법 등 다양한 연구가 국내에서도 이미 진행되었다. 그러나 이러한 연구들은 주로 수치모사 및 시뮬레이션에 기반하고 있으므로, 실 환경 적용 가능 여부는 실험을 대상으로 확인이 되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 실험 적용에 앞서서 소자코일이 배치된 축소함 시험을 통해서 현재까지 연구된 최적 소자전류 산출 기법 등이 실 환경에서도 정상적으로 그 성능을 발휘하는지 확인하였다.

2. 축소함 및 시험장치

최적 소자전류 산출 기법의 성능을 검증하기 위한 목적으로 축소함정, 축소함 소자코일 및 축소함 소자전원장치(전원제어장치 포함)를 설계/제작하였다. 축소함의 제원은 크기가 $(1.5 \times 0.3 \times 0.3)$ m이고, 선체는 0.6 mm 두께의 냉연 강판을 햄머 단조(hammer forging) 방식을 사용하여 제작되었다. 이는 선체의 용접부위를 최소화하여 재질의 자기적 특성 변화를 가능한 억제하기 위함이다.

축소함 소자코일은 3축 방향(V, A, L)으로 배치된 다수의 소자코일로 구성된다. 따라서 일정 수준 이상의 소자 성능을 보장받기 위해서는 사전에 최적 설계 기법을 활용하여 각 방향별 소자코일의 개수 및 위치를 선정하는 것이 필요하다. 본 연구에서의 소자코일은 L 코일 7개, A 코일 3개, V 코일 4개로 구성되며, 이를 바탕으로 각 코일의 설치 위치가 결정되었다. 그림 1과 그림 2는 본 연구에서 설계/제작된 축소함 소자코일의 개략도와 축소함을 이용한 자기장 측정 장면을 보여준다.

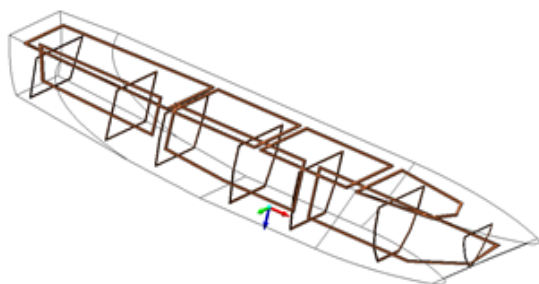


그림 1. 축소함 내부에 설치된 소자코일 배치 그림 2. 비자성실험실에서의 축소함 자기장 측정 장면

3. 축소함을 이용한 소자시험

축소 함정에 대한 소자시험은 국과연 비자성 실험실에서 진행되었고, 축소함의 자기장은 축소함 바닥면으로부터 0.35 m에 해당하는 깊이에서 측정되었다. 축소함 소자코일의 최적 전류를 도출하기 위해서 우선 각

소자코일의 코일효과(Coil effect)를 측정해야 한다. 코일 효과는 소자코일에 인가되는 단위 전류당 발생하는 자기장을 의미한다.

그리고 측정된 각 소자코일의 코일효과로부터 기자력 민감도에 기반한 역문제 해석을 통해서 아래 식 1과 같이 축소함 자기장을 최소화시킬 수 있는 최적의 소자 전류를 산출하였고, 산출된 전류를 각각의 소자코일에 인가하였다.

$$F = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^n |B_{ij}^{measured} + B_{ij}^{coils}|^2 \quad (1)$$

여기서 아래첨자 i 와 j 는 각 자기장의 벡터성분과 측정선상의 센서 위치를 나타낸다. 따라서 최적 소자 전류는 소자코일별 인가되는 전류를 통해서 축소함의 자기장과 크기는 같고, 방향이 반대인 자기장 신호를 가장 근접하게 구현하는 것을 의미한다.

그림 3과 그림 4는 소자코일 전류 인가 전/후의 축소함으로부터의 자기장을 보여준다. 시험결과 소자 후 자기장은 소자 전에 비해서 95 %정도 감소함을 확인하였다.

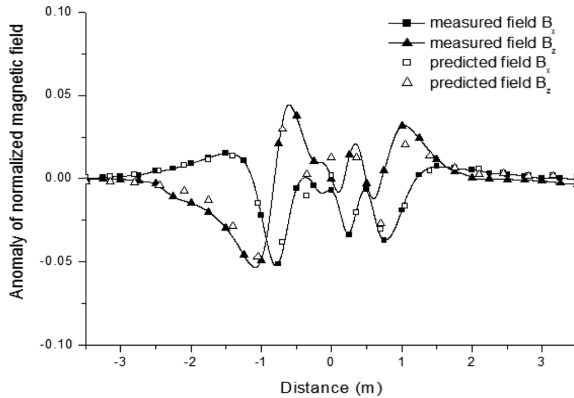


그림 3. 소자코일 전류 인가 후 축소함 자기장

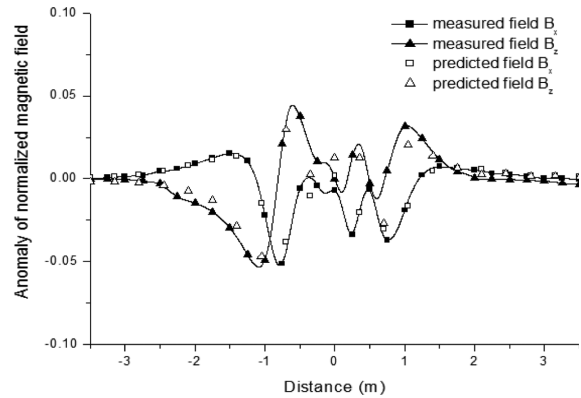


그림 4. 소자코일 전류 인가 후 축소함 자기장

4. 결론

본 논문에서는 소자코일이 배치된 축소함 시험을 통해서 현재까지 연구된 최적 소자전류 산출 기법 등이 실 환경에서도 정상적으로 그 성능을 발휘하는지 확인하였다. 시험결과 소자 후 자기장은 소자 전에 비해서 95 %정도 감소함을 확인하였다. 향후에는 자기센서를 추가로 장착하여 지자기환경 변화에 따른 축소함의 소자 성능을 확인할 계획이다.

5. 참고문헌

- [1] John J. Holmes, Reduction of a Ship's Magnetic Field Signatures, 1st ed., Morgan & Claypool Publishers, 2008.
- [2] Nak-Sum choi, et al., "Efficient Methodology for Optimizing Degaussing Coil Currents in Ship Utilizing Magnetomotive Sensitivity Information," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol.48, No.2, pp.419-422 (2012)

수중용 고감도 OFG 자기센서

Highly sensitive OFG magnetic sensor for underwater application

신광호^{1*}, 임상호², 김영학³, 양창섭⁴

¹경성대학교 정보통신공학과, ²고려대학교 신소재공학과

³부경대학교 전기공학과, ⁴국방과학연구소 6본부

수상함과 잠수함은 자성체(주로 Fe-C)를 이용하여서 구축되기 때문에 수중에 설치된 고감도 자기센서를 이용하여서 그 존재나 이동을 탐지하는 것이 가능하다. 또한 감응식 기뢰의 경우, 함정에서 발생하는 자계를 탐지하여서 작동되므로 고감도 자기센서는 수중 방어 체계를 구축하기 위한 핵심 부품이라고 할 수 있다. 수중에서 사용되는 자기센서는 높은 감도/분해능 등 우수한 성능은 물론, 수중에서 어레이로 구축하기 위해서는 소형화와 저가격화도 중요한 이슈이다.

본 연구에서는 높은 감도와 분해능은 물론 소형화/저가격화를 동시에 만족시킬 수 있는 자기 센서를 개발하는 것을 목적으로, 높은 감도/분해능을 얻을 수 있을 뿐 아니라, 구조가 간단하고 소형화에 유리한 직교형 플럭스게이트센서(Orthogonal fluxgate sensor; OFG)를 개발하였다. 소형임에도 불구하고 우수한 성능의 자기센서를 개발하기 위해서, Carrier신호에 DC바이어스를 인가하여 분해능을 높이는 연구, 구동주파수의 최적화를 통해서 감도를 향상시키는 연구, 개발된 3축 직교형 플럭스게이트센서는 12×12×12mm의 크기를 가지며, $\sim 5 \times 10^{-7}$ Oe의 분해능, ~ 700 mV/Oe을 얻을 수 있었다.

그림 1은 본 연구에서 개발한 OFG센서의 사진을 나타낸 것이다. 구동/신호처리회로는 케이스를 제외하고 4.5cm 이하의 크기를 가지고 있으며, 센서헤드를 접속하여서 자계를 측정할 수 있다. 그림 2는 개발된 OFG센서의 Noise figure를 나타낸 것으로, 직류를 제외하고 10pT이하의 낮은 노이즈를 나타내고 있다.

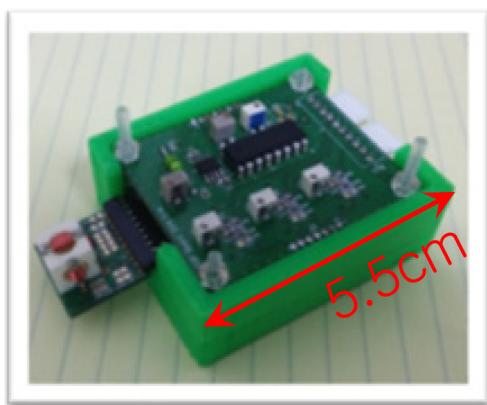


Fig. 1. OFG magnetic sensor.

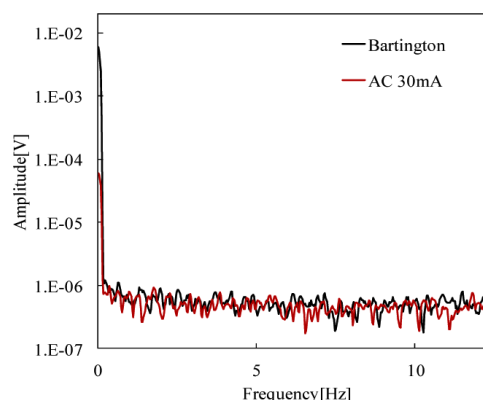


Fig. 2. Noise figure of OFG sensor.

지구 자기장의 이해와 지구 과학에의 응용

임무택^{1*}

¹한국지질자원연구원, 광물 자원 개발을 위한 융합 연구단

*limmt@kigam.re.kr

자기장은 원자로부터 비롯하여 우주에 이르기까지 물질이 있는 곳이라면 어디에나 있는 물리적인 현상이다. 이러한 자기장을 중심으로 하고, 그것의 생성, 측정, 측정된 자료의 처리, 결과의 해석 등을 아울러 자기학이라 한다.

자기장은 크기(스칼라 량)와 방향을 동시에 가지는 벡터 량이며, 벡터의 각 방향 성분의 각 방향에 대한 변화율을 계산하면 텐서의 형태를 띤다. 그래서 한 점에서 자기장을 스칼라의 형태로 즉, 스칼라 자력계로 측정하면 측정된 물리량은 자기장의 크기 한 개 뿐이고, 벡터의 형태로 즉, 한 개의 벡터 자력계로 측정하면 측정된 물리량은 3방향의 성분과 3성분으로부터 계산할 수 있는 크기 한 개, 그래서 합이 4개이며, 텐서의 형태로 즉, 여러 개의 벡터 자력계로 측정하면 측정된 물리량은 바로 앞의 4개에 $\frac{\delta H_i}{\delta k}$ ($i \& k = x, y, z$) 9개를 더하여 합이 13개이다. 어떤 공간의 물리적인 성질을 해석하기 위해서는 그 물리적인 성질과 관련된 더 많은 종류의 자료가 있을수록 더 좋으며, 이것은 자기장에 있어서도 마찬가지이고, 따라서 앞으로는 점점 더 텐서의 형태로 측정하게 될 것이다.

지구 자기장은 주로 지구라는 범위에 있는 자기장을 말하며, 이 범위에서의 자기장의 생성, 측정, 처리, 해석 등을 아울러 지구 자기학이라 한다.

여기에서는 지구 자기학의 범위 안에서, 우리가 많이 쓰고 있는 지구 자기장의 생성, 측정, 처리, 해석, 또 지구 표면의 암석이 생길 때에 생성되어 보존되어 온 “남은 자기”를 측정하여 지괴 또는 지판의 이동의 역사를 밝혀내는 것을 주 목표로 하는 고지자기학, 그리고 주로 지구 표면에서 지구 자기장의 공간적인 분포를 측정하여 지구 내부에 있을지도 모르는 자성 물질의 분포를 밝혀내는 것을 주 목표로 하는 자력 탐사 등 지구 과학에서의 3가지 응용 분야에 대해서 예를 들어 설명한다.

차세대 소형위성 1호용 TAM 제작

김은애¹, 손대락^{2*}

¹(주)센서피아, 대전광역시 유성구 유성대로 1596번길 2층

²한남대학교 광센서 물리학과, 대전광역시 대덕구 한남로 70

1. 서론

플럭스게이트 마그네토미터는 1930년대에 개발되어 오늘날까지 가장 널리 사용되고 있는 저자기장 측정용 센서이다. 플럭스게이트 마그네토미터는 코어에 자기장의 세기를 충분히 가하여 코어를 포화시킨 후 외부자기장(피측정 자기장)에 의하여 코어가 포화자기장에 도달하는 시간의 차이를 이용하는 원리를 대부분 사용하고 있다[1]. 플럭스게이트 마그네토미터에 사용되는 코어가 비선형의 자기이력특성을 가지고 있기 때문에 일반적으로 플럭스게이트 마그네토미터의 선형도가 수% 정도이다. 이를 개선하는 방법으로 feedback을 사용하는데, 그 원리는 feedback 회로를 이용 피측정 자기장과 크기가 같고 방향이 반대인 자기장을 인가함으로써 센서코어는 항상 0의 자기장을 유지하게 하는 방식이다[2]. 이렇게 되면 플럭스게이트 마그네토미터의 선형도가 향상되고 피측정 자기장에 의한 센서코어의 자벽이동이 없기 때문에 센서의 잡음도 줄일 수 있다. 본 연구에서는 차세대 소형위성에 사용되는 소형의 저전력의 플럭스게이트 마그네토미터를 제작하였다.

2. 플럭스게이트 마그네토미터 제작

센서코어로는 Co계의 비정질리본 Allied Chem[®]2714를 사용하였으며 300℃에서 1시간 열처리 한 코어를 사용하였다[3]. Fig.1은 본 연구에서 제작한 센서로 폭이 15 mm, 길이가 25 mm인 센서를 3축으로 조립하였다. 제작된 마그네토미터의 선형도 측정은 비자성 실험실에서 Helmholtz coil을 사용하여 측정하였다.

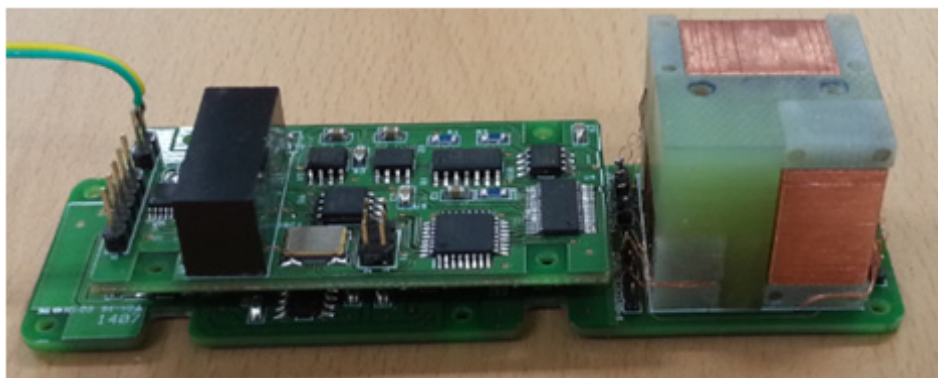


그림 1. 제작된 flux-gate센서의 사진.

제작된 TAM의 선형도의 결과는 Fig.2와 같으며 측정 범위 $\pm 60 \mu\text{T}$ 에서 선형도가 1.5×10^{-4} 이하였다. Magnetometer의 noise 특성 측정은 permalloy로 제작된 6중 자기차폐 장치 안에 센서를 놓은 후 측정하였으며, noise 특성 측정의 결과는 Fig.3에 나타내었다. Noise는 $20 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 Hz였다.

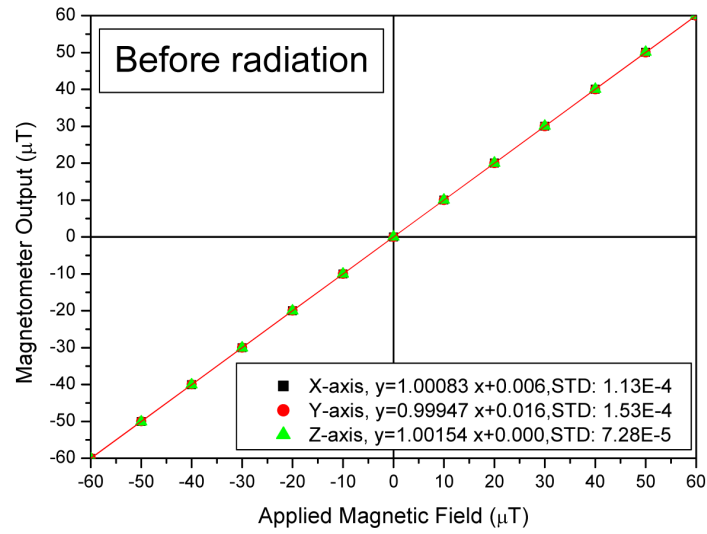


그림 2. flux-gate magnetometer의 선형도.

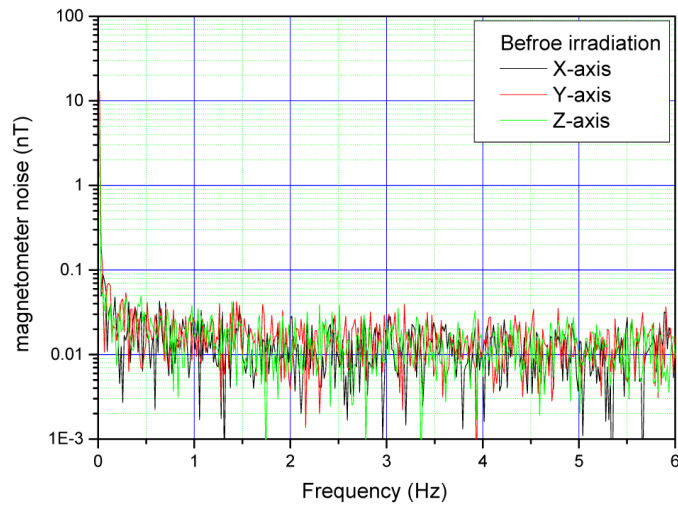


그림 3. flux-gate magnetometer의 noise spectrum.

3. 참고문헌

- [1] W. Gopel et, al, Sensors Vol. 5 “Magnetic Sensors”, 1989, VCH
- [2] 손대락, “인공위성 자체 제어용 3-축 flux-gate 마그네토 미터제작”, 한국 자기학회지, Vol. 16 NO. 3 P 182 (2006)
- [3] 김용준, 손대락, 손동환, “Flux-gate 센서용 비정질 코어의 열처리효과, 한국 자기학회지, Vol. 11 NO. 3 P 134 (2001)

대한민국 달탐사: 달 자기이상 현상 규명

진호^{1*}, 손대락²

¹경희대학교, 응용과학대학 우주과학과, 우주탐사학과

²한남대학교, 광센서 공학과

1. 서론

우주탐사에 있어 천체의 자기장연구는 우주환경변화를 연구하는데 가장 중요한 요소일 뿐만 아니라 태양계 천체의 경우 탄생과 진화에 중요한 단서를 제공하는 인자이기도 하다. 우리나라의 경우 국가 우주 중장기계획에 따라 지구관측위성을 넘어 우주탐사시대로 진입하고 있다. 이에 우주탐사의 첫 무대로 달 탐사를 위한 두 번의 계획이 진행되고 있으며 처음 시도되는 달 탐사선은 2018년경에 발사를 예정으로 진행되고 있다. 이 첫 탐사선은 달궤도선으로서 탐사선의 기술검증과 고해상도 카메라를 장착하고, 또한 과학임무를 위한 달 자기장 측정기를 탑재하게 된다. 이에 ‘달 표면에 특이하게 분포하는 자기장 관측 및 분석’에 관하여 논하고, 이를 측정할 수 있는 측정기기에 관하여 소개 하고자 한다.

2. 탐사 임무 및 기술개발의 필요성

달의 경우 지구와 같이 달 전체를 감싸고 있는 자기장이 존재하지는 않지만 표면에 국지적으로 자기장이 존재하는 특징을 가지고 있다 (Russell et al. 1974).

그림 1은 달 표면에 분포하고 있는 자기장 영역을 나타낸 것이다. 이러한 자기이상(magnetic anomaly)은 어떻게 형성되고 변화되어 왔는지 명확하게 알려진 바가 없으며, 이에 대하여 연구하고자 하는 것이 본 연구진의 과학적인 목표이다.

이전의 연구들은 달 표면의 자기이상의 기원에 대해 유성체의 충돌과 같은 외부적 요인과 다이나모 이론을 기반으로 현재는 소멸 되고 남아 있는 흔적과 같은 내부적인 요인으로 설명하고 있다(Hood and Vickery 1984). 달 뒷면에 분포하고 있는 강한 자기 이상 지역의 경우 달 앞면의 충돌분지의 대척점에 해당되고, 이러한 자기 이상 형성에 필요한 자기장은 다이나모 이론에 의해 설명될 수 있다고 제안하고 있다(Lin et al. 1988). 그러나 이와 같은 연구의 대부분이 달 표면에 분포하는 대규모 자기 이상만을 대상으로 하였으며, 광범위하게 분포하고 있는 소규모 자기 이상에 대해서는 다루지 않았다. 소규모 자기 이상과 관련된 연구는 최근에서야 진행되고 있으며, 자기 이상의 기원 규명을 위해서는 과거의 탐사자료를 포함해 더 많은 달 자기장 측정 자료가 요구된다(Lee et al. 2014, Baek et al. 2014).

현재 연구자들이 활용하고 있는 자료는 과거 미국의 Lunar Prospector의 자기장 관측 자료와 일본의 Kaguya 자기장 측정기의 관측 자료가 전부이다. 이 관측 자료는 달의 고도 100 km 상공부터 낮게는 약 30 km 근방의 관측 자료이다. 그러나 이러한 자료는 자기이상 지역의 연구에는 아직 많이 부족한 실정이다. 이에 자기장 측정기를 활용한 달 탐사는 그 과학적 의미가 중요할 뿐만 아니라, 미래 국가 우주탐사기술의 국내 기반기술 확보라는 차원에서 그 필요성이 요구된다. 자기장 측정기는 인공위성에 기본적으로 탑재하여 활용할 수 있는 과학임무 장비이며, 특히 우주탐사 탑재체 중의 하나로서 중요하게 활용되고 있다. 그 이유로서 정밀 자기장

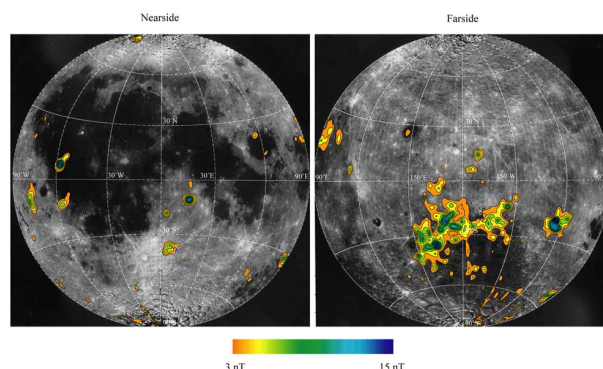


그림 1. 달 표면에 존재하는 자기장 분포 (고도 30km)
(Richmond and Hood, 2008)

측정기 기술은 우주탐사영역 뿐만 아니라 국가 안위에 이르기까지 매우 활용가치가 높아 “우주미래 기초기술 확보”라는 국가우주계획에 부합되기 때문이다. 우주 자기장 측정기술의 경우 국내에서 개발하여 우주탐사에 활용된 사례는 미미한 상태이다.

한국형 시험용 달 궤도선의 임무는 “심우주 탐사를 위한 핵심기술개발”과 “달의 새로운 정보획득”이다. 이에 본 연구진이 제안하는 “달자기장 관측 및 관련 기반기술 개발”은 성공적인 목표달성을 위한 기술적 타당성과, 과학적 가치, 자료의 활용도를 충분히 만족하는 탑재체로 판단된다.

3. 탑재체 예상 규격

달 자기 이상현상관측을 위한 탑재체의 구성은 그림 2와 같다. 우주공간의 공유의 자기장 측정을 위해 위성체로부터 발생하는 자기 교란 및 잡음요소를 최소화하기 위한 방법으로 붐 구조를 가지며, Dual Snesor 기법을 활용하고자 총 3개의 자기장 센서를 활용하는 구성으로 설계되었다. 예상되는 무게는 3.5 kg 이하이며, 소비전력은 약 2.8 watt이다. 측정범위는 $\pm 1000\text{nT}$, 분해능은 30pT를 목표로 진행하고 있다.

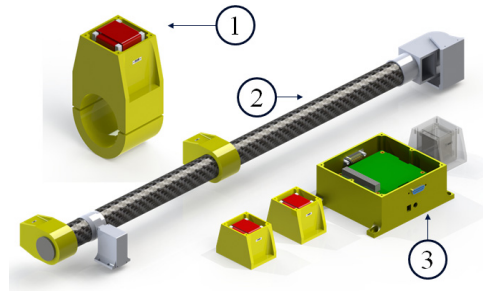


그림 2 자기장 탑재체 예상 구성품.
(1) 자기장센서, (2) 붐, (3) 전장박스

4. 결론

달탐사 자기장 탑재체는 2018년 중순에 개발을 완료하며, 이후 달 탐사선 본체에 조립되어 검교정을 지속적으로 진행할 예정이다. 또한 이번에 개발된 자기장 측정기를 기반으로 향 후 국가우주탐사에 있어 요구되는 독자적인 자기장 측정기술을 지속적으로 발전시키고자 한다. 또한 자기장 측정기는 향 후 우주탐사에 있어 중요한 관측 장비로 지속적으로 활용될 것으로 기대 된다.

5. 참고문헌

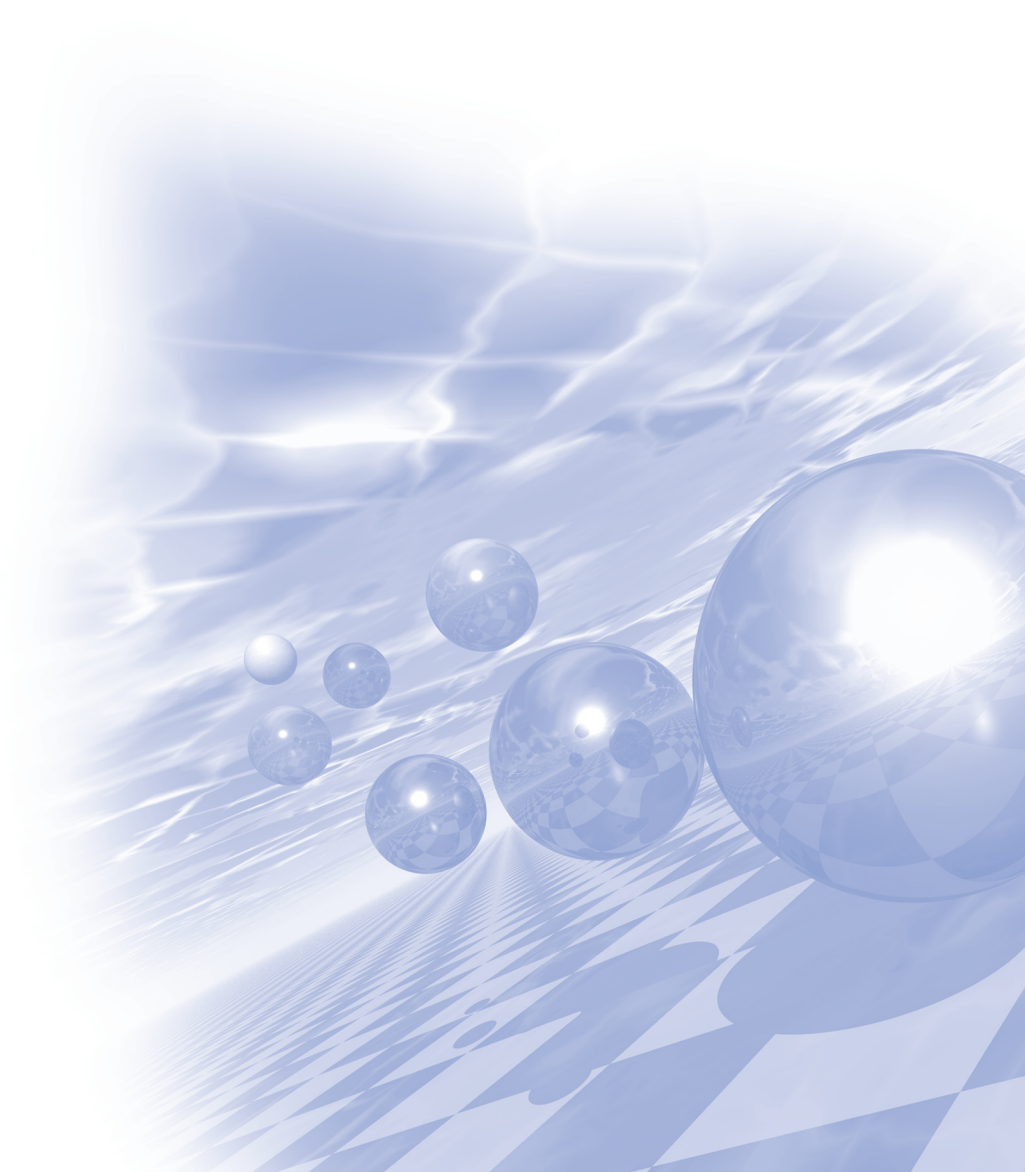
- [1] Baek SM et al., Characteristics of small-scale magnetic anomalies outside of Mare Crisium, Lunar Sci. Workshop, Korea, 2014
- [2] Hood LL & Vickery A, Magnetic field amplification and generation in hypervelocity meteoroid impacts with application to lunar paleomagnetism, J. Geophys. Res. 89, C211-C223 (1984)
- [3] Lee JK et al., Are there Mare swirls at the Crisium magnetic anomaly?, Lunar Sci. Workshop, Korea, 2014
- [4] Lin RP et al., Lunar surface magnetic field concentrations antipodal to young large impact basins, Icarus Res. 74, 529-54 (1988)
- [5] Richmond NC & Hood LL, A preliminary global map of the vector lunar crustal magnetic field based on Lunar Prospector magnetometer data, J. Geophys. Res. (2008)
- [6] Russell CT et al., The Permanent and induced magnetic dipole moment of the Moon, Proceedings of Lunar Planet. Sci. Conf. 5th, 2747-2760 (1974)



KMS 2016 Summer Conference

Special Session III

‘자성체 조직평가’ 1부



입계확산자석의 확산층 안정화에 의한 보자력 향상기술

김동환^{1*}, 공군승¹, 이정구², 유지훈², 오성욱³, 이준형³

¹성림첨단산업(주) 연구소, 대구광역시 달서구 호림동 8

²한국기계연구원 부설 재료연구소 분말재료연구부, 경남 창원시 창원대로 531

³경북대학교 공과대학 신소재공학부, 대구광역시 북구 산격동 1370-1

최근 고보자력 Nd계 희토자석이 하이브리드 및 전기자동차의 구동모터에 적용되기 시작되면서 크게 주목 받고 있다. 전통적으로 Nd계 희토자석에서 보자력을 향상시키기 위해서는 2:14:1 결정구조에서 Nd 보다 상대적으로 이방성상수가 큰 Dy 혹은 Tb으로 치환하여 증가시킬 수 있다. 그러나 이들 중희토 원소는 Nd와 달리 Fe원자와 anti-parallel 결합을 하기 때문에 잔류자속밀도가 낮아지는 것을 감수해야 하며, 적은 매장량과 한정된 지역에 편재되어 있어 수요급증에 따른 자원의 불안정한 수급 문제를 가지고 있다. 따라서, 이와 같은 기술적, 자원적 문제를 해결하기 위해 Dy 혹은 Tb을 최소한 사용하면서 보자력을 증가시키고자하는 연구가 진행되고 있는데, 대표적인 중희토 저감기술에는 중희토 입계확산기술 및 입자미세화 기술이 있다.[1][2]

본 연구에서는 중희토 저감기술 중 최근 가장 활발한 연구가 진행되고 있는 중희토 입계확산기술에 있어서 입계확산 속도제어에 의해 중희토가 입계에 균일하게 확산되고, 확산처리 후 확산에 의해 야기되는 미소응력을 제거하기 위한 연구를 진행하였으며, 그림 1,2에서 보는 바와 같이 Tb확산처리 후 2단 열처리에 의해 중희토확산이 자석 내부까지 안정적으로 형성시킴으로서 보자력을 22.8->34 kOe로 향상되었다.

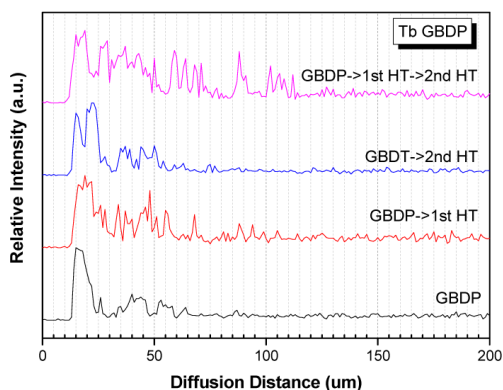


Fig.1 Diffusion distance from surface depending on GBDP and Heat treatment conditions.

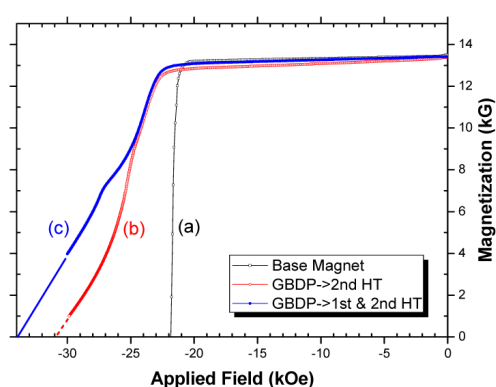


Fig.2 Magnetic properties depending on GBDP and Heat treatment conditions.

참고문헌

- [1] H. Nakamura, K. Hirota, M. Shima, T. Minowa and M. Honoshima, IEEE Trans. Magn. **41**, 3844 (2005).
- [2] K. Hirota, H. Nakamura, M. Shima, T. Minowa and M. Honoshima, IEEE Trans. Magn. **42**, 2909 (2006).

X-ray Magnetic Circular Dichroism and its applications

J.-Y. Kim^{*}

Pohang Accelerator Laboratory, Pohang, Korea

X-ray Magnetic Circular Dichroism (XMCD) is the difference of two absorption spectra taken with left and right circularly polarized X-rays. Basically, the phenomenon signifies the occupation difference in the spin up and spin down bands of ferromagnetic materials and it is expected to be the next order of absorption intensity. However, in the *L* absorption edges of *3d* transition metals it is amplified by the spin-orbit splitting of core levels and it has the same order of magnitude with the absorption itself. When compared with the other magnetics tools, it has two advantages: Firstly, it is elemental and chemical specific. It is very advantageous when we are going to study the element by element magnetic properties of chemical compounds and magnetic artificial structures composed of different elements. Secondly, by applying the sum rule to XMCD spectrum we can obtain the orbital and the spin magnetic moments separately. It is very useful to investigate the microscopic origin of the ferromagnetic properties.

In this talk, I would like to present the principle of XMCD and give a few research examples, where the XMCD analysis were critically used.

Magneto-Optical Kerr/Faraday Microscopy for Magnetic Domain Observation and Spin Dynamics Study

Dong-Hyun Kim^{*}

Department of Physics, Chungbuk National University, Cheongju 362-763, Chungbuk, South Korea

Magnetic imaging technique based on magneto-optical Kerr/Faraday microscopy will be introduced. Magneto-optical Kerr/Faraday effect (MOKE/MOFE) has been long utilized as a surface-sensitive detection of magnetic properties both on macro- and micro-scale. Instrumentation examples for Kerr/Faraday microscopy using MOKE/MOFE will be shown with various optical configurations. Typical examples of magnetic domain visualization will be presented with quantitative image analysis, allowing us to determine magnetization reversal, magnetic relaxation, and magnetic hysteresis curve. Spin dynamics observation over wide range of time scales will be discussed. Finally, recent development combined with ultrafast pump-probe stroboscopy technique will be also discussed.

Probing of nanoscale magnetic properties using advanced magnetic force microscopy

Yunseok Kim^{1*}

¹School of Advanced Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University (SKKU),
Suwon 440-746, Republic of Korea

* Address correspondence to yunseokkim@skku.edu

Magnetic materials have been of great interest due to their multiple applications including magnetic storages and power inductors. The performance of these applications is strongly underpinned by the magnetic properties including magnetic domains and the eddy current loss which originates from periodic change in the magnetic field. In particular, nanoscale magnetic features become more important due to the downsized devices. However, probing of nanoscale magnetic properties beyond magnetic domains has been relatively less explored compared to its significance on the applications. Here, we summarize our recent effort to develop a new approach for probing various magnetic properties associated with eddy current and magnetic domains in magnetic devices using advanced magnetic force microscopy at the nanoscale. The obtained results by the proposed approach show spatially varied nanoscale information on the magnetic properties such as magnetic domains and eddy current. This approach allows exploring simultaneous measurements of various magnetic properties at the nanoscale and can be further extended to the analysis of local physical features.

Probing the magnetic states of centrosymmetric magnetic materials by magnetic force microscopy

Jeehoon Kim^{*}
POSTECH

Recently, skyrmions have drawn much attention for physics and applied science since they provide a venue for domain manipulation with an ultra low current density. Skyrmions, originally, were found at the non-centrosymmetric crystals, such as MnSi and FeGe, originating from competition between ferromagnetic exchange and Dzyaloshinskii-Moriya interactions. However, a couple of recent results show skyrmion behavior in highly anisotropic magnetic materials with inversion symmetry, which opens a wide span of practical applications.

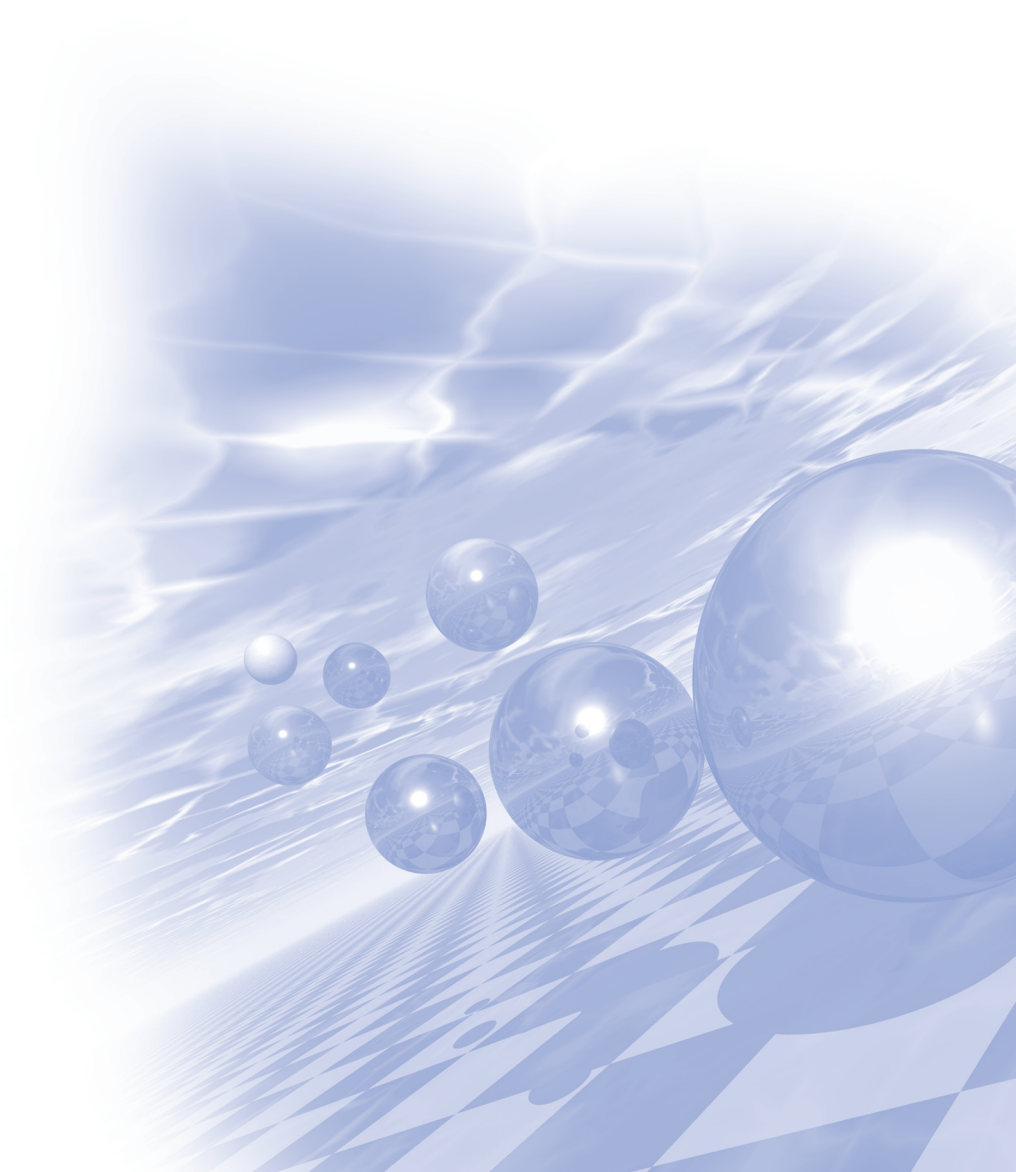
In this talk we will show skyrmion-like domains in centrosymmetric crystals, probed by magnetic force microscopy. We employ a home-built MFM operating at ultra-low, He-3 temperatures within a vector magnet with 2-2-9 T maximum fields in x - y - z direction. We highlight the evolution of tree-like domains into skyrmion-like bubbles with a variety of fields and temperature in the bilayer LSMO and CeRu₂Ga₂B single crystals.



KMS 2016 Summer Conference

Special Session IV

‘MRI 및 방사선 분야 [의과학연구회]’



의료 영상연구를 위한 몬테칼로 모사코드: GATE

백철하^{1,2*}

¹동서대학교 보건의료계열 방사선학과

²동서대학교 방사선보건환경센터

1. 서론

몬테칼로는 확정적 방법으로 결과를 얻기 힘들거나 실험적 측정이 불가능한 복잡한 연구들에 대해 통계적 방법을 통해 난수(random number)를 사용한 무작위적인 표본추출을 이용하여 결과를 획득하는 방법이다. 몬테칼로 방법은 폰 노이만이 제2차 세계대전에서 원자폭탄 개발을 목적으로 중성자 확산 문제를 해결하기 위해 개발하여 사용하였고 중성자들의 무작위 충돌 분열 현상이 도박과 비슷하기 때문에 도박의 도시인 모나코의 몬테칼로 이름을 따서 명명되었다. 의학물리 분야에서는 앵거가 감마카메라의 응답특성을 모사하기 위해 처음 사용하였다. 그 이후 몬테칼로 방법은 방사선 방출, 수송, 검출 과정의 추계적 특성 때문에 의료 영상 및 의료기기 등의 연구 개발 분야에 매우 유용하게 응용되고 있다. 본 발표에서는 의료 영상 및 기기의 몬테칼로 모사를 필요로 하는 미래의 사용자들에게 응용 가능한 몬테칼로 코드 및 GATE 모사코드의 특유적 성능 및 특징에 대한 실용적인 정보를 제공함으로써 사용목적에 알맞은 코드를 선택하는데 도움을 주기 위함이다.

2. 실험 방법

의료 영상연구를 위한 모사코드 GATE(Geant4 Application for Tomographic Emission) 모사코드는 다양한 종류의 입자 수송방정식을 모사하기 2001년에 OpenGATE collaboration에서 개발하였다. GATE 모사코드는 널리 이용되며 많은 사용자들에 의해 넓은 분야에 걸쳐 검증되고 유지 및 개선되어 왔기 때문에 계산 결과가 매우 정확하고 신뢰할 수 있다. GATE 모사코드는 신뢰성과 오랜 기간의 지원이 보증된 범용코드에 기초하고 있고 의료 영상 기기의 모의 실험이 가능하며 프로토타입 모델을 비롯한 어떤 의료 장비도 모델링 할 수 있는 유연성을 가지고 있고 가장 큰 장점은 사용자 편의적이며 누구나 손쉽게 이용가능하다. GATE 모사코드를 활용해 검출기 설계 연구, 방사선 산란 등을 포함한 분석적 정량화 연구, 정량화를 위한 보정 방법 연구 등 많은 연구를 진행하고 있다.

3. 고찰 및 결론

검출기의 설계 및 영상획득 프로토콜 최적화, 영상 프로토콜의 정성적, 정량적 정확성의 평가, 정량화 분석의 정확성 향을 위한 보정방법 연구 등 의료 영상 분야에서 몬테칼로 모사방법의 역할은 점차 확대되고 있으며, 이는 각 영상기기에 대한 영상획득 및 처리과정의 장단점 및 새로운 발전 방향을 제시할 수 있어 그 가치가 매우 높다. 최근 컴퓨터 성능향상에 따른 몬테칼로 코드들의 기능적 발전은 다양한 적용분야에 대해 실제와 가까운 복잡한 데이터를 적당한 시간 내에 생성 할 수 있게 해 준다. GATE 모사코드는 의료영상 분야에서 새로운 기기 개발 및 실제 영상을 정성적, 정량적으로 해석하는 도구로 꾸준히 이용될 것이다.

몬테칼로 전산모사를 이용한 원뿔대 투과형 타겟 모양의 근접치료용 소형 엑스선 선원에 대한 선량분포 평가

안우상^{1*}, 최원식¹, 신성수¹, 박철수², 허영철², 서정민³, 김기홍⁴

¹울산의대 강릉아산병원 방사선종양학과, ²한림 성심대학교 방사선학과

³대원대학교 방사선학과, ⁴춘해대학교 방사선학과

1. 서론

현재의 근접치료(내부방사선치료)는 주로 방사선을 발생시키는 방사성동위원소를 종양 또는 종양이 발생한 부위에 직접 삽입하여 방사선을 조사하게 된다. 최근 근접치료에서 방사성동위원소의 대안으로 인체 내부에 삽입할 정도의 크기를 지닌 소형 엑스선 튜브가 개발되어 상용화 중에 있다. 하지만 상용 중인 엑스선 튜브는 금속재질의 필라멘트를 이용한 열전자방출방식으로 1000°C 이상의 높은 열이 발생하기 때문에 인체에 사용하기 위해서는 반드시 별도의 냉각시스템이 필요하게 된다. 반면 나노소자를 이용한 전계발출원은 상온에서도 전자빔이 생성됨으로 전체 엑스선 튜브 시스템을 소형화하는데 유리하다.

2. 목적

본 연구에서는 기존의 개발한 탄소나노튜브 기반의 전계발출원을 이용한 소형 엑스선 튜브 주변의 균일한 선량분포를 획득하기 위하여 몬테칼로 전산모사를 이용한 최적화된 원뿔대 투과형 타겟으로 구성된 엑스선 튜브 주변의 선량분포를 평가하고자 한다.

3. 실험방법과 결과

최적화된 타겟 구성과 엑스선 튜브 주변의 선량분포를 모사하기 위해 MCNPX 2.8.0 (Monte Carlo N-Particle eXtended) 전산모사 코드를 사용하였다. 계산에 사용된 전자빔 에너지는 30-70 keV 영역에 대하여 원뿔대 투과형 타겟 주변의 각 계산 지점에서 발생하는 엑스선의 강도를 F5 tally를 이용하여 계산하였다. 각 지점에서 최대 엑스선이 발생하는 타겟 두께를 평가하여 최적화된 타겟 두께를 결정하였다. 최적화된 타겟 구성으로 구현된 소형 엑스선 선원 주변의 공간선량분포는 F6 tally 이용하여 계산하였다. 0°에서 발생하는 선량을 기준으로 공간선량의 균일성을 평가하였다.

원뿔대 투과형 타겟 주변에서 엑스선에 최대 발생하는 타겟 두께는 30 keV에서 0.5-0.6 μm , 40 keV에서 0.9-1.0 μm , 50 keV에서 1.2-1.3 μm , 60 keV에서 1.6-1.7 μm 그리고 70 keV에서 2.1-2.2 μm 이었다. 계산된 전자빔 에너지 영역 내 90°에서 발생하는 엑스선 강도는 0°에서 발생하는 엑스선 강도의 약 94% 수준이었다. 전자빔 에너지별 공간선량의 균일성은 30 keV에서 0.29, 40 keV에서 0.53, 50 keV에서 0.53, 60 keV에서 0.62 그리고 70 keV에서 0.73으로 전자빔 에너지가 증가할수록 균일성이 나빠지는 경향을 보였다.

4. 결론

원뿔대 형태의 투과형 타겟에서 엑스선이 최대 발생하는 최적의 두께를 전자빔 에너지별로 획득한 후, 최적의 타겟 두께로 구현된 소형 엑스선 튜브 주변의 공간선량 균일성을 확인하였다. 추후 최적화된 두께로 제작된 근접치료용 소형 엑스선 튜브를 제작하여 선량 특성을 검증할 예정이다.

전산화단층촬영에서 물리적인자의 변화가 방사선치료계획에 미치는 영향

장재욱^{1,2*}, 한만석³, 서선열⁴, 전민철⁵, 배석환⁶, 유세종⁷

¹충남대학교병원 방사선종양학과, ²강원대학교 대학원 보건 의료과학과

³강원대학교 방사선학과, ⁴울지대학교 방사선학과

⁵충남대학교병원 영상의학과, ⁶건양대학교 방사선학과

⁷건양대학교 영상의학과

1. 서론

전산화단층영상은 표적용적 및 내부 장기의 모양과 위치, 인체조직의 밀도를 보정 할 수 있기 때문에 3차원 입체조형방사선치료 및 세기조절방사선치료와 같은 정밀한 방사선치료가 가능하여 방사선치료계획에 광범위 하게 적용되어지고 있다. 그러나 전산화단층촬영에서 관전압(kVp), 관전류량(mAs)과 같은 물리적 인자들의 가 변성은 영상에 다양한 영향을 미친다. 특히 관전압(kVp)은 선질에 영향을 미쳐 투과력과 직접적인 관계가 있기 때문에 HU(Hounsfield Unit)를 변화시킬 수 있으며, 이러한 변화들은 방사선치료계획에 영향을 미칠 수 도 있 을 것이다. 따라서 전산화단층촬영에서 물리적인자들의 변화가 HU와 방사선치료계획에 어떠한 영향을 미치는 지 알아보기 위해 본 연구를 실시하였다.

2. 실험방법

1. 물리적인자 변화에 따른 HU 측정

관전압과, 관전류의 변화에 따른 HU를 측정하기 위하여 Gammex 사의 RMI CT density phantom을 관전압 과 관전류를 각각 변화시키며 촬영한 후 HU를 측정하였다.

2. 관전압 변화에 따른 방사선치료계획 비교

관전압 변화에 따른 방사선치료계획 결과를 측정하기 위하여 인체모형 팬텀을 관전압 변화에 따라 촬영하 고 방사선치료계획시스템으로 전송 후 각각의 영상에서 방사선치료계획을 수립하여 비교하였다.

3. 결과

1. 관전압 변화에 따른 HU는 밀도 $0.2 \sim 1.0 \text{g/cm}^3$ 에서는 차이가 없었으나, 밀도 1.0g/cm^3 이상에서는 관전압 이 증가할수록 HU의 감소가 발생하였으며, 1.82g/cm^3 에서 가장 큰 차이를 보였다. (70kVp : 1792, 140kVp : 1064). 관전류 변화에 따른 HU의 변화는 차이가 없었다.

2. 관전압 변화에 따른 인체모형 팬텀의 HU변화는 RMI CT density phantom과 같은 변화가 측정되었으나, 방사선치료계획 결과에는 1.0%이하로 큰 영향을 미치지 않았다.

4. 고찰 및 결론

본 연구에서 전산화단층촬영에서 관전압과 관전류의 변화에 따른 물질의 HU 변화를 측정하였으며, HU 변 화에 따른 방사선치료계획의 선량오차를 평가하였다. 관전압이 증가할수록 HU는 상대적으로 감소하였으며, 특히 밀도가 1.0g/cm^3 이상에서 상대적으로 큰 차이가 발생 하였다. 이러한 오차는 방사선치료계획 결과에 영 향을 미쳐 선량오차를 발생시키기도 하였으나, 인체모형 팬텀을 이용한 본 연구에서 측정한 결과 1%이하로 임상적으로 허용 가능한 오차 이하였다. 그러나 실제 인체는 복잡한 내부 장기 등으로 인하여 인체모형 팬텀

보다 더욱 큰 오차가 발생할 수 있기 때문에 앞으로 더욱 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다. 결론적으로 관전류는 HU의 변화에 영향을 미치지 않았으나 관전압이 증가할수록 HU가 감소하는 것을 알 수 있었다. HU 변화에 따른 방사선치료계획의 오차는 임상적으로 허용가능한 수준지만 관전압에 따른 CT density table을 달리 적용하는 등의 노력만으로도 충분히 제거가 가능하기 때문에 정기적인 정도관리를 통한 방사선치료계획 오차를 줄이도록 노력해야 할 것이다.

5. 참고문헌

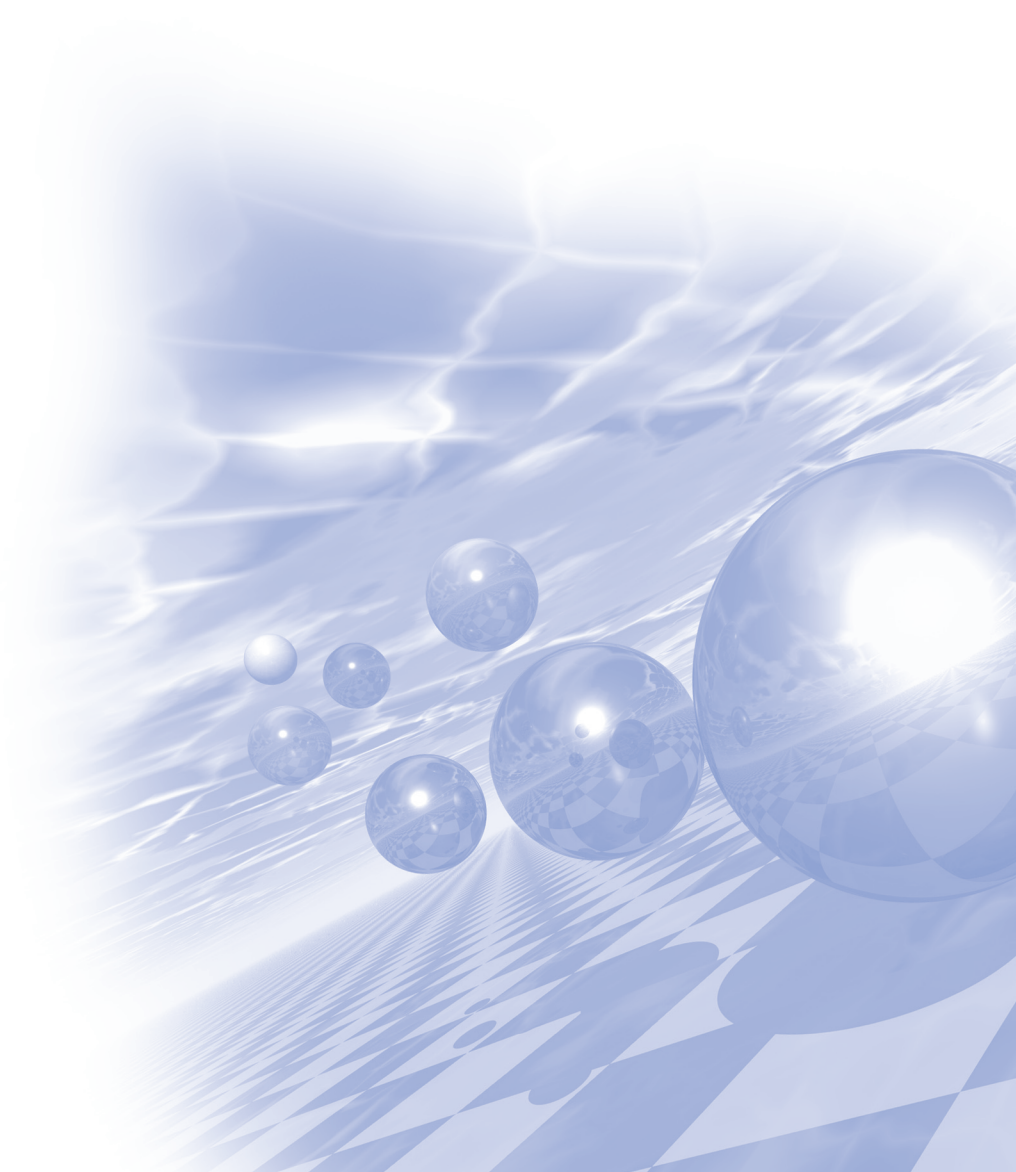
- [1] Schneider, Uwe, Eros Pedroni, and Antony Lomax. "The calibration of CT Hounsfield units for radiotherapy treatment planning." *Physics in medicine and biology* 41.1 (1996): 111.
- [2] Guan, Huaiqun, Fang-Fang Yin, and Jae Ho Kim. "Accuracy of inhomogeneity correction in photon radiotherapy from CT scans with different settings." *Physics in medicine and biology* 47.17 (2002): N223.
- [3] Johnson, Thorsten RC, et al. "Material differentiation by dual energy CT: initial experience." *European radiology* 17.6 (2007): 1510-1517.
- [4] 의료분야의 방사선안전관리에 관한 기술기준, 원자력안전위원회고시 제 2015-005호
- [5] Coolens, C., and P. J. Childs. "Calibration of CT Hounsfield units for radiotherapy treatment planning of patients with metallic hip prostheses: the use of the extended CT-scale." *Physics in medicine and biology* 48.11 (2003): 1591.



KMS 2016 Summer Conference

Special Session V

‘고주파 연자성 분말소재의 제조 및 응용’



가스분사공정을 이용한 비정질 연자성 분말제조

김용진*, 양상선, 양동열

재료연구소

1. 서론

비정질 또는 나노결정질(Nano-Crystalline) 연자성 소재는 비정질 기지에 10~20 nm크기의 결정질을 석출시켜 기존의 결정질 소재보다 높은 투자율 및 자속밀도, 낮은 보자력 및 코어 손실을 갖는 새로운 개념의 연자성 소재이다. 따라서 이들 소재는 전자기기의 소형화 및 고효율화에 부응할 수 있는 최적의 연자성 특성을 갖고 있어 나노결정질 연자성 소재의 적용 부품이 급격히 증가하고 있다. 본 연구에서는 비정질 연자성 소재에 대한 합금설계와 함께 구형이면서 청정 분말을 제조할 수 있는 가스분사공정을 적용하여 연자성 비정질분말을 대량 생산 및 상용화 할 수 있는 기술적 기반을 확보하고자 하였다.

2. 실험방법과 결과

비정질 소재는 Fe계 다성분계 합금을 기반으로 설계하였으며, 설계된 합금은 우선적으로 RSP공정을 이용하여 리본형상을 만들어 비정질 형성능을 측정하였다. RSP공정에 의해 비정질 형성이 검정된 합금에 대해서는 고주파 유도용해 공정을 통해 모합금을 제조한 후, 다양한 공정변수를 적용하여 가스분사된 분말을 제조하였으며 제조된 분말의 물리적, 자기적 특성을 측정하였다. 제조된 분말의 형상은 가스분사공정이 가지는 특징인 구형분말이었으며, 자기적 특성을 좌우하는 산소농도는 합금종류, 크기에 100-400ppm범위로 비교적 청정한 분말을 제조할 수 있었다. 비정질 형성능은 합금종류 및 분사공정 변수, 분말크기에 의존하였으며 45 μ m이하의 분말은 대부분이 비정질화되었다. 제조된 비정질 분말의 포화자속밀도 및 보자력은 상용 비정질 분말보다 우수한 특성을 나타냈다.

3. 고찰

일반적으로 연자성 비정질 분말은 RSP나 수분사공정 등 급속 냉각속도를 이용하여 제조되고 있다. 그러나 RSP공정에 의해 제조된 비정질은 strip이나 리본형상이기 때문에 분말화를 위해서는 분쇄공정을 필수적으로 거쳐야한다. 한편 수분사에 의한 비정질 분말제조는 분말제조 시 냉각수에 의해 분말이 산화되는 문제점이 있다. 따라서 산화방지를 위해 Cr 등 내산화성 원소들을 첨가하며 이들 원소는 자성특성에 나쁜 영향을 미치고, 제조된 분말의 산소 함유량도 1000ppm이상이다. 한편 본 연구에서 가스분사공정에 의해 제조된 연자성 비정질 분말은 유동도가 우수한 구형형상이었으며, 또한 내산화성 원소를 함유하지 않는 합금으로 제조할 수 있었다. 분말의 산소함유량도 400ppm이하로서 수분사 공정에 의해 제조된 분말보다 우수한 연자성 특성을 나타냈다.

4. 결론

Fe계 비정질 연자성 합금조성을 설계하고 가스분사공정을 적용하여 구형/청정 분말을 제조한 결과, 분말입도 45 μ m이하에서는 모든 분말이 비정질화 되었으며, 제조된 비정질 분말은 상용 비정질 분말보다 우수한 자기적 특성을 나타냈다.

5. 참고문헌

- [1] H. Shokrollahi, K. Janghorban, J. of Mat. Pro. Tech., 189(2007)1-12
- [2] A. Inoue, A. Takeuchi, Mat. Sci. Eng. A 375-377(2004) 16-30
- [3] G. Herzer, Acta Mat. 61(2013) 718-734

연자성 재료로의 적용을 위한 철계 비정질 합금 설계 전략

이승훈*

경북대학교 금속신소재공학과

자성 모멘트가 큰 철 (Fe)을 주성분으로 하는 철계 비정질 합금은 독특한 단범위 규칙 (short range order)을 가지는 원자 배열을 가짐에 따라 자기 이방성이 매우 작아서 연자성 재료로서의 적용이 이루어져 왔다. 철계 비정질 합금의 개발 초기인 1960년대에는 주로 공정 기술의 혁신을 통하여 급냉 용고를 촉진함으로써 철계 비정질 합금을 제조 하였다. 즉, 약 10^6 K/s 내외의 냉각 속도를 부여하기 위하여 수십 마이크로 이하의 두께를 가지는 리본이나 수 마이크로 이하의 분말 형태로만 생산이 가능하였다. 수마이크론 크기의 분말이나 리본을 이용하여 벌크 부품을 제조하는 경우, 철손이 낮아지는 등 많은 장점을 가지고 있으나 생산 단가 또는 생산성의 저하로 실질적인 상업적 적용이 곤란 하다. 특히, 경쟁 소재인 결정질 전기 강판이 가지는 월등히 우수한 생산성 및 제조 단가 측면의 한계를 극복하지 못하고 제한적 적용만 이루어져 왔다.

그러나, 최근 고주파 영역에서 높은 효율과 저손실을 가지는 전자기 부품의 요구가 증가함에 따라, 이러한 조건을 충족할 수 있는 높은 포화자속밀도와 낮은 철손을 가지는 철계 비정질 연자성 합금의 개발이 시급한 실정이다. 또한, 전자기 부품의 소형화 및 복잡한 형상화로 인하여 판재 형상의 전기 강판보다는 분말 형태의 연자성 재료가 상업화에 유리하며, 이 경우, 철손을 크게 줄일 수 있는 철계 비정질 합금이 궁극적인 해결책으로 판단된다. 현재 상업적으로 시판되고 있는 철계 비정질 합금인 MetglasTM의 경우, 우수한 연자성 특성을 가지고 있지만, 전기강판 대비 포화 자속밀도가 상대적으로 낮아서 이 단점을 보완한 NanometTM이 최근에 개발 보고 되었다. 그러나, 이들 합금들은 비정질 형성능이 작아 상업적인 분말제조 공정을 통하여 수십 마이크로 크기의 비정질 분말 제조가 곤란하다.

한편, 철계 비정질 분말은 열처리를 통하여 원자구조완화 (structural relaxation) 또는 나노 결정화 (nanocrystallization)가 가능하며 이를 통하여 연자성 특성들의 향상 또는 적정화가 가능하다. 즉, 적절한 합금설계 기법이 적용된 비정질 전구체 (amorphous precursor)를 저온 열처리를 실시함으로써 FinemetTM과 같이 연자성 특성이 제어된 철계 나노결정질 합금의 제조가 가능하다.

본 발표에서는 새로운 철계 비정질 합금의 설계 전략을 수립함에 있어서, 비정질 형성능, 열처리 공정, 연자성 특성 및 생산성을 동시에 고려한 합금 설계 전략을 제안하고자 한다. 기존 철계 비정질 합금의 사례를 검토하고, 최근에 보고된 연자성 특성과 생산 단가를 고려한 합금 설계 사례를 검토하여, 향후 새로운 철계 비정질 합금 개발에 요구되는 고려 사항들에 대한 토론을 진행 하고자 한다.

Fe-10Si-6Al 합금 분말의 실란 표면처리한 복합체필름의 차폐특성에 관한 연구

이우성*, 홍원식, 김상현
전자부품연구원

1. 서론

고주파수대역에서는 와전류손실과 Snoeck's limit에 따른 자화특성 열화의 문제로 원하는 주파수 대역에서 전기적인 기능을 가진 소재로 활용이 불가능하며 이를 해결하기 위해 합금화로 소재 자체의 저항을 증가시키거나, 박판화하여 절연하는 것이 연구되고 있다. 특히, MHz 대역이상의 주파수에서 금속 소재를 사용하기 위해서는 소재의 두께는 수 μ m이하로 가공을 하는 것이 요구되고 있으나, 고저항의 합금으로서 규소강은 3.0wt% 이상의 Si를 가진 합금은 롤링만으로 박막의 가공이 어렵기 때문에 합금 분말을 제조하고 Attritor 등의 고에너지 밀링에 따른 습식 가공 방법이 주로 활용되고 있다. 이렇게 제조된 분말은 폴리머와 결합하여 복합체로 사용이 되는데 폴리머의 경우에 흡습특성이 있어 습기가 많은 환경에서 수분을 공급하여 자성체 소재를 산화시킴으로서 신뢰성의 저하 등의 문제가 발생된다. 이러한 현상을 제어하기 위해서 본 연구에서는 Fe-10Si-6Al 조성의 센더스트 분말에 실란처리를 통하여 표면처리를 행하였으며, 표면처리된 소재를 활용하여 복합체를 제조하고 이에 대한 전자기적인 특성을 평가하였다.

2. 실험방법과 결과

가스용융분말로 제조된 Fe-10Si-6Al 합금분말을 Attritor로 가공하여 플레이크 타입의 분말을 제조하였다. 가공된 분말을 질소분위기하에서 열처리하고 잔류응력을 제거하였다. 열처리된 소재에 실란처리를 하였으며, 실란 소재를 선정하기 위해서 DI water와 DMF를 이용하여 접촉각을 측정하고 Young's rule에 의한 표면에너지로 계산하였다. 선정된 실란으로 표면처리한 분말은 우레탄 폴리머에 분산시켰으며 테이프캐스팅을 통해서 복합체 필름을 제작하였다. 제작된 필름을 이용하여 Material Impedance Analyzer, 4 probe resistivity meter, Network analyzer 등을 이용하여 전자기적인 특성 평가를 하였다.

3. 고찰

표1에는 센더스트 분말에 실란으로 처리하여 측정한 접촉각과 표면에너지를 나타내었다. 우레탄 바인더인 폴리머소재는 56.8mN/m의 표면에너지를 나타내었고, 표면처리를 통해서 실란을 처리하지 않은 분말(w/o Silane, WS)은 32.1mN/m 값으로 폴리머의 젖음성이 좋지 않을 것으로 판단되었다. 다양한 실란 소재를 이용해 표면에너지가 65.8mN/m인 아미노 실란(AS)을 처리한 경우와 처리하지 않은 소재와 유사한 에너지를 갖는 Mercapto 실란을 처리한 소재(MS)를 선택하여 복합체를 제조하고 염수분무와 차폐특성의 평가를 진행하였다.

표1. DI water 및 DMF을 이용한 접촉각 및 Young's rule에 의해 계산된 표면에너지

	Contact Angle [DI Water]	Contact Angle [DMF]	Total Energy	Dispersive Energy	Polar Energy
Sendust	74.8	27.0	32.1	20.8	11.3
Amino Silane treated	28.6	6.7	65.8	11.7	54.1
Mercapto Silane treated	75.4	32.8	31.2	19.1	12.1
Urethane Binder	40.5	16.4	56.8	12.8	44.0

그림1에는 염수분무 측정결과를 나타내었다. 실란을 처리하지 않은 소재에 비해 실란을 처리한 경우 우수한 내산화 특성을 보였으며 아미노 실란소재가 더 우수한 특성을 나타내었다.

복합체 제작을 위해서 다양한 복합체를 제작하였는데 55vol%로 복합체에서 투자율에서 3mHZ에서 162(WS), 171(AS), 166(MS), 값을 나타냈으며 100MHz에서의 투자율 또한 실란을 처리한 경우가 MS가 2.9%, AS가 5.4% 높은 것이 관찰되었으며 이는 실란처리에 분산효과와 절연효과 향상에서 기인한 것으로 판단된다.

아래 그림은 아미노실란이 처리된 복합체와 처리를 하지 않은 소재의 차폐특성의 평가 결과 및 치구를 나타내었다.

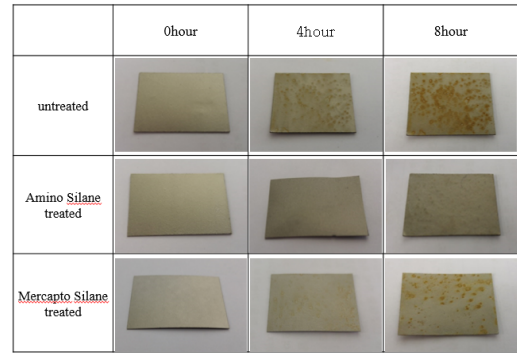


그림1. 5% NaCl 용액에서 염수분무 결과

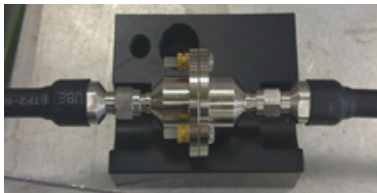


그림2. 차폐 특성을 측정 치구

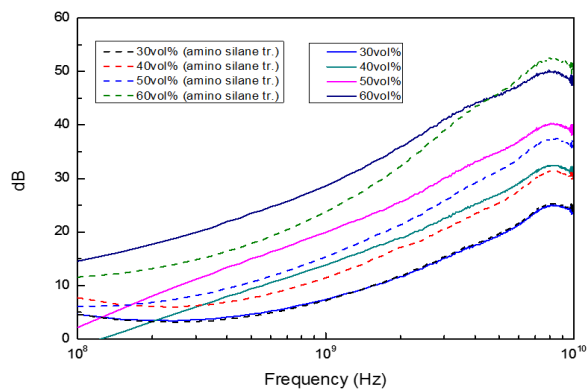


그림3. 실란 처리와 필러 함량에 따른 차폐 특성

차폐특성 평가결과를 보면 필러가 30vol% 일 때 차폐 특성에는 크게 차이를 나타내지는 않지만, 그이상의 필러를 넣은 복합체에서는 실란이 처리된 분말의 경우에 흡수특성이 저하되는데 이는 비저항을 측정한 결과 실란처리에 의한 전도성 저하로 인한 것으로 판단된다. 복합체의 비저항을 측정한 결과, 실란처리를 하지 않은 소재(WS)는 30, 40, 50, 60 vol%에서 각각 4.7×10^6 , 1.9×10^1 , 2.5, $6.6 \Omega \text{cm}$ 이었으며 아미노 실란처리(AS)를 한 경우에 각각 7.6×10^6 , 4.4×10^3 , 5.8, 41 Ωcm 로 처리하지 않은 경우보다 큰 값의 비저항이 관찰되었다.

4. 결론

실란처리를 통해 폴리머와 표면에너지 분석을 통해서 투자율을 향상된 실란 표면 처리제를 선택할 수 있었다. 본 연구에서 아미노 실란은 복합체가 내산화 특성이 우수한 특성을 나타내었다. 또한, 센더스트 분말 소재로 제작한 복합체는 필러함량 증가에 따라서 차폐특성이 향상되는 경향을 나타내었다. 그러나, 실란 처리에 의한 복합체의 비저항의 증가로 고충전 소재에서는 전도에 의한 차폐특성이 저하되었다.

5. 참고문헌

- [1] K. Sakai, Y. Wada, and S. Yoshikado, PIERS ONLINE, VOL. 4, NO. 8(2008), 846.
- [2] K.Oha, H.Lee,W.Lee,M. Yoo, W, Kim, H Yoon,,J. of Mag. & Mag. Mat., 321(2009), 1295.
- [3] K Sakai, Y Guan, Y Sato and S Yoshikado, Materials Science and Engineering 18(2011), 1.
- [4] Z. Zhang,J. Wei,W, Yang, L. Qiao,T, Wangn, Fm Li, Physica B 406(2011), 3896.

Fe계 비정질 합금의 연자성 특성에 대한 비금속 합금 원소의 영향

오혜령^{1,2}, 김송이², 김종렬¹, 이민하^{2*}

¹한양대학교

²한국생산기술연구원

1. 서론

Fe계 비정질 연자성 소재는 보자력이 낮고 투자율 특성이 우수하여 연자성 재료로 각광받고 있는 소재이다. 최근 기기의 고성능 및 소형화를 위해 우수한 자기적 특성이 요구됨에 따라 자성 특성에 영향을 미치는 조성 및 공정을 제어하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 Fe계 비정질 합금에 비금속 합금원소 (P, B, N)들을 첨가하여 이에 따른 연자성특성 변화에 대해 알아보고자 하였다.

2. 실험방법과 결과

이를 위해 Fe계 비정질 연자성 합금을 급속응고장치를 활용하여 ribbon을 제조 하였으며, 비정질상과 나노 결정질 제어 및 자성특성에 대해 조사하고자 하였다. SEM, DSC 및 X-ray를 통해 비정질 리본의 미세구조 및 상변화에 대한 특성을 분석하였으며, VSM을 이용하여 각 조성 합금들의 자성 특성을 분석하였다. 특히 N을 첨가하기 위해서 Fe-Nitride 분말을 방전플라즈마 소결법을 이용하여 모합금으로 제조하였다. Fe계 비정질 연자성 합금 리본의 SEM, XRD 분석 결과, 제조된 리본샘플들에서 모두 비정질 고유의 halo pattern이 나타났으며, DSC분석 결과 비금속 원소 B, P의 첨가량이 증가함에 따라 결정화 온도 및 엔탈피의 변화량을 통해 비정질 형성능이 증가되는 경향을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 VSM결과 비금속 원소 N을 첨가한 조성의 자성특성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

3. 고찰

Fe계 비정질 합금에서 비금속 원소 P의 첨가가 비정질 형성능 향상에 기인하는 것으로 예측된다. 또한 비금속 원소 N의 함량을 높게 할수록 리본의 밀도가 증가되는 경향을 알 수 있었으며, 다. 이는 침입형 고용원소인 N이 원자간 침입형 확산을 통해 공공이 줄어들어 밀도가 향상되는 효과를 나타낸 것으로 예상된다. 재료의 밀도는 포화자속밀도를 결정하는 중요한 인자임을 확인하였고, 연자성의 중요한 특성 중 보자력을 낮추는데도 기인한 것으로 여겨진다.

4. 결론

Fe계 비정질 합금에 비금속 원소를 첨가하여 연자성 특성에 미치는 영향을 조사한 결과, 첨가된 비금속 원소는 미세정렬구조를 제어함으로써 결정자기이방성을 최소화하여 비정질 형성능을 향상시키고, 재료의 밀도를 높게 유지하여 연자성의 주요특성인 높은 포화자속밀도와 낮은 보자력을 나타냄을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

[1] B.D. Cullity, Introduction to magnetic Materials, Addison-Wesley Pub. Co., (1972)

개량된 수분사공정을 이용한 비정질 연자성 분말제조

김휘준*, 권도훈, 홍성욱
한국생산기술연구원, 뿌리산업기술연구소

1. 서론

기존의 결정질 연자성 소재와는 달리 비정질 또는 나노결정질(Nano-Crystalline) 연자성 소재는 상온에서 결정립이 없거나 20 nm이하 크기의 α -Fe결정상을 갖고 있기 때문에, 낮은 보자력과 낮은 에너지 손실로 인해 고주파 연자성 부품의 핵심소재로서 산업적 활용분야가 확대되고 있다.

최근, 비정질 연자성 분말을 개량된 수분무법에 의해 대량으로 생산하는 기술이 일본을 중심으로 개발되어 상용화 되고 있어, 리본 형태 비정질소재의 산업적 응용분야의 한계를 극복하여 새로운 적용분야를 개척하고 있다.

본 연구에서는 Fe-Si-B-P-Ba-Yt-Cr계 비정질 연자성 소재에 대해 개량된 수분무 공정을 적용하여 비정질 구형분말을 제조하고, 고주파 연자성 특성을 조사하여 비정질분말의 산업적 활용분야를 확대하고자 했다.

2. 실험방법과 결과

급속응고 방법 중의 하나인 멜트스피닝법에 의해 최적화된 조성의 Fe-Si-B-P-Ba-Yt-Cr계 비정질 연자성 소재에 대해, 분무수압 120 bar, 분무가스압 50 bar의 조건에서 개량된 수분무 공정에 의해 비정질 구형분말을 제조하고, 토로이달 형태의 시험편을 제조한 다음 고주파 연자성 특성을 조사했다. 제조된 연자성 분말은 150 μ m이하 크기에서는 모두 완전한 비정질 구조를 갖는 구형분말이었으며, Cr 및 Yt의 함량에 따라 표면에 생성되는 산화층의 두께를 제어할 수 있으며, 따라서 연자성 특성도 임의로 변화시킬 수 있었다.

3. 고찰

Fe-Si-B-P-Ba-Yt-Cr계 비정질 연자성 구형 분말은 Cr의 함량이 1.5 wt.%이상에서는 안정적인 산화층을 형성하고 있으며, Yt의 함량이 1 wt.% 이상에서는 Cr-Y의 복합산화물이 형성되어, 연자성 특성을 저하시키는 것을 확인할 수 있었다. 한편 Fe의 함량이 85 wt.%이상의 조성에서는 포화자속밀도가 1.65 T이상 유지할 수 있었으며, 100 kHz, 0.1 T의 조건에서 코어손실은 5 W/kg이하로 우수한 연자성 특성을 나타냈다.

4. 결론

Fe-Si-B-P-Ba-Yt-Cr계 비정질 연자성 소재에 대해 개량된 수분무 공정을 적용하여 비정질 구형분말을 제조하였으며, 제조된 연자성 분말은 150 μ m이하 크기에서는 모두 완전한 비정질 구조를 갖는 구형분말이었고, Fe의 함량이 85 wt.%이상의 조성에서는 포화자속밀도가 1.65 T이상 유지할 수 있었으며, 100 kHz, 0.1 T의 조건에서 코어손실은 5 W/kg이하로 우수한 연자성 특성을 나타냈다.

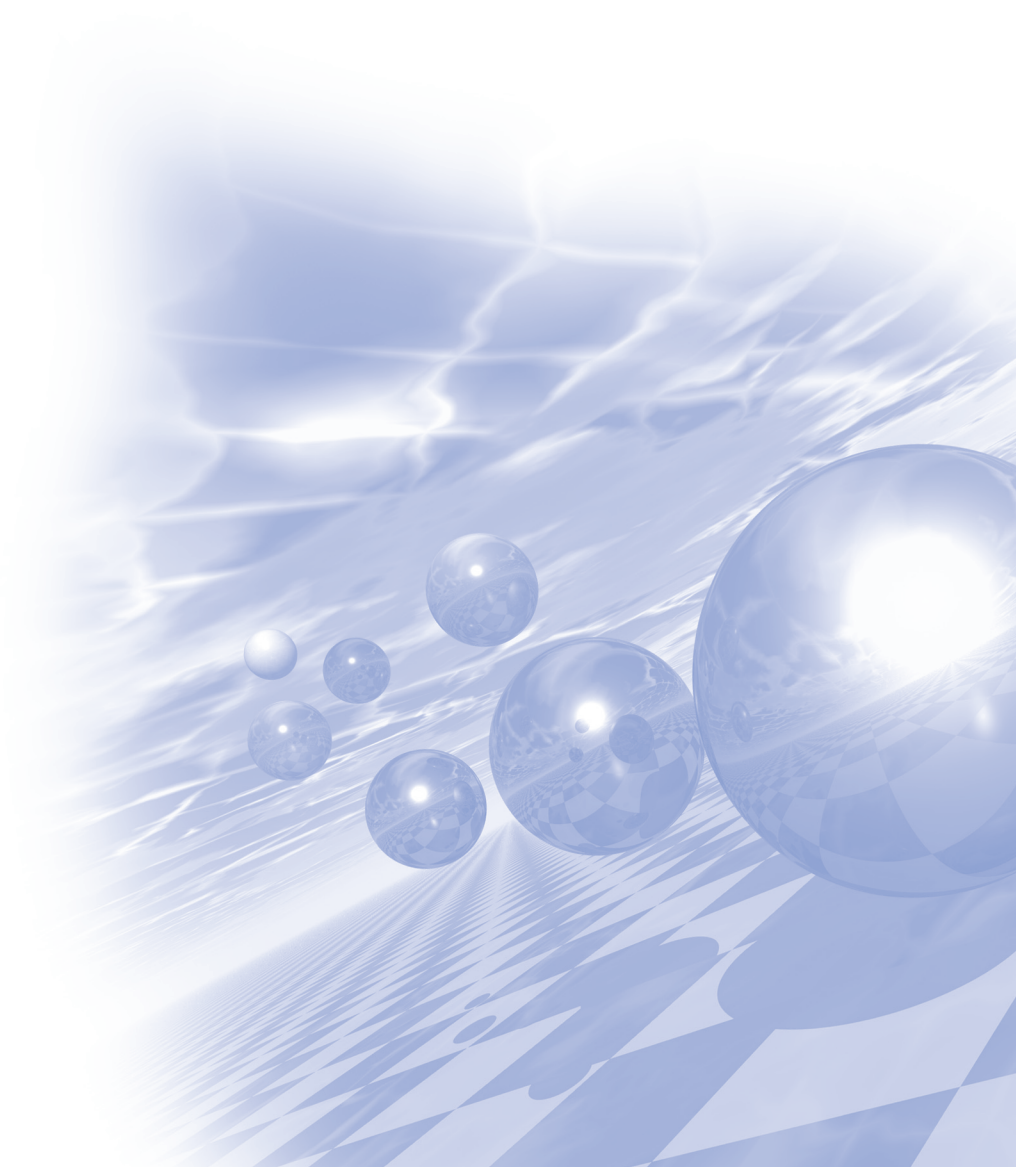
5. 참고문헌

- [1] R. Gopalan, Y.M. Chen, T. Ohkubo and K. Hono, Scripta Materialia 61 (2009) 544-547
- [2] A. Inoue, A. Takeuchi, Mat. Sci. Eng. A 375-377(2004) 16-30



KMS 2016 Summer Conference

구두발표 I



Study on electrical resistivity enhancement in die-upset Nd-Fe-B magnet by addition of fluoride salt

K. M. Kim^{1*}, H. W. Kwon¹, J. Y. Kim², D. H. Kim³, J. G. Lee⁴ and J. H. Yu⁴

¹Pukyong National University, Busan, Republic of Korea 48513

²Pacific Metals Co., Gumi, Republic of Korea 39382

³Stargroup Ind. Co., Daegu City, Republic of Korea 42714

⁴Korea Institute of Materials Science, Changwon, Republic of Korea 51508

Nd-Fe-B-type magnet used in the traction motor of HEV, EV and wind turbine generator is heated up to around 200 °C on service. Due to its high operating temperature, the Nd-Fe-B-type magnet is required to have high room temperature magnetic properties, in particular, high coercivity. Excessive heating of the magnet is due largely to eddy current, which is caused in the magnet by alternating slot field exposing to the magnet during operation. It would be useful if generation of the eddy current could be effectively suppressed by proper technological means. As eddy current is inversely proportional to the electrical resistivity of a material, enhancing the electrical resistivity of magnet can be an effective way for suppressing the eddy current generation, thus preventing excessive heating of the magnet. In this study, enhancement of electrical resistivity of Nd-Fe-B-type die-upset magnet was attempted by addition of fluoride salt using eutectic DyF₃-LiF mixture (eutectic temperature » 700 °C). Commercial melt-spun flakes of Nd-Fe-B-type alloy were mixed with the 76 wt% DyF₃ – 24 wt % LiF salt mixture. The mixture of flake and salt was hot-pressed and then die-upset. The addition of eutectic DyF₃-LiF salt mixture was found to remarkably enhance the electrical resistivity of Nd-Fe-B-type die-upset magnet without severely sacrificing magnetic properties. Enhancement of electrical resistivity by the addition of eutectic DyF₃-LiF salt mixture was more profound with respect to the addition of DyF₃. By adding 5 wt% of DyF₃-LiF salt mixture the electrical resistivity of Nd-Fe-B-type die-upset magnet was enhanced up to ca. 1100 mW.cm compared to ca. 180 mW.cm of the magnet without addition of the eutectic salt mixture. Unlike the single salt of DyF₃, the added DyF₃-LiF salt mixture was liquid during both the hot-pressing and die-upsetting, thus it distributed more uniformly along the interface between the flakes (Fig. 1). The remarkably enhanced electrical resistivity in the die-upset magnet added with DyF₃-LiF salt mixture was attributed to the uniformly distributed insulating salt mixture. Magnetic property of the die-upset magnet added with DyF₃-LiF salt mixture was compared to that of die-upset magnet without salt addition or with addition of single salt of DyF₃, which was solid during whole processing.

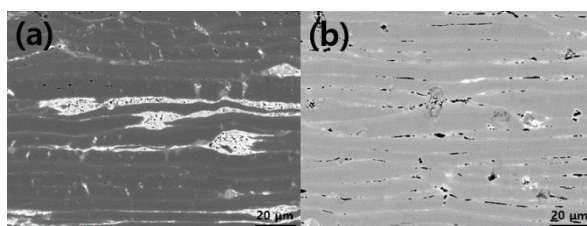


Fig. 1. BSE image of the Nd-Fe-B-type die-upset magnet with addition of (a) DyF₃ single salt and (b) eutectic DyF₃ - LiF salt mixture.

Creep과 Flow영역에서 나선형 감쇠(Chiral damping)에 의한 상이한 비대칭적 자구벽 운동

김덕호^{1*}, 유상철^{1,2}, 김대연¹, 민병철², 최석봉¹

¹서울대학교, 물리천문학부

²한국과학기술연구원

1. 서론

Dzyaloshinskii-Moriya (DM) 상호작용은 나선형 자구벽을 생성하는데, 이와 관련된 현상은 흥미로운 물리적인 현상뿐만 아니라 응용 가능성으로 최근에 많이 보고되었다[1,2]. 특히, DM 상호작용을 가진 수직자기이방성 물질에서, 수평방향 자기장을 걸어주면 자구벽의 구조가 바뀌게 되고, 그 결과 비대칭적 자구벽 운동이 나타난다[3]. 최근 Creep 영역에서 이러한 비대칭적 운동에 대한 많은 연구들이 보고가 되었고[3-5], DM 상호작용에 의한 유효 자기장 H_{DMI} 축으로 대칭 효과와 비대칭 효과로 설명을 하였다. 전자는 자구벽 에너지 변화에 의한 효과[3]이고, 후자는 나선형 감쇠 효과[6]에 의한 현상이다.

2. 실험방법과 결과

비대칭적 자구벽 운동에 대한 이해를 확장하기 위해서, Creep 영역과 Flow 영역에서 비대칭적 자구벽 운동을 조사하였다. 본 연구를 수행하기 위해, Ta(5.0 nm)/Pt(2.0 nm)/Co(0.3 nm)/Pt(2.0 nm) 수직자기이방성 박막을 준비하였다. 광자기 Kerr 현미경을 이용하여 고정된 수직자기장 H_z 에서 수평자기장 크기 H_x 변화에 따른 자구벽 속력 v 을 측정하였다. 그림 1(a)는 Creep 영역 ($H_z=1.87$ mT)에서 측정한 결과이고, 그림 1(b)는 Flow영역 ($H_z=51$ mT)에서 측정한 결과이다.

3. 고찰 및 결론

그림 1(a)에서 비대칭적 자구벽 운동은 DW에너지 변화에 의한 대칭 효과와 나선형 감쇠에 의한 비대칭 효과를 이용해 설명이 가능하다. 그러나 그림 1(b)는 비대칭 효과가 사라지고 대칭효과만 역할을 함을 볼 수 있고, 이때 대칭축이 H_{DMI} 를 나타낸다. 이결과를 통해 나선형 감쇠는 Creep 영역과 Flow영역에서 상이한 역할을 하여, 비대칭적 자구벽 운동에 영향을 끼침을 볼 수 있다. 세부적인 분석결과는 본 발표에서 논의할 예정이다.

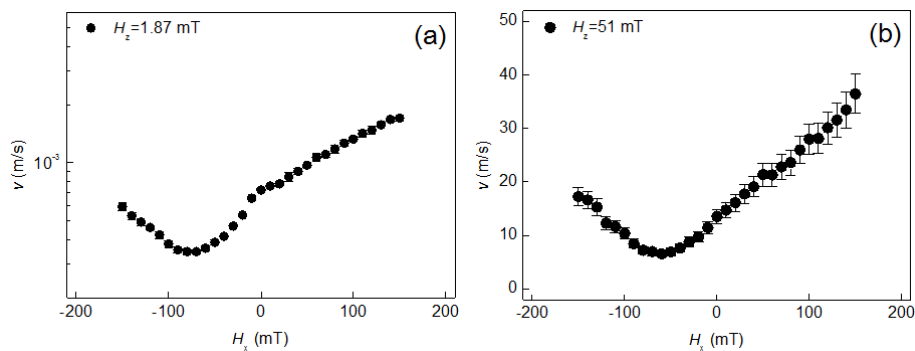


그림 1. 고정된 수직방향 자기장크기

(a) $H_z=1.87$ mT와 (b) $H_z=51$ mT에서 수평방향 자기장 크기 H_x 에 따른 자구벽 속력 v

4. 감사의 글

이 연구는 한국자기학회 2015년도 학생연구회 사업 지원예산으로 수행하였습니다.

5. 참고문헌

- [1] K.-S. Ryu, L. Thomas, S.-H. Yang, and S. Parkin, *Nature Nanotech.* **8**, 527 (2013).
- [2] K.-W. Moon *et al.*, *Sci. Rep.* **5**, 9166; DOI:10.1038/srep09166 (2015).
- [3] S.-G. Je *et al.*, *Phys. Rev. B* **88**, 214401 (2013).
- [4] R. Lavrijsen *et al.*, *Phys. Rev. B* **91**, 104414 (2015).
- [5] D.-Y. Kim, D.-H. Kim, J. Moon, and S.-B. Choe, *Appl. Phys. Lett.* **106**, 262403 (2015).
- [6] E. Jué *et al.*, *Nature Mater.* **15**, 272 (2016).

용융염을 이용하여 형상 제어된 스트론튬 페라이트 경자성 분말의 제조 및 자성 특성

전광원^{1*}, 강민규², 김규민², 김종렬^{2*}, 이정구^{1*}

¹한국기계연구원 부설 재료연구소, ²한양대학교

1. 서론

1950년 대 M-type의 육각 페라이트 경자성 소재가 개발된 이후 M-type 육각 페라이트 소재는 영구자석 소재로 큰 부분을 차지하고 있다. 현존하는 자성 소재 중 M-type 육각 페라이트는 높은 큐리 온도, 높은 화학적 안정성, 우수한 내식성을 지니며, 비교적 높은 보자력을 가지고 있어 오랜 기간 연구가 진행되어 왔다. 특히 육각 페라이트의 자성 특성은 입자의 크기와 형태가 중요한 요소로 작용을 하기 때문에 이를 조절하여 자성 특성을 향상시키고자 하는 연구가 많은 연구자에 의해 진행되었다. 본 연구에서는 M-type 육각 페라이트 중에서 스트론튬 페라이트를 다양한 공정을 이용하여 제조하고자 하였고, 스트론튬 페라이트를 제조함에 있어 염을 첨가하여 하소 공정 시 용융염에 의한 입도 제어 및 형상 제어를 유도하고자 하였다.

2. 실험방법

100 nm 이하의 크기를 지니는 스트론튬 페라이트를 제조하기 위하여 세라믹 나노 분말의 합성에 많이 사용되는 자전연소법을 이용하였고, 수백 nm 크기의 스트론튬 페라이트를 제조하기 위하여 에어로졸 방법을 이용하였다. 또한, 수 μm 크기의 스트론튬 페라이트를 제조하기 위하여 일반적으로 스트론튬 페라이트 합성에 사용되는 고상반응법을 이용하였다 [1-3]. 자전연소법, 에어로졸법, 고상반응법 모두 입도 및 형상제어를 위하여 염이 첨가되었고, 이때 염은 NaCl을 사용하였다. 제조된 분말의 미세 구조 및 결정구조는 FE-SEM, TEM과 XRD를 이용하여 분석하였으며, 자성 특성은 VSM을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

모든 공정에서 첨가된 염에 의해 육각 판상형의 스트론튬 페라이트가 제조되었다. 각 공정에 대하여 하소 온도 및 분위기를 제어함으로써 자전연소법으로 제조된 분말은 약 100 nm 이내, 에어로졸법으로 제조된 분말은 약 700 nm 내외, 고상반응법으로 제조된 분말은 약 2~3 μm 크기로 비교적 균일한 크기의 분말을 얻을 수 있었다. 이렇게 얻어진 육각판상형의 스트론튬 페라이트는 형상에 의해 자장 내에서의 정렬 및 전단응력에 의한 정렬이 형상이 제어되지 않은 분말에 비하여 유리함을 확인하였다.

4. 결론

염을 첨가하여 제조된 스트론튬 페라이트는 제조 방법을 달리함으로써 수십 nm~수 μm 크기의 다양한 크기를 지니게 제조할 수 있었으며, 염을 첨가함으로써 균일한 입도를 지니는 육각판상형의 입자를 제조할 수 있었다. 이렇게 제조된 스트론튬 페라이트 입자는 판상형 형상에 의하여 자장 내에서의 정렬 및 전단응력에 의한 정렬 특성이 유리함을 확인할 수 있었다.

5. 참고문헌

- [1] Mohammad Mousavinia, Ali Ghasemi, and Ebrahim Paimozd, *J. Electron. Mater.*, vol. 42(9), pp. 2784, 2013.
- [2] Min Ha Kim, Dae Soo Jung, Yun Chan Kang, and Jeong Hoo Choi, *Ceram.Int.*, vol. 35, pp.1933, 2009.
- [3] Sinan Dursun, Ramazan Topkaya, Numan Akdogan, and Sedat Alkoy, *Ceram.Int.*, vol. 38, pp. 3801, 2012.

Fe-Co alloy powders prepared by mechanical milling: The effect of milling time and annealing temperature on the structural and magnetic properties

D. H. Manh^{1*}, D. K. Tung¹, N. X. Phuc¹, T. L. Phan² and B. W. Lee²

¹Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

²Department of Physics and Oxide Research Center, Hankuk University of Foreign Studies,
Yongin 449-791, South Korea

*Corresponding author: manhdh@ims.vast.ac.vn

Nanosized Fe-Co alloy powders were prepared by high-energy mechanical ball milling in air with different times, and then annealed at different temperatures. The structural and magnetic characteristics of the powders were studied in detail by using X-ray diffraction (XRD), X-ray absorption spectroscopy (XAS) techniques, and a field-emission scanning electron microscope (FE-SEM), a vibrating sample magnetometer (VSM), and a physical property measurement system (PPMS). XRD analyses pointed out the evolution of the bcc phase of Fe-Co alloy and a secondary phase of Fe₃O₄. Meanwhile, XAS spectra data clearly showed the oxidation state of +0 as well as ratio of bcc and hcp phases of the alloyed Fe-Co samples. We showed that the temperature dependence of the saturation magnetization of the samples after annealing could be well described by Bloch's law. Besides, we also observed an upward tendency of coercivity with the annealing temperatures or the grain size. Finally, the effect of the oxidation on the magnetic properties and magnetization stability of the samples will be discussed.

The grain boundary diffusion process with Nd-Cu-Zn alloy on Nd-Fe-B magnets hot deformed by Spark Plasma Sintering

Shu Liu^{1,2*}, Nam-Hyun Kang², Ji-Hun Yu¹, Hae-Woong Kwon³, Jung-Goo Lee^{1†}

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

²Department of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busandaehak-ro 63 beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

³Department Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Nam-gu, Busan 608-739, Korea

[†]Corresponding author. Tel./fax: +82 55 280 3606/3392, E-mail address: jglee36@kims.re.kr

NdFeB permanent magnets are well known as the highest energy product magnets, so widely adopted to the motors of electric or hybrid vehicles and wind turbines. Hot-deformed Nd-Fe-B magnets can be produced relatively less complicated process and smaller grain size and smaller temperature coefficient value of coercivity compared with sintered Nd-Fe-B magnet. Hot-deformed Nd-Fe-B magnets can be produced from pulverized melt spun ribbons by hot pressing and die upsetting process. After hot pressing process, the isotropic full density compact is obtained and which is used as a precursor for die upsetting process. The anisotropic ultrafine platelet shaped grains can be aligned to c-axis along the press direction by mass transport and grain boundary sliding during die upsetting process. However, the magnetic properties are much lower than the desired value in despite of the nearly single domain grain size. The relatively low coercivity is attributed to excessive grain growth and insufficient magnetic isolation among the hard phases.

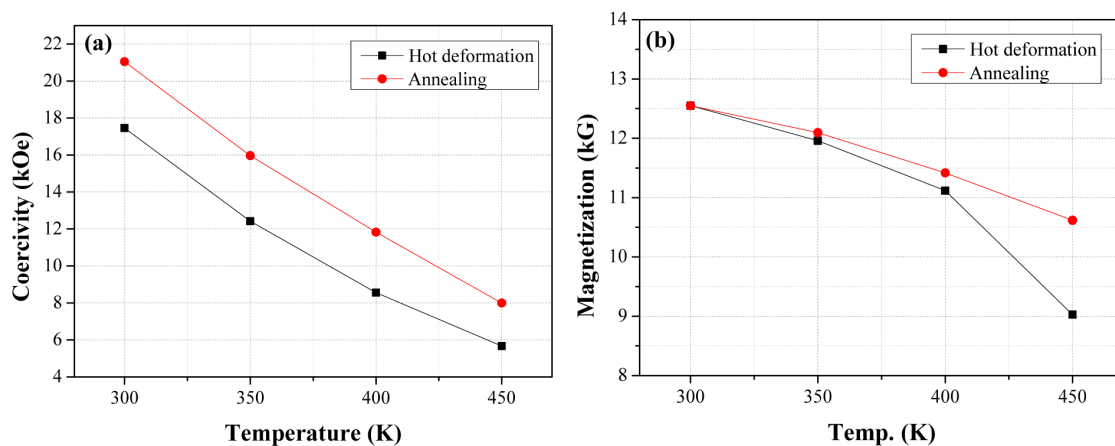


Fig.1 (a) coercivity and (b) remanence vs. temperature plot of the hot deformed and annealing processed magnets with Nd-Cu-Zn alloy diffusion.

Low melting point eutectic alloy (Nd-Cu alloy, Pr-Cu alloy) or Dy compounds (Dy, DyF₃ and DyH_x) has been selected as effective additive applied to grain boundary diffusion process, through isolating the Nd₂Fe₁₄B grains with non-magnetic intergranular phase or substitute parts of Nd to Dy₂Fe₁₄B with high anisotropy field to improve

coercivity. However, the non-magnetic phase and the antiferromagnetic effect of Dy and Fe lead to the decrease of remanence after grain boundary diffusion process. Moreover, as the heavy rare earth element, the cost of Dy source is staying at a high level. Therefore, enormous efforts have been focused to develop high coercivity Dy-free Nd-Fe-B. Zn with low melting point (420 °C) has been found to increase the wettability of grain boundary and enhances the texture formation during die upsetting process, further lead the increase of remanence and coercivity.

In this work, Nd-Cu-Zn alloy was mixed with the initial MQU-F ribbons. Hot deformed Nd-Fe-B magnets were produced by SPS through the optimized method, followed by annealing process. The effects and microstructure evolution with addition on the magnetic properties of hot deformed and annealed magnets were discussed in our work.

Keywords : Nd-Fe-B magnets; Hot deformation; Nd-Cu-Zn; Mechanism; SPS

Manufacturing Technologies for Magnetic Tunnel Junction PVD Materials

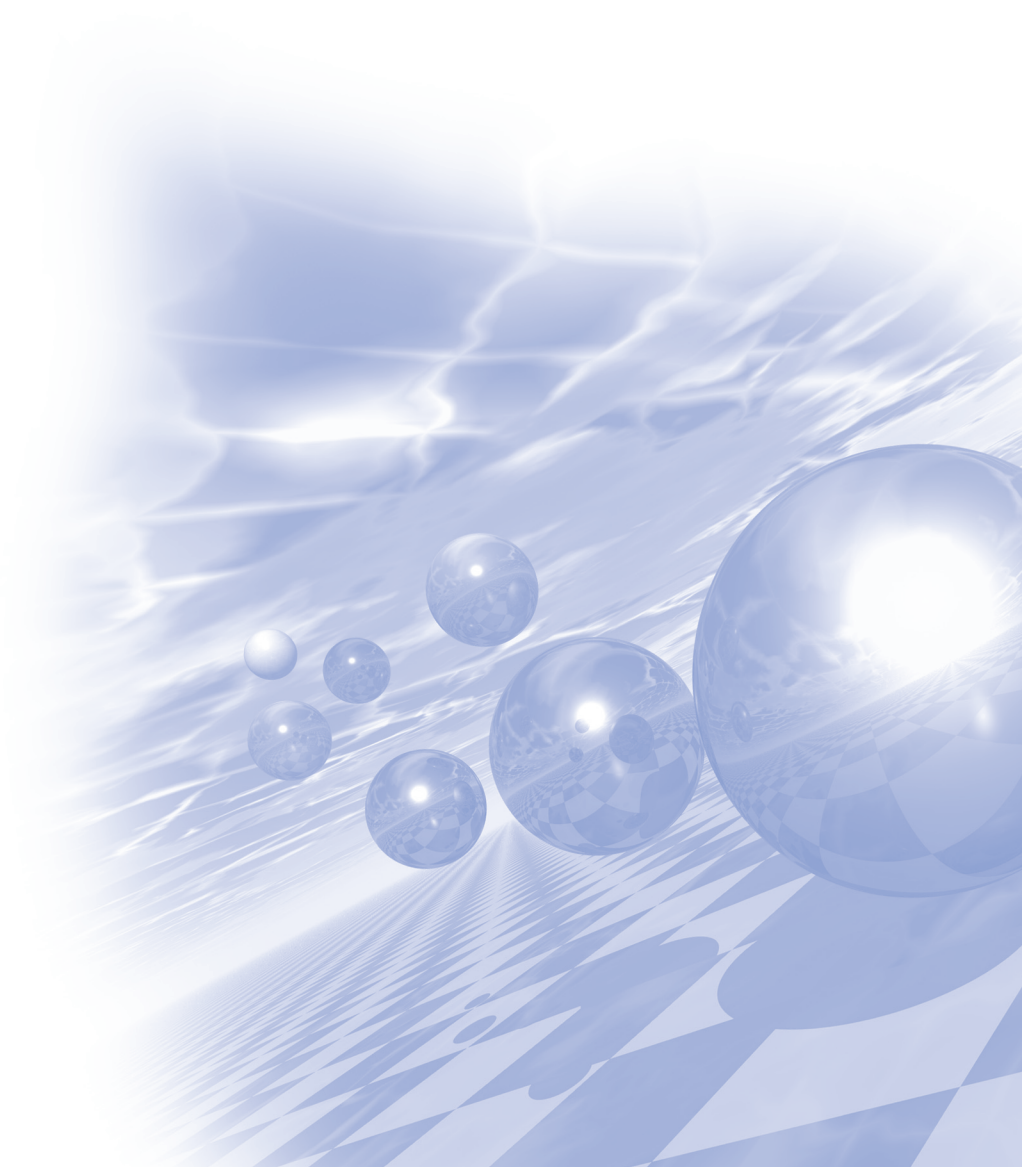
Matthew T Willson^{*}

Materion Advanced Materials(Brewster), Director of Marketing



KMS 2016 Summer Conference

포스터발표



Ab Initio Studies of Structure, Electronic and Optical Properties of Sn-doped Hematite

Taewon MIN^{*}, Jaekwang LEE

Department of Physics, Pusan National University, Busan 46241

α -Fe₂O₃(Hematite) has been spotlighted as one of the very promising solar cell materials since it is very stable and environment-friendly. Furthermore, iron is the cheapest and one of the most abundant of all metals in the earth. Even though hematite is capable of absorbing roughly 40% of the solar spectrum, but its practical use has been limited due to the low conductivity, weak optical absorption and rapid carrier recombination. Recently, it has been reported that the substitutional Sn doping significantly increases and improves the solar cell efficiency of hematite. Here, using density functional theory, we study the change in electronic and optical properties of hematite due to the Sn doping, and elucidate the underlying mechanism related to the efficiency increase. We expect that our study can provide key parameters for developing novel hematite-based solar cell device with maximal efficiency.

Fe/Ni(001)의 자성에 대한 제일원리계산

이주은*, 제갈소영, 홍순철

Department of Physics and EHSRC, University of Ulsan, Ulsan, Republic of Korea

강한 수직 자기이방성을 가지는 물질은 고밀도의 저장정보매체를 구현할 수 있다고 알려져 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. k-점수는 12X12X1 격자를 사용하였으며 그 이상의 k-점수를 사용하여도 0.001 eV 이하에서 총에너지 차이가 보였기에 효율적인 계산을 위해 12X12X1을 택하였다. 박막은 총 7층으로 이루어져 있는데, Ni 5층의 양면에 Fe 단층이 부착된 구조를 이루고 있다. 격자상수에 따른 총에너지 계산결과로부터 안정된 격자상수는 1.78 Å임을 얻었고 계산된 각 층별 자기모멘트는 표 1에 나타내었다. Fe 표면은 2.747 μ_B 으로 덩치 Fe의 자기모멘트인 2.20 μ_B 보다 상당히 증가한 것을 알 수 있다. Ni의 경우 덩치 Ni의 자기모멘트 0.7 μ_B 에서 큰 차이가 없었으나 계면에 서 박막의 중심으로 가면서 자기모멘트 값의 증가하는 것을 볼 수 있다. 기체 흡착이 자성과 자기이방성에 미치는 영향도 논의할 계획이다.

표 1. Fe/Ni(001)의 각 층별 자기모멘트

Magnetic moment(μ_B)	
Fe (S)	2.747
Ni (S-1)	0.587
Ni (S-2)	0.594
Ni (C)	0.635

응력이 MnSi의 자성에 미치는 영향에 대한 제일원리계산

박진식*, 임성현, 홍순철

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

B20 구조의 MnSi는 29K 이하에서 helical 자성구조를 가지고 있고 나노구조에 대한 최근의 실험에서 skyrmion 격자가 발견되고 있어 주목을 받고 있다. 본 연구에서는 나노구조에 대한 이해하는 기본 자료로 활용하기 위해 덩치 MnSi의 전자구조와 자성에 대한 제일원리계산을 수행하였다. MnSi의 구조는 단위 날칸당 망간 원자 4개와 실리콘 원자 4개로 이루어져 있으며 비대칭구조를 가지고 있다. 실험에서의 MnSi의 덩치 격자상수는 4.558 \AA 이고 망간의 자기모멘트는 $0.4 \mu_B$ 으로 알려져 있는데 본 계산에서 얻은 격자상수는 4.52 \AA 이 있으며 자기모멘트는 $0.9 \mu_B$ 으로 실험치에 비해 2배 이상 컸다. 박막 등의 나노구조가 가질 수 있는 응력을 고려하기 위해 a, b 방향으로 계산에서 얻은 총에너지 최소의 격자상수를 중심으로 -3%(압축응력)에서 +3%(인장인력)까지 격자상수를 변화시켜 가면 자성을 계산하였는데 a, b방향으로의 -3%의 압축응력 하에서의 Mn 당 자기모멘트 $0.814 \mu_B$ 으로 줄어 들었고 +3%의 인장응력 하에서는 자기모멘트는 이 $1.017 \mu_B$ 로 증가하여 응력에 따라 증가함을 알 수 있었다. 본 연구를 바탕으로 덩치 MnSi의 helical 자성구조와 나노 구조의 skyrmion 격자를 논의할 예정이다.

CrPt₃ 합금 박막의 자성에 대한 제일원리계산

정태성*, 제갈소영, 홍순철

Department of Physics and EHSRC, University of Ulsan, Ulsan, Republic of Korea

본 논문에서는 제일원리 계산방법을 이용하여 계산한 L1₂ 구조 CrPt₃의 자성을 보고 하고자 한다. 계산방법으로는 Vienna Ab-initio Simulation Package (VASP)을 이용하였고 교환-상관 전위는 일반화물매근사(GGA: generalized gradient approximation)로 표현하였다. 덩치 CrPt₃ 합금의 총에너지 계산으로부터 구한 격자상수는 3.925 Å 이었는데 이는 실험치 3.877 Å 보다 0.048 Å 컸고 FM 상태가 가장 안정한 것으로 계산되어 실험 결과와 일치하였다. Table 1은 각 자성에 상태의 Cr 원자 당 총에너지를 강자성 상태를 기준으로 보여 주는데 A-AF, C-AF, G-AF의 에너지는 FM 상태에 비해 0.517 eV, 0.591 eV, 0.183 eV 높았다. 덩치 CrPt₃에서의 Cr의 자기모멘트의 계산치는 FM 2.807 μ_B , A-AF 2.805 μ_B , C-AF 2.794 μ_B , G-AF 2.869 μ_B 로 큰 차이가 없었다.

표면이 CrPt로 끝나는 CrPt₃ 박막과 Pt로 끝나는 박막에 대해 계산된 자성을 계산하여 그 결과를 Table 2와 3에 각각 정리하였다. 일정 두께 이상의 박막은 덩치 CrPt₃와 같은 강자성 상태가 가장 안정하였다. 그러나, CrPt로 끝나는 3층 박막은 C-AF 상태가 가장 안정하였으며, Pt로 끝나는 5층 박막은 G-AF 상태일 때 가장 안정하였다. Pt로 끝나는 박막도 두께가 얇아지면 가장 안정한 G-AF 상태를 포함하여 AF가 안정할 수 있음을 확인하였다.

교환-상관 전위에 대해 국소밀도근사(LDA: local density approximations)를 사용한 경우에 격자 상수 값이 3.845 Å 으로 계산되었는데 이는 실험치보다 0.032 Å 만큼만 작아 GGA 계산보다는 더 나은 격자 상수 값을 주는 것으로 나타났다. 위에 언급된 계산 결과를 LDA로도 점검 해 볼 필요가 있음을 알 수 있다.

Table 1. 덩치구조에서의 에너지 차이 $E_{AF}-E_{FM}(eV/Atom)$

	A-AF	C-AF	G-AF
Bulk	0.128 eV	0.147 eV	0.045 eV

Table 2. CrPt로 시작하는 표면 박막에서의 에너지 차이 $E_{AF}-E_{FM}(eV/Atom)$

	A-AF	C-AF	G-AF
9ML	0.092 eV	0.155 eV	0.021 eV
7ML	0.076 eV	0.064 eV	0.010 eV
5ML	0.074 eV	0.045 eV	0.007 eV
3ML	0.085 eV	-0.008 eV	-0.006 eV

Table 3. Pt로 시작하는 표면 박막에서의 에너지 차이 $E_{AF}-E_{FM}(eV/Atom)$

	A-AF	C-AF	G-AF
9ML	0.056 eV	0.612 eV	0.614 eV
7ML	0.033 eV	0.031 eV	0.031 eV
5ML	-0.004 eV	-0.007 eV	-0.009 eV

Heavy metal capping and strain effects on magnetocrystalline anisotropy of 5d transition metal/Fe/MgO: A-first principles study

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: schong@ulsan.ac.kr

Adding heavy metals to 3d TMs is one of ways to enhance MCA, utilizing the strong SOC of heavy metals. In this presentation, we report capping effect on magnetocrystalline anisotropy (MCA) of 5d transition metal (TM)/Fe/MgO (TMs= Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, and Au) using a first-principles study. All TM/Fe/MgO except the cases of W and Pt retain the perpendicular MCA (PMCA) of Fe/MgO without the TM capping. In particular the late elements of Ir and Os show giant PMCA.

We will also report effect of lattice mismatch coming from different substrates by calculating MCA as a function of 2D lattice constant. The MCAs of TM/Fe/MgO are not so sensitive to compressive strain except W and Pt, as shown in Figure 1. However, compressive strain (up to 4 %) on W/Fe/MgO and Pt/Fe/MgO yields meaningful changes on their MCAs, even switching of in-plane MCA into PMCA for Pt/Fe/MgO. We will further elucidate physical origin of capping and strain effects on MCAs of TM/Fe/MgO.

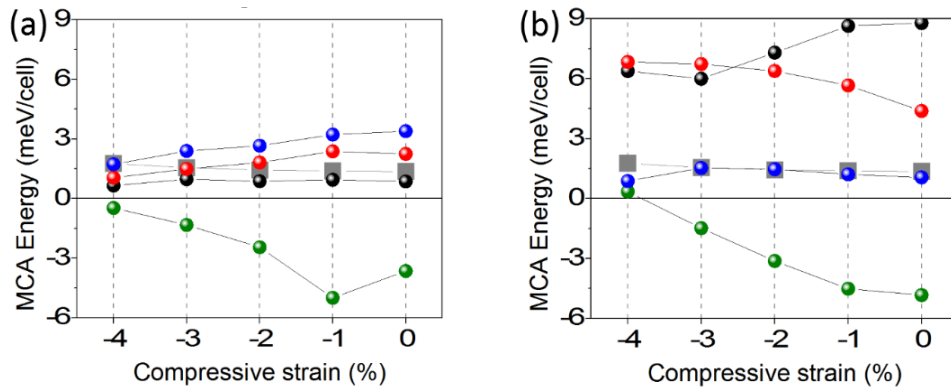


Fig. 1. MCA energy of 5d TM/Fe/MgO under strain. (a) The early TMs on Fe/MgO and (b) the late TMs on Fe/MgO. Black, red, green, and blue-balls denote Hf (Os), Ta (Ir), W (Pt), and Re (Au) on Fe/MgO, respectively, while grey-square represents Fe/MgO.

Magnetism of Ag_2Se : a 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

Silver chalcogenide Ag_2Se is well-known to exhibit unusual magnetoresistance: large and linear magnetoresistance for a magnetic field up to 6 Tesla in temperature range from 5 to 500 K [1]. Origin of this behavior is still unclear. Ferromagnetism of Ag_2Se is observed in a recent SQUID measurement at room temperature. In this study, by using the density functional theory, we investigate effects of intrinsic defects on the magnetic properties of Ag_2Se . It is found that the intrinsic defects such as silver (V_{Ag}) and selenium (V_{Se}) vacancy do not show any magnetism both in bulk and thin films. However, with a certain combination of intrinsic defects in the thin film, magnetism was observed, which suggests that a defect cluster may induce the magnetism. Detailed electronic structure of the system is provided to discuss the magnetism.

Reference

- [1] R. Xu, A. Husmann, T. F. Rosenbaum, M.-L. Saboungi, J. E. Enderby, and P. B. Littlewood, *Nature* **390**, 57 (1997)

* Supported by 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 Ministry of Education of Korea and the Ministry of Science, ICT, and Future Planning of Korea.

고효율 소형 리니어 발전 시스템 설계 및 발전량 측정 분석에 관한 연구

이수정^{1,2*}, 채준영¹, 김진호², 조성진², 조영욱³

¹(재)경북테크노파크 그린카부품기술연구소

²영남대학교 기계공학과

³주식회사 모코

1. 서론

기존의 로터리 구동방식의 발전기는 직선왕복운동을 회전운동으로 변환해주는 기계적 변환장치가 필요하여 크기 및 중량이 증가한다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 소형 발전기를 설계하고자 리니어 구동방식을 이용하고자 하며, 상용 전자기 소프트웨어 MAXWELL을 활용하여 효율이 높은 설계안을 도출한다. 또한, 이를 시제품 제작하여 발전량 측정을 수행 및 분석한다.

2. 설계 및 실험

소형 발전기는 고정자(tooth, 코일 등) 및 이동자(코어, 영구자석, 샤프트, 스프링 등)로 구성되며, MAXWELL을 통해 해석 및 설계하였다. 시뮬레이션 결과와 비교 분석을 위해 시제품을 제작하였으며, 발전량 측정을 수행하였다. 해석기준과 같이 2Hz로 운동하였으며, 순시측정이 가능하도록 오실로스코프를 사용하였다. 측정값이 작아 정밀프로브를 사용하여 전류를 측정하였고, 오실로스코프의 고장이 우려되어 정밀프로브를 1개만 사용하였다. 1상당 RMS 전력이 약 400mW로 3상 RMS 전력은 약1,200mW임을 알 수 있었다.

3. 고찰

시뮬레이션을 통해 설계 과정에는 가공 및 실험상에서 발생하는 문제를 포함하지 않기에 실험값이 상대적으로 낮은 결과를 얻었다. 해석에서 2Hz로 운동하는 조건을 실험에서는 2Hz보다 적게 운동되었을 것으로 예상된다.

4. 결론

기존 로터리 발전기의 단점을 극복하고자 소형발전기에 리니어 방식을 이용하였고, 이에 대해 해석 소프트웨어 MAXWELL을 활용하여 발전기를 설계하였으며, 발전량 측정실험 결과, 3상 RMS 전력이 약 1,200mW인 결과를 얻었다.

5. 참고문헌

- [1] 조성진, 김동진, 김진호, 이수정, “50hz이상 주파수의 진동에너지 하베스팅을 위한 리니어 발전기에 관한 연구”, 한국자동차공학회 논문집
- [2] 이수정, 채준영, 강호영, 김진호, 조성진, “전자기 소프트웨어를 활용한 소형 발전 시스템의상대적인 자력 및 전력 비교에 관한 연구”, 한국정밀공학회 논문집

[후기]

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역특화산업육성사업(창의융합 R&D)으로 수행된 연구결과입니다.

스커미온 어레이에 의한 스핀파 굴절제어

문경웅*, 전병선, 김원동, 이상선, 김창수, 박수현, 황찬용

한국표준과학연구원

공간상에 분포한 스핀들의 방향이 파동의 형태로 진동할 때 이를 스핀파라고 부른다. 자성체에서 스핀파의 진행은 자화상태의 분포에 따라 전달 특성이 달라지게 된다. 이러한 현상에 대한 연구는 최근들어 스커미온 자화상태에 대해서도 진행이 되었는데, 그 연구들에 따르면 스핀파가 스커미온에 의해 비대칭적으로 산란된다는 것이 알려졌다. 이번 연구에서는 스커미온들이 어레이 형태를 이루고 있을 때, 산란되는 스핀파를 제어하는 기본적인 원리에 대해 탐구해보았다.

Pt/Ru(111)의 자성과 촉매 반응성에 대한 제일원리계산

이상희*, 권오룡, 홍순철

울산대학교 물리학과, 울산광역시 남구 대학로 93, 680-749

연료전지의 전극에는 Pt가 촉매로 널리 사용되고 있다. 연료전지 공기극에서 산소의 환원반응은 연료극에서 수소의 산화반응보다 느려 실질적으로 연료전지의 전체 효율을 결정한다. Pt 자원은 매장량 뿐만 아니라 매장 지역까지도 제한적인 것은 연료전지 산업화에 큰 장애가 될 것으로 예상되므로 Pt을 대체하거나 Pt 사용량을 줄이기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 Ru(111) 기판 위의 Pt의 전자구조를 제일원리계산 방법을 이용하여 계산하고 순수한 Pt(111) 표면의 전자구조와 비교하여 촉매로서 사용 가능성을 연구하였다. 제일원리계산방법으로 VASP(Vienna Abinitio Simulation Package)을 이용하였으며 Pt 층의 두께를 달리하여 두께에 따른 전자구조의 변화와 반응성을 살펴보고자 하였다. 순수한 Pt 와 Ru 기판위의 Pt 표면에서 산소 분자의 가장 안정한 흡착위치는 bridge 자리이었다. 해리된 산소의 흡착위치와 분자에서 원자로 해리과정에서 에너지 장벽의 높이를 계산하여 순수한 Pt(111)과 비교, 분석하였다.

Tuning the Schottky barrier of two-dimensional lateral heterostructure by strain engineering

Hwihyeon Hwang^{1*}, Jaekwang Lee

Department of Physics, Pusan National University, Busan 46241

It has been known that Schottky barrier (SB) formed at Metal-semiconductor junction is one of the very important key parameters determining modern electronic device performance and efficiency. Recently, two-dimensional (2D) transition metal dichalcogenides have emerged among the hottest classes of materials owing to their promising properties for future applications. Compared with their bulk counterparts, 2D materials can sustain much higher elastic strain up to 10%. Here, using density functional theory, we find that the SB height (formed at semiconducting MoS₂ and ferromagnetic metal VS₂) is spin dependent and tunable by about 0.1 eV due to the uniaxial strain. We expect these strained lateral heterostructures can be a promising 2D-based rectifying device such as transistor, diode and spintronics.

Keywords : Density functional theory, spin-dependent Schottky barrier, uniaxial strain, MoS₂, VS₂

Fast current-induced motion of a transverse domain wall induced by interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction

Seo-Won Lee^{1*}, Byong-Guk Park² and Kyung-Jin Lee^{1,3}

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

²Materials Science and Engineering and KI for Nanocentury, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

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

Recently, ferromagnet/heavy metal bilayers attract considerable attention because they allow us to investigate various spin-orbit coupling effects combined with spin transport and magnetization dynamics. A representative example is the spin-orbit spin transfer torque (SOT) [1] that enables very fast current-induced magnetization switching even without the second ferromagnetic layer [2]. Another interesting magnetic property is the Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI), emerging when all of spin-orbit coupling, exchange interaction, and inversion asymmetry are present. The DMI is the antisymmetric component of the exchange interaction [3,4], which favors non-collinear magnetic textures. Effects of the interfacial DMI on the domain wall motion in perpendicularly magnetized nanowires have been extensively studied [5]. However, the effect of the interfacial DMI on transverse domain wall motion has not been studied yet. In this work, we investigate the effect of the interfacial DMI on static and dynamic properties of a transverse domain wall.

Based on the Euler-Lagrange equation, the equilibrium profile of a transverse domain wall is determined as,

$$\theta(x) \equiv 2 \tan^{-1} \left(\exp \frac{x-q}{\lambda} \right), \quad (1)$$

$$\varphi(x) \equiv \varphi_0 - \chi \sec h \frac{(x-q)}{\lambda}, \quad (2)$$

where $\hat{\mathbf{m}} = (\cos \theta, \cos \varphi \sin \theta, \sin \varphi \sin \theta)$, θ is the polar angle from x-axis and φ is the azimuthal angle from y-axis, q is the domain wall center, φ_0 is the domain wall tilt angle, λ is the domain wall width, $\chi = \delta/\lambda$, $\delta = D/K_d$, and K_d is the hard-axis anisotropy energy density. From above equations, one can find that the domain wall distortion appears in cases with finite D . We found that the numerically calculated ones are in good agreement with the theoretically predicted ones.

By using the procedure developed by Thiele [6], we derive the equations of motion for the two collective coordinates of a transverse domain wall as following.

$$\alpha \frac{\dot{q}}{\lambda} + \dot{\varphi}_0 = -\beta \frac{b_J}{\lambda} + \gamma c_J \left(\frac{\pi}{2} \sin \varphi_0 - \frac{4}{3} \chi \cos \varphi_0 \right), \quad (3)$$

$$\frac{\dot{q}}{\lambda} - \alpha \dot{\varphi}_0 = -\frac{b_J}{\lambda} + \gamma \frac{D}{\lambda M_s} \left(\frac{\pi}{2} \cos \varphi_0 + \frac{4}{3} \chi \sin \varphi_0 \right) + \gamma \frac{K_d}{M_s} \left(\sin 2\varphi_0 - \frac{\pi}{2} \chi \cos 2\varphi_0 \right), \quad (4)$$

where $\dot{O} = dO/dt$, γ is the gyromagnetic ratio, α is the damping constant, β is the nonadiabaticity, b_J is the magnitude of spin-transfer torque, c_J is the magnitude of SOT and M_s is the saturation magnetization. Using the small angle approximation, we obtain the domain wall velocity v_{DW} at the steady state, given as

$$v_{DW} = \frac{-b_j(\pi c_j - 2\beta H_d) + (8/3)\gamma\chi\lambda c_j H_d}{\pi c_j - 2\alpha H_d}, \quad (5)$$

where $H_d = 2K_d/M_S$.

We perform semi two-dimensional micromagnetic simulation for confirming a validity of Eq. (5). As shown in the figure 1, when $D = 0$, v_{DW} is small, but it increases rapidly with D . With reasonable material parameters, the v_{DW} reaches 400 m/s at the current density of 9×10^6 A/cm² which has never been achieved for a transverse domain wall without DMI [7]. This high v_{DW} can be explained by a DMI-induced domain wall distortion. It generates non-zero SOT in the z -direction, which tilts the domain wall and enhances the domain wall motion.

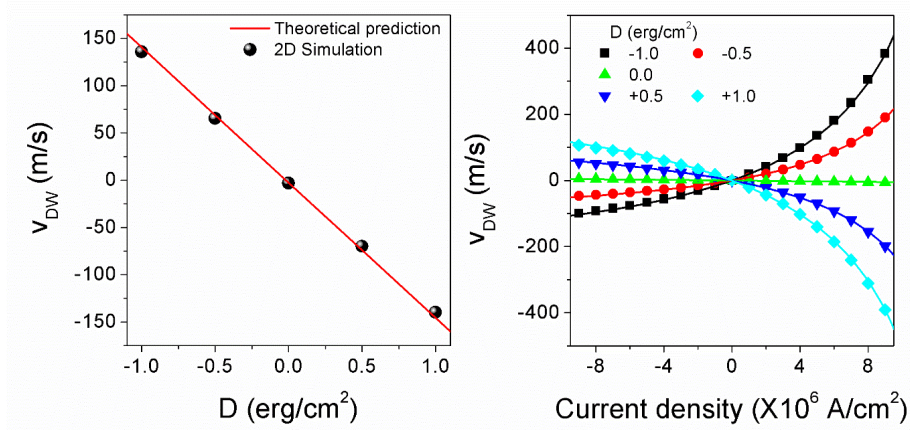


Fig. 1. (a) Effect of the interfacial DMI (D) on the domain wall velocity for 1-D micromagnetic simulation results (dots) and theoretical prediction (line). (b) v_{DW} as a function of the current density at various DMI values.

References

- [1] K. Obata, and G. Tatara, Phys. Rev. B 77, 214429 (2008).
- [2] I. M. Miron et al., Nature (London) 476, 189 (2011).
- [3] I. E. Dzialoshinskii, Sov. Phys. JETP 5, 1259 (1957).
- [4] T. Moriya, Phys. Rev. 120, 91 (1960).
- [5] S. Emori, U. Bauer, S.-M. Ahn, E. Martinez, and G. S. D. Beach, Nat. Mater. 12, 611 (2013).
- [6] A. A. Thiele, Phys. Rev. Lett. 30, 230 (1973).
- [7] M. Hayashi et al., Phys. Rev. Lett. 96, 197207 (2006).

Current induced skyrmion dynamics via spin orbit coupling types

Seung-Jae Lee^{1*}, Kyung-Jin Lee^{1,2}

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

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

1. Introduction

Inversion asymmetry existed in magnetic system, the system have specific exchange interaction which called Dzyaloshinskii-Moriya interaction(DM interaction) [1, 2].

Recently magnetic skyrmions stabilized by DMI are expected to have potential as information unit for storage and logic devices [3]. There are two main streams of SOC in skyrmion studies. One is for Rashba SOC induced by structural inversion asymmetry. The other is Weyl SOC induced by bulk inversion asymmetry, typically observed in B20 structures. However, studies on magnetic skyrmion stabilized by Dresselhaus SOC have lacked. In this work, we investigate current-induced skyrmion dynamics in ferromagnet nanowire with three types of SOC. We consider DMI and spin orbit spin transfer torque(SOT) having the symmetry of respective SOC.

2. Simulation Scheme

We investigate skyrmion velocity using Landau-Lifshitz-Gilbert equation with a SOT corresponding SOC with following parameter. nanowire width is 40nm, thickness is 1nm, cell size is $1 \times 1 \times 1 \text{ nm}^3$, saturation magnetization is 800 emu/cm^3 , exchange stiffness constant is $1.2 \times 10^6 \text{ erg/cm}$, DM constant is -2 erg/cm^2 , perpendicular magnetocrystalline anisotropy K_u is $0.8 \times 10^7 \text{ erg/cm}^3$.

3. Result and Discussion

Figure 1 shows that all skyrmion velocity have linear dependence with current density, which are consistent with the prediction based on collective coordinate approach. For all SOC, skyrmion velocity are given by $v_x \approx -F^{SOT}/\alpha D$ (current flow in x-axis) and $v_y \approx -F^{SOT}/G$ (current flow in y-axis) [6]. Where α is the damping constant, D is the factor of dissipation matrix, G is the magnitude of gyrovector and $-F^{SOT} = -h\theta_{SHE}j_e\lambda/4\pi e$ is the force originating from spin orbit spin transfer torques. It is because spin orbit torques symmetry have same with DMI symmetry driven by each SOC. Figure 1 shows the velocity of skyrmion is linearly increase about current density and $1/\alpha$

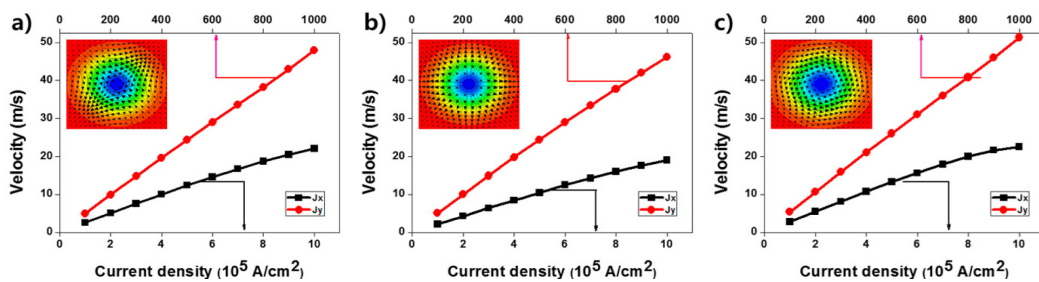


Fig. 1 Skyrmion velocity as a function of current density J for different current flow direction.

(a) DM induced by Dresselhaus SOC, (b) Rashba SOC, (c) Weyl SOC

4. References

- [1] I. E. Dzyaloshinskii, Sov. Phys. JETP 5, 1259 (1957)
- [2] T. Moriya, Phys. Rev. 120, 91 (1960)
- [3] A. Fert, V. Cros & J. Sampaio, Nature Nanotechnology 8, 152-156 (2013)
- [4] G. Dresselhaus, Phys. Rev. 100, 580 (1955)
- [5] N. A. Sinitsyn, Phys. Rev. B 70, 081312 (2004)
- [6] M. E. Knoester, Phys. Rev. B 89, 064425 (2014)

Antiferromagnetic domain wall motion driven by spin-orbit torques

Se-Hyeok Oh^{1*}, Takayuki Shiino², Paul M. Haney³, Seo-won Lee⁴, Gyungchoon Go⁴,
Byong-Guk Park², Kyung-Jin Lee^{1,4,5}

¹Department of Nano Semiconductor and Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

²Department of Materials Science and Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

³Center for Nanoscale Science and Technology, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland 20899-6202, USA

⁴Department of Material Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

⁵Department of Material Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

1. Introduction

Antiferromagnets are ordered spin systems in which the magnetic moments are compensated on an atomic scale. The antiferromagnetic order and consequent zero net magnetic moment are maintained by antiferromagnetic exchange coupling of neighboring spins. Any external disturbance competes directly with the large antiferromagnetic exchange, which results in magnetic excitations in terahertz frequency ranges [1]. Furthermore, an antiferromagnet has no magnetic stray field, which is beneficial for integrated circuits because the stray field is a primary source of detrimental magnetic perturbations [2, 3]. These attractive features of antiferromagnets have led to the recent development of antiferromagnetic spintronics, an emerging research field which pursues the use of antiferromagnets as active elements in spintronic based devices [4].

2. Experiment

We investigate SOT-driven antiferromagnetic domain wall motion in antiferromagnet/heavy metal bilayers in the presence of interfacial DMI, based on the collective coordinate approach [5] and atomistic spin model simulations [6].

3. Result and discussion

In order to study AF-DW motion driven by SOT, we derive analytical solution with staggered Landau-Lifshitz-Gilbert equation and collective-coordinate method. We obtain DW velocity $v_{DW} = -\frac{\pi\gamma\lambda BD}{2\alpha} \cos\phi$ (1), where γ is the gyromagnetic ratio, λ is the DW width, B_D is effective field corresponding to damping-like component of SOT, α is Gilbert damping, and ϕ is the DW angle. Figure 1 (a) shows numerical results of the steady-state velocity v_{DW} as a function of the current density. Since Bloch DW has initial $\phi = \pi/2$ or $3\pi/2$, it does not move. Neel DW velocity, however, increases linearly in low current regime, but it saturates and Neel DW emits spin wave in high current regime. We interpret these behaviors to relativistic kinematics. Figure 2 (b) is the snap shot of Neel DW configuration at high current region ($J = 2 \times 10^{11}$ A/m²) which shows spin wave emission. We find that the spin-wave emission from the antiferromagnetic domain wall is the origin of the v_{DW} saturation. The reason for spin-wave emission is as follows: The damping-like SOT asymmetrically tilts the domains on the right and the left of wall and raises the energy of domain wall. As the wall moves faster, the domain wall is

unstable to sustain its energy and starts to emit spin-waves towards its rear (where the gradient is steeper) to release the energy. Therefore, the spin-wave emission serves as an additional energy dissipation channel and slows down the wall motion. In special relativity, as the velocity of a massive particle approaches the speed of light c , it shrinks via Lorentz contraction and its velocity saturates to c . For the dynamics of antiferromagnets, the speed of light is replaced by the maximum spin-wave group velocity because the antiferromagnetic domain wall can be decomposed into spin-waves and has a finite inertial mass [7]. The relativistically corrected v_{DW} is given as $v_{DW} = \frac{\gamma_{ald}}{2} \sqrt{1(\lambda/\lambda_{eq})^2} (2)$, where a is the homogeneous exchange constant, $l=2m_s$, m_s is the magnetic moment density of sublattice, d is the lattice constant, and λ_{eq} is the equilibrium DW width. In the poster, we will discuss relativistic kinematics of AF-DW at high current regime in detail.

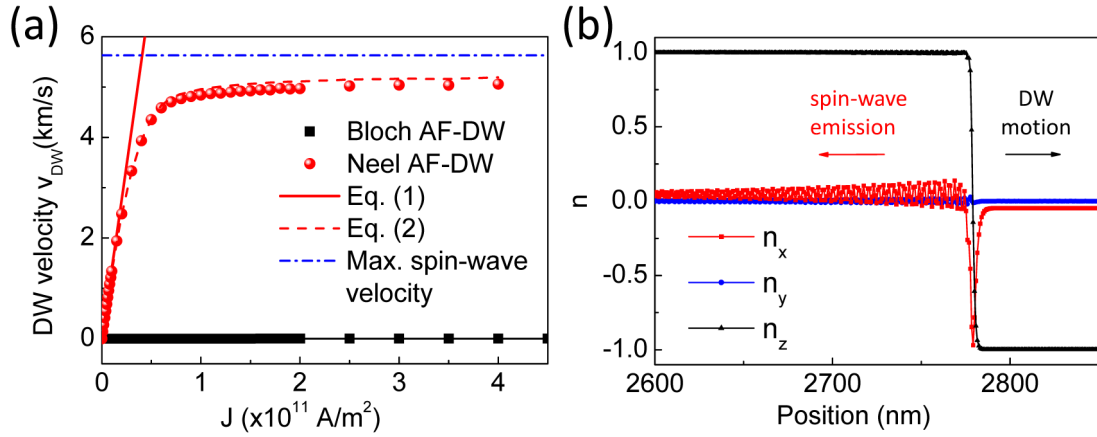


Fig. 1. (a) Steady-state velocity of antiferromagnetic domain wall by SOT. Symbols are numerical results, and lines are analytic solution. (b) Snap shot of Neel DW configuration at high current density ($J=2 \times 10^{11}$ A/m²). DW moves with spin wave emission which propagates to opposite direction of DW motion.

4. References

- [1] T. Kampfrath et al., Nat. Photon. **5**, 31 (2011).
- [2] A. H. MacDonald et al., Phil. Trans. R. Soc. A **369**, 3098 (2011).
- [3] R. A. Duine et al., Nat. Mater. **10**, 344(2008).
- [4] T. Jungwirth et al., Nat. Nanotechnol. **11**, 231 (2016).
- [5] A. C. Swaving et al., Phys. Rev. B **83**, 054428 (2011), K. M. D. Hals et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 107206 (2011), E. G. Tveten et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 127208 (2013).
- [6] R. F. L. Evans et al., J. Phys.: Condens. Matter **26**, 103202 (2014).
- [7] S. K. Kim et al., Phys. Rev. B. **90**, 104406 (2014).

전류 인가 자구벽 운동의 확률적 특성

남윤석^{1*}, 김덕호¹, 박용근^{1,2}, 민병철², 최석봉¹

¹서울대학교, 물리천문학과

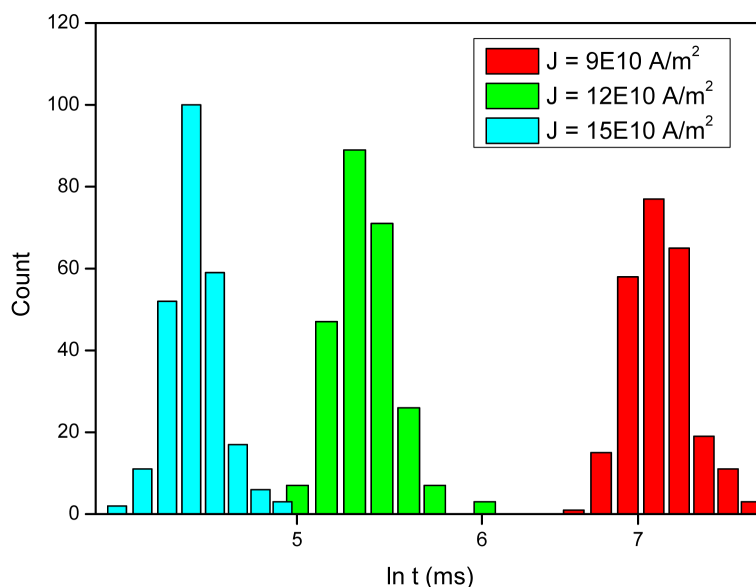
²한국과학기술연구원

1. 서론

자구벽을 사용한 고밀도 기억장치와 논리소자는 기존의 기억장치와 논리소자를 대체할 수 있는 새로운 매체로 각광받고 있다.[1] 특히 전류를 인가한 자구벽 이동소자의 경우 직접화에 용이하고 학문적으로도 스핀 토크와 같은 기존에 없던 새로운 현상들이 관측되어 많은 연구가 진행되고 있다. 이때 직접화를 위해서는 소자의 크기를 줄여야 하는데 구조의 크기는 자구벽의 운동에 영향을 미치며 이와 관련하여 자기장을 인가한 자구벽 운동의 확률적 특성에 대한 연구가 최근 보고되었다.[2] 그러나 새로운 소자의 개발을 위해 전류 인가 자구벽의 경우 어떤 확률적 특성이 나타날지를 알아보는 것이 중요하므로 본 연구에서는 이에 대해 알아보려고 한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 선형 구조의 자성 박막 시료에 자구벽을 만든 후 전류를 가해 자구벽 운동의 확률적 특성을 측정하였다. 시료로는 5.0-nm Ta/2.5-nm Pt/0.3-nm Co/1.5-nm Pt 필름에 포토리소그래피와 이온 밀링을 통해 $5\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ 선형 구조를 만들어 사용하였다. 선형 구조에 자구벽을 만든 후 적절한 전류를 흘려 자구벽을 움직이며 지정한 위치까지 도착하는데 걸리는 시간을 250회 반복 측정하여 그 분포를 측정하였다.



3. 결과 및 고찰

그림 1에서 볼 수 있듯, 전류가 인가된 자구벽의 도달시간은 그 확률적 특성으로 인해 평균도달 시간을 기준으로 정규분포의 형태를 하고 있었다. 뿐만 아니라 전류밀도가 커질수록 그래프의 분산이 커지는 것을 알 수 있었다. 특히 평균 도달시간은 자기장 인가 자구벽 운동의 기어가기(creep) 구간의 이론식[3]과 일치하는 경향을 보였다. 그 밖의 연구 결과들은 추후 논의하고자 한다.

그림 1 여러 전류밀도 J 에 따른 자구벽 도달시간 t 의 분포

4. 참고문헌

- [1] S. S. P. Parkin, M. Hayashi, and L. Thomas, Science **320**, 190 (2008)
- [2] J.-Y Kim, S.-G Je, and S.-B Choe, Applied Physics Express **8**,(6) 063001(2015)
- [3] P. Chauve, T. Giamarchi, and P. Le Doussal, Physical Review B **62**, 6241 (2000)

Interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction energy density and Gilbert damping at the Ir/Co interface

Nam-Hui Kim^{1,2*}, Jinyong Jung^{1,2}, Jaehun Cho¹, Dong-Soo Han³, Yuxiang Yin³,
June-Seo Kim³, Henk J. M. Swagten³ and Chun-Yeol You^{1,2}

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

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

³Department of Applied Physics, Center for NanoMaterials, Eindhoven University of Technology, PO Box 513,
5600 MB Eindhoven, The Netherlands

I. Introduction

The interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction (iDMI) is known to arise at the interface due to inversion symmetry breaking and large SOC in heavy metals (HM). The iDMI manifests itself by forming spiral spin configurations with a preferred chirality. Therefore, it plays an important role in the dynamics of the chiral domain wall (DW), and the skyrmion formation. Brillouin light scattering (BLS) measurement is a powerful tool to investigate the iDMI and magnetic anisotropy related with SOC phenomena. In this study, we experimentally investigate the iDMI energy (D), surface anisotropy (K_s), and Gilbert damping linked a spin-pumping effect at the spin-orbit coupled Ir/Co interface by employing BLS.

II. Experiment

We prepared a Ta(4 nm)/Ir(4 nm)/Co(t_{Co})/AlO_x(2 nm) sample was deposited on a thermally-oxidized Si wafer. The Co layer was deposited in a wedged shape in the range of 1 to 3 nm. In order to break the inversion symmetry, a 2-nm AlO_x capping was used on the top of the Co layer. The magnetic properties of the samples were studied by Brillouin light scattering (BLS) with a Sandercock (3+3) type Fabry-Perot interferometer. The light source is a single frequency 532 nm DPSS laser with output power of about 300 mW. Back scattering geometry was used to observe the light scattered by thermal excitations with an in-plane wavenumber $q_{||} = 0.0167 \text{ nm}^{-1}$ with the angle of incidence as 45° . Magnetic field of up to 0.98 T was applied parallel to the film plane and perpendicular to the scattering plane.

III. Results and Discussion

From the systematic BLS measurement, we obtained the frequency difference (Δf) due to the non-reciprocal spin wave propagation, which can directly determine the iDMI energy density. The correlation between Δf and the D is given by

$$\Delta f = \frac{2\gamma D}{\pi M_s} k_x,$$

where γ , D , k_x , and M_s are gyromagnetic ratio, the iDMI energy density, propagating spin wave vector, and saturation magnetization. Figure 1(a) indicates a result of the iDMI energy density as a function of inverse Co thickness. As a result, the iDMI energy at the Ir/Co interface is relatively smaller than the case of at the Pt/Co and the sign of iDMI is the same with our previous reports. Whereas, surface anisotropy and saturation

magnetization are significantly improvement (not shown). Figure 1(b) shows the Gilbert damping constant extracted from linewidth of BLS spectra as a function of inversr Co thickness. The measured α versus t_{Co}^{-1} and a linear dependency with a finite y-intercept is seen. The physical meaning of the damping at ($t_{\text{Co}} \rightarrow \infty$) is the damping constant (α_{bulk}) of bulk cobalt. In these measurements, we determined that $\alpha_{\text{bulk}} \sim 0.012$, which is in good agreement with the magnetic damping constant for bulk Co (= 0.011).

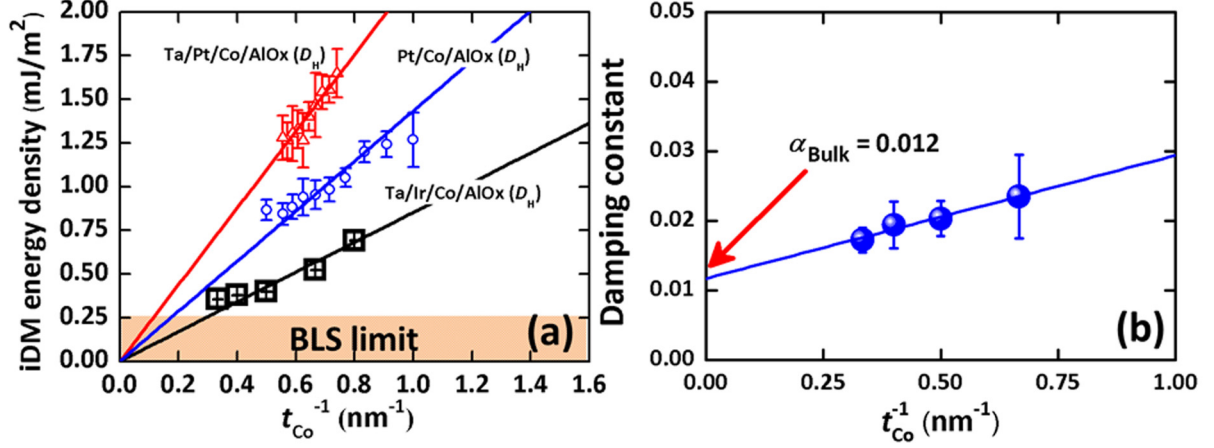


Fig. 1. (a) The iDM energy density as a function of t_{Co}^{-1} . (b) The Gilbert damping parameters as function of t_{Co}^{-1} . The extrapolated α for infinitely thick Co is approximately 0.012

IV. References

- [1] R. C. O'Handley, "Modern Magnetic Materials -Principles and Applications", John Wiley & Son, pp86 (2000).
- [2] T. Moriya, Phys. Rev. 120, **91** (1960).
- [3] I. E. Dzyaloshinshii, Sov. Phys. JETP, 5, 1259 (1957), I. E. Dzyaloshinshii, Sov. Phys. JETP, **20**, 665 (1965).
- [4] S. Emori, U. Bauer, S.-M. Ahn, E. Martinez, and G. S. D. Beach, Nat. Mater. **12**, 611 (2013).
- [5] J. Cho et al., Nat. Commun. **6**, 7635 (2015).
- [6] N.-H. Kim et al., Appl. Phys. Lett. **107**, 142408 (2015).
- [7] S. Pal et al., Appl. Phys. Lett. **98**, 082501 (2011).

Improving Brillouin light scattering intensity with MgO anti-reflective coating at the Pt/Co system

Jinyong Jung^{1*}, Nam-Hui Kim¹, Kwonjin Park¹, Hee Kyeong Hwang¹, Chun-Yeol You^{1,2}

¹Department of Physics, Inha University, Republic of Korea

²Department of Emerging Materials Science, DGIST, Republic of Korea

In a system with inversion broken symmetry such as Oxide layer/Ferro-magnet or Heavy metal/Ferro-magnet structures [1,2], spin-orbit coupling brings some new term on the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction (iDMI) at their interfaces. Recently, the iDMI has caught much attention as it could open new paths to manipulate information based on spintronic devices. Furthermore, Brillouin light scattering system is powerful tool which can directly determine the iDMI energy density [3,4]. However, measured the BLS signal is not large enough due to its physical origin, and the small signal to noise ratio make it difficult to determine iDMI in the moderate interface quality samples. In order to obtain the iDMI energy density more exactly and reliably, the better BLS signal is required. Since the BLS is based on magneto-optical Kerr effect (MOKE), we introduce optical anti-reflection (AR) layer. It is well-known that the MOKE signal is improved with AR layer [5,6,7]. Due to the multiple reflections, the incident beam has more chances to interact with the magnetic layer, which enhanced magneto-optical effect.

In this study, we investigate the intensity of spin-wave resonance frequency signal with additional MgO-AR coating layer. To observation of iDMI, we fabricated Ta(4 nm)/Pt(4 nm)/Co(2 nm)/MgO(t_{MgO} nm)/Ta(4 nm) structures on Si/SiO₂ substrate using DC magnetron sputtering system. Here, thickness of MgO layer are 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100 nm, respectively. The deposition was carried out a base pressure of 3×10^{-8} Torr or lower. From the MgO thickness dependence measurement, we found the changes of BLS signal strength as a function of MgO layer thickness. Fig. 1 shows BLS intensity as a function of MgO thickness. When we used the 80 nm of MgO thickness, BLS and MOKE intensity have a maximum value, and we confirmed that the BLS and MOKE signals are strongly correlated as we expected.

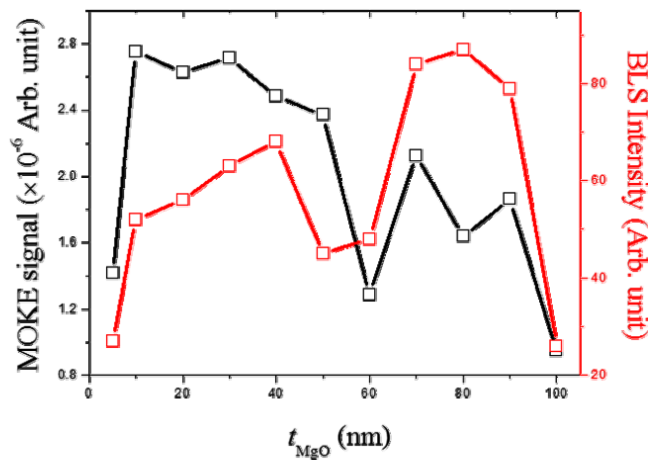


Fig. 1. BLS and MOKE signal as a function of MgO thickness.

References

- [1] A. Fert, and M. Levy, Phys. Rev. Lett. **44**, 1538 (1980).
- [2] A. Fert, Mater. Sci. Forum **59-60**, 439-480 (1990).
- [3] J. Cho, *et al.*, Nat. Commun. **6**, 8635 (2015).
- [4] N.-H. Kim, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **107**, 142408 (2015).
- [5] D. A. Allwood, *et al.*, Science **296**, 2003 (2002)
- [6] G. S. D. Beach, *et al.*, Nat. Mat. **4**, 741 (2005)
- [7] D.-H. Kim, *et al.*, J. Magnetism **13**, 70 (2008).

Co계 자기열량 합금에서 방전 플라즈마 소결 공정이 자기열량 효과에 미치는 영향

이아영^{1*}, 김송이¹, 오혜령¹, 박규현¹, 김현아¹, 이민하¹

¹한국생산기술연구원, 신기능소재그룹

1. 서론

자기냉각 소자의 특성을 결정짓는 중요한 요소인 자기 엔트로피 변화량은 온도와 자화의 함수로 이루어져 있다. 또한 이 특성을 나타내는 자기열량 효과는 엔트로피 변화량의 급격한 증가를 보이는 큐리 온도 부분에서 가장 큰 효과를 나타낸다. 최근에는 자기열량 효과가 잘 나타나는 호이스러 합금에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 Co계의 호이스러 합금을 액상 급냉법을 통해 제작한 리본 샘플과 이 리본 샘플을 방전 플라즈마 소결법을 통해 제작한 벌크 샘플의 자기열량 효과에 대해 분석하였다. 또한 아크 용해법으로만 제작된 벌크 샘플과 방전 플라즈마 소결법으로 제작된 벌크 샘플의 자기열량 효과에 대해 비교 분석하였다.

2. 실험방법과 결과

99.9%이상의 순도를 가진 Co, Hf, Zr, Sn 원소를 아크 용해를 통해 Co-Hf-Sn 합금과 Co-Zr-Sn 합금의 모합금을 제작하였다. 이 모합금을 액상급냉법을 통해 리본 샘플을 제작하였고, 이 리본 샘플을 적층하여 방전 플라즈마 소결법을 통해 벌크 샘플을 제작하였다. 제작된 샘플들은 진공 튜브로를 통해 850°C에서 24시간 열처리를 진행하였다. X-선 회절을 통해 일부분의 L2₁ 상을 관찰할 수 있었으며, 직류자화 측정 장비를 통해 상온보다는 낮은 온도에서 큐리 온도가 나타났다. 또한 자기 엔트로피 변화량은 큐리 온도 부근에서 변화가 발생하는 것이 관찰되었다. 방전 플라즈마 소결법으로 제작된 벌크에서 아크 용해로 제작된 벌크에 비해 더 큰 엔트로피 변화량이 관찰되었다. 뿐만 아니라 자화 값도 방전 플라즈마 소결법으로 제작된 벌크에서 더 큰 값이 나타났으며, 리본과 비교했을 때에도 리본에서 더 큰 자화 값이 관찰되었다.

3. 고찰

두 합금 모두 상온 부근에서 자기열량 효과가 구현되지는 못하였지만 엔트로피 변화량은 기존의 다른 합금들에 비해 매우 높게 측정되었다. 또한 X₂YZ 구조를 가진 호이스러 합금에서 Y 원소의 d 궤도의 전자의 수가 증가할수록 엔트로피가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 엔트로피의 변화량뿐만 아니라 자화 값이 방전 플라즈마 소결법으로 제작된 벌크에서 큰 값으로 관찰된 것은 결함들이 거의 발생되지 않았기 때문에 가능한 결과라고 판단된다. 그러나 자기열량 효과의 구현이 상온 부근에서 가능할 수 있는 합금 설계가 필요하다고 판단된다.

4. 결론

기공이나 크랙과 같은 결함들의 발생 억제를 통하여 자기냉각 소자의 특성을 결정짓는 중요한 요소인 자기 엔트로피 변화량을 증가시킬 수 있었다. 이 결함들의 발생 억제는 액상급냉법을 통해 리본이나 분말을 제작하여 결함들이 줄어든 시료들을 적층하여 벌크를 제작하는 방법을 통해서 가능하다.

5. 참고문헌

- [1] Ming Yin, Song Chen, Philip Nash, 'Enthalpies of formation of selected Co₂YZ Heusler compounds' J. Alloys and Compounds, 577 (2013), 49-56

Magnetic Properties and Magnetocaloric effect in La_{1-x}Nd_xFe_{10.5}Si_{2.5} ($x = 0.2, 0.4, 0.6$) Alloys

Wen-Zhe Nan¹, Tran Dang Thanh¹, Seong-Cho Yu^{1*}, Gnu Nam², Tae-Soo You²,
Hong-Guang Piao³ and Liqing Pan³

¹Department of Physics, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, South Korea

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

³College of Science, China Three Gorges University, Yichang, 443002, China

Corresponding authors: scyu@cbnu.ac.kr

In this report, we present a detailed studies on the magnetic properties and MCE of La_{1-x}Nd_xFe_{10.5}Si_{2.5} ($x = 0.2, 0.4, 0.6$) alloys. The samples were prepared from pure (99.9%) La, Nd, Fe and Si metals by an arc-melting method in a high purity argon atmosphere. And then, the products were sealed in a fused-silica jacket under vacuum and annealed at 1323 K for two weeks. According to the powder X-ray diffraction patterns, the crystal structure of an as-cast sample displayed the elemental Fe-type structure, but after the annealing process, they were transformed into the NaZn₁₃-type structure.

Magnetic measurements versus temperature ($T = 70$ -300 K) and magnetic field ($H = 0$ -3T) were performed on a vibrating sample magnetometer (VSM). The $M(T)$ curves for samples, all the samples exhibiting a ferromagnetic-paramagnetic (FM-PM) phase transition at Curie temperature $T_C = 252, 250$, and 246 K for $x = 0.2, 0.4$, and 0.6 , respectively. This FM-PM phase transition can be seen more clearly if H/M is plotted versus M^2 [1]. The nonlinear parts in the low field region at temperatures below and above T_C are driven toward two opposite directions, revealing the FM-PM phase separation. A negative slope corresponding to a first-order phase transition according to Banerjee's criteria [2] has been observed in H/M versus M^2 curves. Based on isothermal magnetization data, $M(H, T)$, we have calculated $\Delta S_M(T)$ data for samples under an applied magnetic field change $H = 3$ T. As a function of temperature, the $\Delta S_M(T)$ curves show a maximum (denote as $|\Delta S_{Mmax}|$) at around their T_C . With $H = 3$ T, the values of $|\Delta S_{Mmax}|$ are found to be $3.8, 3.6$, and 3.4 J \times kg⁻¹ \cdot K⁻¹ for $x = 0.2, 0.4, 0.6$ samples, respectively. The nature of magnetic properties and MCE in the La_{1-x}Nd_xFe_{10.5}Si_{2.5} alloys will be discussed thoroughly by mean of the effect of Ce-doping concentration.

References

- [1] A. Arrott, "Criterion for ferromagnetism from observations of magnetic isotherms", *Phys. Rev.*, 108(6) 1394, (1957).
- [2] S. K. Banerjee, "On a generalised approach to first and second order magnetic transitions", *Phys. Lett.* 12, 16, (1964).

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

Jiyun Oh^{1*} and Haein Choi-Yim¹

¹Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Republic of Korea

1. Introduction

Since the discovery of metallic glasses by Duwez et al. [1] in 1960, the metallic glasses have become new materials. Co-based and Fe-based alloys have a good possibility in various applications, for instance power devices, sensors, motors, transformers, and energy converting supplies [2,3]. Also, Fe-Co alloys system have been researched that the alloys have a good glass-forming ability (GFA). Furthermore, adding Ta to alloys is important to enhance GFA and thermal stability by increasing negative bonding between elements. Also, adding Ta improves the soft magnetic properties [4].

We studied on magnetic and thermal properties of $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Ta}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) alloys which are Co-based or Fe-based amorphous ribbons. In previous studies, we examined the thermal and magnetic properties by making a small quantity of Cr and Ta addition to Co-Fe alloys [5].

2. Experiment

$(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Ta}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) alloys were made by vacuum arc melting furnace under argon atmosphere and re-melted four times for homogeneity of alloys. Then, the result of arc melting, i.e. ingot re-melted and rapidly cooled by melt spinning machine in 39.27m/s. As a result, those alloys are transformed into 2mm ribbons. After processing of ribbons, we identified ribbons' magnetic and thermal property by various measuring equipment. The structure of amorphous is confirmed by X-ray diffraction (XRD). Magnetic properties are established by vibrating sample magnetometer (VSM) and thermal properties, such as the crystallization temperature (T_x), the glass transition temperature (T_g), and the supercooled liquid region ($\Delta T_x = T_x - T_g$) are measured by using differential scanning calorimeter (DSC).

3. Result and discussion

In this examination, we conducted more study on Co-Fe-B-Si-Ta system than earlier research in order to study deep into the thermal and the magnetic properties for Co-Fe based amorphous alloys. $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Ta}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) amorphous ribbons showed good soft magnetic properties. That amorphous ribbons had high saturation magnetization and had no crystal anisotropy. So those ribbons are suitable for amorphous applications which require good soft magnetic properties.

4. References

- [1] W. Klement, R. H. Willens and P. Duwez, *Nature* 187, 869 (1960).
- [2] T. D. Shen and R. B. Schwarz, *Appl. Phys. Lett.* 75, 49, (1999).
- [3] A. Inoue, B. L. Shen and C. T. Chang, *Intermetallics* 14, 936 (2006).
- [4] F. R. De Boer, R. Boom, W. C. M. Mattens, A. R. Miedema and A. D. Niessen, *Cohesion in Metals*, edited by F. R. De Boer and D. G. Pettifor (North-Holland, Amsterdam, 1989)
- [5] H. Jo, B. Han, H. Choi-Yim and W. Kwon, *J. Korean Phys. Soc.* 62, 523 (2013)

Effect of Fe on the Magnetic Properties for Co-based Amorphous alloys

Sumin Kim^{1*} and Haein Choi-Yim¹

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

1. Introduction

Metallic glasses composed of transition metals (such as Fe, Co, and Ni) and of metalloids (such as B and Si) have good soft magnetic properties. Especially, the synthesis of iron- and cobalt-based magnetic amorphous alloys has attracted attention due to their enormous potential in magnetic applications [1]. Amorphous ferromagnetic alloys are being developed for motor, electrical transformers, switching power supplies, sensors, and other electrical energy conversion devices [2, 3].

Fe-Co system exhibits the high saturation magnetization and the permeability in comparison to Fe-only and Co-only cases. Furthermore, the substitution of Co for Fe enhances glass-forming ability (GFA) [4]. Fe-Co-B-Si alloys were reported to exhibit good soft magnetic properties in 1974 [5]. The melt-spun (Fe, Co)-B-Si amorphous alloys have been used as soft magnetic materials in pole and switching transformers named by METGLAS [6]. However, these amorphous alloys do not have high GFA. Cr is a key to solving this problem. It is well known that small additions of Cr lead to an increase in GFA together with an enhancement of their soft magnetic properties of Fe-Si-B ternary amorphous alloys [7].

In this study, we research $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Cr}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) in order to investigate the effect of Fe on the magnetic properties for Co-based amorphous alloys.

2. Experiment

Alloy of the composition $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Cr}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) 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 30 μm in thick. The composition and structure of ribbons identified by X-ray diffraction (XRD) with Cu-K α radiation. Thermal stability associate with the crystallization temperature (T_x) was measured using a differential scanning calorimeter (DSC). About 20 mg of the sample was placed in a crucible and heated from room temperature to 1100 K (826.85 $^{\circ}\text{C}$) in an argon atmosphere at a rate of 0.34 K/s. The saturation magnetization (M_s) at room temperature was measured in a maximum applied field of 800 kA/m with a vibrating sample magnetometer (VSM).

3. Result and discussion

The effect of variable Fe and Co content on the thermal and magnetic properties for $(\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x)_{72}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Cr}_4$ ($0 \leq x \leq 1$) amorphous ribbons has been established. The Co-Fe-B-Si-Cr glassy ribbons exhibited soft magnetic properties with a high saturation magnetization. Also, these amorphous materials had no crystal anisotropy. It was found that the crystallization temperature of the alloy with 50.4 at.% Fe ($x = 0.7$) has a maximum value. It was also found that the saturation magnetization of the alloy with 64.8 at.% F ($x = 0.9$) was superior compared with

the others.

4. References

- [1] A. Inoue, A. Takeuchi and T. Zhang, Mater. Trans. 29, 1779 (1998).
- [2] T. D. Shen and R. B. Schwarz, Appl. Phys. Lett. 75, 49 (1999).
- [3] A. Inoue, B. L. Shen and C. T. Chang, Intermetallics 14, 936 (2006).
- [4] J. Wang and Z. Wang, J. Magn. Magn. Mater. 328, 62 (2013).
- [5] Fujimori, M. Kikuchi, H. Obi and T. Masumoto, Jpn. J. Appl. Phys. 13, 1889 (1974).
- [6] H. H. Liebermann, Rapidly Solidified Alloys (Marcel Dekker Inc., New York, 1993).
- [7] K. Inomata, M. Hasehawa and Senji Shimanuki, IEEE Trans. Mag. 17, 3076 (1981).

CoNi 박막 재료의 감쇠상수와 two magnon 산란 특성 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 송천동 388번지, 760-749

강자성 공명 신호의 선폭(ΔH_{PP})은 균일한 자성 재료의 경우에는 Gilbert 감쇠 상수 α 와 관련되지만, 자화가 비균일한 경우에는 국부적인 자화 각도 변화 및 국부적인 자화량 변화가 선폭 증가의 주원인으로 작용한다. 또한, 자성 재료 내부에서 생성된 스핀파 역시 재료 내에 존재하는 결함들에서 산란을 일으켜 선폭을 증가시키는 요인으로 작용한다[1,2]. 이러한 스핀파 산란 특성은 two magnon scattering (TMS)으로 설명되고 있다. 그러나 자성 박막에서 TMS에 대한 측정 및 분석에 대한 연구는 아직까지 미미하다. 본 연구에서는 NiCo 박막의 자기장 각도에 따른 강자성 공명 신호를 측정하였으며, 강자성공명 자기장(H_{res})에 대한 이론적인 분석 결과를 토대로 선폭 증가에 영향을 미치는 TMS 특성을 분석하였다.

Ni₄₀Co₆₀ (10 nm) 박막은 고진공 DC 마그네트론 스퍼터링 방법을 사용하여 열산화막이 있는 Si기판 위에 상온에서 증착 하였다. 제작된 박막 재료의 자기장 세기 및 각도에 따른 강자성 공명 신호는 X-band용 FMR 측정 장치를 사용하였다.

Fig. 1은 CoNi 박막 재료에서 자기장 각도에 따른 H_{res} 및 ΔH_{PP} 변화 특성을 보인다. 본 연구에서는 H_{res} 의 분석을 바탕으로 CoNi 재료의 Gilbert 감쇠 상수 $\alpha=0.011$ 을 얻었으며, Gilbert 감쇠 상수에 의한 선폭보다 증가된 선폭의 특성을 재료의 내부 결함들에서 산란하는 스핀파들에 의한 TMS로 분석하였다.

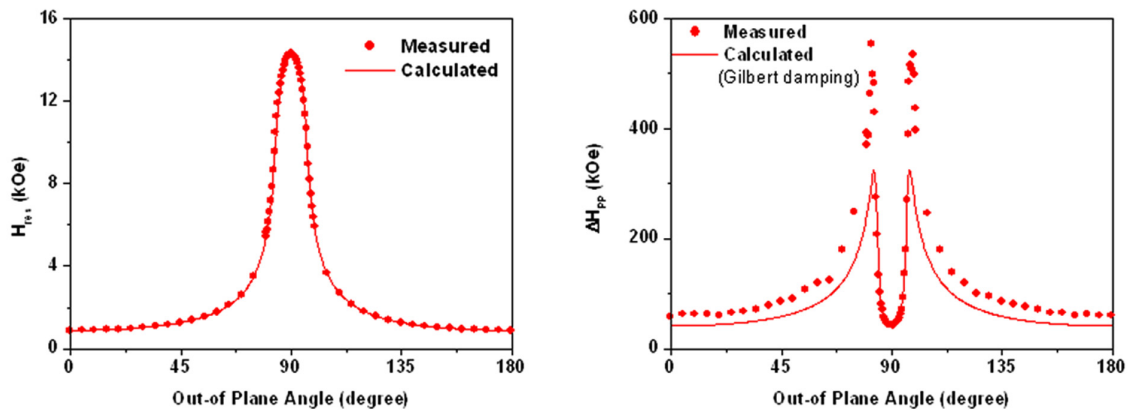


Fig. 1. Angular dependence of H_{res} and ΔH_{PP} in NiCo thin film.

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

참고문헌

- [1] J. Linder, et. al, Phys. Rev. B **80**, 224421 (2009).
- [2] P. Landeros, et. al, Phys. Rev. B **77**, 214405 (2008).

자구 회전 효과에 의한 저자장 마이크로파 흡수 신호 분석

김동영*, 윤석수

안동대학교 물리학과, 경북 안동시 경동로 1375, 760-749

연자성 재료에서 측정된 저자장 마이크로파 흡수(Low field microwave absorption, LFMA) 신호는 강자성 공명 신호와 달리 자화 곡선에서 자화량이 변화되는 낮은 자기장 영역에서 나타난다[1]. 따라서 LFMA 신호는 자구의 회전, 자구의 이동, 자구의 생성/소멸 등 자구의 동역학적 변화와 관련된다. 그러나 LFMA 신호의 원인에 대한 분석은 아직까지 미진하다. 본 연구에서는 자구의 이동과 자구의 생성/소멸 없이 자구의 회전만으로 자화곡선의 해석이 가능한 교환 결합력을 갖는 NiFe/MnIr 재료의 LFMA 신호를 측정하였으며, Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 계산한 횡방향 투자율(μ_T)과 측정된 LFMA 신호를 비교 분석하였다.

NiFe(100 nm)/MnIr(10 nm) 구조를 갖는 시료는 Si기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터 법을 사용하여 증착하였다. 자기장 세기에 따른 LFMA 신호는 X-band용 FMR 측정 장치를 사용하였다. Fig. 1은 NiFe/MnIr 박막 재료의 자화 곤란측에서 측정된 자화곡선, LFMA 및 Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 계산한 횡방향 투자율을 보인 것이다. Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 계산한 결과 NiFe/MnIr 박막 재료의 자화곡선은 자구의 회전에 해석된다. 자화 곤란측에서 측정된 LFMA는 Stoner-Wohlfarth 모델을 사용하여 계산한 횡방향 투자율과 일치하였으며, 이들 결과로부터 LFMA 신호는 자구의 회전 효과에 의한 횡방향 투자율에 비례하는 특성이 있음을 알 수 있다.

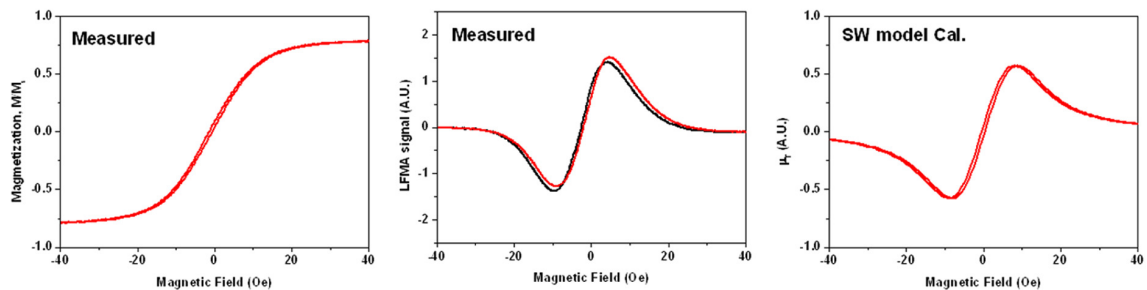


Fig. 1. MH loop, Microwave absorption signal and μ_T of NiFe/MnIr bilayers.

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

참고문헌

- [1] J. Kim, et. al., CAP. **14** (2014) 548.

비정질 NiFeSiB 박막의 자성 특성 분석

김동영^{1*}, 윤석수¹, 김영근², 조지웅³

¹안동대학교 물리학과, ²고려대학교 신소재공학부, ³한국기초과학지원연구원

터널링 자기저항 재료는 비정질 CoFeB 재료를 자성층으로 사용하여 자기저항비를 200%이상까지 향상시켰다[1,2]. 그러나 STT-MRAM에 적용하기 위하여 CoFeB 보다 일축 이방성 자기장이 작은 비정질 재료를 요구하고 있으며, 비정질 NiFeSiB 은 이러한 특성을 만족하는 재료의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 STT-MRAM에 적용 가능한 NiFeSiB 재료의 이방성 특성을 분석하기 위하여 자화 곡선 및 강자성 공명 신호를 측정하였다.

비정질 NiFeSiB 시료는 고진공 DC 스퍼터링 챔버에서 Si기판 위에 상온 증착하였다. 이때 하부층으로는 Ta(5 nm)를 사용하였으며, 시편의 산화를 방지하기 위한 상부층으로 Ta(5 nm)를 증착하였다. 시료의 적층구조는 Ta/NiFeSiB(30 nm)/Ta로 제작하였다. 제작된 시편은 열처리 온도 $T_a=200^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 진공 열처리 (10^{-6}torr)를 수행하였다. 또한 자기장의 세기에 따른 강자성 공명 신호는 Bruker Xepr를 사용하여 9.89 GHz의 마이크로파 주파수에서 측정하였다.

Fig.1은 NiFeSiB 박막 재료의 자화 용이축과 곤란축에서 측정한 자화 곡선과 각도에 따른 강자성 공명 자기장(H_{res}) 특성을 보인다. 보자력이 작은 자화 곡선으로부터 비정질 특성을 확인하였으며, 각도에 따른 H_{res} 로부터 일축 이방성 자기장 $H_k = 13\text{Oe}$ 을 도출하였다. 또한 강자성 공명 신호의 H_{res} 와 선폭을 분석하여 M_{eff} , g-factor, 감쇠 상수를 도출하였으며, 재료 내부 자화량은 균일함을 확인 하였다.

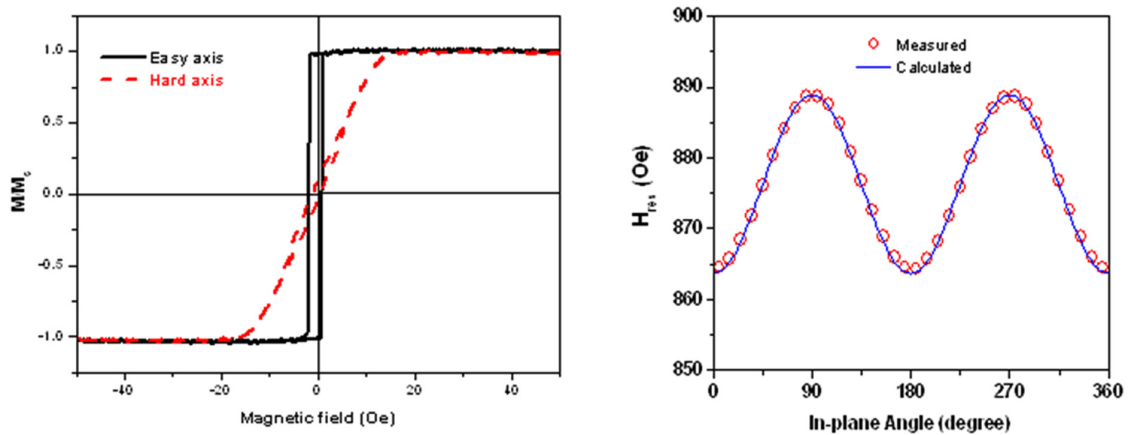


Fig. 1. MH loop measured at easy and hard axis, and angular dependence of H_{res}

참고문헌

- [1] D. D. Djayaprawira, et. al, Appl. Phys. Lett., **86**, 092502 (2005)
- [2] Y. M. Lee, et. al, Appl. Phys. Lett., **89**, 042506 (2006)

비틀림 스트레인 하에서 전기도금으로 제작된 Cu/NiFe 코어/셸 복합와이어에서 비대각 임피던스 스펙트럼의 자기장 의존성

구태준, 조성언, 김동영, 윤석수*

안동대학교 물리학과

비자성 금속 코어에 연자성 셸을 가진 복합와이어는 연자성 와이어에 비해 증대된 자기 임피던스 효과를 보이기 때문에 자기센서 소재로 많이 연구되고 있다. 본 연구에서는 Cu 와이어를 0도, 90도, 180도, 270도, 360도 등의 다양한 각도로 비틀림 스트레인을 가한 상태에서 $\text{Ni}_{20}\text{Fe}_{80}$ 연자성 재료를 전기 도금하여 코어/셸 복합와이어를 제작하였다. 이때 사용한 Cu코어의 직경은 $180\ \mu\text{m}$, 도금된 NiFe 셸의 두께는 약 $15\ \mu\text{m}$ 였다. 제작된 코어/셸 복합와이어 양 끝에 전극을 부착하고 파형발생기와 연결하여 와이어의 길이(z) 방향으로 주파수 f 의 교류전류(i_z)를 흘려주면서 복합와이어를 원주방향(θ)으로 감싸고 있는 코일에 유도되는 교류전압(v_θ)의 in-phase 성분과 out-of-phase 성분을 lock-in-amp로 측정하여, 임피던스 텐서의 비대각 성분 $Z_{\theta z}$ 의 주파수 스펙트럼을 z 방향으로 가한 직류 자기장의 함수로 구하였다. 비틀림 스트레인을 가하지 않은 Cu/NiFe 시편은 $Z_{\theta z}$ 의 자기장 의존성을 거의 나타내지 않았으며 반면에 비틀림 스트레인을 가한 시편의 경우 $Z_{\theta z}$ 의 자기장 의존성은 상대적으로 크게 나타났다. 비틀림 스트레인을 가한 Cu/NiFe 시편에서 증대된 자기임피던스 효과의 근원을 밝히기 위해 측정된 $Z_{\theta z}$ 스펙트럼으로부터 뽑아낸 복소 투자율 텐서의 $\mu_{z\theta}^*$ 성분의 실수부 및 허수부 스펙트럼은 완화형 분산을 나타내었다. $\mu_{z\theta}^*$ 의 실수부 및 허수부 스펙트럼의 자기장 의존성을 스트레스에 의해 유도된 자기이방성 관계에서 분석하였다.

비금속 원소 질소의 첨가가 Fe계 비정질 리본의 연자성 특성에 미치는 효과에 관한 연구

오혜령^{1,2*}, 김송이², 김종렬¹, 이민하²

¹한양대학교

²한국생산기술연구원

1. 서론

비정질 연자성 합금은 높은 자기 포화, 낮은 보자력 및 에너지 손실이 자기적 특성에 중요한 영향을 미친다. Fe계 비정질 합금은 결정학적으로 결함 및 자기이방성이 낮아 빠른 자기 응답 특성을 가지며, 비저항이 커서 적은 에너지 손실을 갖는다. 또한 높은 강도와 탄성 및 기계적 특성, 우수한 내식성을 나타내어 수백KHz 이상의 고주파수 영역에서 인덕터, 컨버터 등에 적용된다. 또한 전자파 차폐, NFC(Near Field Communication)과 같은 산업분야에서도 그 필요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 이러한 Fe계 비정질 합금에 비금속 원소 N을 첨가하여 비정질 형성능을 제어하고, 연자성 특성에 대해 조사하고자 하였다.

2. 실험방법과 결과

Fe계 비정질 연자성 리본을 제조하기 위하여 Arc melting으로 만든 모합금을 급속응고법인 Melt spinner을 이용했다. 이때, 질소를 첨가하기 위해서 우선적으로 Fe Nitride 분말을 방전플라즈마소결법을 이용하여 압축시켰다. 제조된 Fe계 비정질 연자성 합금 리본의 SEM, XRD 분석 결과, 리본시편에서 모두 비정질 고유의 halo pattern이 나타났으며, DSC분석 결과 비금속 원소 질소의 첨가량이 증가함에 따라 결정화 온도 및 엔탈피의 변화량을 통해 비정질 형성능이 증가되는 경향을 확인할 수 있었다. 또한 VSM측정을 통해 비금속 원소 질소를 첨가한 조성의 자성특성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

3. 고찰

비금속 원소 질소를 첨가함에 따라, 엔탈피 변화량이 증가하여 높은 비정질 형성능을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 침입해 들어간 질소가 고용체 내에 침입하여 격자내 변형을 일으켜 공공이 줄어들고, 밀도가 향상되는 효과를 보였다. 또한 이때 축적된 변형에너지가 구동력으로 작용하여 대부분 비정질화 된 것으로 예측된다. 이를 통해 재료의 밀도가 포화자속밀도를 결정하는 중요한 인자임을 확인하였고, 연자성의 중요한 특성 중 보자력을 낮추는데도 기인한 것으로 여겨진다.

4. 결론

Fe계 비정질 합금에 비금속 원소를 첨가하여 연자성 특성에 미치는 영향을 조사한 결과, 첨가된 비금속 원소는 미세구조를 제어함으로써 결정자기이방성을 최소화하여 재료의 밀도를 높게 유지하고, 비정질 형성능을 향상시켜 연자성의 주요특성인 높은 포화자속밀도와 낮은 보자력을 나타냄을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

[1] B.D. Cullity, Introduction to magnetic Materials, Addison-Wesley Pub. Co., (1972)

Magnetic properties of $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ nanoparticles prepared by a hydrothermal method

N. Tran^{1*}, P. T. Tho¹, D. H. Kim¹, D. H. Manh², T. L. Phan¹ and B. W. Lee^{1†}

¹Department of Physics and Oxide Research Center, Hankuk University of Foreign Studies,
Yongin 449-791, South Korea

²Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet,
Cau Giay, Hanoi, Vietnam

[†]Electronic mail: bwlee@hufs.ac.kr

In recent years, spinel-ferrite nanoparticles have attracted much interest of the scientific community due to their potential applications in many magnetic and electronic devices, particularly microwave absorbers, active components of ferrofluids and photocatalysis. Among spinel ferrites, it has been focused on two material systems ZnFe_2O_4 and CoFe_2O_4 nanoparticles because they have high chemical stability and corrosion resistance, and excellent magneto-optical properties. To further understand these materials, we prepared $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0-1$) nanoparticles (NPs) by using a hydrothermal method, and then investigated in detail their structural characterization and magnetic properties. The analyses of X-ray diffraction (XRD) patterns and Raman scattering spectra indicated all the samples crystallized in a cubic-spinel structure (the space group $Fd\bar{3}m$) with the lattice parameter $a \approx 8.4$ Å. Average crystallite sizes obtained from the XRD linewidth by using the Scherrer equation are about 16-22 nm, which are close to the particle sizes of ~ 20 nm determined from scanning-electron-microscopy images. Magnetization measurements versus temperature, $M(T)$, in the magnetic field $H = 100$ Oe indicate the ferromagnetic-to-paramagnetic phase transition temperature (T_C , the Curie temperature) $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ NPs increases from ~ 600 K for $x = 0$ to ~ 815 K for $x = 1$. The features of the $M(T)$ curves also indicate inhomogeneities in magnetization of the samples in the FM region. At room temperature, we found that both the saturation magnetization (M_s) and coercive force (H_c) increase with increasing Co content in $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$, in which $M_s = 60\sim 72$ emu/g, and $H_c = 100\sim 500$ Oe. These results reflect that the Co doping into zinc-ferrite NPs improve remarkably the magnetic property, making them more helpful for practical applications. In this work, additionally, based on analyzing the initial magnetization curves, $M(H)$, recorded around the T_C , we also assess the magnetic-entropy change and critical behaviors in order to figure out magnetic-interaction mechanisms taking place in the samples.

Ni-Zn 나노 페라이트 물질의 자기적 특성 연구

최현경^{1*}, 윤성현², 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

²군산대학교 물리학과

1. 서론

생명과학, 자성물리 분야에서 나노바이오기술이 활발히 연구됨에 따라, 온열효과를 이용한 암세포 사멸에 관심이 집중되고 있다. 특히, 페라이트 계열의 나노 자성입자는 높은 포화자화값 특성을 가지고 있어 온열치료 응용 연구에 많은 역할을 하고 있다. 따라서 본 연구는 고온열분해법으로 Ni-Zn 나노 페라이트 물질을 제조하여 바이오-플라즈마 처리를 통한 발열 특성의 향상과 이러한 메커니즘을 연구하기 위하여 자기적 특성을 확인하고자 한다.

2. 실험방법

Ni-Zn 나노 페라이트 물질은 고온열분해법으로 시료를 제조하였으며, 출발 물질로는 각각의 조성비에 맞는 Ni(acac)₂, Zn(acac)₂ 와 Fe(acac)₃, Oley acid, Oleylamine, Benzyl ether 를 혼합하여 실험을 진행하였다. Ar 분위기에서 30분 동안 300 °C에서 열처리를 진행하였고, 상온으로 내린 후 원심분리기를 거쳐 최종적으로 10 nm 입자 크기를 갖는 나노 페라이트 물질을 제조하였다. x-선 회절 실험을 통하여 물질의 결정학적 특성을 측정하였으며, 조성별 나노 페라이트 물질을 하이퍼썬미아 장비를 이용하여 자기발열 온도를 측정하였다. 이 후, 바이오 플라즈마 처리를 통하여 조성비 중 가장 발열 특성 좋은 물질을 선택하여 진동시료형 자화측정기를 통해 상온에서 거시적인 자기적 특성을 측정하였다. 또한, 발열 특성의 메커니즘을 확인하기 위하여 피스바우어 분광 실험을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Ni-Zn 나노 페라이트 물질의 XRD 분석 결과를 통하여 결정학적으로 cubic spinel 구조(공간그룹 *Fd-3m*)임을 확인하였다. 하이퍼썬미아를 이용하여 112 kHz 주파수와 250 Oe의 자기장 하에 자기발열온도 측정하였으며, 가장 높은 발열온도를 가지는 Zn=0.75 조성의 나노 페라이트 물질에 바이오-플라즈마를 처리하였다. 플라즈마 처리한 물질의 하이퍼썬미아와 진동시료형 자화측정기를 측정한 결과, 처리 전보다 플라즈마 처리한 물질의 자기모멘트와 자기발열 온도가 더 높게 나온 것을 확인하였다. 이러한 발열 상승의 원인을 알아내고자 저온 피스바우어 분광 실험을 진행하였으며, 그 결과 바이오-플라즈마가 처리됨에 따른 내부 자기에너지가 열 에너지 변환으로 인한 발열 메커니즘으로 연구되었다.

4. 참고문헌

- [1] H. Choi, S. J. Kim, E. H. Choi, and C. S. Kim, IEEE Trans. Magn., **51** (11), (2015).
- [2] R. Hergt, S. Dutz, M. Zeisberger, Nanotechnology **21**, 015706 (2009).

Zn nano-ferrite의 플라즈마 처리를 통한 자기적 특성 및 온열치료 응용 연구

이상준^{1*}, 임정태¹, 한은주², 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

²수원대학교 물리학과

1. 서론

수 나노 크기의 물질에서 나타나는 특이한 자기적 현상을 응용하여 최근 바이오 산업에서의 응용 및 의학계에서 활발히 연구되고 있다. 특히, 약물전달 물질, MRI 조영제, 온열치료 등에 나노입자가 사용되면서 나노기술과 바이오기술의 복합적인 연구가 진행 중에 있다[1]. 따라서, 본 연구에서는 고온 열분해법 (high temperature thermal decomposition method)으로 제조된 ZnFe_2O_4 시료의 결정학적 및 자기적 특성을 바탕으로 Ar 플라즈마 조사 전 후의 특성 변화를 이용, 온열치료에 응용될 수 있는 가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

나노 크기의 ZnFe_2O_4 시료를 고온 열분해법 (high temperature thermal decomposition method)을 이용하여 제조하였다. 출발물질로는 순도 99 %의 iron(III) acetylacetonate ($[\text{CH}_3\text{COCH}=\text{C}(\text{O})\text{CH}_3]_3\text{Fe}$), 97 %의 Zn(II) acetylacetonate ($[\text{CH}_3\text{COCH}=\text{C}(\text{O})\text{CH}_3]_2\text{Zn}$)를 이용하였고, 용매로는 benzyl ether를, 계면활성제 역할로서 oleic acid 와 oleylamine을 함께 사용하였다. 4 mmol의 iron(III) acetylacetonate와 2 mmol의 Zn(II) acetylacetonate를 30 ml의 benzyl ether가 채워져 있는 플라스크에 혼합한 후, 6 mmol의 oleic acid와 oleylamine을 첨가하여 용매인 benzyl ether의 끓는점인 298 °C까지 승온시켜 1시간 동안 유지하며 입자들의 반응을 유도하였다. 이 후, 온도를 200 °C까지 하강시켜 30분 동안 유지하여 최종 물질의 입자크기가 균일하며 분산효과를 높이고자 하였다. 그 후, 용매의 온도를 상온까지 하강시켜 40 ml의 ethyl alcohol과 혼합하고 8000 rpm으로 20분간 원심 분리하여 침전물을 획득하였다. ethyl alcohol 과의 혼합은 합성된 나노입자와 불필요한 고분자 물질의 분리를 유도하기 위함이다. 획득한 침전물을 10 ml의 hexane에 용해시킨 후 30 ml의 ethyl alcohol과 혼합하여 8000 rpm으로 20분간 원심 분리하였다. hexane에 용해시키는 이유는, 남아있는 고분자 물질을 추출해내는 데 효과적이며 응집현상을 감소시켜주기 때문이다. 이러한 원심분리 과정을 3회 거치고, 획득한 침전물을 진공건조기에서 충분히 건조시켜 최종 물질인 ZnFe_2O_4 시료를 제조하였다. 그 후, Argon 기체로 분위기를 조성하고 플라즈마 발생장치를 통해 시료에 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

합성된 ZnFe_2O_4 의 결정학적 구조는 큐빅 스피넬의 단일상임을 확인하였으며, 분석구조 인자 (R_B)와 Bragg 인자 (R_F)는 5 %미만으로 격자상수 (a_0)는 8.4064 Å으로 분석하였다. 입자의 평균 크기는 scherrer equation을 통하여 13.1 nm 임을 확인하였다. 진동시료 자화율 측정기를 이용하여 상온에서 15 kOe까지 자기이력곡선을 측정하였다. 그 결과 플라즈마 처리 전의 포화자화 값과 보자력은 83.614 emu/g, 17.289 Oe로 확인되었으며, 플라즈마 처리 후의 값은 84.090 emu/g, 16.175 Oe로 포화자화 값이 미량 증가함을 보였다. 4 K에서 800 K까지 100 Oe내에서 자화곡선을 측정하였으며, 425 K부근에서 T_B (blocking temperature)가 나타남을 확인하였다. 미시적인 자기적 특성을 확인하기 위해 4.2 K 에서부터 800 K까지 뫼스바우어 분광실험을 실시하였다. 이성질체

이동치를 통해 모든 부격자에서 Fe^{3+} 상태임을 확인하였다. 시료의 자가 발열 특성을 알아보기 위해 인체에 무해한 25 mT의 유도자기장을 112 kHz로 인가하여 측정하였다. 플라즈마 처리 후의 자가 발열 온도가 처리 전의 온도보다 5 °C정도 증가함을 나타내었다. 이는 플라즈마 처리 후의 포화자화 값과 뢰스바우어를 통한 미시적 자기 특성의 증가로 인한 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] Amit P. Khandhar, *et al.*, J. Appl. Phys. **111**, 07B306 (2012).

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

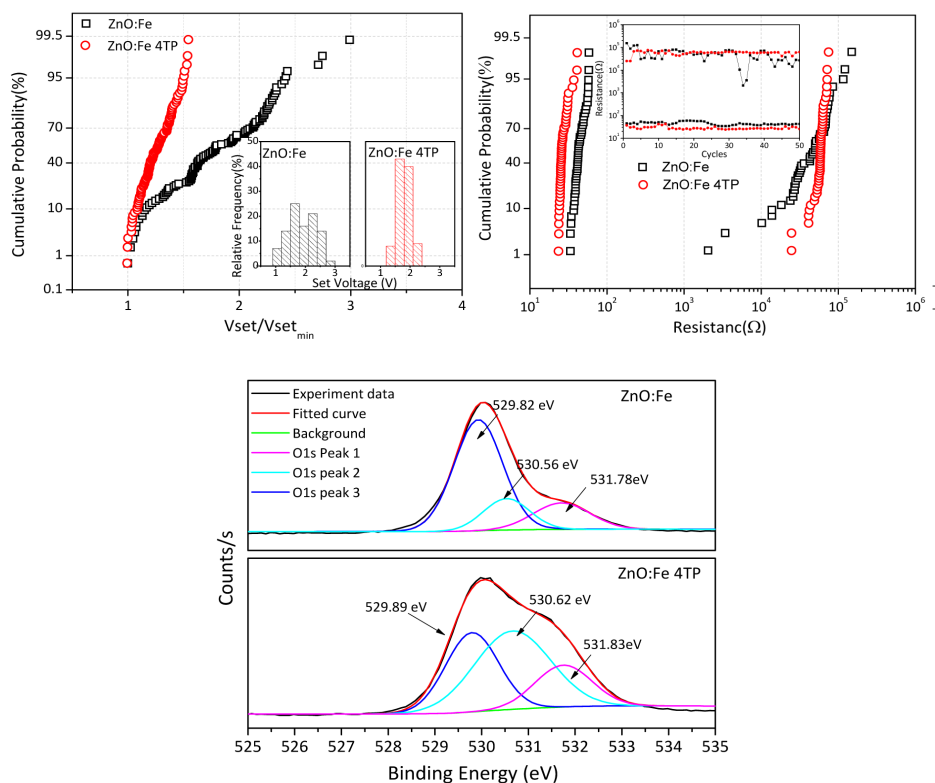
Chunli Liu^{a,*}, Changjin Wu^a, Hongtao Xu^{a,b}, Deok Hyeon Kim^a

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

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

^cDepartment of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul, 139-701, Korea

The 5% Fe doped ZnO (ZnO:Fe) thin films were deposited on Pt/TiO₂/SiO₂/Si substrates by a spin coating method. The films were annealed without (ZnO:Fe-0T) and with (ZnO:Fe-4T) a pulsed magnetic field of 4 T to investigate the magnetic annealing effect on the resistance switching (RS) behavior of Pt/ZnO:Fe/Pt structures. As compared to the ZnO:Fe-0T film, the ZnO:Fe-4T film showed improved RS performance regarding the stability of the set voltage and the resistance of the high resistance state (HRS). TEM image showed that the crystalline grains of the ZnO:Fe-4T film was more uniform and XPS spectrum of the O1s peak suggested that there were more oxygen vacancies in ZnO:Fe-4T film, which promoted forming free switching with a quite narrow distribution in the set voltage and HRS resistance. These results suggest that application of external magnetic fields during the process of ZnO:Fe film synthesis can improve the RS characteristics of ZnO thin films for stable and low power consuming memory devices.



Mg이 치환된 LiFePO₄의 자기 특성 연구

김민지*, 김삼진, 김철성

국민대학교 물리학과

1. 서론

현재 가장 많이 사용되고 있는 리튬이온전지의 양극활 물질인 LiFePO₄는 낮은 리튬 이온의 확산 속도와 높은 열전도율을 가지고 있으며, 이를 개선하기 위하여 이온반경이 작으면서 용점이 높은 Mg를 치환한 연구가 많이 이루어지고 있다.[1] 하지만 이를 위한 기본적인 물성 특성에 대한 연구가 미미한 실정이다. 이에 본 연구에서는 직접합성법으로 제조한 Mg-LiFePO₄ 시료의 결정학적 및 자기적 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

Mg-LiFePO₄의 분말 시료를 직접합성법으로 제조하였다. 출발 물질로 lithium carbonate (Li₂CO₃), iron(II) oxalate dehydrate (FeC₂O₄ · 2H₂O), Magnesium Acetate tetrahydrate (CH₃COO)₂Mg · 4H₂O, ammonium dihydrogen phosphate (NH₄H₂PO₄)를 사용 하였으며, 계산된 당량비로 혼합된 시료를 agate mortar에서 곱게 갈아준 뒤, Ar 가스 분위기에서 350 °C로 3 시간동안 하소 (Calcination) 를 하였다. 이 시료를 유압 압축기를 통하여 5000 N/cm²의 압력으로 압축하여 다시 마노에서 곱게 갈아준 뒤, 유압 압축기를 통하여 5000 N/cm²의 압력으로 압축한 후 700 °C에서 8 시간동안 열처리 하였다. Cu-K α 선을 사용하는 x-선 회절 실험(XRD)을 통해 시료의 결정학적 특성을 측정하였고, Rietveld 정련법을 이용한 full prof 프로그램을 통해 분석하였다. 진동 시료 자화율(VSM) 실험을 통하여 다양한 온도구간에서의 자화특성 변화를 측정하였다. 마지막으로 Mössbauer 분광 실험을 통하여 4.2 K부터 295 K까지의 Mg-LiFePO₄의 미시적인 자기적 특성을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

직접합성법으로 제조된 Mg-LiFePO₄시료를 x-선 회절(XRD) 실험 결과, *Pnma*의 공간군을 가지는 orthorhombic 구조로 분석되었다. 진동 시료 자화율(VSM) 실험 측정 결과, spin reorientation 현상이 일어나는 온도(*T_S*)와 상자성체에서 반강자성체로 상전이가 일어나는 Néel 온도(*T_N*)를 결정하였다. 이러한 시료의 spin reorientation 현상을 알아보기 위하여 Mössbauer 분광 실험을 4.2 K부터 295 K까지의 온도구간에서 진행 하였다. 4 × 4 Hamiltonian matrix를 대각선화 하여 분석한 결과, spin reorientation 현상을 확인하였던 온도 구간에서는 초미세 자기장 값과 전기 4중극자 분열치의 기울기의 변화를 확인 하였으며, 모든 온도 구간에서 Fe 이온이 Fe⁺² 상태인 것을 확인 하였다. 또한 Néel 온도 이하의 온도 구간에서는 뫼스바우어 스펙트럼이 8개의 비대칭 흡수선으로 관측되었다.

4. 참고문헌

[1] A Baran, S Mahlik, M Grinberg, P Cai, S I Kim and H J Seo, J. Phys. Condens. Matter

Na이 치환된 LiFePO₄의 Mössbauer 연구

고병욱^{1*}, 서정철², 김삼진¹, 김철성¹

¹국민대학교 물리학과

²원광대학교 반도체디스플레이학부

1. 서론

Olivine 계열의 리튬인산화물(LiMPO₄, M = 전이금속)은 대표적인 이차전지 양극물질로써, 이를 나노 사이즈로 줄이거나 탄소 코팅, 치환 등 전지 성능 향상을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있는 중이다. 최근 Li의 수요증가와 공급문제로 인한 가격급등으로 이를 대체할 수 있는 Na가 각광받고 있다. 본 연구에서는 리튬인산철(LiFePO₄)에 Na를 치환시킨 Na-LiFePO₄를 제조하고 이에 관한 자기적 특성을 연구하였다.

2. 실험방법

Na-LiFePO₄는 Li₂CO₃, Na(CH₃COO), NH₄H₂PO₄, FeC₂O₄ · 2H₂O를 시작물질로 직접 합성법을 통해 제조하였다. 시작물질을 혼합 후 마노 유발을 사용해 곱게 갈아 Ar 가스 분위기에서 350 °C로 4시간 동안 열처리(calcination)하였다. 열처리한 시료를 다시 한 번 Ar 가스 분위기에서 700 °C로 10시간 동안 열처리(sintering)하였고, 이렇게 제조한 시료의 결정학적인 구조를 분석하기 위해 X선 회절기(XRD)를 사용하였다. XRD 패턴을 Full Prof 프로그램을 사용하여 Rietveld 정련법으로 분석하였으며, 자기적 특성을 측정하기 위해 진동시료 자화율측정기(VSM)를 사용하여 온도에 따른 자화율 측정과 Mössbauer 분광 실험을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

X선 회절기(XRD)를 사용하여 측정한 패턴을 Full Prof 프로그램을 사용하여 Rietveld 정련법으로 분석한 결과, *Pmna* 공간그룹인 orthorhombic 구조로 확인되었다. 진동시료 자화율측정기(VSM)를 사용하여 온도에 따른 자화율 측정결과 반강자성에서 상자성으로 상전이 되는 Néel 온도(T_N) 및 spin-reorientation 온도(T_s)를 확인하였다. 또한 4.2 ~ 295 K까지 Mössbauer 분광 실험을 통해 초미세자기장(H_{hf})과 전기 4중 극자 분열치(ΔE_Q), 이성질체 이동치(δ)를 구하였으며, Na-LiFePO₄ 시료의 Fe이온의 이온가가 2+임을 확인하였다.

4. 참고문헌

- [1] X. Yin, K. Huang, S. Liu, H. Wang and H. Wang, J. Power Sources. **195**, 4308 (2010)26, 385401 (2014).

Rapid thermal annealing effect on magnetic property of thin-films consisting of amorphous CoSiB

Sol Jung^{1*} and Haein Yim¹

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

1. Introduction

Magnetic materials have been investigated in order to apply for high-density spin-transfer-torque magnetic random access memory (STT-MRAM) device and other next-generation magnetic recording media [1, 2]. In order to realize high-density, perpendicular magnetic anisotropy (PMA) and high coercivity are required [3, 4]. In 1975, the phenomenon of PMA had been first investigated by Iwasaki and Takemura in the Co/Cr films. And then Carcia, Meinhaldt and Suna established the importance of interfaces in the multilayer as the driving mechanism for PMA in 1985 [5, 7]. In particular, magnetic tunnel junctions (MTJs) with PMA have attracted great research interest for the high-density device (such as STT-MRAM)'s realization. Because the phenomenon of STT causes the current-induced magnetization. This current-induced magnetization switching (CIMS) occurs at a smaller critical current density in perpendicular MTJ (pMTJ) than that in in-plane MTJ [6-11]. PMA has two strong advantages for the next-generation devices (such as STT-MRAM): low J_c (current density) and high thermal stability. Both the low J_c and the high thermal stability are important issues for application of STT-MRAM. Moreover, amorphous materials has higher saturation magnetization than crystalline materials. This characterization is particularly useful for improving of capability of devices. Therefore, we studied magnetic and thermal properties of multilayers consisting of amorphous $\text{Co}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ with PMA. In this study, we prepared CoSiB/Pd multilayers and investigated their magnetic property and the annealing temperature dependence of the magnetic property.

2. Experiment

The chamber's base pressure was up to 2.0×10^{-7} Torr, and the working pressure was 2×10^{-3} Torr. All films were uniformed in size, $1.4 \text{ cm} \times 1.4 \text{ cm}$, and were deposited by ultra high-vacuum system at room temperature. The magnetic properties (M_s and H_c) of all thin-films were measured by a vibrating sample magnetometer. For studying the thermal property of multilayers, we annealed the multilayers with various temperatures (300, 400, and 500°C) for 1 hour.

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 annealing temperature dependence of the magnetic properties in these multilayers. When the thickness of CoSiB is 3Å, the coercivity has sevenfold increase at 300°C and this multilayer has no PMA after 400°C. In the $[\text{CoSiB} (5 \text{ Å})/\text{Pd} (14 \text{ Å})]_5$ multilayers, the coercivity shows the highest value at 300°C. Both two saturation magnetizations of two multilayer systems have the highest values at 300°C. Finally, we note that the coercivity and the saturation magnetization of the CoSiB/Pd multilayer system have a

close association with the annealing temperature. Moreover, the coercivity especially shows a sudden increasing at the specific annealing temperature.

4. References

- [1] S. S. P. Parkin, M. Hayashi and L. Thomas, *Science* 320, 190 (2008).
- [2] M. Nakayama, T. Kai, N. Shimomura, M. Amano, E. Kitagawa, T. Nagase, M. Yoshikawa, T. Kishi, S. Ikegawa and H. Yoda, *J. Appl. Phys.* 103, 07A720 (2008).
- [3] J. W. Cai, S. Okamoto, O. Kitakami and Y. Shimada, *Phys. Rev. B* 63, 104418 (2001).
- [4] S. Ikeda, K. Miura, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, M. Endo, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsudura and H. Ohno, *Nat. Mater.* 9, 721 (2010).
- [5] S. Ikeda and K. Takemura, *IEEE T. Magn.* 11, 1173 (1975).
- [6] N. Nishiura, T. Hirai, A. Koganei, T. Ikeda, K. Okant, Y. Sekiguchi and Y. Osada, *J. Appl. Phys.* 91, 5246 (2002).
- [7] F. Garcia-Sanchez, O. Chubykalo-Fesenko, O. Mryasov, R. W. Chantrll and K. Guslienko, *Appl. Phys. Lett.* 87, 122501 (2005).
- [8] S. Mangin, D. Ravelosona, J. A. Katine, M. J. Carey, B. D. Terris and E. E. Fullerton, *Nat. Mater.* 5, 210 (2006).
- [9] H. Meng and J-P. Wang, *Appl. Phys. Lett.* 88, 172506 (2006).
- [10] K. Yagami, A. A. Tulapurkar, A. Fukushima and Y. Suzuki, *Appl. Phys. Lett.* 85, 5634 (2002).
- [11] F. J. Albert, N. C. Emley, E. B. Myers, D. C. Ralph and R. A. Buhrman, *Phys. Rev. Lett.* 89, 226802 (2002).

Evaluation of spin orbit interactions and its application for complementary spin logic devices

Youn Ho Park^{1,2*}, Hyun-jun Kim¹, Joonyeon Chang¹, Heon-Jin Choi²,
Suk Hee Han¹ 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 spin-orbit interaction (SOI) is one of the major concerns in the field of spin transistor devices because spin precession can be controlled by SOI parameter [1]. In a semiconductor channel SOI is divided into two terms, Rashba and Dresselhaus terms. The Rashba spin-orbit interaction (RSOI) is induced by the structural inversion symmetry and the Dresselhaus spin-orbit interaction (DSOI) is resulted from bulk inversion asymmetry. Detection and application of RSOI has been researched, however, DSOI has not because these two effects are phenomenologically inseparable so extraction of individual field is not simple. The Rashba field is always perpendicular to the wavevector but the orientation of the Dresselhaus field depends on the crystal orientation of channel [2]. Thus, for the various crystalline orientations we measured the Shubnikov-de Haas oscillations in an InAs quantum well system. Values for the Rashba parameter of 6.73×10^{12} eVm and for the Dresselhaus parameter of 0.57×10^{12} eVm were sequentially extracted and also the gate dependences of the two parameters were determined. Using InAs quantum well system, gate control of conductance oscillation was experimentally presented [1]. Due to the different alignment between Rashba and Dresselhaus fields (B_R and B_D), the spin precession behavior depends on the crystal direction in a spin-FET structure. For example, the total field can be expressed as $B_R + B_D$ for the [110] direction and as $B_R - B_D$ for the [1-10] direction. When the channel length is 1 μm , the precession angle is 550° for the [110] direction and 460° for the [1-10] direction, respectively [3]. Using the two spin transistors with different crystal directions, which play roles of n- and p-type transistors in conventional charge transistors, we propose a complementary logic device.

References

- [1] H. C. Koo *et al.*, Science, 325, 1515 (2009).
- [2] Y. H. Park *et al.*, Appl. Phys. Lett. 103, 252407 (2013).
- [3] Y. H. Park *et al.*, J. Nanosci. Nanotechnol. 15, 7518(2015).

Helimagnetic Order in the Cubic FeGe Nanowires

Tae-Eon Park^{1*}, Byoung-Chul Min¹, Dongjea Seo², Hye Jung Chang³, Sungwook Kim²,
Youn Ho Park^{1,2}, Heon-Jin Choi², Joonyeon Chang^{1,4}

¹Center for Spintronics, Post-Si Semiconductor Institute, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

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

³Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

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

Chiral magnetic orders such as helical spin textures and skyrmions have attracted extensive attention because of their potential applications in magnetic data storage and spintronic devices. The helical ground state comes from the combination of the ferromagnetic exchange and Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI). The representative materials with such properties are non-centrosymmetric crystals with magnetic order such as Si- and Ge-based alloys with the B20 crystal symmetry (MnSi, Fe_{1-x}Co_xSi, FeGe, and MnGe). Especially, FeGe bulk crystal exhibits a relatively high helical transition temperature (~280 K) and long helix period (~ 70 nm). It is very interesting to see the influence of crystal size comparable to the helix period on the helimagnetic order. Here we study the helimagnetic order in the cubic FeGe nanowires with varying the diameter of nanowires.

The FeGe nanowires are synthesized by vapor-solid (VS) mechanism with GeCl₄ gas and FeI₂ powders in chemical vapor deposition (CVD) system. We investigate the temperature dependence of the magnetoresistance in the cubic FeGe nanowires with applying external magnetic fields longitudinal to the growth axis of the nanowire ([001]_{FeGe} direction). We observe a distinct response of magnetoresistance as a function of magnetic field, which indicates the presence of helimagnetism in the FeGe nanowire. We find that the helimagnetic and/or conical state in the FeGe nanowire is stable up to room temperature and maintained to higher fields in comparison with the bulk FeGe. At near room temperature (240 - 280 K), we observe that the resistance of the FeGe nanowire fluctuates in a narrow temperature range which is presumed as a consequence of the skyrmion state. This temperature range has been shifted toward a higher temperature as the diameter of the nanowires decreases, demonstrating the effect of low-dimensional confinement on the chiral magnetic orders.

Antiferromagnetic order induced by doping rare-earth metals in topological insulators

Jin-Su Kim^{*}, Soo-Whan Kim, Hyun-Sung Lee, Myung-Hwa Jung[†]

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

[†]E-mail: mhjung@sogang.ac.kr

There are many interests to achieve long-range magnetic order in topological insulators of Bi_2Se_3 or Bi_2Te_3 by doping magnetic transition metals such as Fe and Mn. The transition metals act as not only magnetic dopants but also electric dopants because they are usually divalent. However, if the doping elements are rare-earth metals such as Ce and Gd, which are trivalent, only magnetic moments can be introduced. We fabricated single crystals of Ce- and Gd- doped Bi_2Se_3 and Bi_2Te_3 with various doping contents [1-3]. We observed magnetic phase change from paramagnetic (PM) to antiferromagnetic (AFM) phase by doping. This PM to AFM phase transition agreed with the density functional theory calculations showing a weak and short-ranged AFM coupling via the intervening Te ions. At a critical point corresponding to the magnetic phase transition, exotic two-dimensional properties arising from topological surface state electrons were observed such as non-metallic behavior, large linear magnetoresistance, and quantum oscillations.

References

- [1] Sci. Rep. **5**, 10309 (2015)
- [2] App. Phys. Lett. **106**, 252401 (2015)
- [3] App. Phys. Lett. Accepted.

Field-driven domain wall motion under a bias current in Pt/[CoSiB/Pt]_N nanowires

M. H. Jung^{1*}, Y. H. Choi¹, Y. Yoshimura², K.-J. Kim², K. Lee³, T. W. Kim⁴, T. Ono², C.-Y. You⁵

¹Department of Physics, Sogang University, Seoul, 121-742, Korea¹Department of Physics, Sogang University, Seoul 121-742 Korea

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

³Institute of Physics, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55128 Mainz, Germany

⁴Department of Advanced Materials Engineering, Sejong University, Seoul 143-747 Korea

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

*E-mail: mhjung@sogang.ac.kr

Materials with perpendicular magnetic anisotropy (PMA) accelerates the developments of spintronics devices due to their low threshold current density, simple domain wall (DW) structure, and high spin-transfer-torque (STT) efficiency, compared with in-plane magnetic anisotropy (IMA) materials. They can be used as one of magnetic components in magnetic memory and logic devices by manipulating the magnetic domain wall (DW) motion. Thus, it is important to understand the DW dynamics in PMA materials.

We investigated the DW motion in two extreme regimes of DW flow and creep motions for the amorphous PMA multilayer with heavy metals, Ta/Pt/[CoSiB/Pt]_N nanowire structure, for different N and w [1]. The field-driven DW velocity in the flow regime was found to increase with N , which is ascribed to the enhancement of DW anisotropy energy with N . The DW motion under a constant bias current reveals that the DW motion prefers the current flow direction in thinner layer whereas the DW motion prefers the electron flow direction in thicker layer, implying that the SHE gradually decreases with increasing the layer thickness while the STT is constant. We also found that the relative strength of two torques is different depending on the dynamic regime of DW

Reference

- [1] Y. H. Choi, Y. Yoshimura, K.-J. Kim, K. Lee, T. W. Kim, T. Ono, C.-Y. You, and M. H. Jung, Sci. Rep. Accepted (2016).

Magnetic anisotropy properties of tetragonal and cubic Mn₃Ga thin films

H. W. Bang^{1*}, W. S. Yoo¹, C. M. Kim¹, S. H. Lee¹, J. Gu², M. H. Jung^{1*}

¹Department of Physics, Sogang University, Seoul 121-742 Korea

²Department of Physics and Astronomy, California State University, Long Beach, CA 90840, USA

*E-mail: mhjung@sogang.ac.kr

Mn₃Ga has received renewed attention in recent years because of the variation of magnetic properties depending on the crystal structure. One is a triangular antiferromagnet for the hexagonal (D0₁₉) phase, which is easily obtained by arc melting. The other is a ferrimagnet for the tetragonal (D0₂₂) phase, which is achieved by annealing the hexagonal material at high temperatures. Another is an antiferromagnet for the cubic Heusler (D0₃) phase, which is synthesized using a nonequilibrium technique, but has not been studied in experiments. The cubic phase has been predicted to exhibit completely compensated ferrimagnetic spin order with a half metallic band structure.

This report focuses on the tetragonal and cubic Mn₃Ga thin films grown on MgO(100) substrates without any buffer layer by DC/RF magnetron sputtering method. The optimal deposition conditions for tetragonal phase were found to be 400°C of deposition temperature, 35 W of RF power, and 5 mTorr of Ar gas pressure in our sputtering system. The tetragonal Mn₃Ga films exhibit high perpendicular magnetic anisotropy, low saturation magnetization, and high spin polarization. Importantly, we first succeeded to fabricate the cubic Mn₃Ga films as varying the RF power. The cubic Mn₃Ga is an antiferromagnet with the Neel temperature $T_N = 420$ K, while the tetragonal Mn₃Ga is a ferromagnet with $T_C = 830$ K. Under certain conditions between two phases, there is a mixed phase of tetragonal and cubic structures, where we found a shift of hysteresis loop due to the exchange bias effect between the ferromagnetic/tetragonal and antiferromagnetic/cubic Mn₃Ga phases.

CoSiB/Pt/CoSiB 구조에 따른 Hall effect 연구

김영광*, 이하나, 김태완

세종대학교 나노신소재공학과, 서울 광진구 군자동 98, 143-747

큰 신호전압과 열적 안정성 확보를 중요시하고, 기록매체나 센서로 이용하기 위하여 수직자기이방성에 기반을 둔 자기터널접합이 바로 STT-MRAM이며, 스핀전달토크(Spin Transfer Torque)라고도 불리운다.

본 연구에서 sandwich구조로 수직자기이방성을 확인하기 위하여 CoSiB/Pt/CoSiB 형태로 박막을 제작하였다. 실험은 Ta50/Pt30/CoSiB15/Pt(x)/CoSiB15/Pt30 Å으로 이루어지며,

X = 8, 14, 17, 24, 27, 32 로 변화를 주며 실험을 진행하였다. Ta의 deposition은 2.2 Å/sec, CoSiB의 deposition은 2.2 Å/sec, Pt의 deposition은 2.4 Å/sec이며, 증착은 magneto-sputtering system을 이용하여 제작하였으며, Initial pressure는 6×10^{-8} 로 공정을 잡았고, working pressure는 3.5×10^{-3} 로 유지하여 제작하였다.

제작 후 데이터 결과로 볼 때, X = 8일 경우가 가장 뚜렷한 수직자기이방성의 특성을 나타내고 있음을 볼 수 있었다. 이러한 수직자기이방성의 특성을 가지고 앞으로 Hall effect효과를 활용한 Hall Sensor 시장을 개척해 볼 가능성을 열어본다.

Estimation of Rashba parameter using in-plane field induced magnetoresistance

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 136-791, Korea

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

The Rashba spin-orbit interaction (SOI) in quantum well channel has great functional potential due to controllability by gate voltage, so it is discriminated from other systems. To quantify spin related phenomena in such a system, it is important to know exact strength of Rashba SOI. Usually Shubnikov-de Haas (SdH) oscillation is measured or potentiometric measurement using ferromagnetic contact at the center of channel is used to estimate the Rashba SOI parameter. In this research, we considered interaction between Rashba SOI field and in-plane magnetic field to observe strength of Rashba SOI. Measuring magnetoresistance induced by the interaction, we could obtain Rashba SOI parameters depending on gate voltage considerable to other methods.

Linear-chain assemblies of iron oxide nanoparticles

Min-Kwan Kim^{*}, Prasanta Dhak, Jae Hyeouk Lee, Miyoung Kim and Sang-Koog Kim

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

1. Introduction

To date, most magnetic nanoparticle applications have focused on spherical primary nanoparticles or nanoparticle assemblies with aspect ratios close to 1, while utilization of magnetic nanowires and linear-chain assemblies of magnetic nanoparticles has been very much limited. However, 1D magnetic structures have the potential to open up new applications in biomedicine, as their high aspect ratio results in a much larger dipole moment, allowing their manipulation with lower magnetic field strengths. Flexible long chains of magnetic particles could also be of importance across a wide range of applied materials technologies. Additionally, it is important to achieve structural precision for optimization of properties and functions. Electronic and plasmonic coupling between metallic nanoparticles has been known to yield novel electronic and optical properties. Such coupling is critically dependent on structural parameters such as inter-particle spacing and the spatial organization of individual nanoparticles. In comparison with higher-order nanostructures, 1D nanoparticle chains are more expedient building blocks for circuits in nanoelectronics, optoelectronics, and biosensors. Minimizing structural irregularity is essential: a large gap can break the coupling along a chain, and branching can cause a short circuit. Therefore, the investigation of magnetic particle assembly in linear chain-like structures is of great interest among concerned researchers.

Several methods, often utilizing polymer templates to direct the assembly, have been employed to form nanoparticle chains [1, 2]. For example, there have been many studies on nanoparticle self-assembly at interfaces within and on the surfaces of block co-polymers. Our current focus is template-free self-assembly of magnetic nanoparticles, which approach offers the potential for control and tunability of the self-assembly process without the use of templates.

2. Results

In this study, we successfully synthesized high-uniformity 200 nm monodisperse iron oxide nanoparticles and discovered interesting linear-chain self-assemblies that can be enforced from the vortex state of each iron oxide nanosphere.

3. Discussion

One of our recent investigation showed that the exchange binding interaction is the dominant factor in the assembly of nanoparticles with a 3D magnetic vortex, and that the dipolar binding interaction inhibits increasing numbers of particles in the linear configuration [20]. Also, it was interesting to observe that the value increases with increasing numbers of magnetic nanoparticles participating in the linear-chain formation. This observation could be explained by the fact that there exist four easy axes energetically equivalent to each other in the Fe₃O₄ nanosphere, which implies that there are three other easy axes also in the linear-chain direction. Magneto-crystalline anisotropy binding interaction hinders the formation of the linear chain in a specific easy axis,

due to the existence of freedom at the other three binding sites.

4. Conclusion

We demonstrated the linear assembly of 200 nm iron oxide nanoparticles and the relation to the 3D magnetic vortex structure and binding energy. From the micromagnetic simulation analysis, it is clear that the intra-exchange interaction has an important role in modifying the internal spin configuration of the core of an iron oxide nanosphere. In this regard, it is helpful to reduce the magnetic binding energy necessary for magnetic nanoparticle assembly. We believe that this study provides valuable insights into the interplay between particles' assembly patterns and their spin-vortex magnetic properties.

5. References

- [1] R. E. C. Schmidtke, R. Zierold, A. Feld et al., *Langmuir* 30 11190–11196 (2014).
- [2] P. J. Krommenhoek, J. B. Tracy, *Part. Part. Syst. Charact.* 30 759 (2013).
- [3] M. K. Kim, P. Dhak, H. Y. Lee et al., *Appl Phys Lett* 105 232402 (2014).

현탁액 속에서 자기장에 대한 반응을 통한 Ni 디스크의 종횡비에 따른 자화상태의 평가

진선일¹, 김찬희¹, 김동영¹, 윤석수^{1*}, Sri Ramulu Torati², 김철기²

¹안동대학교 물리학과

²대구경북과학기술원 신물질과학전공

수십 또는 수백 나노 직경의 자성 디스크의 경우 종횡비(길이/직경 비)에 따라 in-plane, out-of-plane, vortex 등 다양한 바닥 자화 상태를 보여준다. 본 연구에서는 트랙에칭된 폴리카보네이트 형판에 Au와 Ni 다시 Au를 순서대로 전기도금하는 방법으로 Au/Ni/Au 3층 와이어를 제작하였다. 제작된 와이어의 직경은 약 280 nm 였으며 약 2 μm 길이의 양쪽 Au 와이어 가운데에 0.2에서 1.2 사이의 다양한 종횡비를 가진 Ni 디스크가 형성되도록 도금시간을 조절하였다. 도금 후 폴리카보네이트 형판을 용해시켜 Au/Ni/Au 3층 와이어를 정제한 후 물 속에 분산시킨 현탁액을 제조하였다. 균일한 자기장을 가했을 때 현탁액 속의 Au/Ni/Au 3층 와이어들의 반응을 광학현미경을 이용하여 동영상으로 기록하였다. 현탁액 속에서 3층 와이어들은 양 끝에 있는 긴 Au 와이어로 인해 브라운 운동이 약하게 일어나며 광학현미경으로도 관측이 가능하였으며, 수백 가우스 정도의 자기장을 가했을 때 Ni 층의 자기모멘트가 자기장에 의해 받는 토크로 인해 3층 와이어들이 자기장에 따라 회전하는 것이 관찰 되었다. 종횡비가 0.7 보다 Ni 디스크를 가진 Au/Ni/Au 와이어의 경우 모든 와이어가 자기장에 수직 방향으로 정렬하였다. 종횡비가 0.7에서 0.8 범위인 시편인 경우 자기장에 대해 수직과 수평방향으로 정렬하는 와이어가 동시에 존재하였으며 종횡비가 이보다 더 큰 경우 수평방향으로 정렬하는 와이어만 존재하였다. 이 결과로부터 280 nm 직경의 와이어 경우 종횡비가 증가함에 따라 자화상태가 in-plane에서 in-plane과 out-of-plane의 공존, out-of-plane이 된다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 제시한 방법은 Ni 디스크의 종횡비에 따른 자화 상태를 쉽게 평가할 수 있는 방법을 제공하므로 다양한 직경의 나노 자성 와이어에 대해 종횡비에 따른 자화상태를 연구하는데 유용할 것으로 기대된다.

Detrimental effect of interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction on perpendicular spin-transfer-torque magnetic random access memory

Peong Hwa Jang^{1*}, K.-J. Lee^{1,2}

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

²KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul 136-713, Korea

1. 서론

Recently, perpendicular magnetic anisotropy based spin-transfer torque magnetic random access memory (STT-MRAM) is drawing a great attention to researchers studying MRAM due to its advantages of having the density of DRAM, fast response time of SRAM and the non-volatility of flash memory. [1]

Moreover, recent studies has shown that the spin orbit coupling, which results in the interfacial perpendicular magnetic anisotropy, and the inversion symmetry breaking at the interface between free layer and heavy metal of magnetic tunnel junction (MTJ) results in antisymmetric exchange interaction named as Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI).[2]

We numerically studied the effect of DMI and size of the cell on switching current density at room temperature and thermal stability at 0K which are the important factors for commercialization of STT-MRAM. [3] We used for exchange stiffness constant, for anisotropy constant, for saturation magnetization and for DMI constant for cells with diameter of.

2. 실험방법과 결과

First, we studied the effects of DMI and cell diameter on the thermal stability that is a good parameter for determining the retention time of the data. According to our study with String method [4], the larger DMI constant lead to the smaller thermal stability as shown on Figure 1(a).

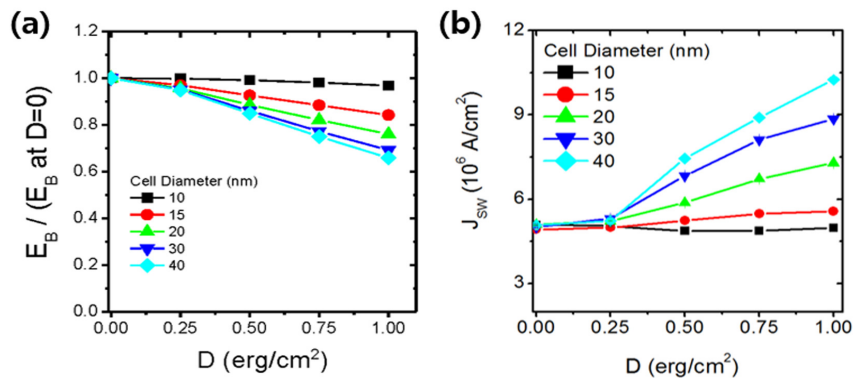


Fig. 1. (a) Normalized thermal stability as a function of DMI constant.

(b) Switching current density as a function of DMI constant. Both thermal stability and switching current density is less effected by DMI constant as the diameter of the cell is decreased.

Next, we calculated the switching current density at room temperature as a function of DMI constant. We found that the current density increased as DMI constant got larger due to its tendency to keep its skyrmion number maintained. [5]

3. 고찰 및 결론

In conclusion, we showed that DMI deteriorates both the switching current and the thermal stability of the device. Hopefully, the DMI effect vanished as the device diameter, as required in the commercialization of STT-MRAM, got smaller.

4. 참고문헌

- [1] A V Khvalkovskiy et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **46**, 139601 (2013).
- [2] T. Moriya, Physical Review **120**, 91 (1960).
- [3] J. Z. Sun et al., Phys. Rev. B **88**, 104426 (2013).
- [4] Weinan E, Weiqing Ren, Eric Vanden-Eijnden, J. Chem. Phys., **126**, 164103.
- [5] R. S. Ward, Lett.Math.Phys. **35** (1995) 385-393.

Electrical synchronization of two spin-torque nano oscillators

Hee Gyum Park^{*}, Chaun Jang, Byoung-Chul Min and Kyung-Ho Shin

Center for spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

Spintronics is being developed to overcome the limitation of conventional technology. One of the key applications of Spintronics is the spin-torque nano-oscillator (STNO) based on the transfer of spin angular momentum from spin-polarized current to the local magnetization of nano-magnetic structures. The spin-transfer torque can be used to generate a microwave signal under certain condition of external magnetic field and DC current [1, 2]. The STNOs have a great potential for a microwave generator [3], but have critical disadvantages such as lower power and broad linewidth which hinder the realization of STNO-based wireless communication [4].

In order to overcome these disadvantages, we have studied the synchronization of serially-connected STNOs consisting of two nano-scale magnetic tunnel junctions with elliptical shape. The samples are deposited using both DC and RF sputtering on the oxidized Si substrate. The samples are thereafter annealed at a temperature of 350 in a magnetic field of 4 kOe. A microwave signal was measured using spectrum analyzer. We observe two distinguished peaks with a small power (1.2 nW) at a low bias current (I_{DC}) which implies the microwave peaks originate from two individual junctions. As the current increases, the two distinguished peaks are merged at I_{DC} 1.6 mA, and the microwave power is increased to 4.8 nW. The broad linewidth of the merged peak indicates the frequency fulling or partial synchronization of two oscillation peaks with power enhancement.

References

- [1] J. C. Slonczewski, J. Magn. Magn. Mater. 159, L1 (1996).
- [2] L. Berger, Phys. Rev. B 54, 9353 (1996).
- [3] S. I. Kiselev *et al.*, Nature 425, 380 (2003).
- [4] H. S. Choi *et al.*, Sci. Rep. 4, 5486 (2014).

Enhancement of Saturation Magnetization through Mechanical Pressure on $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ during Sintering Process

Min-Sun Jang^{1*}, Seung-Hyub Baek², Ki-Suk Lee¹

¹School of Materials and Science Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST),
Ulsan 689-798, Republic of Korea

²Electronic Materials Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST),
Seoul 136-791, Republic of Korea

I. Introduction

In recent years, the ferrimagnet insulator- $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (YIG) has been attracted much attention due to its outstanding spin-caloritronic effects which can be applicable to a future green energy source [1, 2]. Subsequently, many researchers have been focused on the way to enhanced magnetic properties of YIG by finding optimized annealing temperature [3], doping rare-earth materials [4], developing novel fabrication methods such as a pulsed laser deposition [5], an RF/DC sputtering [6], a spin coating [7], and a sol-gel method [8]. Here, we develop the novel process in the sol-gel method for high saturation magnetization (M_s) value and homogeneous texture by using the external mechanical pressing during sintering process. In this presentation, we report that the temperature of heat treatment and the external mechanical pressure can play a critical role for the magnetic properties of YIG.

II. Experiments

We prepared raw materials of the yttrium nitrate ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 99.99%), iron nitrate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 99.99%), citric acid ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$). The solution of the citric acid was dissolved into 100mL of distilled water at room temperature for 18 hours with stirring speed of 300-rpm. The solution of the citric acid was maintained at 1pH. 100 mL of citric acid was added to the yttrium nitrate ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 99.99%) and the iron nitrate ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 99.99%) in regular sequence. The resulting solution was followed by stirring for 24 hours at 80 °C to obtain a homogenous gel. And then the powder YIG was obtained from the grinding the completely dried solution. The calcination process was carried out at 850 °C in air for 2 hours at a heating rate of the 7.7 °C/min to get rid of residual impurities and the crystallization. After calcined process, we did the pressing process. Lastly, sintering has been done for 4 hours. X-ray Diffractometer (XRD; Bruker AXS, D8 ADVANCE) was used for finding phase identifications of the composite. In addition to, the elemental composition of sample surface was carried out to measure the kinetic energy of each material with a beam of the X-ray photoelectron spectroscopy (XPS; Thermo Fisher, K-alpha). Moreover, bubble shaped microstructures of the pressed YIG were obtained by Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM; Hitachi, S-4800). The high magnetic properties of YIG; before and after pressing process were measured using SQUID Vibrating Sample Magnetometer (SQUID VSM; Quantum Design, Model 6000) at room temperature (25 °C).

III. Results & Discussion

In order to understand the effect of external mechanical pressing, we compared the microstructure and M_s

value of YIG samples after the sintering process with and without the mechanical pressing. As reported in the previous studies [9], heat treatment in the sol-gel method affects mainly the microstructure evolution and enhancement of magnetic properties. Here, we found that the mechanical pressing also improves materials properties by reducing porosities and being homogeneous grain size which is verified though FESEM images. From the XRD patterns which show good agreements with the Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS number # 43-0507) of the pure YIG. Because YIG-after pressed is well matched up with standard's peak position. From XPS spectrum, however, we found different background value of metal oxides and relatively reduced surface area from pressed- YIG which means the grain size of pressed-YIG is larger and uniformed than previously. Furthermore, magnetic properties are changed dramatically through the pressing process: A huge enhancement of M_s (> 3 times than it after the sintering process without the pressing) was observed in the VSM hysteresis loop. Consequently, we found that the pressing process can play a crucial role for the magnetic properties of YIG.

IV. References

- [1] M. Hatami et al., Phys. Rev. Lett. 99, 066603 (2007).
- [2] X. Yuet al., Nat. Mat.**15**, 383 (2016).
- [3] D.T.T. Nguyet et al., J. Alloys Comp. **541**, 18 (2012).
- [4] S. Promsuy et al., J. Sol-Gel Sci Technol. **78**, 187 (2016).
- [5] N. B. Ibrahim et al., J.Magn.Magn.Mater.**220**, 183 (2000).
- [6] Y. M. Kang et al., J. Appl. Phys.**97**,10A319(2005).
- [7] A. Kiriara et al., Nat. Mat.**11**, 686 (2012).
- [8] F. W. Aldbea et al., J. Sol-Gel Sci Technol.**71**, 31(2014).
- [9] R. Kuchi et al. Nanosci.Nanotechnol.Lett.**7**, 738 (2015).

Structural characterization and magnetic properties of $\text{Bi}_{0.84}\text{La}_{0.16}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$

P. T. Tho^{1*}, D. H. Kim¹, T. L. Phan¹, M. H. Phan², E. Clements² and B. W. Lee^{1†}

¹Department of Physics and Oxide Research Center, Hankuk University of Foreign Studies,
Yongin 449-791, South Korea

²Department of Physics, University of South Florida, Tampa, Florida 33620, USA

[†]Electronic mail: bwlee@hufs.ac.kr

Perovskite-typed bismuth ferrite (BiFeO_3) belonging to the $R3c$ space group is a multiferroic material exhibiting simultaneously ferroelectric and antiferromagnetic (AFM) properties above room temperature. In spite of having weak-ferromagnetic order due to Dzyaloshinsky-Moriya interactions, cycloid spin structures found in BiFeO_3 leads to zero net magnetization. It has been found that replacing Bi by a rare-earth or alkaline-earth element, and Fe by a transition metal element can improve remarkably the physical properties of BiFeO_3 . Dealing with this problem, we prepared $\text{Bi}_{0.84}\text{La}_{0.16}\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ (BLFTO) ($0 \leq x \leq 0.1$) compounds and then studied the influence of the Ti doping on their structural and magnetic properties. The BLFTO samples were fabricated by solid-state reaction at 1200 °C in air for 12 h. The structural analyses were based on an X-ray diffractometer, Raman scattering spectroscopy, and the Rietveld method upon the GSAS-II program. Magnetic measurements were performed on a superconducting quantum interference device (SQUID) magnetometer. All of these investigations were carried out at room temperature.

The results of structural analyses indicated a gradual change from the rhombohedral structure to tetragonal one along with the shrink of lattice volume when the Ti-doping concentration increases. This is in good agreement with the variation tendency of Raman scattering spectra, and with the results obtained from Rietveld refinement, indicating the decrease of structural distortion with increasing Ti content. Particularly, magnetization measurements revealed a magnetic phase separation with the coexistence of AFM and ferromagnetic (FM) phases. While AFM interactions are predominant in the samples $x = 0, 0.04$ and 0.06 , the others show the domination of the FM interactions. These are related to the structural changes of the rhombohedral and tetragonal phases in BLFTO. According to the results of Rietveld refinement, we found that the AFM phase is mainly from the rhombohedral phase. The change from the AFM to FM phases can be explained to be due to the rotation of oxygen in the octahedron, and the change of the bonding angle Fe-O-Fe in the rhombohedral structure.

Influence of annealing temperature on structural and magnetic properties of LaMnO₃ nanoparticles

Pardi S. Tola^{*}, D. H. Kim, T. L. Phan and B. W. Lee[†]

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

[†]Corresponding author: bwlee@hufs.ac.kr

It is known that stoichiometric LaMnO₃ is an A-type antiferromagnet with the Néel temperature $T_N = 135\sim 140$ K. Recently, the thin films and nanoparticles based this material have attracted intensive interest because its magnetic and electrical properties can be controlled in a large temperature range from 60 to 300 K upon tuning the deficiency or excess of oxygen in non-stoichiometric compounds of LaMnO_{3±δ}, leading the mixed valence of Mn²⁺, Mn³⁺ and/or Mn⁴⁺ ions. Particularly, with non-stoichiometric compounds, one can easily fabricate transparent ferromagnetic conducting thin films. To get more insight into this problem, we fabricated LaMnO₃ nanoparticles (NPs), and then studied the influence of annealing temperature on structural and magnetic properties of NPs. Here, LaMnO₃ NPs were synthesized from precursors of lanthanum (III) acetate sesquihydrate, and manganese (II) acetate tetrahydrate by using a sol-gel method. As-prepared NPs were then annealed at different temperatures (T_{an}) of 600-1550 °C for 4 h in air. Crystal-structural analyses based on X-ray diffraction patterns revealed the samples crystallized in a rhombohedral structure, with the ratio of the lattice parameters c/a varying from ~ 2.3 for $T_{an} = 600$ °C to 2.6 for $T_{an} = 1550$ °C. By changing T_{an} , we fabricated LaMnO₃ particles with average sizes of 16-3000 nm, which were estimated by using the Scherrer equation and scanning electron microscope. Magnetization measurements indicated their ferromagnetic-paramagnetic phase transition temperature (T_C) can be tuned in the range between 43 and 260 K. At 15 K, the saturation magnetization (M_s) and coercivity (H_c) values are tunable in the ranges of 4~84 emu/g and 25~1300 Oe, respectively. We think that these changes in magnetism of NPs versus T_{an} are due to the changes in the concentration of Mn³⁺ and Mn⁴⁺ ions, lattice parameters, local geometrical structures, and grain sizes.

Physical properties of oxygen-annealed SrFe_{0.8}Co_{0.2}O_{2.5} thin films

Joonhyuck Lee^{1*}, Yunhyeong Jang¹, Jinhyung Cho², Inwon Lee³, Hyoungjeen Jeon¹

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

²Department of Physics Education, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

³Global Core Research Center for Ships and Offshore Plants, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

Transition metal oxides are interesting materials due to diverse physical properties such as superconductivity, ferromagnetism and metal-insulator transition. These properties are often induced by the number of electrons in the transition metal ions. Cation doping and control of oxygen contents are used to change physical properties of the materials. In this work, we studied changes of physical properties of SrFe_{0.8}Co_{0.2}O_{2.5}(SFCO) epitaxial thin films. SFCO epitaxial thin films have been grown on (001) (LaAlO₃)_{0.3}-(SrAl_{0.5}Ta_{0.5}O₃)_{0.7} substrates by pulsed laser deposition. To find the optimal growth condition, we changed substrate temperature and oxygen partial pressure. We used θ -2 θ scans to determine the structure of the films. From full width half maximum (FWHM) values of rocking curves, we could find the film with best crystallinity. The film, grown in 600°C and 100 mTorr, showed the narrowest FWHM. We found the reduction of *c*-axis lattice constant from each films annealed in oxidative condition ($PO_2 = 600$ Torr) at different temperature. Transport measurements confirmed reduction of electrical resistivity after annealing. Also, SQUID data showed clear ferromagnetism. In short, we clearly demonstrated annealing in oxidative condition significantly changed materials' properties via oxidation. This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) and grant funded by the Korea government (MSIP) through GCRC-SOP (No. 2011-0030013). Also, this research was supported by the Basic Science Research Program through the NRF funded by the Ministry of Education (NRF-2015R1D1A1A02062175).

La_{0.88}Sr_{0.12}MnO₃ 박막의 증착 조건 및 물리적 특성 연구

류상균^{1*}, 이준혁¹, 조진형², 진형진¹

¹부산대학교 물리학과, 부산 46241

² 부산대학교 부산대학교, 부산 46241

La_{1-x}Sr_xMO₃ (LSMO)는 La과 Sr의 화학적 조성비에 따라 다양한 전기적, 자기적 성질을 가진다. 특히 $0.1 \leq x \leq 0.15$ 에서의 LSMO는 강자성 부도체 (Ferromagnetic Insulator) 성질을 보이고, 홀 도핑에 따라서 상전이 온도 (T_c)가 급격하게 변화한다고 알려져 있어 많은 관심을 받고 있다. 본 실험에서는 펄스 레이저 증착법 (Pulsed laser deposition)을 이용하여 La_{0.88}Sr_{0.12}MnO₃ 박막 성장 조건과 성장시킨 박막의 전기적, 자기적 성질에 대해서 알아보았다. La_{0.88}Sr_{0.12}MnO₃ 박막 성장 조건을 알아보기 위해서 lattice mismatch가 -1.2%되는 (001) La_{0.3}Sr_{0.7}Al_{0.65}Ta_{0.35}O₃ 기판을 이용하였다. 최적 증착 조건을 찾기 위해서 증착시 산소 분압과 온도를 변화시켜 가면서 증착하였으며, x-선 회절법 (X-ray diffraction)을 이용하여 상 확인 및 결정성을 확인하였다. 특히, 각 박막의 rocking curve 반치폭을 비교하여 최적의 증착 조건이 600°C, 100 mTorr 임을 찾았다. 온도에 따른 비저항을 측정하여 전기적 특성을 확인하였고, 초전도 자력계를 이용하여 최적 조건에서 성장한 박막의 자기적 특성을 확인하였다. 이 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부 및 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015R1D1A1A02062175)

2중 공진을 이용한 비접촉 전류센서

유승민*, 장기영, 백성문, 신광호

경성대학교 정보통신공학과

전력의 효율적인 사용과 에너지 절감을 위한 비접촉 전류측정에 대한 요구가 커지고 있다. 비접촉으로 전류를 측정하는 방법으로는 광학적인 방법을 이용하거나 Bluetooth나 ZigBee, WiFi 등의 근거리통신을 이용하는 방법, 그리고 LC공진을 이용하는 방법 등이 제안되고 있다[1-4]. 이 중에서 LC공진을 이용하는 방법은 전류측정과 신호전송을 수동적인 방법으로 구현할 수 있기 때문에 측정시스템을 보다 단순하고 작게 할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 일반적으로 LC공진을 이용하여서 비접촉 센서시스템을 구현하는 경우, 측정 대상이 되는 물리량, 본 연구에서는 전류, 이외에도 온도나 진동에 의해서 영향을 받을 뿐 아니라 측정 거리의 변화에도 민감하게 영향을 받는 문제점이 있다. 그 이유는 LC공진을 이용하는 비접촉 센서의 경우, LC공진주파수의 변화가 측정 대상 물리량에 의존함과 동시에 자기적으로 결합된(Magnetically coupled) 센서측 공진소자와 수신기측 공진소자간의 결합계수에도 의존하기 때문인데, 공진소자간의 결합계수는 두 공진소자사이의 이격 거리에 반비례한다.

본 연구에서는 수신기의 LC공진자와 결합하는 센서측 LC공진자를 2중 공진회로로 구성함으로써 측정 거리와 진동 등에 영향을 받지 않고 전류를 정확하게 측정할 수 있는 2중 LC 공진을 이용한 비접촉 전류센서를 제안한다. 본 연구에서 설계/제작한 비접촉 전류센서는 전류의 세기에 비례하는 자속을 LC공진회로에 전달하는 자기회로와, 전류(자계)에 의해서 LC공진주파수가 변화하는 부분과, 공진주파수가 전류(자계)에 의존하지 않는 부분을 직렬로 연결하여서 구성된다. 본 발표에서는 제안한 비접촉 전류센서에 대한 해석적 모델링, 설계/제작 방법, 비접촉 전류 측정 결과를 요약하여서 발표한다.

참고문헌

- [1] Hironao Okada, Toshihiro Itoh, "Development of Battery-Less Wireless Current Sensor Node Utilizing Charging Time of Capacitors with Wide Measurement Range", Wireless Sensor Network, pp. 223-228 (2013).
- [2] Edwin Chobot, Daniel Newby, Renee Chandler, Nusaybah Abu-Mulaweh, Chao Chen, Carlos Pomalaza-Ráez, "Design and Implementation of a Wireless Sensor and Actuator Network for Energy Measurement and Control at Home", International Journal of Embedded Systems and Applications (IJESA) Vol.3, No.1, pp. 1-15 (2013).
- [3] Andrew J. DeRouin, Brandon D. Pereles, Thadeus M. Sansom, Peng Zang, Keat Ghee Ong, "A Wireless Inductive-Capacitive Resonant Circuit Sensor Array for Force Monitoring", Journal of Sensor Technology, Vol. 3, pp. 63-69 (2013).
- [4] Joseba Zubia et al. "Design and Development of a Low-Cost Optical Current Sensor", Sensors, Vol. 13, pp. 13584-13595 (2013).

Comparison between Finite Element Method and Micromagnetics for Integrate Magnetic Concentrator

Ki-Seung Lee^{1*}, Kwang-Ho Shin², Chun-Yeol You¹

¹Department of Emerging Materials Science, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology,
Daegu 42988, Korea

²Department of Information & Communication Engineering, Kyungsung University, Busan 48434, Korea

Recently, the magnetic sensor is widely applied to the automobile and many electrical devices. And the markets have required low power consumption, high detectivity, linearity, three-dimensional measurement ability, small package size and low cost. For these requirements, we employed the Integrate Magnetic Concentrator(IMC) and the Giant Magnetoresistance(GMR) sensor. Moreover, the micromagnetic simulations are essential tools in the field of the magnetic research. Before we carried out an experimental procedure, we performed simulations for IMC and GMR. We used two kinds of the numerical simulation: one is the Finite Element Method(FEM) and the other is the Mumax3. We employed the magnetic parameters as Py for IMC and GMR thin film and also the various shapes of IMC and GMR sensor the same as the actual size. We obtained result respectively for FEM and Mumax3 and realized that both results are quite different, which will be described and discussed on this paper.

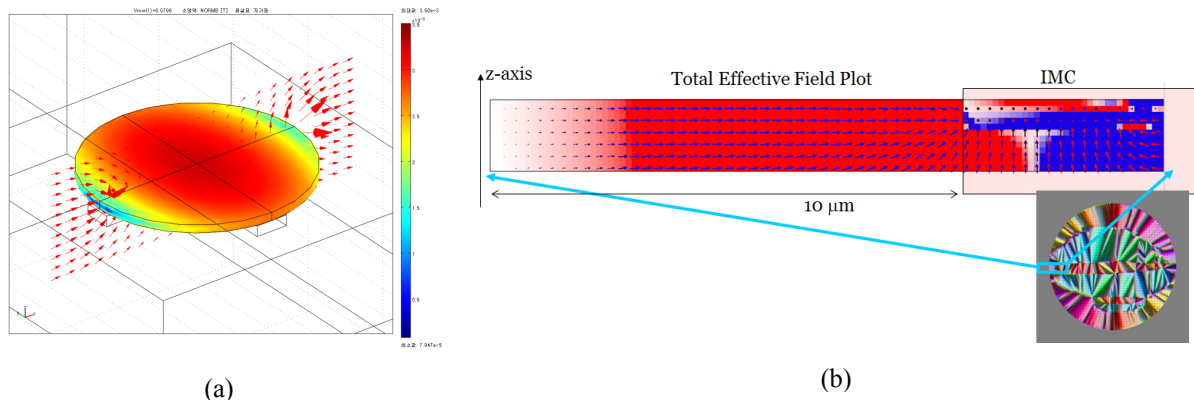


Fig. 1. (a) Magnetic field distribution around an IMC. This figure shows the magnetic field distribution around an disk shaped IMC as an example of FEM simulation results. Since there is no way to express magnetic domains in FEM simulation, the magnetic material of the disk was supposed to be homogeneous. (b) Micromagnetics simulation result of IMC by Mumax3 indicated multi-domain structures at small field region.

MFL 비파괴검사 시스템에서 군집 결함에 의한 결함 검출신호 왜곡에 관한 연구

김희민^{1*}, 박정훈², 박관수¹

¹부산대학교

²LG전자

1. 서론

일반적으로 지하에 매설된 가스배관에 발생한 결함 유무를 판별하는 방법으로 자기누설 신호를 탐지하는 MFL(Magnetic Flux Leakage) 비파괴검사 기법을 사용된다[1-2]. 지하 매설 배관은 높은 가스 운용압력과 지압, 습기와 같은 외부환경에 노출되어 있어 금속부식과 같은 결함들이 단일적으로 발생할 가능성이 높고 때로는 군집하여 발생한다[3]. 이러한 군집 결함들에 의해 발생한 자기누설 검출신호는 단일결함 신호와 비교하여 왜곡된 형태를 가지며, 왜곡된 결함 신호의 분포는 최종적으로 결함의 형상 추정을 어렵게 한다. 본 논문에서는 30인치 직경의 배관을 기준으로 다중 결함의 배치 형태와 거리를 달리하며 신호 패턴을 분석하고, 인접한 결함의 분리 가능 여부와 신호 보정을 고려한 개선된 결함 판정 알고리즘을 제안하였다.

2. 실험방법과 결과

그림 1은 자기누설 비파괴검사 시스템의 기본적인 구조와 동작원리를 나타낸다. 이 시스템의 구조는 가스 배관을 강력하게 착자시키기 위한 자계 인가 시스템과 결함에 의해 발생하는 누설 자기장 신호를 측정하기 위한 센서 시스템으로 구성된다. 그림 2는 누설 자기장을 검출하는 홀센서의 위치와 다중결함에 의한 자기누설 신호의 왜곡정도를 분석하기 위해 모델링한 이중결함의 형상과 위치를 나타낸다. 본 논문에서는 다중 결함의 위치에 의한 영향을 확인하기 위해 그림 2와 같이 배관 표면에 설정된 기준점으로부터 축 방향과 원주 방향의 길이를 Δx 와 Δy 로 정의하고 결함위치의 이동에 따른 자기누설 신호의 변화를 고찰하였다.

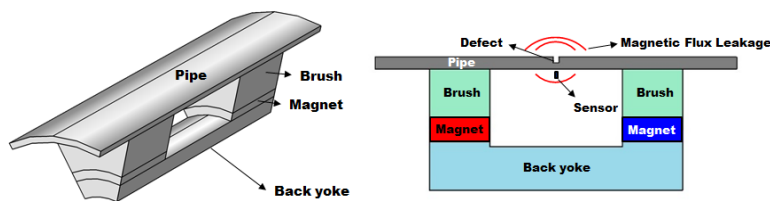


그림 1. MFL시스템의 간략화 구조 및 동작원리

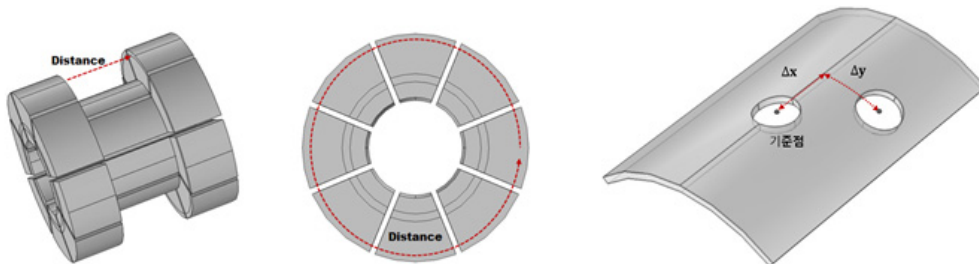


그림 2. 자기누설 신호 측정 위치 및 다중결함의 기준 위치

Δx 의 값을 결함 직경의 1/3 크기인 17.5 mm로 두었을 때의 자기장 신호의 크기와 방향을 그림 3에서 나타내었다. 그림 3의 결과로부터, 축 방향으로 인접한 결함간의 신호 왜곡 현상이 결함의 분리 여부에는 영향을 미치지 않는 것으로 해석된다. 축방향과 마찬가지로 배관의 원주 방향으로 위치한 결함에 의한 왜곡 현상을 확인하기 위해 Δx 의 값을 0으로 고정하고 Δy 의 값을 17.5 mm로 둔 상태에서 자기장의 크기와 방향을 그림 4에 나타내었다. 그림 3과는 달리 결함 사이에서 자속밀도 분포가 밀집하며 결함 주위의 자기누설 신호가 증가하는 현상을 보이며 마치 단일결함에 의한 결함신호 형태를 보인다.

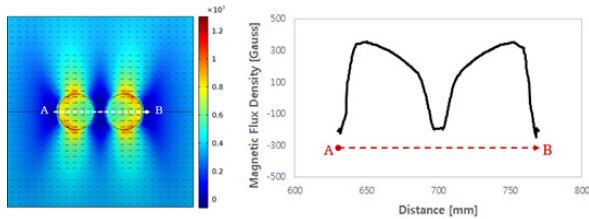


그림 3. 축방향에 위치한 결함에 의한 신호

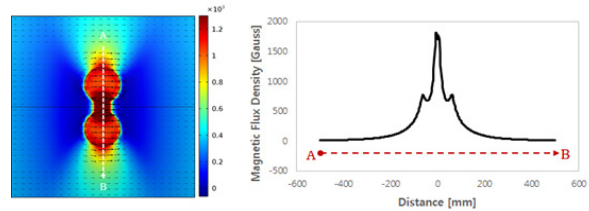


그림 4. 원주방향에 위치한 결함에 의한 신호

3. 고찰

그림 5는 배관 원주방향으로 결함 직경의 배수로 간격 Δy 값을 설정하여 신호값을 살펴 본 결과를 나타낸 것이다. 그림 5와 같이 최대신호(Maximum signal)값과 계곡신호(Valley signal)값을 정의하여 값을 시뮬레이션 하였다. 이러한 신호의 경우 실질적으로 별개의 결함으로 판별하기 어려움이 있고 또한 크게 증가한 최대신호 값으로 인해 실제 결함보다 크게 판정된다.

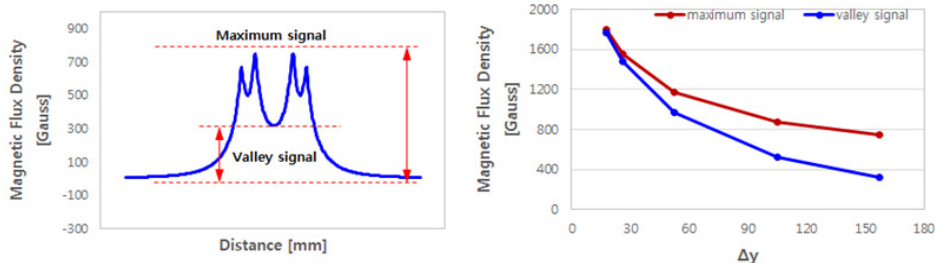


그림 5. 원주방향으로 위치한 이중결함에 의해 왜곡된 신호의 분리방법 고찰

4. 결론

기존의 자기 누설 방식의 비파괴 검사 시스템에서는 단일 결함에 의한 결함 신호 검출 방법에 집중 해왔는데 실제 배관에서 인접한 다수의 결함이 형성하는 신호는 상호 간섭으로 왜곡되어 결함 판정 과정 중에 치명적인 오류가 발생할 수 있다는 문제점을 가진다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 인접한 두 결함의 위치에 따른 결함 신호의 왜곡 현상을 분석하였다.

5. 참고문헌

- [1] 박광수, “환경규제에 따른 산업부문의 에너지원간 대체관계 및 온실가스 배출저감 효과 분석”, 에너지경제연구원 기본연구보고서 2005-13 (2005).
- [2] A. E. Crouch, “In-Line Inspection of Natural Gas Pipelines”, Gas Research Institute Topical Report GRI-91/0365, 12 (1993).
- [3] K. K. Tandon, “MFL Tool Hardware for Pipeline Inspection”, Materials Selection & Design 36, 75 (1997).

Fe₂O₃/TiO₂ Nanocomposite for Photocatalytic Degradation of Antibiotics

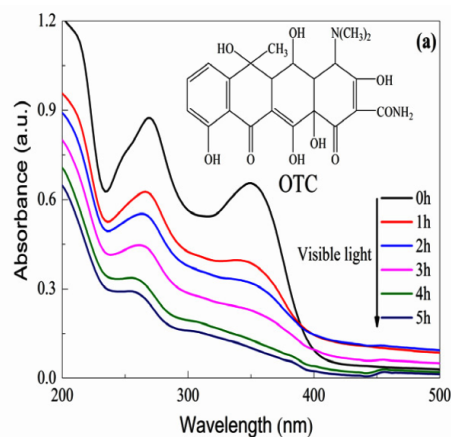
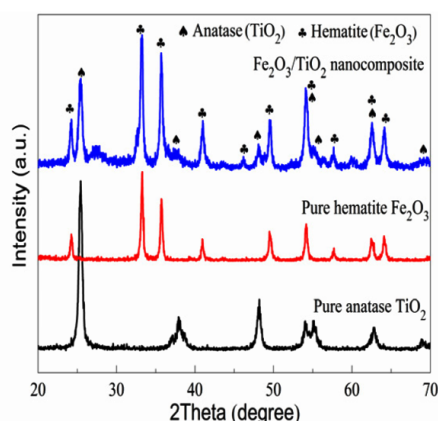
Chunli Liu^{*}, Yuefa Jia and GuoDong Gong

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

^{*}Corresponding authors : Tel:+82-31-330-4733, +86 21 66137276.

E-mail address: chunliliu@hufs.ac.kr (Chunli Liu).

The resulting water pollution by the use of antibiotics in a wide range of human activities has been receiving special attention in recent years. Moreover, due to the stable naphthacene ring structure of antibiotic and inhibition of microorganisms, antibiotics are hardly removable by conventional water treatment processes. Meanwhile, photocatalytic technology has been described as one of the most promising way to disposal of antibiotics. In this paper, Fe₂O₃/TiO₂ nanocomposite were successfully synthesized by co-precipitation method using Fe (NO₃)₃ · 9H₂O and Ti (SO₄)₂ as raw materials. Structural and textural features of the mixed oxide samples were characterized by X-ray diffractometer, field emission scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray. The effects of initial concentration of oxytetracycline (OTC), different competitive ions and organics on the photocatalytic degradation rate of OTC by the Fe₂O₃/TiO₂ nanocomposite were analyzed under UV and visible light irradiation. The results indicate that the optimized initial concentration of OTC was 50 mg/L to achieve the best photocatalytic efficiency. Cu²⁺, NH₄⁺, C₃H₈O and EDTA in the aqueous suspension were found to suppress the degradation rate of OTC, whereas the effect of NO₃⁻ and H₂C₂O₄ can be ignored.



Influence of Cu doping on Magnetic and Magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Mn}_{0.92}\text{Cu}_{0.08}\text{O}_3$

T. A. Ho^{*}, S. H. Lim

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

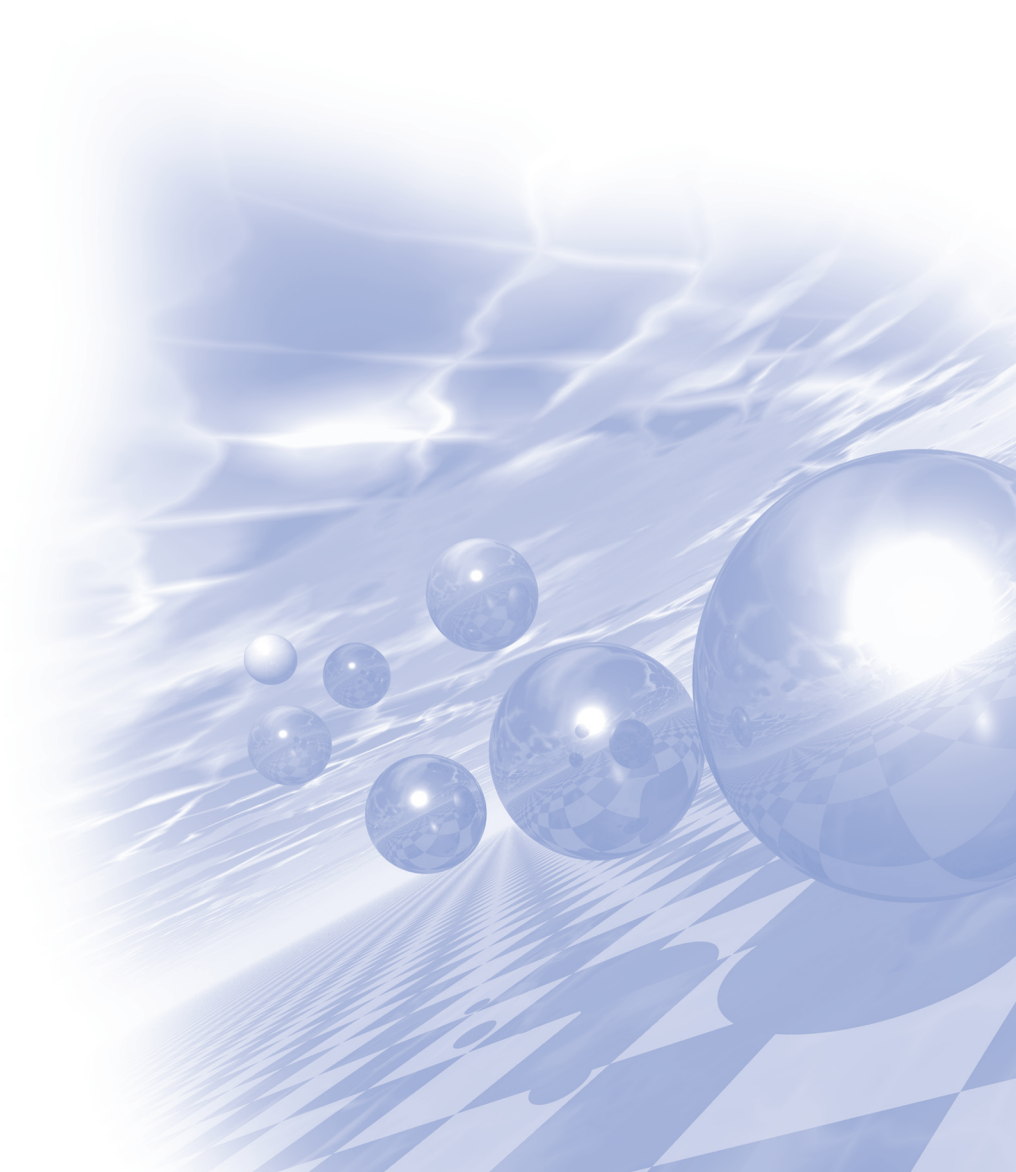
We have studied the influence of Cu doping on the magnetic properties and the magnetocaloric effect of $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Mn}_{0.92}\text{Cu}_{0.08}\text{O}_3$ prepared by using solid-state reaction. The temperature dependence of magnetization reveals that the presence of Cu dopant reduces the Curie temperature (T_C) to a value of ~ 165 K compared with parent compound $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ (~ 248 K). Based on magnetic-field dependences of magnetization, $M(H)$, we calculated the magnetic entropy change (ΔS_m), which reached a maximum ($|\Delta S_{\max}| \approx 4.8$ J/ Kg K) around T_C corresponding to the relative cooling power (RCP) of 360 J/ kg under an applied field change $\Delta H = 50$ kOe. Additionally, based on Banerjee's criteria and universal curves of plotting the normalized entropy change as a function of the normalized temperature, we assess magnetic order existing in the sample. It was found that, the sample consists of second-order magnetic phase transition at magnetic field below 10 kOe and first-order magnetic phase transition at magnetic field above 10 kOe.



KMS 2016 Summer Conference

Special Session VI

‘자성체 조직평가’ 2부



Neutron Diffraction Studies for Magnetic Materials

Seongsu Lee^{*}

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

Neutron diffraction is a very powerful experimental tool to study simultaneously a magnetic and crystal structure in a microscopic point of view. After refining the neutron diffraction diagrams, we can get the impotent structural information such as atomic position, lattice parameter, thermal motion, magnitude of spin, spin configuration etc. The local structure change detected by neutron diffraction experiment can give us a key clue to understand the physical property of our system.

In this talk, we will introduce High Resolution Powder Diffractometer (HRPD) of HANARA with various sample environments and how we can use neutron powder diffraction for studying magnetic materials. Also, I will present some crystal/magnetic structure research examples using neutron diffraction. For example, in order to investigate a possible structural change of RMnO_3 at the magnetic transition temperature, I have carried out high-resolution structural studies using neutron diffraction. Here I show that the hexagonal manganites RMnO_3 undergo an isostructural transition at T_N with unusually large atomic displacements: two orders of magnitude larger than those seen in any other ordinary materials, resulting in a uniquely strong magneto-elastic coupling. For the first time, I could follow the exact atomic displacements of all the atoms in the unit cell as a function of temperature and found consistency with theoretical predictions based on group theories. We argue that this gigantic magneto-elastic coupling of RMnO_3 arises from geometrical frustration, and holds the key to the recently observed magnetoelectric phenomenon in this intriguing class of materials. Also, the some examples to define commensurate/incommensurate magnetic structure and ferroelectricity driven by magnetic ordering will be presented [2]. It is very important to understand the change of crystal/magnetic using neutron diffraction studies for developing new material. After finishing my talk, I hope everyone recognize neutron diffraction is key experimental tool to enhance the physical properties of permanent magnet.

References

- [1] Seongsu Lee *et al.* Nature 451, 805 (2008)
- [2] T. Choi *et al.* Science 324, 63 (2009), Seongsu Lee *et al.* Appl. Phys. Lett. 92, 192906 (2008), V. Kiryukhin *et al.* PRL 102, 187202 (2009)

In-situ Measurement for Magnetic Materials and Minerals Using Mössbauer Spectroscopy

Young Rang Uhm^{*}, Jong Bum Kim, Jin Hyung Lee and Kwang Jae Son
Radioisotope Research Division, Korea Atomic Energy Research institute (KAERI)

Mössbauer spectroscopy is a unique technique which is widely used for study not only various molecular including biomolecular systems, but also various other objects and materials containing Mössbauer isotopes (for instance, ^{57}Fe , ^{119}Sn , ^{121}Sb , ^{127}I , ^{197}Au , etc.). This technique provides very precise information about the electronic and magnetic state of the nuclei, chemical bonds, structure of local environment, etc. Iron is the most common transition element on earth. Many minerals contain iron as a main or as a substitution ion. ^{57}Fe Mössbauer spectroscopy allows the identification of appropriate iron-bearing minerals, the determination of their oxidation states or non-equivalent positions of iron, and the investigation of their magnetic behavior. Thus, Mössbauer spectroscopy complements standard methods of analysis of the chemical composition and structure of minerals, e.g. Recently, A new miniaturised Mössbauer spectrometer has been developed for laboratory, and industrial application such as astrobiology and geological exploration by Palancky University in Czech Republic and Gutenberg University in German. In this study, we introduce a variety of Mössbauer spectrometers, and those various applications.

Direct observation of magnetization in Nd-Fe-B permanent magnets by transmission electron microscopy

Hyun Soon Park^{*}

Department of Materials Science and Engineering, Dong-A University

Among the permanent magnets currently available, sintered Nd₂Fe₁₄B magnets show the best magnetic properties ($K_u \sim 4.5 \text{ MJ m}^{-3}$, $H_c \sim 1.1 \text{ MA/m}$, $\mu_0 M_s \sim 1.6 \text{ T}$); that is, they show the largest value of maximum-energy product $[(BH)_{\max} > 400 \text{ kJm}^{-3}]$. Since the large maximum energy product leads to a remarkable degree of miniaturization of motors and actuators, these magnets can significantly contribute to power saving and/or green technologies. In fact, Nd-Fe-B magnets have been applied in traction motors of hybrid electric vehicles, and as actuators of hard disk drives. In order to further improve both coercivity (H_c) and maximum-energy product $(BH)_{\max}$, understanding the magnetization process and the magnetism at the ultrathin grain boundary (GB) region is of vital importance. In this talk, using *in situ* Lorentz TEM and electron holography, I present the observations of magnetization reversal and the magnetism at the ultrathin GB region in a thin film of sintered Nd₂Fe₁₄B [1,2].

References

- [1] H. S. Park, *et.al*, *J. Appl. Phys.* **97**, 033908(2005).
- [2] Y. Murakami, *et.al*, *Acta. Mater.* **71**, 370(2014).

AEM study on the texture development mechanism in HDDR processed Nd-Fe-B magnets

김태훈*, 양철웅

성균관대학교 신소재공학부

1. 서론

친환경, 에너지 저감의 시대적 요구에 따라 고성능 모터 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 영구자석 소재가 널리 활용되기 위해서는 높은 잔류 자속밀도와 안정적이고 높은 보자력이 동시에 요구된다. Nd-Fe-B계 자석의 높은 잔류 자화 및 고보자력 특성을 실현하기 위해서는 단자구 크기 수준의 결정립 미세화 및 결정립 계면제어를 통한 자구의 디커플링이 잘 알려져 있다. 여러가지의 결정립 미세화 공정 중 HDDR (Hydrogenation, disproportionation, desorption and recombination : 수소화, 상분해, 탈수소, 재결합) 공정은, 합금을 수소분위기에서 유지함으로써 주상인 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상이 수소를 흡수하여 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ 상을 형성(Hydrogenation) 하도록 유도하고, 수소 분위기에서 $700\sim 800^\circ\text{C}$ 범위로 합금을 가열하여 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$ 상을 $\alpha\text{-Fe}$, Fe_2B 그리고 NdH_2 의 세가지 상으로 상분해(Disproportionation) 시킨 후, 진공분위기에서의 탈수소(Desorption)와 동시에 $\alpha\text{-Fe}$, Fe_2B , NdH_2 의 세가지 상이 다시 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상으로 재결합(Recombination) 과정을 거치면서 합금 내부에 수십 ~ 수백 nm 크기의 미세한 결정립을 형성시키는 방법이다.

HDDR 공정 변수의 조절에 따라 공정 처리 후 분말의 이방성 제어가 가능하다. 이방화 거동에 대해 수소화, 상분해 반응 시 분해되지 않은 잔류 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상, 국부적 응력의 영향, 첨가원소의 영향, Fe_3B 상의 생성 등의 다양한 보고가 있으며 [1-3], 최근 Fe_2B 상의 TME (texture memory effect) 모델에 의한 이방성 유도 역할이 보고되었다 [4]. 이방화 거동의 해석을 위해, HDDR 공정 전 후의 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 결정방위와 중간단계인 상분해 반응에서 형성된 상들의 결정방위에 대한 다양한 연구가 보고되었으나 각각의 보고들이 서로 일관되지 않으며, 초기 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상과 HDDR 공정 후 미세화된 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 결정방위 관계도 아직 직접적으로 밝혀지지 않았다. 이방화 거동에 대한 명확한 이해를 위해서는 더욱 면밀히 살펴볼 필요가 있다. 또한, 주로 수소화 및 상분해 반응이 이방성을 결정하는 것으로 실험적 결과에 의해 알려져 있지만, 이후 탈수소 및 재결합 반응이 이방성에 미치는 영향에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구에서는 투과전자현미경 분석을 통하여 HDDR 공정 중의 상변화 과정을 면밀히 분석하고, 조직학적, 화학적 분석 및 자기특성과의 비교를 통하여 이방화 거동에 대하여 연구하였다.

2. 실험방법

HDDR 공정 전후에서 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 자화용이 방향인 c-axis와 분해된 상들과의 방위관찰의 용이함을 위해 일반적으로 HDDR 공정에 사용되는 수십~수백 μm 크기의 분말이 아닌, 수십 μm 크기의 결정립을 갖는 Nd 소결 자석을 이용하여 HDDR 처리를 진행하였다. 상분해 시 수소분압 및 탈수소, 재결합의 분압, 속도 조절하여 미세조직, 방위 관계를 분석하였다. 또한 후방산란전자회절 분석을 이용하여 국부적인 영역이 아닌 넓은 영역에서의 집합조직 분석을 통하여 이방화 거동에 대하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

HDDR 공정 중 상분해 시 낮은 수소분압으로 처리할 경우에서 높은 이방성이 나타나며, 이 때 결정 배향성이 높은 Fe_2B 상이 형성된다. 초기 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 c-axis와 정렬된 Fe_2B 상들의 방위관계를 살펴보면, Fe_2B 상

의 c-axis는 초기 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 c-axis와 나란하다. 이러한 결정 배향성이 높은 Fe_2B 상의 형성은 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상과 Fe_2B 상의 결정학적 관계에 기인하며, 상분해 시 형성된 Fe_2B 상에는 결정학적 관계에 기인한 적층결합 등이 관찰된다.

탈수소 및 재결합 반응 시의 수소 분압 및 속도 조절에 따라, 속도를 천천히 유지할수록 높은 이방성이 나타나며, 이 때 수소 분압의 조절은 재결합 시 형성되는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 핵생성에 관여한다. 느린 탈수소, 재결합 반응은 앞서 관찰한 결정 배향성이 높은 Fe_2B 상에서 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상이 형성되도록 유도하며, 재결합 시 형성되는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 c-axis도 상분해 과정과 마찬가지로 Fe_2B 상의 c-axis와 나란하게 유지된다.

또한, 후방산란전자회절 분석을 이용하여 넓은 영역에서의 집합조직 분석 및 앞서 관찰한 Fe_2B 상에 의한 TME 모델을 확인하였으며, 초기 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상과 미세화된 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 자화용이방향이 유지됨을 확인하였다.

4. 결론

수소화 및 상분해 반응 시 수소 분압 제어를 통하여 결정 배향성이 높은 Fe_2B 상이 형성되며, Fe_2B 상에 의해 초기 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 결정 방위가 HDDR 공정 후 미세화된 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상에서도 유지된다. 결정 배향성이 높은 Fe_2B 상의 형성은 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상과 Fe_2B 상의 결정학적 관계에 기인한다. 또한, 결정 배향성이 높은 Fe_2B 상이 형성되는 상분해 반응뿐만 아니라, 탈수소, 재결합 반응의 속도, 분위기도 분말의 이방성에 매우 중요하다. 탈수소의 속도의 조절에 따라 재결합 반응 시 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 상의 핵생성 및 성장을 제어할 수 있으며, 이방성 발달에 큰 영향을 미친다. 투과전자현미경을 이용한 국부적인 결정방위 해석과 함께 후방산란전자회절 분석을 통해 보다 넓은 영역에서의 결정방위에 대해 연구하였으며, HDDR 공정 중의 결정 배향 변화를 직접적으로 관찰하였다

5. 참고문헌

- [1] T.Tomida, N.Sano, M.Uehara, J. Appl. Phys. 81 (1997) 7170-7174
- [2] M.Uehara, H.Tomizawa, S.Hirosawa, T.Tomida, Y.Maehara, IEEE Trans. Magn. 29 (1993) 2770
- [3] T.Tomida, N.Sano, K.Hanafusa, H.Tomizawa, S.Hirosawa, Acta Mater. 47 (1999) 875-885
- [4] H. Sepehri-Amin, T. Ohkubo, K. Hono, K. Guth, O. Gutfleisch, Acta Mater. 85 (2015) 42-52

Probing and imaging nanoscale magnetism with scanning magnetometers based on diamond quantum defects

Donghun Lee*

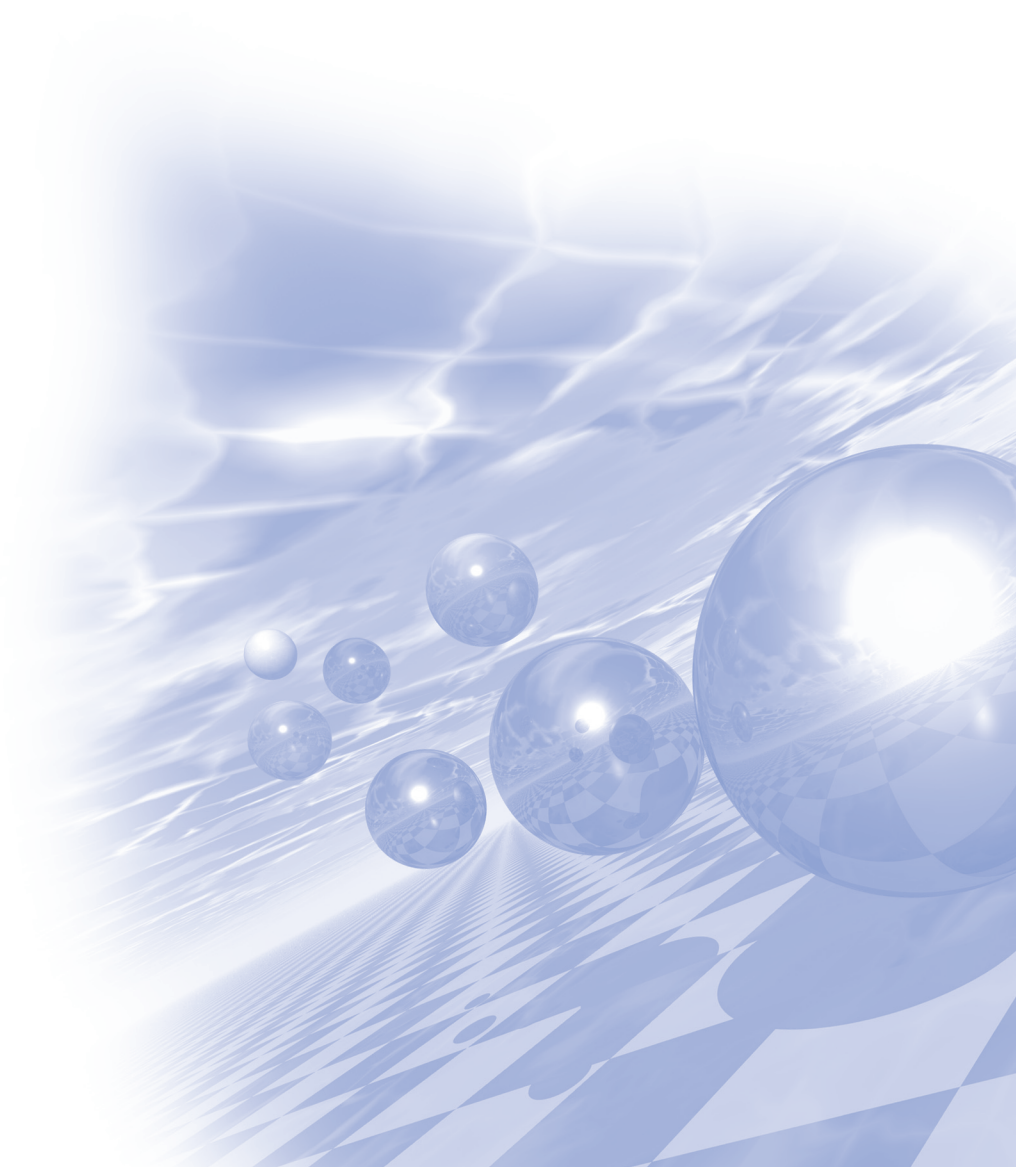
Department of physics, Korea university

Probing and imaging magnetism at nanometer scale is of great interest in a wide range of fields, including solid-state physics, materials science and biomedical applications. Simultaneously satisfying high spatial resolution and high field sensitivity, however, requires development of novel magnetic sensors. The nitrogen-vacancy (NV) defect center in diamond has promising potential for nanometer and nanoscale magnetometry due to its atomic-scale size, long spin coherence times and high magnetic field sensitivity (e.g. $< \text{nT/Hz}^{1/2}$). Since these properties are robust against a wide range of operating temperature, it is also suitable for studying novel magnetic materials exhibiting temperature-dependent magnetic orders. Furthermore the defect can be integrated into AFM (atomic force microscope) type scanning probes providing imaging capability of nanoscale magnetism. In this talk, I will introduce the concept and working principle of the novel technique. I will also present recent progress in the field and research plans at Korea university.



KMS 2016 Summer Conference

구두발표 II



Thermoelectric properties of Indium and Gallium - codoped ZnO thin films

Hong Nhat Nguyen Tran¹, Huu Truong Nguyen², Thanh Tuan Anh Pham², Cao Vinh Tran²,
Sunglae Cho³, Deniz P. Wong⁴, Kuei-Hsien Chen⁴ and Bach Thang Phan^{2,5*}

¹Faculty of Applied Science, University of Technology, Vietnam National University, HoChiMinh City, Vietnam

²Laboratory of Advanced Materials, University of Science, Vietnam National University, HoChiMinh City, Vietnam

³Department of Physics, Ulsan University, Korea

⁴Institute of Atomic and Molecular Sciences, Academia Sinica, Taiwan

⁵Faculty of Materials Science, University of Science, Vietnam National University, HoChiMinh City, Vietnam

*Corresponding author: pbthang@hcmus.edu.vn

It is well known that thin film properties such as electrical, optical, thermal properties,... depend on crystal quality of thin films. Recently, researchs on thermoelectric materials have gain interest due to requirement for alternative and sustainable energy sources. We found that among three parameters which control figure of merit ZT of thermoelectric materials are (1) low thermal conductivity κ for obtaining a large temperature gradient between two ends of the material; (2) high electrical conductivity σ ; (3) large Seebeck coefficient S is needed to generate a high voltage per unit temperature gradient. However, electrical conductivity and thermal conductivity vary in a similar way. For example, improvement in σ also increases in κ . Therefore, improvement in ZT is not an easy task. Lattice thermal conductivity can be reduced by degrading crystal quality of materials through introduction of structural defects such as point defects, dislocations, interfaces, precipitates, nanostructure engineering. However, low crystal quality also reduces electrical conductivity. Due to dopant radius, solubility of single dopant (Al, Ga, In...) in the host ZnO materials limit a control of electrical conductivity and crystal quality. In our point of view, because of the difference in ionic radii between Ga (0.062 nm), In (0.081 nm) and Zn (0.074 nm), combination of the larger (In) and smaller (Ga) dopants in size compared to the host atom (Zn) can control the ZnO crystal structure efficiently compared to single dopants, which in turn control electrical conductivity and also thermal conductivity of the host ZnO thin films. In this report, we discuss effects of In and Ga dopants on crystallinity, electrical and thermoelectric properties of ZnO thin films.

Keywords : crystalline IGZO thin film, multi-dopants, electrical properties, thermal conductivity, localized states, film crystallinity, thermoelectric properties

증착 에너지의 변화에 따른 박막특성 분석 및 수직자기이방성 연구

김지민*, 김동석, 김범진, 윤창진, 김지호, 전지훈, 이궁원

Department of Display and Semiconductor Physics, Korea University, Sejong, 30019, South Korea

차세대 스위칭 소자인 STT-MRAM(Spin transfer torque-MRAM)은 DRAM(dynamic random access memory)의 한계를 극복 할 여러 장점을 갖고 있으며, 최근에는 표면자기이방성을 이용한 소자가 각광받고 있다.[1,2,3] 이러한 연구의 목적은 높은 자기이방상수(Anisotropy constant) K 를 얻으면서, 동시에 낮은 임계전류밀도를 얻기 위함이다. 본 연구에서는 표면자기이방성의 변화를 확인하기 위해 magnetron sputtering chamber를 이용하여 증착에너지를 변화하며 시료를 제작하였다.

본 실험에서는 수직자기 이방성(perpendicular magnetic anisotropy)의 자성층에 사용되는 CoFeB 단일박막을 증착에너지를 변화시켜가며 제작하였다. 증착에너지는 스퍼터링 증착압력과 타겟에서 샘플까지의 거리를 조절하여 변화시켰고, 증착 된 CoFeB 단일박막의 비저항과 표면거칠기, volume magnetization을 측정하여 박막의 특성을 분석하였다. 이 후 버퍼층으로 Ta을 사용하여 CoFeB의 증착에너지를 변화시켜 수직자기 이방성(perpendicular magnetic anisotropy) 효과를 구현하였다. 샘플의 구조는 SiOx/Ta(4)/CoFeB(1.1)/MgO(4)/Ta(1) (in nm)으로서 초고진공에서($<1E-8$)에서 제작하였고, 열처리하는 진공($<1E-6$)에서 300°C 로 동일하게 진행 하였다.

아래의 그림은 열처리 이후 수직 홀 측정결과이다. x축은 타겟부터 샘플까지의 거리이며, y축은 스퍼터링 증착압력이다. 홀 측정 결과 그림 1과 같이 증착에너지의 특정 영역(붉은색 영역)에서 수직자기 이방성을 갖는 샘플이 제작되는 것을 확인 할 수 있다.

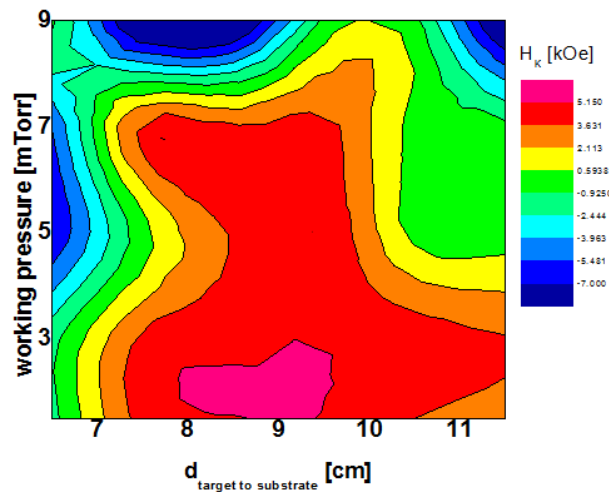


그림 1. 증착에너지에 따른 anisotropy field값의 측정 결과이다.
수직자기 이방성이 관측되는 구간은 붉은색 영역이다.

위 실험을 통해 강자성체 증착할 때 증착에너지를 조절하여 표면자기이방성을 변화시킬 수 있으며, 이는 높은 질의 수직자기이방성을 갖는 자기터널접합 제작에 큰 효과를 줄 것이다.

참고문헌

- [1] S.Ikeda. et al. Nat. Mater. 9, 721 (2010)
- [2] H.Meng. et al. Journal of Applied Physics. 110, 033904 (2011)
- [3] H.Sato. et al. IEEE MAGNETICS LETTERS. 3, 3000204 (2012)

Magnetic Properties of Fe alloy/SiO₂ core/shell structure powder

Sunwoo Lee^{1*}, Sungjoon Choi¹ and Sang-Im Yoo¹

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

Fe metal powder which exhibits excellent soft magnetic behavior has been used for inductors or converters. Even though Fe exhibits high saturation magnetization with very low coercivity, its applications are limited by high AC losses at high frequency regime, which is not avoidable because of metallic property of Fe. To reduce the eddy current loss, insulating coating on the Fe powder to increase electrical resistivity can be applied. For this reason, we tried to fabricate Fe alloy/SiO₂ core/shell structure powder, which blocks inter-particle eddy current path within the sample. SiO₂ insulation coating was performed by sol-gel method using Tetraethyl orthosilicate (TEOS) as its precursor via sol-gel processing. TEOS concentration and coating time were controlled for an optimization. The SiO₂ coating layer was confirmed by TEM, and magnetic properties of SiO₂-coated Fe alloy powder, including permeability, Q factor and core loss, were measured for an evaluation. Permeability of SiO₂ coated samples was decreased as increased TEOS concentration and coating reaction time. Core loss was observed to be decreased by SiO₂ insulating layer, which was confirmed by TEM analysis. Details will be presented for a discussion.

This work was supported by a Grant from *world class 300* (0417-20150129).

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

Characterization and Fabrication of Fe metal powder Coated with Alumina oxide

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 as the potential applications in electromagnetic circuits, sensors, electromagnetic actuation devices, low frequency filters, induction field coils, magnetic seal systems, and magnetic field shielding. Among AC losses of metal powder, the eddy current loss could be reduced by an insulation coating to increase electrical resistivity. For the same purpose, we have tried to fabricate a core and shell layer composed of a Fe alloy metal powder and layer of Al_2O_3 by the sol-gel method. In this study, influences of the process conditions such as reaction time and concentration of Aluminium Isopropoxide (AIP) on the magnetic properties of the Fe alloy metal powder were investigated. To evaluate the AC losses of SMC, the magnetic core was fabricated by mixing and pressing Al_2O_3 -coated Fe alloy powder with a resin. The analysis of Fe alloy metal powder coated with Al_2O_3 was conducted using field emission-scanning electron microscope (FE-SEM), transmission electron microscope (TEM), Inductance analysis and B-H curve analyzer. The results showed that the Fe alloy metal powder was uniformly coated by a thin layer of Alumina oxide. Details will be presented for a discussion. This work was supported by a Grant from world class 300 (0417-20150129).

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

The Effect of Oxygen Annealing on the Magnetic Properties of Strontium W-type Hexagonal Ferrite

Jae-Hyoung You^{*}, SungJoon Choi, Sunwoo Lee and Sang-Im Yoo[†]

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

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

In this report, we examined the role of oxygen vacancy on the magnetic properties of strontium W-type hexaferrite ($\text{SrFe}_{18}\text{O}_{27}$, SrW), which is a ferrimagnetic oxide material that has a hexagonal crystal structure. The SrW samples were obtained by annealing and subsequent furnace-cooling in the PO_2 of 10^{-3} atm. The samples showed different cell volumes and saturation magnetization (M_s) values for different annealing temperatures. The samples annealed at 1300, 1310, and 1315 °C in the PO_2 of 10^{-3} atm, exhibited the M_s values of 78.9, 79.9, and 81.4 emu/g, and cell volumes of 984.32, 985.28, and 986.85 Å³, respectively. The difference in M_s and cell volumes may come from oxygen vacancy of the samples due to low annealing PO_2 , since the oxygen vacancy can cause reduction of Fe^{3+} to Fe^{2+} possessing different magnetic moments and different ionic radius. To verify the origin of the different M_s values, and cell volumes, we tried to oxygenate the samples obtained at the different annealing temperatures (1300, 1310, and 1315 °C) by annealing in air. As a result, the M_s values and cell volumes of the samples decreased during the oxygenation process and the values become similar for the different samples. Detailed analysis of oxygen vacancy in SrW and its effect on magnetic properties will be presented for a discussion.

Keywords : Hexagonal ferrite; oxygen deficiency; oxygen annealing; magnetic property

Magnetic Supercapacitor for Future Electric Vehicles

Yang-Ki Hong^{*}, Jihoon Park, Woncheol Lee and Jaejin Lee¹

Department of Electrical and Computer Engineering and MINT Center

The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama 35487, USA

¹Client Research & Development Center, Intel Corporation, Hillsboro, Oregon 97124, USA

Recently, electric vehicle technology has emerged, and autonomous car is just in front us. Accordingly, advanced energy storage device, which fulfills both high-energy density (Wh/kg) and high-power density (W/kg), has been searched. In response to this, we have proposed magnetic supercapacitor in US (2015) and WO (2013) patents. A magnetic supercapacitor has a dielectric layer positioned between magnetic layers. The magnetic layers comprise hard, soft magnetic material or magnetic exchange coupled magnet. Conceptually, a magnetic flux generated by the magnetic layers increases the permittivity of the dielectric layer, thereby enhancing the capacitance of the supercapacitor. When the magnetic layers comprise soft magnetic material, the capacitance of the supercapacitor can be controlled by changing current through a conductive segment. In this paper, experimental permittivity (ϵ), *i.e.*, ($\epsilon = f(H_{app})$), and theoretical calculation of the electric polarization (P) for a given magnetic moment, *i.e.*, $P = f(m)$, will be presented.

Magneto-resistance in doped SrRuO₃ thin film

Chang Uk JUNG^{1*} and Umasankar Dash¹

¹Department of Physics and Oxide Research Centre, Hankuk University of Foreign Studies,
Yongin, Gyeonggi 449-791, Korea

*cu-jung@hufs.ac.kr

1. Introduction

The ferromagnetic and conducting perovskite of SrRuO₃ have been paid a significant attention due to their potential for various applications.[1] In particular, SrRuO₃ is used as the bottom electrode in devices due to its good conductivity and low lattice mismatch with perovskite oxide substrate. Recent discovery of large negative magnetoresistance (MR) in (Sr_{1-x}La_x)(Ru_{1-x}Fe_x)O₃ polycrystalline sample offers numerous possible applications in magnetic industry such as data storage, non-volatile memory, and sensing applications.[2] However, these polycrystalline samples suffered from A- site disorder problem and co-doping of La³⁺ was necessary to stabilize them. Recently, we have shown that high quality Fe-doped SrRuO₃ without A- site co-doping can be stabilized using epitaxial strain during thin film growth.[3] But the obtained maximum MR value ~14% in our Fe doped SrRuO₃ epitaxial thin film was substantially less as compared to 55% that of co-doped (Sr_{1-x}La_x)(Ru_{1-x}Fe_x)O₃ polycrystalline samples. We particularly noticed that our Fe doped SrRuO₃ samples with intentionally reduced oxygen vacancies were metallic, while large MR was observed in semiconducting (Sr_{1-x}La_x)(Ru_{1-x}Fe_x)O₃ polycrystalline samples. So, we measured MR of our previously reported Fe doped SrRuO₃ deposited at a lower oxygen partial pressure and possessing higher number of oxygen vacancy and we successfully correlate the oxygen vacancy to MR. [4] In addition, we also report a very high negative MR of ~36.4% observed in semiconducting SrRu_{0.7}Fe_{0.3}O_{3-d} epitaxial thin films. This MR value for high oxygen vacancy thin film of SrRu_{0.7}Fe_{0.3}O_{3-d} is more than two times larger than the MR for low oxygen vacancy thin film of SrRu_{0.9}Fe_{0.1}O_{3-d}.

2. Experimental

For the current study, we have used three set of samples, (1) We have used the existing MR and structural analysis for the low oxygen vacancy thin film [3], (2) we measured MR for the high oxygen vacancy thin film used in our previous report [4] and (3) we fabricated a new SRFO thin film with very high oxygen vacancy. These SrRu_{1-x}Fe_xO_{3-d} (x = 0.10, 0.20, and 0.30) thin films with different oxygen vacancy were grown on STO substrates under different oxygen partial pressure by using pulsed laser deposition. The laser power and substrate temperature was maintained at 35 mJ and ~7500C at a constant frequency of 4Hz. The thin films were deposited at oxygen partial pressure of 100 mTorr and 180 mtorr, so they are expected to show different oxygen vacancy. The crystal structure was characterized by high resolution x-ray diffraction (HR-XRD). Surface morphology was examined by atomic force microscopy (AFM). Magnetoresistance was measured by using a set of cryostats (Physical Property Measurement System by Quantum Design and CMag Vari9 by Cryomagnetics Inc.) and a dual channel source measure unit. (Keithley 2612A standard measurement unit.)

3. Results

The main results of our study are as follows. For $x = 0.10$ and $x = 0.20$ Fe doped SrRuO_3 thin films the HR-XRD peaks shifts towards lower 2θ angle with increase in Fe doping concentration as well as oxygen vacancy, implying that both the lattice constant and unit cell volume. However, for $x=0.30$, the peak of the thin film shifts towards right as compared to $x=0.20$, implying that the lattice constant decreased. This Fe doping induced change in the lattice constant parameters of SRFO thin films has been reported to be well explained in terms of possible substitution of Fe^{3+} ion rather than Fe^{4+} ion at Ru^{4+} sites. When the MR trend of $x = 0.10$ and $x = 0.20$ thin films were considered, the MR value increases with increase in oxygen vacancy for semiconducting thin films, while it decreases with increase in oxygen vacancy for metallic thin films. In this context a larger MR is expected for a thin film having more oxygen vacancy and showing semiconducting behaviour. For this purpose, we prepared semiconducting $\text{SrRu}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}\text{O}_{3-0.12}$ thin films with higher oxygen vacancy compared the MR for a series of $\text{SrRu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-d}$ films grown at lower oxygen partial pressure. As predicted, the MR for $\text{SrRu}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}\text{O}_{3-0.12}$ thin films value increased more than two times as compared to MR value of $\text{SrRu}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-0.09}$ thin film.

4. Conclusion

The $\text{SrRu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-d}$ perovskites thin films ($x = 0.10, 0.20$, and 0.30) with various amount of oxygen vacancy were deposited on $\text{STO}(100)$ substrates. Without applied magnetic field, the films showed metal-insulator transition as Fe doping increased. For low doping case of $x = 0.10$, magnetoresistance was higher for films with lower oxygen deficiency while magnetoresistance was higher for films with higher oxygen deficiency for higher doping of $x = 0.20$. The magnetoresistance approached upto $\sim 40\%$ for $\text{SrRu}_{0.7}\text{Fe}_{0.3}\text{O}_{3-0.12}$. These results were compared with the magnetoresistance studies for polycrystal of $(\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Ru}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{O}_3$ samples. These results highlight the crucial role of oxygen stoichiometry in determining the MR in SRFO thin films.

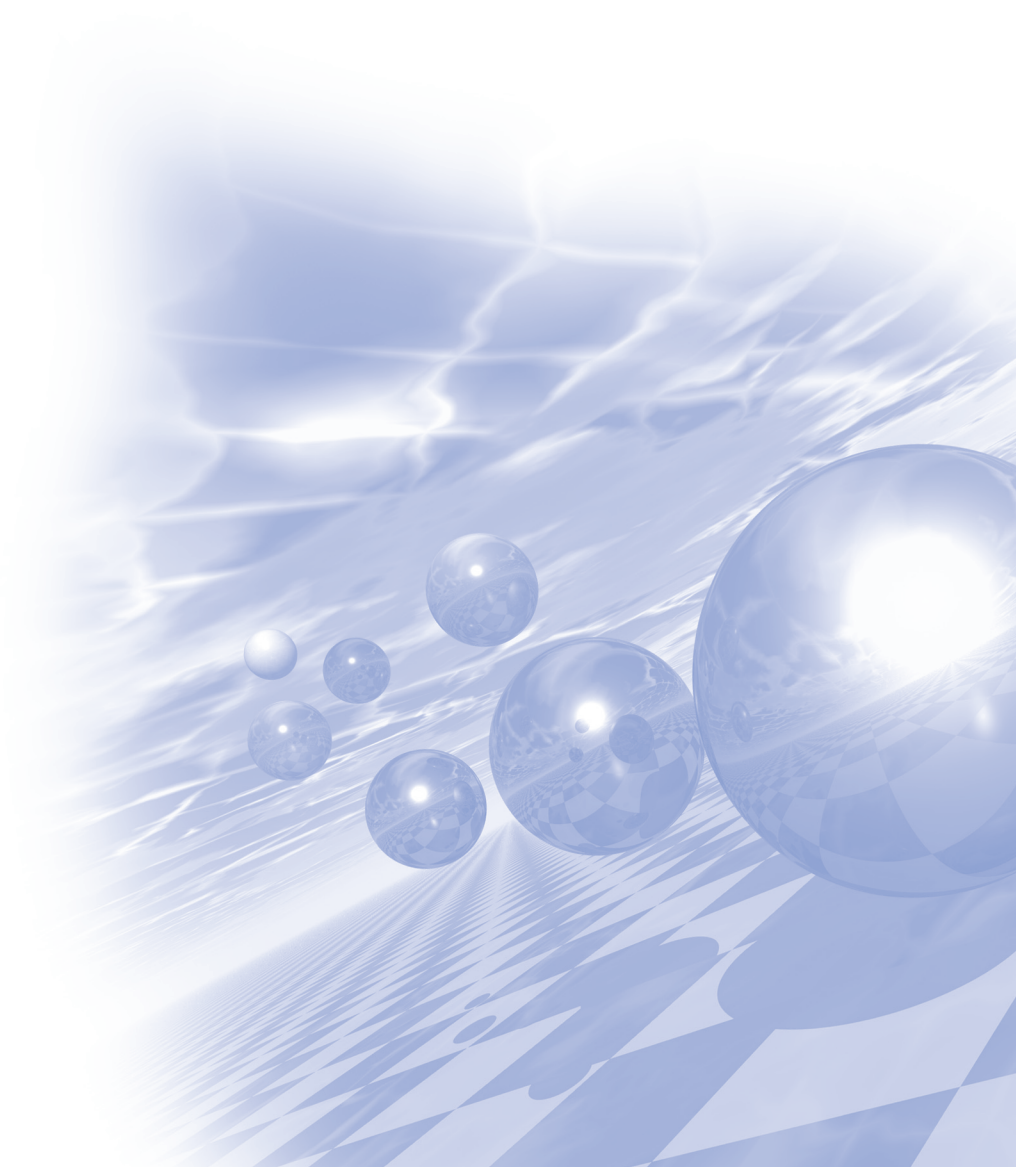
5. References

- [1] G. Koster, et. al, Rev. Mod. Phys. 84, 253 (2012).
- [2] A. Mamchik, et. al., Phy. Rev. B. 70, 104409 (2004).
- [3] K. R. N. Toreh, et. al., J. Alloys Compd. 657, 224 (2016).
- [4] B. W. Lee. et. al., J. Korean Phy. Soc. 59, 322 (2011).



KMS 2016 Summer Conference

구두발표Ⅲ



Enhancing some characteristic properties of magnetic micro-/nano- materials

Pham Duc Thang^{*}

Faculty of Engineering Physics and Nanotechnology, VNU University of Engineering and Technology,
Building E3, 144 Xuan Thuy road, Cau Giay district, Hanoi, Vietnam

Metal-oxide materials are of particular interest as exhibiting a wide variety of physical properties, such as conducting/non-conducting behaviours at different ranges of frequency, tunnelling of the magnetization at nano-scaled structures, enhanced photoluminescence in semiconductor quantum wells, as well as their numerous commercial applications in microelectronics, data storage, optoelectronics, etc.

Firstly, in this presentation, some micro-/nano-structure based magnetic and non-magnetic oxides have been prepared by different chemical and physical techniques. By changing processing parameters, for example annealing/substrate temperature, ambient pressure, starting composition and by doping metallic elements, one can be able to modify crystallographic- and micro- structure and magnetic properties of the materials. Grain size, exchange of ion valences and their crystallographic sites, stress-induced effect on the change in magnetic properties will be discussed.

Secondly, multilayer structured composites of ferro-electrics and -magnetics having a significant relative change in magnetization have been investigated. A theory based on strain-mediated magnetic-electric coupling will be reported to understand the properties enhancement. This could be useful for practical applications in new types of multi-functional devices.

Atomic Scale Design of Magnetic Materials for Electric Machine and Telecommunication Devices

Yang-Ki Hong^{1*}, Jihoon Park¹, Woncheol Lee¹ and Jaejin Lee²

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

²Client Research and Development, Intel Corporation, Hillsboro, Oregon 97124, USA

Global market for soft magnetic materials is estimated to reach \$66.6 Billion by 2019 [the iRAP report], and the market for permanent magnetic materials will reach \$15 Billion by 2018.

The first part of this talk covers the applications of magnetic materials to motor for future electric vehicles and telecommunication components such as self-biased GHz hexaferrite circulator, miniature ferrite MHz-GHz antenna, and low-power MHz ferrite inductors. The second part focuses on the electronic structure of magnetic materials, emphasizing ferrites, rare-earth free permanent and nanocrystalline soft magnets.

Wireless magnetic actuators and applications

Sung Hoon Kim^{*}

Department of electronics convergence engineering, Wonkwang university,

Typically, the mechanical blood pumps consist of an electrical motor, shaft, bearing, and impeller, and they require a power cable or TETS with an implantable battery. The general configuration of a blood pump can cause several problems, including heating, abrasion, and bacterial infections. A magnetically levitated motor for a blood pump was recently developed to achieve a smaller pump size, and to prevent heating and abrasion from the mechanical components, such as the shaft and bearings. However, the driving power was transmitted by a percutaneous power cable. Therefore, the TETS method has been developed to solve problems associated with a percutaneous the power cable, such as bacterial infections. The use of a TETS, which requires an implantable battery with a control circuit, is one of the methods used for wireless power transmission. However, when the TETS is used for an implantable blood pump, the complex configuration requires a difficult surgical operation. Thus, a new method is required to avoid these problems. In this study, I proposed new strategies for a functional blood pump based on wireless control. The newly developed pump has the simplest pump structure: it has a pump housing and a fully magnetic impeller, without a shaft and mechanical bearings. I previously designed blades in the magnet. Therefore, an external rotating magnetic field or the rotation of an external magnet drives the pump without the use of a power cable or implanted battery. In addition, a simple power generator to drive the electronic devices without an additional power source was achieved using a wound coil in the pump case. The pump has a total volume of 20 cc and weighs 52 g. In addition, the pump produces a maximum flow rate of 8 L/min at 80 mmHg as a centrifugal pump. Because of its small size, the pump is suitable for use as a pediatric pump.

펄스와 전류를 이용한 배관감육 비파괴 탐지

이철규^{1,2*}, M.B Kishore¹, 손대락², 박덕근¹

¹한국원자력연구원 원자력재료안전연구부 (대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111)

²한남대학교 광.센서공학과 (대전광역시 대덕구 한남로 70)

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 배관내부가 깎여 두께가 얇아지는 감육현상이 일어난다. 그렇기 때문에 보온재로 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 펄스전류를 사용했다.

이 연구에서는 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 변화를 시켰다.

그리고 이 감육현상 탐지에 사용한 펄스와전류 시스템은 홀센서와 구동코일, 탐지코일로 이루어진 펄스와전류 탐촉자를 이용하였다.

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

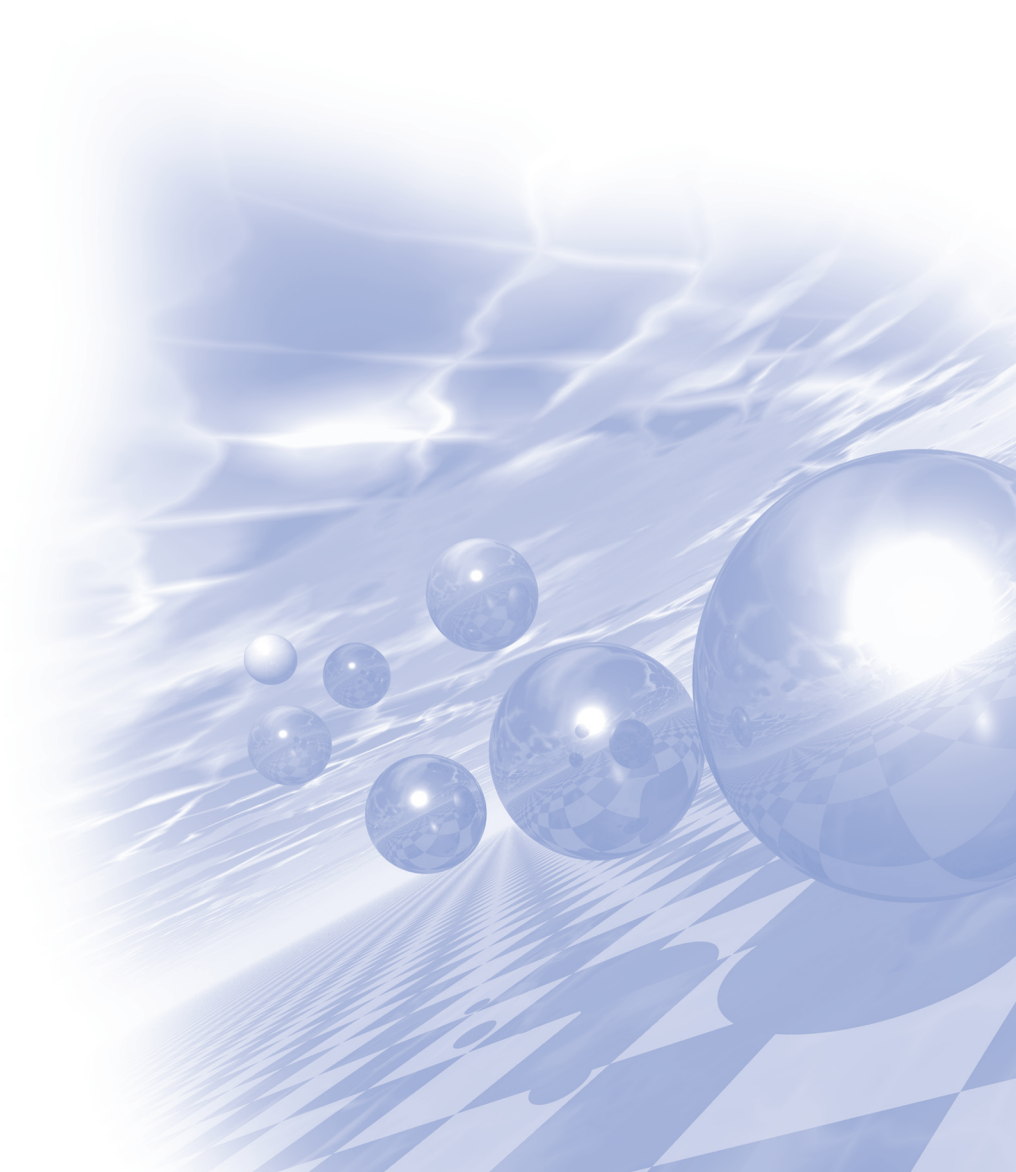
두꺼운 보온재와 얇은 알루미늄 판으로 덮여있는 상태에서도 배관감육 탐지가 잘 되어 앞으로의 실험들도 기대를 해 본다.



KMS 2016 Summer Conference

Special Session VII

‘희토류 자성재료 연구동향’



E-Mobility용 구동모듈의 산업기술동향과 과제

이상훈*

대구기계부품연구원 지능형자동차연구팀

최근 친환경성, 연비개선 및 지능화의 요구는 지속가능한 모빌리티 사회를 실현하기 위한 자동차산업의 새로운 화두로 부각되고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 전기자동차와 스마트 E-모빌리티의 역할에 큰 관심이 모아지고 있다.

현행 E-모빌리티는 성능이나 가격 등의 면에서 특수한 용도를 제외하고 일반 시장에 널리 보급되지 않았으나 최근 배터리, 구동모듈 등 주요부품의 기술개선의 노력과 정부의 새로운 보급계획의 발표에 따라 주요 이동수단으로서 보급이 확대될 전망이다.

제안된 내용에서는 언급한 스마트 E-모빌리티에 대한 구동계 부품기술과 동향을 통해 향후 새롭게 요구되는 개발기술과 당면과제를 제안하고자 한다.

중 희토류 저감형 Nd-Fe-B 소결자석의 제조기술 동향

김효준*

자화전자(주) 연구소

중국 내수시장의 성장둔화와 희토류 소비국들의 해외 광산 재개발 및 대체재 전환 등 여러

가지 요인 때문에 희토류 가격이 안정세로 접어들고 있다. 또 중국 상무부는 '2015년 수출허가 관리상품 목록'을 발표하고 더 이상 희토류에 수출 쿼터를 적용하지 않겠다고 밝혔다. 하지만 중국이 자원 전쟁의 무기로 삼아온 희토류를 쉽게 포기하지는 않을 것으로 보인다.

희토류의 수급 및 가격 변동성에 대해 NdFeB계 영구자석 산업분야가 가장 민감하고 즉각적인 반응을 나타내는 이유는 NdFeB계 영구자석을 구성하는 물질의 30wt% 이상을 Nd, Dy 그리고 Tb 등이 차지하기 때문이다.

일반적으로는 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 화합물보다 이방성 자계가 큰 $\text{Dy}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 또는 $\text{Tb}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 화합물의 자기적 성질을 이용하여 보자력을 향상시켜왔다. 그러나 Dy나 Tb의 함유량 증가는 포화자화의 감소를 초래하여 잔류자속밀도와 최대 에너지적을 저하시키는 문제가 있다. 특히 사용 온도가 150°C 를 넘는 고온의 환경에서도 영구자석의 특성을 유지하기 위해서는 총희토류의 중량을 더 증가하거나 고가의 Dy 혹은 Tb과 같은 중희토류로 대체해야 하기 때문에 원재료의 가격이 더 증가한다.

최근 고가인 Dy, Tb 등 중희토류의 사용량을 줄이면서도 영구자석의 보자력을 향상시키고자 하는 새로운 기술적 도전이 시도되고 있다. 이 기술적 도전은 희토류 가격 변동성 문제에 대해 자원적 해결 조치가 없는 상황에서 최소한의 중희토류를 사용해 보자력을 극대화한다는 경제적 가치가 있고, 종래보다 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 의 화학량론적 조성에 근접할 수 있어 잔류자속밀도를 향상시킬 수 있는 기술적 가치가 있다.

본 강연에서는 국·내외에서 활발하게 진행되고 있는 중희토류 저감형 Nd-Fe-B 영구자석 개발의 연구동향과 기술개발 현황을 소개하고자 한다.

WS₂/Al 도핑된 Nd-Fe-B 소결자석에서 WS₂ 분말 크기 및 DyH₂ 입계확산 처리 효과 연구

배경훈^{1*}, 이성래¹, 김효준², 이민우³, 장태석³

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

²자화전자 R&D 센터, 충청북도 청원군 자화전자, 363-922

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

1. 서론

Dy 원소 첨가 없이 Nd-Fe-B 소결자석의 보자력을 향상 시키는 효과적인 방법 중 하나는 소결 및 열처리 과정 중 입자성장을 억제 하는 것이다 [1, 2]. WS₂와 같은 고용점 황화물을 Nd-rich 상의 용점강화 원소인 Al을 동시 첨가하면 W-함유 상을 입계에 선택적으로 석출시켜 입자성장을 효과적으로 제어 할 수 있다 [2]. 그러나 입계에 형성된 W-함유 석출물은 주상과의 격자 부정합이 높다. 또한, 소결 및 열처리 동안 석출상으로 인한 입계에 이동을 효과적으로 억제하기 위해서는 석출상의 크기를 제어해야 한다. 하지만, 여전히 입계에 형성된 석출상은 역자구 핵생성으로 작용하여 결정립 크기 대비 보자력을 극대화하기 힘들다. DyH₂입계확산공정으로 이방성 자계가 높은 Dy-rich core-shell 미세구조를 입계에 형성하면 석출상에 의한 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는, WS₂/Al 분말 첨가의 단점을 보완하고 입자성장 억제 효과를 극대화하기 위하여 WS₂ 분말 크기를 미세화 시켰고, WS₂/Al이 첨가된 Nd-Fe-B 소결자석에 DyH₂를 입계확산 처리하여 미세구조와 자기적 특성 변화간의 상관관계를 연구하였다.

2. 실험방법

Al이 0.3 wt.% 첨가된 (Nd_{30.0}Dy_{2.0})-Fe_{bal}B_{1.0}M_{2.5}분말에 WS₂ 분말을 크기 별로 0~0.8 wt.% 첨가하여 소결자석을 제조하였다. 이때, 석출상 크기 제어를 위한 WS₂ 분말들은 습식분쇄기를 이용하여, 분말크기를 3.8, 1.2, 0.6 μ m로 각각 변화시켜 첨가하였다. 자장성형 후 1070°C에서 4시간 동안 소결하였다. 이후, 10×10×5 mm³크기로 가공한 소결자석을 KOH 용액을 이용하여 탈지처리 하였다. 또한, 1 wt.%의 HNO₃ 용액을 이용하여 자석의 표면을 50초 동안 에칭 하였다. 표면 처리된 시편을 DyH₂ 용액에 담근 후, 진공분위기에서 총 3분동안 ultrasonic을 이용하여 자석표면에 균질하게 코팅되도록 유도하였다. Dy의 확산을 위한 1차 열처리는 900°C에서 2시간, 미세구조 개선을 위해 2차 열처리를 500°C에서 2시간 동안 진행하였다. 미세구조와 자기적 특성 분석은 EPMA, Line profile (JXA-8500F) (Electron Probe Micro Analyzer), BH loop tracer를 이용하여 미세구조 변화 및 자기적 특성 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

WS₂ 분말 크기 변화에 따라, 최적의 자기적 특성을 내는 WS₂ 첨가량은 감소하였다 (그림 1). 0.6 μ m 크기의 분말이 0.4 wt.% 첨가된 자석의 평균 결정립 크기는 7.6 에서 6.2 μ m로 가장 효과적으로 감소하였다. 첨가 분말의 크기가 작아질수록 입계에 형성된 석출상의 크기 및 분포가 결정립 성장억제에 효과적 이었다. 또한, 석출상 분포도 향상으로 자구벽 핀닝 효과도 향상 시켰다. 그 결과, 0.6 μ m WS₂분말 도핑된 소결 자석은 잔류자화 감소 없이 17.7에서 19.2 kOe로 WS₂/Al이 도핑 된 소결자석 중 보자력 증가가 가장 크게 나타내었다. 반면, WS₂ 분말이 과잉 첨가된 자석의 경우, 석출상이 입계뿐만 아니라 입내에도 불균질하게 분포하면서 입자성장 억제 효과가 감소하고 자기적 특성도 감소하였다. 0.6 μ m 분말을 이용한 0.4 wt.% WS₂/Al 동시 첨가 자석

에 DyH₂입계확산공정 처리 이후 자석의 보자력은 잔류자화 감소 없이 22.9 kOe로 증가하였으며, WS₂/Al을 첨가하지 않은 자석보다 1.7 kOe 이상 높았다. 입계 근처에 형성된 Dy-rich core-shell 미세구조로 인해 주상의 격자상수가 감소되어 W-Fe-B 석출상과 주상과의 격자 부정합이 효과적으로 억제 되었고, 석출상 크기가 미세해짐에 따라 석출상과 주상과의 접촉 면적을 최소화 하여 구조적 결함에 따른 역자구 핵생성을 적절히 억제하였다. 또한, WS₂과 Al 분말을 동시에 첨가하면 Nd-rich 입계상의 연속성과 균질성이 향상되고 희토류 응집 산화물상 형성을 억제하여 Dy 입계 확산 깊이도 향상 되었다. 결론적으로, 석출상 크기가 제어된 WS₂/Al 첨가 자석에 DyH₂입계확산공정을 적용하여 입자 성장 억제를 극대화 하였고, 석출상 크기 미세화 및 Dy-rich core-shell 미세구조를 형성시켜 입계에서의 역자구 핵생성이 적절히 억제되어 WS₂/Al이 첨가되지 않은 Dy 입계확산 처리된 자석보다 8.1% 보자력이 향상 되었다.

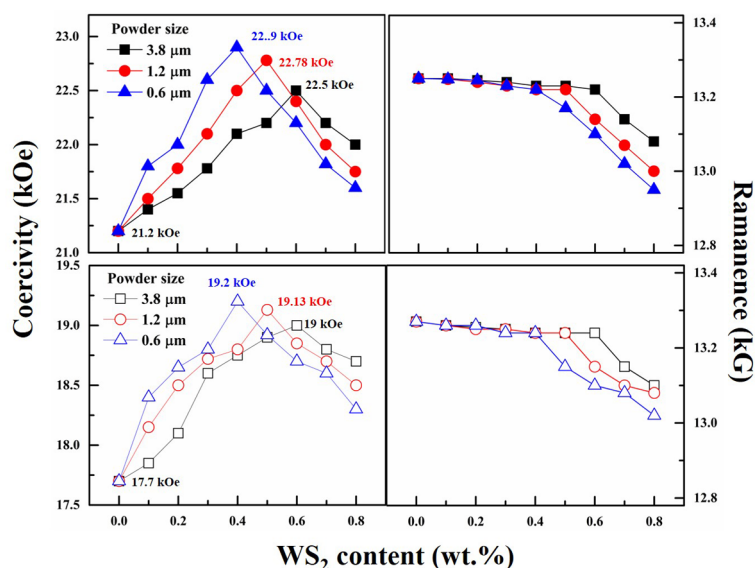


그림 1. WS₂/Al 도핑된 Nd-Fe-B 소결자석의 WS₂ 분말 크기 및 첨가량, DyH₂ 입계확산 유무에 따른 자기적 특성 변화

4. 결론

0.6 μm 크기의 WS₂ 분말 0.4 wt.% 첨가한 자석에 DyH₂ 입계확산 처리하면 잔류자화 감소 없이 22.9 kOe로 최대 보자력을 나타 내었다. WS₂ 분말 크기 미세화 및 WS₂/Al 동시 첨가자석에 DyH₂ 입계확산공정을 적용함에 따른 미세구조 개선은 다음과 같이 요약 할 수 있다. 첫째, 평균입자 크기 감소, 둘째, 석출상과 주상과의 격자부정합 최소화로 인한 역자구 핵생성 억제 그리고 셋째, 입계상 개선 및 희토류 응집 산화물상 형성 억제로 인한 Dy 확산 깊이 증가로 보자력이 8.1% 향상되었다.

5. 참고문헌

- [1] W.F. Li, A.M. Gabay, M. Marinescu-Jasinski, J.F. Liu, C. Ni, G.C. Hadjipanayis, J. Magn. Mater. 324, 1391-1396 (2012).
- [2] K. H. Bae, S. R. Lee, H. J. Kim, M. W. Lee, and T. S. Jang, J. Alloys Comp. 673, 321-326 (2016).

6. 감사의 글

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

Hot-deformation에 의한 Dy-free Nd-Fe-B 영구자석 제조

차희령^{1,2*}, 유지훈¹, 권해웅³, 김양도², 이정구¹

¹한국기계연구원 부설 재료연구소

²부산대학교

³부경대학교

1. 서론

최근 친환경 자동차 및 신재생 에너지 산업이 성장하면서 고온, 고출력 환경에서 사용가능한 영구자석이 요구된다 [1]. 이와 관련하여 내열특성이 취약한 Nd-Fe-B 영구자석의 보자력을 향상시키기 위해 Dy와 같은 중희토류 금속이 첨가되고 있다. 하지만 Dy는 자원이 한정되어 있고 첨가량이 많아질수록 자석의 세기가 저하되는 등의 문제가 있기 때문에 Dy를 사용하지 않고 결정립 미세화 및 계면제어와 같은 미세구조 제어를 통한 보자력 향상 기술이 필요하다 [2,3].

미세 결정립을 가지는 고성능 자석의 제조법 중 하나로 hot-deformation법이 있다. 이 방법은 특정온도에서 재료에 일정 압력을 가하여 소결하고 변형시킴으로써 나노결정립의 이방성 벌크자석을 제조하는 방법으로, 공정 온도, 변형률, 변형속도 등에 따라 자석의 특성이 변한다. 그리고 제조된 hot-deformed 자석은 공정 중 자석에 가해지는 압력에 의해 내부에 상당량의 strain 또는 결함이 존재할 것으로 예상되며 입계상 역시 불균일할 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 hot-deformation 공정에서 변형률 및 변형속도에 따른 자석의 특성변화를 조사하였고, 제조된 자석의 입계를 균일하게 제어하기 위해 후열처리 및 확산열처리 실시하여 이에 따른 미세구조 및 자기특성 변화를 알아보았다.

2. 실험방법

본 실험에서는 약 40 nm 결정립을 가지는 $\text{Nd}_{13.6}\text{Fe}_{73.6}\text{Co}_{6.6}\text{Ga}_{0.6}\text{B}_{5.6}$ 조성의 melt-spun 분말을 원료분말로 하여 700°C에서 hot-pressing한 후 동일온도에서 die-upset하여 이방성 벌크자석으로 제조하였다. 이때 변형률과 변형속도는 $\epsilon=0.5\sim1.4$, $\dot{\epsilon}=0.1\sim0.001\text{s}^{-1}$ 의 범위에서 변화시켰다. 그리고 제조된 hot-deformed 자석은 400~800°C 온도 범위에서 1시간동안 열처리하여 열처리 온도에 따른 특성 변화를 관찰하였다. 또한 입계를 비자성상으로 균일하게 코팅하기 위해 NdH_x 와 Cu 나노분말을 이용하여 550~700°C 온도에서 확산 열처리하였다. 제조된 자석의 미세구조 및 자기특성 변화는 XRD, FE-SEM 및 VSM을 통하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

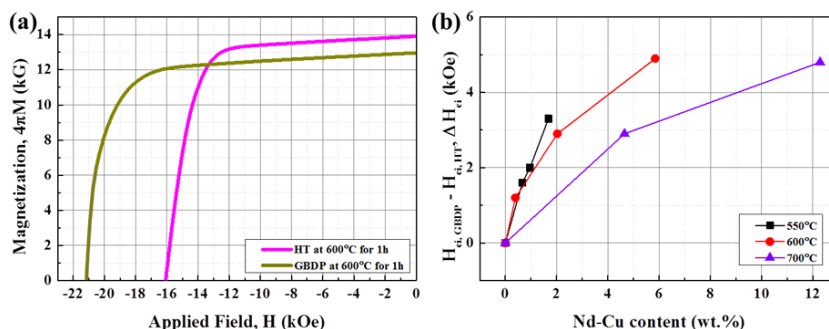


Fig. 1. (a) Demagnetization curves after heat treatment at 600°C for 1h with and without NdH_x -Cu dip-coating and (b) the coercivity increment as a function of diffused Nd-Cu contents.

Hot-deformation 공정 중 변형률이 커질수록 잔류자화 값이 증가하였고, 변형률이 작은 영역에서는 속도가 느릴수록 결정 이방화가 더 잘되었지만 변형률이 커질수록 속도가 빠른 것이 높은 보자력 및 잔류자화값을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 제조된 자석은 600°C에서 후열처리 하였을 때 다른 첨가물 없이 열처리만으로도 보자력이 약 2.4 kOe 증가함을 확인하였다. 이러한 보자력 향상은 열처리를 통해 hot-deformation 공정 중 생긴 내부 strain이 제거되어 나타난 결과인 것으로 보인다. NdH_x와 Cu 혼합분말을 열처리한 결과 550°C 이상의 온도에서 서로 반응하여 Nd-Cu를 형성하는 것을 확인하였다. 그리고 NdH_x와 Cu 혼합분말을 이용하여 자석에 확산 열처리 하였을 때 열처리 온도가 높을수록 많은 양의 Nd-Cu가 내부로 확산되어 들어가는 것을 확인하였으며 확산량이 많을수록 내부 입계상이 두꺼워지면서 보자력이 크게 향상됨을 확인하였다. 하지만 Nd-Cu 확산량에 대한 보자력 증가 비율은 낮은 온도에 열처리 하였을 때 더 높은 것을 알 수 있었는데 이것은 높은 온도에서 열처리하였을 경우 결정립 성장이 더 크게 일어나면서 나타나는 결과일 것으로 예상된다.

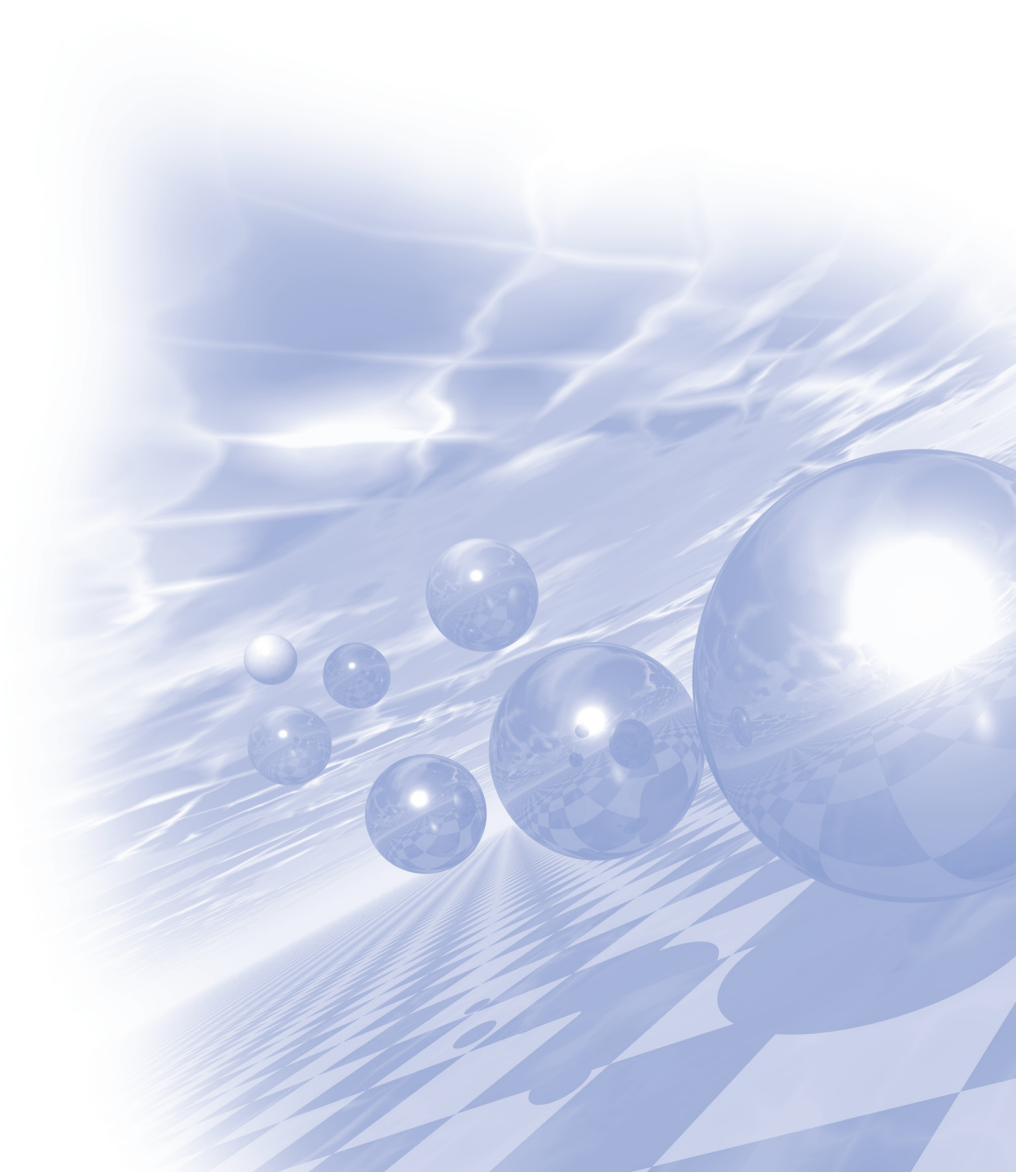
4. 참고문헌

- [1] O. Gutfleisch et al., *Adv. Mater.* **23** (2011) 821.
- [2] T. Akiya et al., *Scr. Mater.* **81** (2014) 48.
- [3] H. Sepehri-Amin et al., *Scr. Mater.* **63** (2010) 1124.



KMS 2016 Summer Conference

구두발표Ⅳ



전자기 리니어 발전기의 발전량에 대한 영향도 분석

조성진^{1*}, 이수정², 신유정¹, 김진호¹

¹영남대학교 기계공학과, ²(재)경북테크노파크 그린카부품기술연구소

1. 서론

전자기 기반 방식을 이용한 방식은 높은 전력 효율을 발생하는 장점이 있어 발전기 시스템에 적용하여 지속적인 전기에너지를 생산할 수 있다. 현재 이러한 선형 발전기에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 각각의 변수들의 변화에 따른 영향도 분석이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전자기 리니어 발전기의 제한된 조건에서 발전량을 최대로 내기위해 설계 변수들을 반응 표면 분석법을 통해 분석하고 발전량에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 시뮬레이션 조건 및 실험계획법

리니어 발전기의 발전량에 대한 영향을 미치는 3가지 변수를 각각 자석의 수, 자석의 크기, 코일턴수로 선정하였다. 이때 자석의 수, 자석의 크기는 소형 선형발전기의 전체 크기의 35~80%범위로 선정하였으며, 코일턴수는 500~1500사이로 선정하여 각각의 변수에 대한 발전량의 변화를 분석하였다. 이러한 전자기 리니어 발전기의 전자기적 특성을 분석하기 위해 상용 전자기 유한요소 해석 프로그램인 MAXWELL을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 소형 선형 발전기의 각 변수들이 발전량에 미치는 영향을 분석하기 위해서 실험계획법 중 반응 표면 분석법을 적용하였다.

3. 고찰

전자기 리니어 선형발전의 발전량에 미치는 영향을 분석하기 위해 3가지 변수를 선정 후 발전량에 대한 영향도 분석결과 코일 턴 수는 상대적으로 미비한 영향으로 나타났다. 동일한 직경 내의 코일의 턴 수의 변화보다 코일 직경 변화에 따른 발전량 비교분석이 필요할 것으로 예상된다. 또한 발전량에 영향을 미치는 설계변수를 선정하여 최적설계를 진행하여 초기모델과 비교했을 때의 발전량 향상에 대한 분석이 필요하다.

4. 결론

전자기 리니어 발전기의 발전량에 영향을 미치는 요인을 선정하기 위해 실험계획법인 반응표면 분석법(Box-Behbken 기법)을 사용하였다. 이를 통해 전자기 리니어 발전기의 발전량에 미치는 영향을 분석하기 위해 3가지 변수를 선정하였으며 이는 각각 자석수, 자석의 크기, 코일턴수이다. 또한, 시뮬레이션 결과를 통하여 회귀방정식을 도출하였으며 이를 통하여 발전량에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 자석의 크기이며, 자석의 수 또한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 하지만 코일턴수는 상대적으로 미비한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

- [1] Semyung Park, Jinho Kim, 2014, Electric generator embedded in cellular phone for self-recharge, JOURNAL OF VIBROENGINEERING, Volume 16, ISSUE 8. ISSN 1392-8716 517~521.

[후기]

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역특화산업육성사업(창의융합R&D)으로 수행된 연구결과입니다.

Magnetic moment and Magnetocrystalline anisotropy of Fe_{16}N_2 : A first principles study

Imran Khan^{*}, Jisang Hong

Department of Physics, Pukyong National University

Using the full potential linearized augmented plane wave (FLAPW) method, we have investigated the electronic structure and magnetic properties of Fe_{16}N_2 with body centered tetragonal structure. The average magnetic moment was found to be $2.5 \mu_B/\text{Fe atom}$ which is in agreement with the experimentally calculated value. A perpendicular magnetocrystalline anisotropy of 0.57 MJ/m^3 was obtained for pure Fe_{16}N_2 which is due to the tetragonal distortion and it is in agreement with earlier reported results. The estimated coercivity and maximum energy product are 6.5 kOe and 71.7 MGOe.

Magnetic property of porous black phosphorene layer: electric field and edge passivation effect

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

Department of Physics, Pukyong National University

Using the first principles method, we explored the possibility of long range magnetic ordering in two-dimensional porous phosphorene (PP) layer. 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). The thermodynamic Gibbs free energy calculation revealed that the passivated system was more stable than the pristine PP layer and the O passivation was more favorable than the H passivation. The AFM state was persisted by the oxidation of the edge. Pore to pore magnetic interaction with a 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. Interestingly, the long range AFM ordering changed to ferromagnetic (FM) ordering by external electric field. Our study implies a possibility that a long range FM ordering in whole 2D phosphorene sheet can be formed if a uniform pore exists in a phosphorene monolayer. 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.

Manipulating magnetism by strain in FeRh(001) thin films

Soyoung Jekal*, S. H. Rhim and S. C. Hong

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

Symmetrically terminated FeRh (001) exhibit radically different magnetism by termination: a Rh-terminated film prefers ferromagnetism (FM), while an Fe-terminated one is stable in G-type antiferromagnetism (G-AFM)[1]. We extend our study to asymmetrically terminated FeRh (001) film with both termination at each side. This asymmetrical FeRh (001) film possess both FM and G-AFM, whose details depend on film thickness[2].

In this talk, we additionally consider strain effect on magnetism of both symmetrically and asymmetrically terminated FeRh(001) films. Compressive (tensile) strain along in-plane direction stabilizes G-AFM (FM). Furthermore, for 9-ML Rh-terminated film, there is a crossover from FM to G-AFM for 2% compressive strain, while unstrained one is stable in FM.

In the case of asymmetrically terminated FeRh(001) film, the number of layers of FM and G-AFM depend on strains as shown in Fig. 1. Moreover, magnetocrystalline anisotropy (MCA) is also controllable by strain, where the contributions from each of the Fe- and Rh-terminated surface, and the boundary where magnetism changes, are analyzed from the electronic structure.

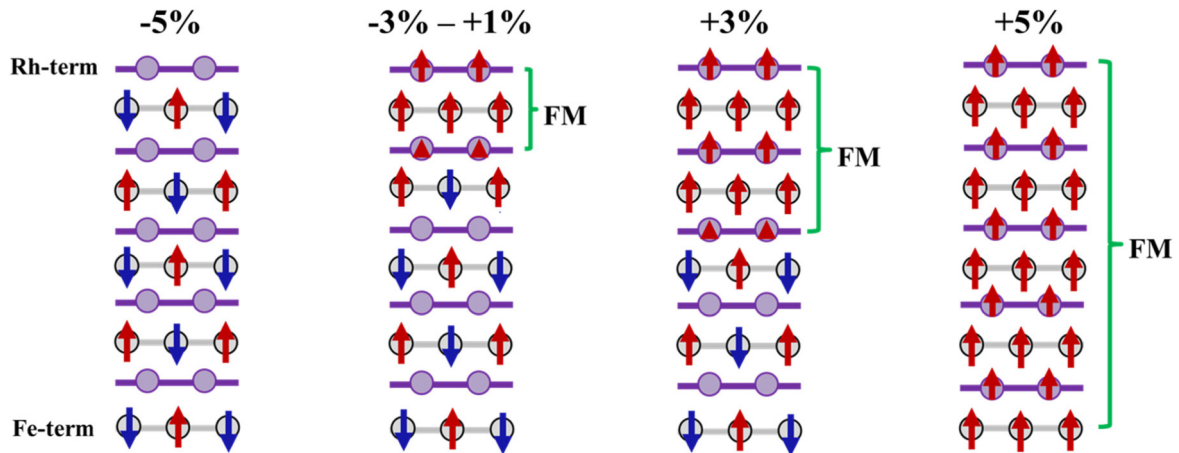


Fig. 1

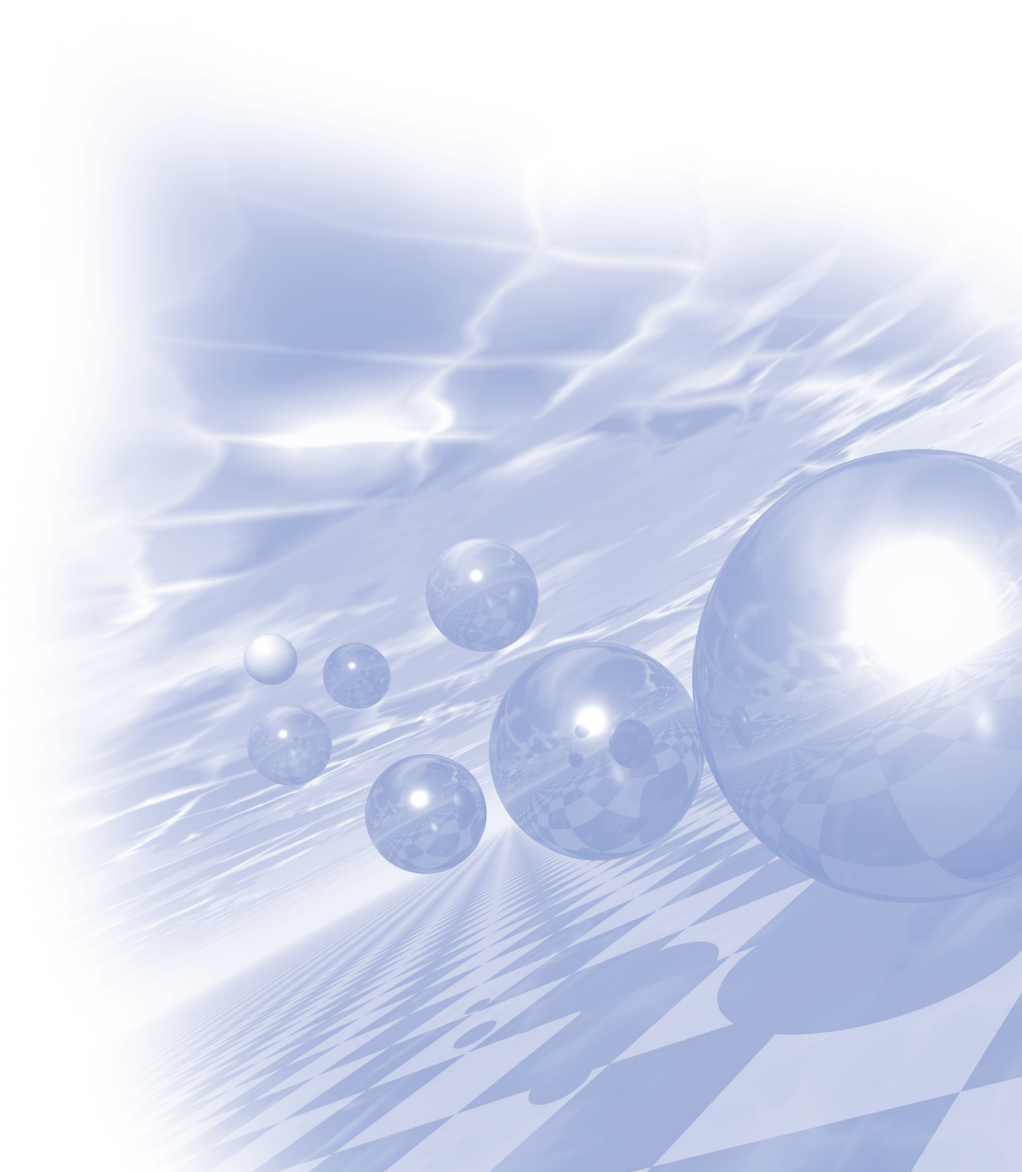
References

- [1] S. Jekal, S. H. Rhim, S. C. Hong, W. J. Son, and A. B. Shick, Phys. Rev. B, **92**, 064410 (2015).
- [2] S. Jekal, S. H. Rhim, and S. C. Hong, accepted on IEEE Trans. Magn.



KMS 2016 Summer Conference

구두발표 V



Defect induced ferromagnetic interaction in Co^{2+} -doped Y_2O_3 nanorods

Sandeep K.S. Patel*, Prasanta Dhak, Min-Kwan Kim, Jae-Hyeok Lee,
Miyoung Kim, 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

1. Introduction

In recent research, dilute magnetic oxide (DMO) systems are one of the promising candidates for potential spintronics application, because they display room-temperature ferromagnetism [1]. The recent literature on transition-metal-ion-doped room-temperature ferromagnetism in low-band-gap (~ 3.0 eV) ZnO , TiO_2 , SnO_2 and In_2O_3 systems is vast [2-7]. Although the origin of such room-temperature ferromagnetism in these oxides is explained by the bound magnetic polaron (BMP) model [8], there remains controversy with respect to its scientific explanation. There have been few reports of the existence of ferromagnetism in Cr-doped In_2O_3 [7], whereas it has been established that Fe-doped TiO_2 exhibits paramagnetism [6]. Griffin [9] and Tian et al. [10] have reported non-intrinsic ferromagnetism due to the formation of ferromagnetic clusters or impurity. According to the BMP model, oxygen vacancies defects play an important role in determining the existence of ferromagnetism in such DMOs. Because the oxygen-vacancy concentration (V_o) can be controlled, the saturation magnetization can be modulated accordingly [8].

Meanwhile, for hybrid device application in the present research, high- κ dielectric systems such as Y_2O_3 are of great interest, though little attention has been paid to one-dimension (1D) nanostructures. In the present study, we synthesized $\text{Y}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_3$; ($x = 0.00, 0.04, 0.08$) nanorods by hydrothermal method and studied the room-temperature magnetic properties of pure and transition metal Co^{2+} ions doped Y_2O_3 nanorods.

2. Results

Co^{2+} -doped Y_2O_3 nanorods of 70-100 nm diameters and 0.3-2 μm lengths with different compositions ($x = 0.00, 0.04, 0.08$) in $\text{Y}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ were synthesized by a hydrothermal method. The X-ray diffraction, Raman spectra, X-ray photoelectron spectroscopy and transmission electron microscopy (TEM) results indicated the formation of a pure cubic phase structure of Y_2O_3 doped with Co^{2+} ions without any secondary phase formation. The TEM analysis indicated that the nanorods were grown along the [100] axis. The pure Y_2O_3 nanorods showed diamagnetism whereas the Co^{2+} -doped ones exhibited room-temperature ferromagnetism. The existence of such room-temperature ferromagnetic behavior in Co^{2+} -doped Y_2O_3 nanorods is due mainly to the existence of oxygen vacancies defects originating after the doping of transition metal Co^{2+} ions in the Y_2O_3 host lattice. Oxygen vacancies act as defect centers in the bound magnetic polaron model to account for this dilute magnetic oxide of medium band gap with low transition metal Co^{2+} ions concentration. The presence of defect-related oxygen vacancies was further confirmed by the photoluminescence (PL) spectra analysis.

3. Discussion

The surface morphology was examined by SEM and TEM. The straight rod-shape morphology of the pure and Co-doped Y_2O_3 samples are of 70-100 nm in diameter and 0.3 μm -2 μm in length. The XRD patterns properly matched the pure-phase cubic crystal structure and Ia-3 space group. The analysis of the XPS spectra indicated the presence of three elements, Y, O and Co, in the $\text{Y}_{1.96}\text{Co}_{0.04}\text{O}_3$ composition, and the oxidation state of Y was Y^{3+} . As described in the bound magnetic polaron (BMP) model, ferromagnetism in such insulating DMOs occurs due to localized defects instead of the electron-mediated magnetism proposed for conducting diluted magnetic systems (DMSs). In our case, when the Co^{2+} ion is present, oxygen vacancies (V_o) surrounding it are created as $\text{Co}^{2+}-\text{V}_\text{o}-\text{Co}^{2+}$, and these act as defect centers that mediate the localized carriers and affect the ferromagnetic properties. Therefore, the magnitude of ferromagnetism is dominated by the incorporation of transition metal Co^{2+} ions, which creates defect centers associated with oxygen vacancies.

4. Conclusions

We synthesized pure and Co-doped Y_2O_3 nanorods of high aspect ratio of dimensions using a simple and inexpensive hydrothermal process and studied their formation mechanism as well as structural and magnetic properties. The pure Y_2O_3 nanorods exhibited linear diamagnetism, whereas the Co^{2+} -doped Y_2O_3 nanorods showed room-temperature ferromagnetism. The existence of ferromagnetism in doped samples is due to the creation of oxygen vacancies during defect formation in the host lattice. The ferromagnetic behavior is explained by the defect-mediated mechanism in the framework of the bound magnetic polarons. The present PL spectra confirmed the existence of additional oxygen vacancies in the doped Y_2O_3 nanorods. Such variation in the magnetic behavior of DMO through oxygen vacancy increase after doping with transition metal ion can be used for potential applications in spintronics.

5. References

- [1] H. Ohno, Science 291, 840 (2001).
- [2] Y. Q. Chang, P. W. Wang, R. H. Tang, Q. L. Sun, and Y. Long, J. Mater. Sci. Technol. 27, 513 (2011).
- [3] R. Pugaze, A. Sivagamasundari, D. Vanidha, S. Chandrasekar, A. Arunkumar, S. Rajagopan, and R. Kannan, J. Mater. Sci. Technol. 30, 275 (2014).
- [4] M. C. K. Sellers, and E. G. Seebauer, Mater. Lett. 114, 44 (2014).
- [5] S. K. S. Patel, and N. S. Gajbhiye, J. Magn. Magn. Mater. 330, 21 (2013).
- [6] G. Z. Xing, J. B. Yi, D. D. Wang, L. Liao, T. Yu, Z. X. Shen, C. H. A. Huan, T. C. Sum, J. Ding, and T. Wu, Phys. Rev. B. 79, 174406 (2009).
- [7] A. Bouaine, R. J. Green, S. Colis, P. Bazylewski, G. S. Chang, A. Moewes, E. Z. Kurmaev, and A. Dinia, J. Phys. Chem. C. 115, 1556 (2011).
- [8] J. M. D. Coey, M. Venkatesan, and C. B. Fitzgerald, Nat. Mater. 4 (2005) 173.
- [9] K. A. Griffin, A. B. Pakhomov, C. M. Wang, S. M. Heald, and K. M. Krishnan, Phys. Rev. Lett. 94, 157204 (2005).
- [10] Z. M. Tian, S. L. Yuan, S. J. Yuan, H. Y. Xie, J. H. He, Y. Q. Wang, K. L. Liu, and S. Y. Yin, Solid State Commun. 146, 522 (2008).

Exchange bias and $R3c$ to $Pn2_1a$ phase transition in single crystalline Gd-doped BiFeO_3 nanowires

Sandeep K.S. Patel*, Min-Kwan Kim, Miyoung Kim, 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

1. Introduction

In recent years, the exchange bias effect has received considerable interest due to the intriguing physics and its importance in technological applications [1]. Exchange anisotropy appears in hybrid ferromagnetic–antiferromagnetic (FM/AFM) systems and manifests itself in the form of a shift of the magnetization hysteresis loop. The presence of uncompensated surface spins also leads to exchange bias anisotropy in the AFM nanostructured materials such as Co_3O_4 [2] and NiO [3]. Recently, the exchange bias effect has been observed in ABO_3 type AFM perovskite, such as BiFeO_3 [4].

Single phase BiFeO_3 (BFO) is the most promising multiferroic material because of its high ferroelectric Curie ($T_C \sim 1103\text{K}$) and Neel ($T_N \sim 643\text{K}$) temperatures [5,6]. Owing to its high T_C and T_N ordering temperatures, this material is expected to find potential applications in spintronics, data storage and electromagnetic devices [6-9]. It has G-type antiferromagnetic ordering with a spin cycloid with period of approximately 62 nm [10,11]. This spiral spin structure limits the observation of ferromagnetism in BFO. The limiting observation of ferromagnetism can be mitigate through the suppression of the spiral spin cycloid structure by reducing its size below 62 nm or by chemical substitution of Bi^{3+} or Fe^{3+} sites by suitable ions of comparable ionic sizes [12,13]. Recently, many authors have carried out rare-earth ions (R^{3+}) doping at Bi^{3+} sites to suppress the spin cycloid structure and enhance the magnetization in BFO [13,14]. In this study, we report the structural transformation and observation of exchange bias properties in one dimensional Gd-doped BFO nanowires (NWs). We provide an interpretation of the temperature dependence of exchange bias and coercivity, based on the uncoupled surface spins.

2. Results

Multiferroic one-dimensional single crystalline $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($0 \leq x \leq 0.10$) nanowires of 50-60 nm diameters have been synthesized by hydrothermal technique. Addition of Gd^{3+} ions into the BFO NWs results in rhombohedral ($R3c$) to orthorhombic ($Pn2_1a$) phase transition and alters their magnetic properties. The improvement in the multiferroic properties could be due to the spin canted Dzyaloshinskii–Moriya (DM) interaction that were manifested by the suppression of cycloidal spin structure, since the sizes of the NWs are less than 62 nm. A distinct exchange bias phenomenon is also observed, which can be attributed to the exchange interaction at interface of AFM core–FM shell like structure.

3. Discussion

XRD pattern obtained for $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0$) confirmed that the compound is single phase and possesses

the rhombohedral lattice type with $R3c$ space group and $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0.10$) revealed an orthorhombic lattice type structure with $Pn2_1a$ space group. The TEM images show that the particles have NWs shapes with diameter about 50–60 nm and a length from hundreds of nm to several microns. The enhancement in magnetic property of $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0.10$) NWs can be attributed to the $R3c$ to orthorhombic $Pn2_1a$ structural transformation, which might cause a tilting of FeO_6 octahedrons due to the canting of Fe–O–Fe bond angles. Moreover, oxygen deficiency could also increase the magnetization by introducing Fe^{2+} through the double exchange mechanism across the $\text{Fe}^{3+}\text{--O}^{2-}\text{--Fe}^{2+}$, but the presence of Fe^{2+} rules out by the X-ray photoelectron spectroscopy measurements. The exchange coupling interactions between the AFM core and FM-like shell of the particles leads the exchange bias phenomenon.

4. Conclusions

$\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ NWs with rhombohedral ($x = 0$) and orthorhombic structure ($x = 0.10$) were successfully synthesized through a hydrothermal method. The decrease in intensity and broadening of Raman modes further confirms the structural changes. In addition to the antiferromagnetic behavior, the magnetization curves of the BFO nanowires also present a ferromagnetic response at 300 and 5 K. The $\text{Bi}_{1-x}\text{Gd}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0.10$) nanowires exhibited significantly difference in exchange bias fields compared to BFO nanowires. This behavior is associated to the substitution induced suppression of cycloidal spins and AFM-core/FM-shell like structure in BFO. The existence of exchange bias makes BFO nanowires a potential candidate for spintronics and memory based devices.

5. References

- [1] J. Nogues, J. Sort, V. Langlais, V. Skumryev, S. Surinach, J.S. Munoz, Phys. Rep. 422, 65 (2005).
- [2] E. L. Salabas, A. Rumpelcker, F. Kleitz, F. Radu, and F. Schuth, Nano Lett. 6, 2977 (2006).
- [3] R. H. Kodama, S. A. Makhlof, and A. E. Berkowitz, Phys. Rev. Lett. 79, 1393 (1997).
- [4] S. K. Srivastav, N. S. Gajbhiye, and A. Banerjee, J. Appl. Phys. 113, 203917 (2013).
- [5] S. V. Kiselev, R. P. Ozerov, and G. S. Zhdanov, SoV. Phys. Dokl 7, 742 (1963).
- [6] D. Lebeugle, D. Colson, A. Forget, M. Viret, P. Bonville, J. F. Marucco, and S. Fusil, Phys. Rev. B. 76, 024116 (2007).
- [7] H. Schmid, Ferroelectrics 162, 19 (1994).
- [8] N. A. Hill, J. Phys. Chem. B, 104, 6694 (2000).
- [9] J. F. Scott, J. Mater. Chem. 22, 4567 (2012).
- [10] I. Sosnowska, T. P. Neumaier, and E. Steichele, J. Phys. C: Solid State Phys. 15, 4835 (1982).
- [11] D. Lebeugle, D. Colson, A. Forget, M. Viret, P. Bonville, J. F. Marucco, and S. Fusil, Phys. Rev. B 76, 024116 (2007).
- [12] D. C. Arnold, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control. 62, 62 (2015).
- [13] G. Catalan, and J. F. Scott, Adv. Mater. 21, 2463 (2009).
- [14] P. Suresh, P. D. Babu, and S. Srinath, J. Appl. Phys. 115, 17D905 (2014).

계면 Dzyaloshinskii-Moriya 상호작용과 궤도 자기 모멘트의 상관관계 연구

Sanghoon Kim^{1**}, Kohei Ueda¹, Kihiro Yamada¹, Motohiro Suzuki², Yoshinori Kotani²,
Tetsuya Nakamura², Gyungchoon Go³, Peong-Hwa Jang³, Kyung-Jin Lee³,
Abderrezak Belabbes⁴, Aurelien Manchon⁴, Kohji Nakamura⁵, Tomohiro Koyama⁶,
Daichi Chiba⁶, Takahiro Moriyama¹, Kab-Jin Kim¹ and Teruo Ono^{1*}

¹Institute for Chemical Research, Kyoto University

²Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

³Department of Materials Science & Engineering, Korea University

⁴Science and Engineering Division, King Abdullah University of Science and Technology

⁵Department of Physics Engineering, Mie University

⁶Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, The University of Tokyo

*Correspondence to: makuny80@gmail.com, ono@scl.kyoto-u.ac.jp

1. 서론

최근 Å 두께의 자성 박막과 스핀-궤도 결합이 강한 중금속 물질의 계면에서 Dzyaloshinskii-Moriya 상호작용(DMI)에 의한 카이럴리티를 갖는 독특한 스핀 구조가 실험적으로 발견되고 있다. 대표적인 예로 스컬미온의 형성이나 나노 와이어에서의 Neel 자벽 구조가 있다[1,2]. 이들 모두 DMI에 의한 카이럴리티를 갖고 있어야만 형성되는 독특한 스핀 구조로 저전류 동작 혹은 고속 신호 처리의 장점을 갖고 있어 차세대 기록 저장 장치 혹은 논리소자에 응용이 기대되고 있다. 그러나 계면의 스핀-궤도 결합에 의한 현상임에도 불구하고 아직까지 미세 전자구조와 디엠아이의 관계가 명확히 규명되지 않고 있다. 본 발표에서는 Pt과 Co의 계면에서 발생하는 DMI의 크기를 자구벽 이동 속도 측정으로 확인한다. DMI 크기는 DMI에 의한 유효 자기장(H_{DMI})으로 구할 수 있으며, H_{DMI} 의 변화를 유도하기 위해 300 K에서 100 K까지 온도를 변화시켜가며 자구 벽 이동속도를 측정하고 그것의 온도의존성을 관찰한다. 자기 이색성 측정(x-ray magnetic circular dichroism, XMCD)을 이용한 궤도 자기 모멘트의 크기를 구하여 DMI의 온도 의존성과의 비교를 통해 두 물리량의 관계를 증명한다.

2. 실험방법과 결과

나노 와이어에서의 자구벽 이동 속도 측정을 위한 시편 구조는 Ta (4)/Pt (2)/[Co 0.3/ Ni 0.6]₂/Co 0.3/MgO (1)/ Pt (4)(nm)이다. DMI에 의한 유효 자기장은 나노 세선과 평행한 방향으로 알려져 있다. 자구벽을 이동 시키는 구동력이 자기장일 경우 H_{DMI} 에 의해 자구벽의 자화는 평균적으로 고정되어 soliton과 같은 거동을 보이고 결과적으로 자구벽 이동속도를 증가시킨다. 만약 H_{DMI} 가 나노 와이어와 평행한 방향으로 가해진 외부 자기장에 의해 상쇄되면 솔리톤 특성이 사라져 자구벽 이동속도가 최저가 된다. 이같은 원리를 이용하여 외부자기장 크기에 의한 자구벽 이동속도의 변화를 통해 H_{DMI} 를 온도별(100, 150, 200 그리고 300 K)로 측정하였다. 관측된 온도에 따른 H_{DMI} 의 크기는 표 1에 정리하였다. 흥미롭게도 100 K에서 측정된 H_{DMI} 는 300 K에서 측정된 것보다 약 2배가량 큰 값을 갖고 있음을 확인하였다. 동일한 온도조건에서 오비탈 모멘트의 변화를 관찰하기 위해 일본 Spring-8의 25번과 39번 빔라인에서 Co와 Pt의 자기 이색성 측정이 진행되었다. 궤도 모멘트의 이방성을 확인하기 위해 원형 편광된 x선의 입사각을 0, 70도로 하여 각도 의존성을 측정하였다. 표 1에 정리된 바와 같이 수직방향 궤도 모멘트의 변화가 수평방향보다 더 큰 것을 확인할 수 있다. 두 모멘트의 비율은 명확한 온도의존성(100K에서 약 64% 증가)을 보였다.

3. 고찰

DMI에너지 상수는 아래와 같이 표현된다 [3].

$$H_{DMI} = \frac{D}{M_s \Delta}$$

위 식에서 D , M_s , 그리고 Δ 는 각각 DMI 에너지 밀도, 나노 와이어의 포화 자화, 그리고 자구벽 두께이다. 자구벽 두께가 $\Delta = \sqrt{A/K_{eff}}$ (A 는 교환결합 에너지상수, $K_{eff} \propto M_s$ 는 유효 자기 이방성 에너지)이므로 H_{DMI} 는 $\sqrt{M_s}$ 과 반비례 한다. 따라서 저온에서의 H_{DMI} 는 포화자화 값의 증가로는 설명하기 어렵다. 한편, DMI는 Rashba 에너지 상수(α_R)와 비례한다고 알려져 있는데 [4], 역대칭 구조가 깨져있는 계면에서는 α_R 와 수직 및 수평 궤도 모멘트의 비 ($m_o^{\perp}/m_o^{\parallel}$)가 서로 선형 비례하는 것으로 보고된 바 있다[5]. 본 연구결과는 자구벽 이동 속도로 부터 얻어진 H_{DMI} 와 XMCD로 부터 얻어진 $m_o^{\perp}/m_o^{\parallel}$ 이 서로 비슷한 온도 의존성을 갖는 다는 것을 보여 준다. 한편, S.S. Parkin 그룹에서 보고한 DMI와 Pt의 유도자기 모멘트와의 연관성은 관측되지 않았다[6]. 위 결과들은 궤도 자기 모멘트의 이방성, 즉 물질의 궤도 전자구조가 DMI의 미세구조 관점에서의 근원이 될 수 있음을 보여준다.

4. 결론

최근 실험적으로 발견되는 스핀 홀 효과나 DMI와 같은 스핀-궤도 결합에 의한 물리적 현상들은 궤도 전자 구조와 밀접한 관계가 있다고 보고되어 왔으나, 궤도 자기 모멘트의 실험적 측정이 어려운 관계로 많은 연구가 되어있지 않다. 본 연구는 DMI가 큰 물질의 설계를 위한 초석이 될 뿐만 아니라 궤도 전자 구조의 실험적 측정에 대한 방법적인 해결책을 마련하는 중요한 디딤돌이 될 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Emori, S. *et al. Nat. Mater.* **12**, 611-616 (2013).
- [2] Fert, A. *et al. Nat. Nanotech.* **8**, 152 (2013).
- [3] Thiaville, A. *et al. Europhys. Lett.* **100**, 57002 (2012).
- [4] Kim, K.-W. *et al. Phys. Rev. Lett.* **111**, 216601 (2013).
- [5] Nistor, C. *et al. Phys. Rev. B* **84**, 054464 (2011).
- [6] Ryu, K.-S. *et al. Nat. Commun.* **5**, 3910 (2014).

Intrinsic spin-orbit torque in two dimensional antiferromagnets

Suik Cheon^{1*} and Hyun-Woo Lee¹

¹Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, Pohang 37673, Korea

We consider spin torque generated by an electric current flowing through a two-dimensional(2D) collinear antiferromagnetic(AFM) layer subject to the Rashba spin-orbit coupling. In particular, we focus on the spin-orbit torque (SOT), which is the spin torque generated by the interplay between the current and the spin-orbit coupling. Considering small Fermi energy and strong exchange limit, we investigate the damping-like(DL) component of the SOT, or DL-SOT. Compared to the DL-SOT in a ferromagnetic case, we show that this torque in the AFM case is more sensitive to the exchange interaction and the electron density. Moreover while the intrinsic DL-SOT in the ferromagnetic case arises from the whole bands[1], in the 2D collinear AFM system, which is invariant under combination between time reversal and lattice translation symmetry operations, we show that certain specific bands are important to the DL-SOT.

Reference

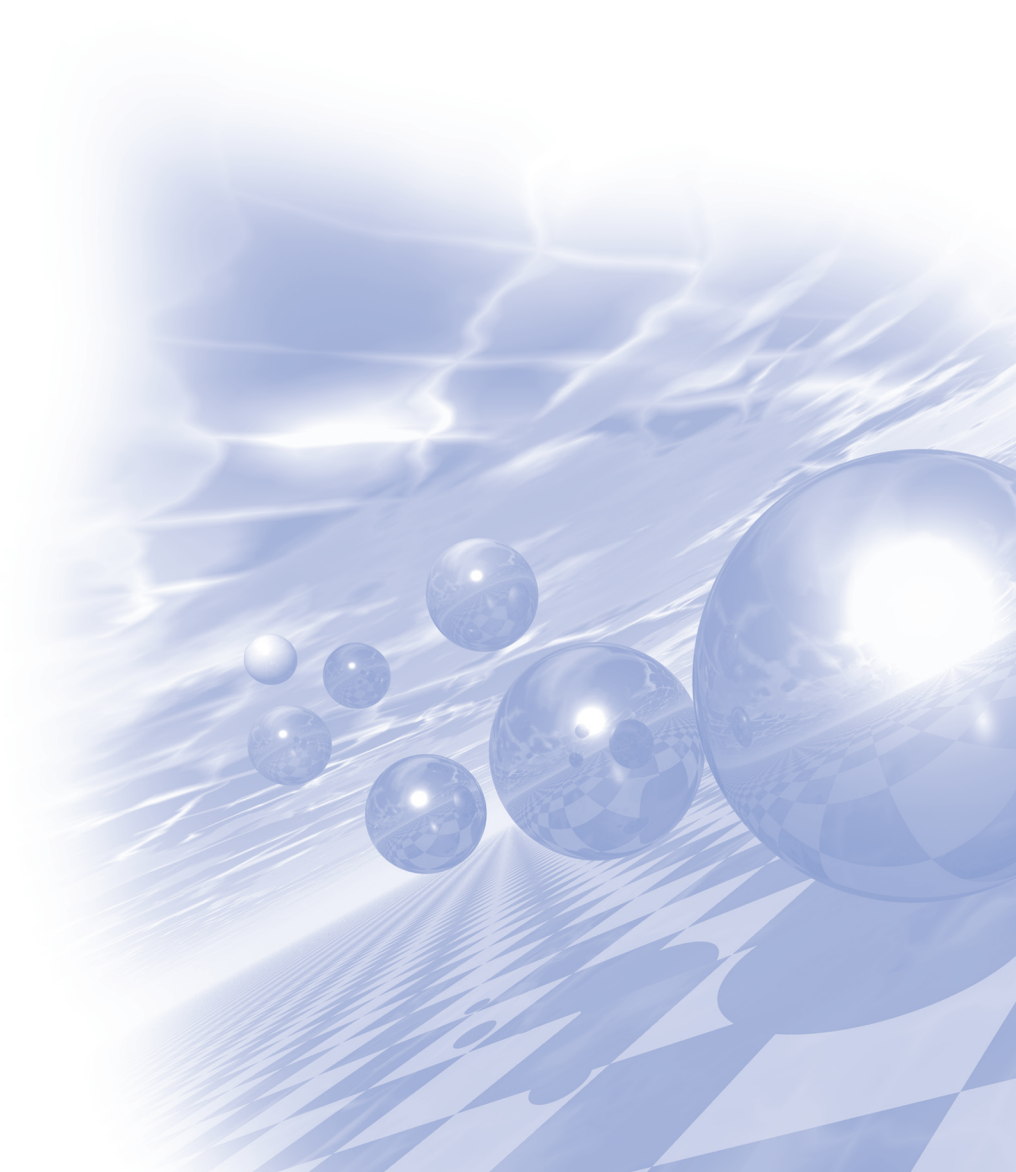
- [1] H. Kurebayashi et al., Nat. Nanotechnol. **9**, 211 (2014).



KMS 2016 Summer Conference

Special Session VIII

‘고주파 자성재료의 응용’



Medium Power 무선충전용 전자기 차폐재 기술 및 동향

이상원*, 배석, 윤종흠, 김유선, 김소연, 송지연, 이미진, 정명재, 유선영

기능소재팀, 선행소재개발실, 선행부품연구소, R&D센터, LG이노텍(주)

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

최근 5~6년동안 스마트폰 및 웨어러블 제품 등에서 전력전송(WPC; wireless power conversion)을 통한 충전 방식 채용은 급격한 증가를 보여 왔다. 지금까지의 기술개발 초점은 충전 효율의 향상에서 집중되어 왔으나, 충전 시간이 유선 방식에 비해 상대적으로 길다는 단점은 여전히 해결과제로 남아 있다. 충전 시간의 단축은 파워 용량에 직접적인 연관성이 있으며, 5W에서 15W로 충전 파워를 향상시키는 방향으로 기술개발이 진행되고 있다. 15W 표준도 15년 하반기에 제정 및 공표됨으로써 개발과 제품 채용을 위한 스마트폰 제조사의 실행력을 가속화시켰으며, 더 높은 파워대역으로의 개발을 계획함으로써 무선전력전송용 자성소재의 개발 영역과 응용 제품이 더욱 확장될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 무선전력 전송용 전자기차폐 소재/시트와 관련한 기술적 핵심사항과 최근의 상용화 제품을 통한 트렌드를 알아보고자 한다.

Fe-Co-X 자성금속섬유 복합재의 전자파 차폐특성 연구

이상복^{1*}, 정병문¹, 최재령¹, 조승찬¹, 최우혁¹, 이상관¹, 김기현²

¹재료연구소 복합재료연구그룹

²영남대학교 물리학과

최근 전자기기의 급격한 발달로 인한 전자파 장애 (Electromagnetic Interference, EMI) 문제가 대두되고 있다. 전자파 장애로 인하여 전자제품, 정보통신기기, 의료기기 및 군사장비 등에 노이즈가 발생하거나 오작동이 발생하는 경우가 보고되고 있으며, 기기의 다기능화, 경량화 및 경박 단소화 경향에 따른 고밀도, 고집적 그리고 복합화는 전자파 장애를 더욱 유발시키는 원인이 되고 있다. 이러한 유해 전자파 장애 방지 방책으로 전자파 차폐가 대두되고 있다. 일반적으로 전자파 차폐재로 전기적 특성이 우수한 금속을 많이 사용하고 있으나 무겁고 쉽게 부식되며 가공성이 좋지 않은 문제점 등을 가지고 있다. 최근 이러한 단점을 보완하기 위하여 경량성과 내환경성, 그리고 높은 생산성을 겸비한 고분자와의 복합재가 부각되고 있다[9]. 특히 금속-고분자 복합재의 경우 종횡비가 큰 금속 섬유 형상이 주목받고 있는데, 이는 낮은 함량에서도 높은 종횡비에 의하여 도전성 경로가 확대되고 그로 인해 경량성 확보와 더불어 전도성 증가에 따른 우수한 전자파 차폐 특성을 구현하기 때문이다.

본 연구에서는 중공형 자성금속섬유 및 자성금속 코팅 유리섬유를 이용하여 필름형 전자파 차폐 복합재를 제조하였다. 섬유형 자성금속은 낮은 함량에서도 쉽게 전도 네트워크 구조 형성이 가능하여 우수한 차폐성능을 확보할 수 있으며, 자기적 특성으로 인해 전자파 흡수성능의 발현 또한 가능하다. 중공형 자성금속섬유는 약 2 μ m 직경의 극세 폴리에스터 섬유에 Fe-Co-X를 무전해도금한 후, 열처리를 통해 고분자 섬유를 열분해로 제거하여 제조하였으며, 자성금속 코팅 유리섬유는 20 μ m 직경의 유리섬유에 동일한 무전해도금법으로 Fe-Co-X를 코팅하여 제조하였다. 자성섬유종류, 섬유길이, 복합재 필름의 두께에 따른 전자파 차폐성능을 비교 분석하고자 하였다. 제작된 필름형 복합재의 미세 구조 및 섬유 구조 형상을 평가하기 위하여 표면 분석과 X-선 회절분석을 수행하였으며 전기적 특성을 평가하기 위하여 표면 저항을 측정하였다. 8.2 GHz - 12.4 GHz 주파수 대역에서의 전자파 차폐 성능을 평가, 비교하였으며 측정된 전자파 차폐 성능과 표면 저항의 상관관계를 분석하였다.

무선통신 기기에서의 자성재료 개발동향

김진철*

SKC

스마트폰, 태블릿 PC 등 디지털 모바일 기기와 고속무선통신기술의 발전으로 자성재료, 특히 연자성재료는 고속무선통신을 사용하는 스마트폰, 태블릿 PC등의 신호배선에서 발생하는 방사노이즈를 효과적으로 차폐 및 흡수하는 소재로 적극 활용되고 있을 뿐만 아니라, 최근 스마트폰을 중심으로 적극 채용되고 있는 근거리이동통신(NFC, Near Field Communication), MST(Magnetic Secure Transmission) 및 무선충전 기능에 있어 신호 및 전력을 효과적으로 전송하기 위한 필수소재로 사용되고 있다.

근거리이동통신(NFC), MST와 무선충전은 근거리에서 코일형태의 안테나에 전류를 흘려주었을 때 발생하는 전자기파를 이용하여 신호 및 전력을 전달하게 되는데, 이때 송신부 안테나에서 발생하는 전자기파 형태의 신호 또는 전력을 집속하여 수신부 안테나로 효과적으로 전달하기 위하여 application별 사용주파수에서 높은 투자율과 낮은 투자손실을 갖는 연자성재료가 반드시 필요하다.

본 고에서는 근거리에서 전자기파의 형태로 신호와 전력을 전달하는 NFC, MST, 무선충전에서 사용하는 각각의 주파수에서 높은 투자율과 낮은 투자손실을 갖는 자성재료의 종류 및 개발동향에 대해 알아보하고자 하였다

Characterization of radiated noise on flexible magnetic film EMI filters

Sang Woo Kim^{1*}, Kyung Sub Lee²

¹Center for Energy-Materials Research Center, Korea Institute of Science & Technology,
39-1 Haweoulgog-dong, Sungbuk-ku, Seoul 136-791, South Korea

²Department of Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University,
2066, Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon 440-746, Korea

*Corresponding author. Tel.: +82-2-958-5526; fax: +82-2-958-5529.

E-mail address: swkim@kist.re.kr (Sang Woo Kim).

Recently, in accordance with rapid progress of the digital electronic equipment which is capable of high speed image data transmission, the electro-magnetic interference (EMI) becomes more serious. Most of the radiated emission noise is due to the common mode noise current in the data cables connected to digital equipment. To provide an effective solution for the problem, Mn-Zn or Ni-Zn soft ferrite beads are conventionally used as the common-mode noise filter to reduce a type of electrical noise [1]. When the ferrite beads surrounded a data cable, the bead cores can be used to reduce the radiated magnetic wave generated from the common-mode noise current. However, permeability values of the ferrite materials are too small to fabricate a small bead core over the MHz ~ GHz frequency range because of Snock's limit [2]. Moreover, the large volume of the ferrite bead on the data cable poses a severe problem for miniaturized device design. Although several amorphous materials with high permeability have been proposed as a candidate material for the smaller EMI noise filter [3], the bead filters have still difficulties in the application of the miniaturized devices or the flexible devices.

In our study, impedance characteristics were investigated for the possibility of employing the flexible magnetic film as a noise filter over the frequency range from MHz to GHz. The effective impedance was determined by the dimensions of filters and the intrinsic material properties, including complex permeability. The impedance was mainly due to the inductance for the flexible magnetic film but to the inductance and resistance for the conventional ferrite bead core in a frequency range of 100 to 800 MHz. Although the inductance of the flexible magnetic film was much lower than that of the ferrite bead until 40 MHz because of lower initial real permeability, the inductance exceeded the level of the ferrite bead in the frequency range of 40 to 800 MHz. The higher inductance at the frequency range was attributed to the area dimension of the magnetic thick film as well as the initial imagery part of permeability. The higher inductance was, the better the effect was reached to filter out the common-mode noise. As a result, the noise emission from a data signal cable was effectively attenuated by employing the flexible type magnetic film as a common-mode noise filter.

Keywords : soft magnetic materials; electromagnetic noise; magnetic composites; inductance; noise filter

References

- [1] K. Yanagisawa, F. Zhang, T. Sato, K. Yamasawa, and Y. Miura, IEEE Trans. Magn. **41**, 3571 (2005).
- [2] J. L. Snoek, Physica, **4**, 207 (1948)
- [3] O. Ishii, M. Senda, K. Takei, and T. Mori, J. Appl. Phys., **34**, L359 (1995).

안테나 소형화를 위한 자성재료의 활용

이경섭*

성균관 대학교 정보통신융 신기능성소재 연구센터

경기도 수원시 장안구 서부로 2066 성균관대학교 자연과학캠퍼스 제1종합연구동

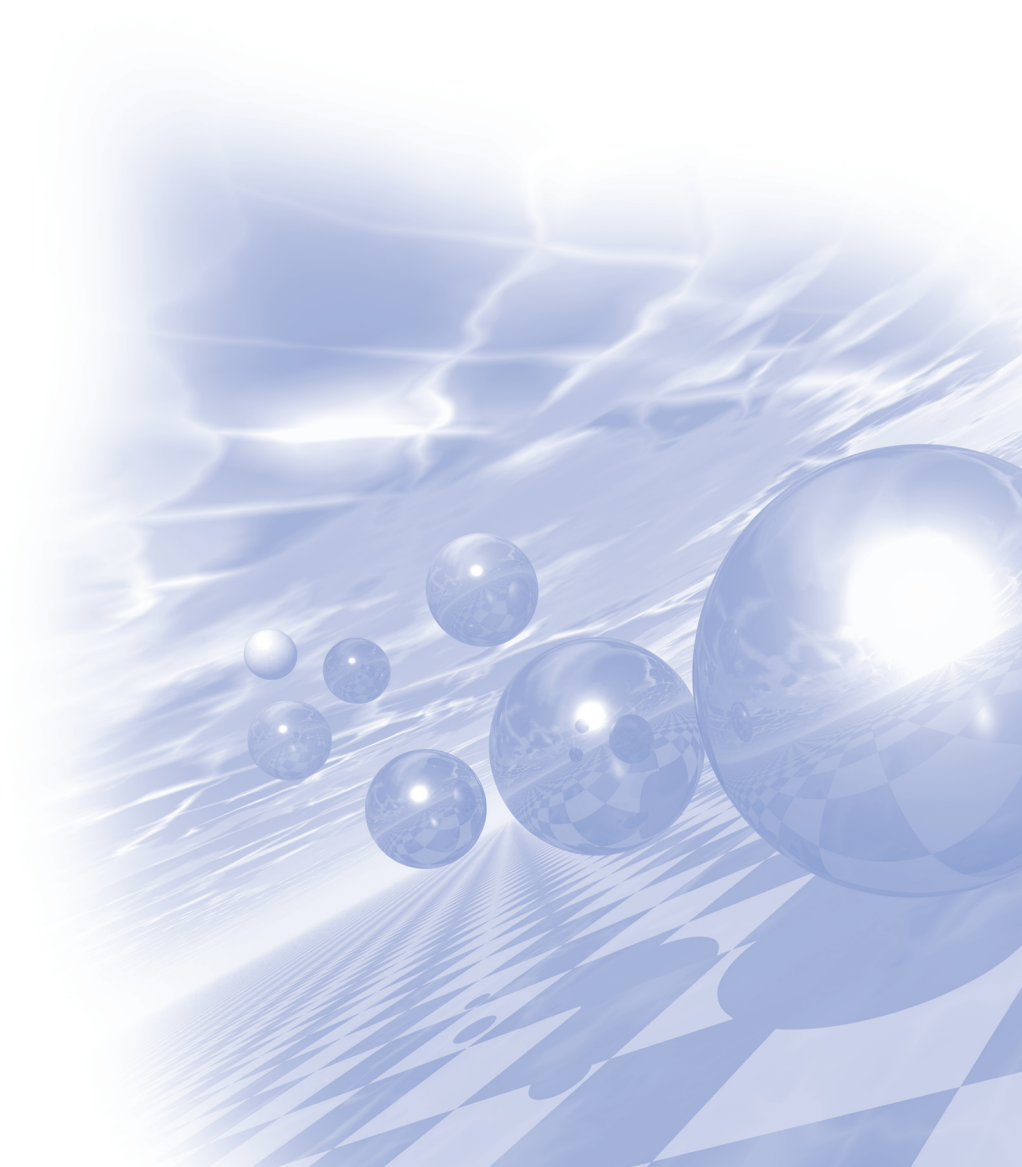
최근 스마트폰, 스마트 워치 등과 같은 이동통신 기기들의 다기능화 소형화 추세와 함께 안테나와 같은 전자부품의 소형화 연구에 대한 관심도 더욱 커지고 있다. 안테나를 소형화하기 위한 방법으로는 매칭 회로를 이용하는 방법, 메타물질을 이용하는 방법, 유전재료나 자성재료를 이용하는 방법 등 여러 가지 방법을 생각할 수 있으나 이들 중 상대적으로 산업적으로 적용하기 쉬운 방법은 유전재료나 자성재료를 기판으로 활용하여 안테나를 설계하는 것이다. 이 두 재료 중 GHz대역의 고주파에서도 손실율이 낮은 유전재료를 이용하여 안테나를 설계하는 방법은 이미 많은 연구들이 수행되었다. 하지만 이를 위해 높은 유전율의 소재가 요구되어지기 때문에 밴드 폭이 매우 좁아지는 단점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 자성재료를 이용한 안테나 설계에 관한 연구도 몇 년 전부터 수행되고 있으나, 대부분 자성재료의 경우 높은 주파수에서 손실이 크기 때문에 안테나 소형화를 연구하는 엔지니어들의 입장에서 GHz 이상의 고주파 대역에서 안테나 설계를 위해 높은 투자율과 낮은 손실 특성을 가진 자성재료를 선택하는데 상당한 어려움이 있을 수 밖에 없다. 최근 스마트폰 내부에 있는 여러 종류의 안테나 소형화에 대한 산업적 요구가 많은데 이같이 높은 주파수에서 사용될 수 있는 가능한 후보 소재 중 하나가 헥사페라이트이다. 페라이트의 경우 금속 자성소재에 비하여 GHz대역에서 투자율이 높고 손실이 낮은 장점이 있지만 유연성이 부족하고 이 같은 단점을 보완하기 위하여 비자성 고분자소재와 복합화를 하면 안테나 소형화를 위해 요구되는 수준의 높은 투자율을 얻기 쉽지 않은 재료적인 한계가 있다. 이 같은 문제점들로 인해 현시점에서 자성소재를 GHz대역의 안테나용 소재로 산업적으로 사용하기가 쉽지 않으며 향후 새로운 자성소재의 개발이 이루어 져야 한다.

본 강의에서는 자성재료의 기초이론과 물리적 성능인자들을 설명하고 외부에서 인가되는 마이크로파 환경에서의 자성재료의 일반적 거동과 안테나 설계 시 중요한 성능 인자인 투자율에 관한 내용을 다루고자 한다. 또한 수백MHz ~ 수GHz의 주파수 범위에서 이미 연구되어온 페라이트계 자성재료들을 포함하여 향후 안테나 소형화를 위해 필요한 자성재료의 기술 개발 방향을 제시 하고자 한다.



KMS 2016 Summer Conference

구두발표 VI



미소자기 전산모사를 이용한 NdFeB 영구자석의 미세구조 최적화

최진혁^{1*}, 이재혁¹, 정연준², 한보경², 김상국¹

¹서울대학교 재료공학부, ²현대자동차 분말소재개발팀

1. 서론

상용화된 (Nd_{0.7}Dy_{0.3})-Fe-B 자석은 $\sim 240 \text{kJm}^{-3}$ 의 $(BH)_{\text{max}}$ 와 $\sim 3.0 \text{T}$ 의 보자력을 가지며 하이브리드 자동차 및 전기차의 모터에 사용되고 있다. 하지만 중희토류 원소인 Dy의 자원량은 희박하며 가격이 비싸기 때문에, 이를 저감시키거나 완전히 없앤 Nd-Fe-B 영구자석의 개발이 큰 관심을 모으고 있다.[1] 중희토류를 사용하지 않고 Nd계 자석의 보자력을 향상시키기 위해서는 무엇보다 재료의 미세구조 및 자구의 역할을 이해하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 유한요소법 모델링 및 전산모사를 통해 영구자석의 미세구조를 제어함으로써 보자력을 향상할 수 있는 방법을 살펴보았다.

2. 방법

유한요소법 미소자기 전산모사(FEMME)[2]를 사용하여 계산을 진행하였다. 500nm^3 큐브 내에 보로노이 다이어그램(Voronoi diagram)을 이용하여 다수의 결정립과 수 nm의 결정립계를 형성시켰다(그림 1). z축으로 각 결정립의 자화용이축을 배열시킨 후, z축으로 외부자기장 $+6 \text{T} \sim -6 \text{T}$ 까지 변화하며 자기이력곡선 및 자화반전 과정을 분석하였다.

최근 결정립계의 자성특성을 전자 홀로그래피(Electron holography), 스핀편향 주사전자현미경(spin polarized SEM) 등으로 관찰한 실험 결과에 따르면 결정립계가 상당한 포화자화값을 가짐이 확인되었다[3,4]. 본 연구에서는 결정립계의 특성에 따라 변화하는 보자력, 잔류자화 및 자화반전 과정을 전산모사를 통해 분석하였다.

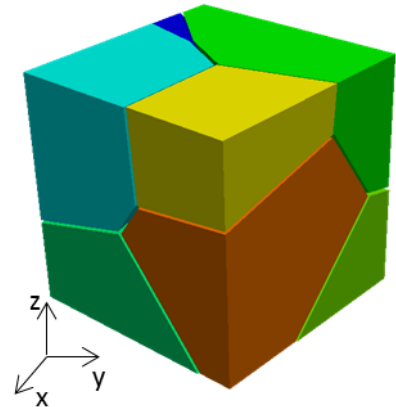


그림 1. 결정립 구조 설계

3. 결과 및 고찰

큐브 내 8, 27, 64 개의 결정립을 생성하며 그 평균 크기를 달리한 모델에서 보자력을 비교하였을 시 결정립의 크기가 작아질수록 보자력이 증가함을 확인할 수 있었다. 또한, 결정립계의 포화자화값을 달리하며 보자력을 분석하였을 시 결정립계의 포화자화값이 감소할수록 보자력은 증가함을 확인하였다(그림 2). 반면, 결정립계의 Aex(Exchange stiffness constant)의 변화는 보자력에 큰 영향을 끼치지 못함을 확인하였다.

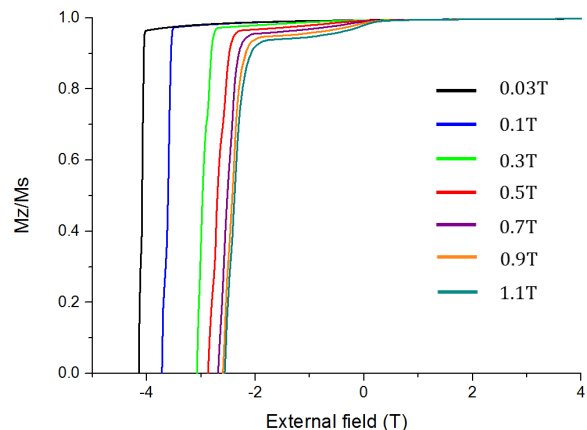


그림 2. 결정립계 포화자화값에 따른 자기이력곡선

4. 참고문헌

- [1] K.Hono and H.Sepehri-Amin, Scripta Materialia 67,530 (2012)
- [2] D. Suess, and T. Schrefl, FEMME: Finite Element MicroMagnEtics 5.0.9 (SuessCo, <http://suessco.com/>).
- [3] Teruo Kohashi, Kumi Motai, Takeshi Nishiuchi and Satoshi Hirosawa, Applied Physics Letters 104, 232408 (2014)
- [4] Y. Murakami, T. Tanigaki, T. T. Sasaki, Y. Takeno, H. S. Park, T. Matsuda, T. Ohkubo, K. Hono, and D. Shindo, Acta Materialia 71, 370 (2014)

Photon-magnon coupling in a YIG-film split-ring resonant system

B. Bhoi^{1, 2*}, T. Cliff³, I. S. Maksymov³, M. Kostylev³, R. Aiyar², N. Venkataramani⁴,
S. Prasad⁵ and R. L. Stamps^{3, 6}

¹National 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

²CRNTS, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai 400076, India

³School of Physics M013, University of Western Australia, Crawley 6009, Australia

⁴Department of MEMS, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai 400076, India

⁵Department of Physics, Indian Institute of Technology, Bombay, Powai, Mumbai 400076, India

⁶SUPA, University of Glasgow, Glasgow, G12 8QQ, United Kingdom

1. Introduction

The study of light-matter interaction is a central subject in quantum information and communication science and technology. In order to be useful for quantum application, a proposed technology has to be able to exchange information with preserved coherence [1-3]. Recently hybrid systems consisting of resonantly coupled spin ensembles and microwaves have received much attention [4-5]. In this present work, we have proposed a simple hybrid structure consisting of yttrium iron garnet (YIG) film and split ring resonator (SRR) to study the interaction of magnetic resonances in YIG film with microwave photon resonances in SRR.

2. Methods and Results

A SRR structure along with microstrip line (shown in Fig. 1a) has been fabricated using lithographic techniques on a standard duroid (**RT/duroid 5870**) substrate of dielectric constant 2.3. The dimensions of the split ring and the microstrip line are (Fig. 1a): $a = 8.5$ mm, $b = 7.5$ mm, and $g = 0.06$ mm (the distance between the microstrip line and the SRR is also g), $w = 3$ mm. The split ring is inductively coupled to a microstrip feeding line. For the measurements, coaxial adaptors have been soldered at the two end of the stripline. The characterization of this structure has been carried out using a calibrated two port vector network analyzer (VNA).

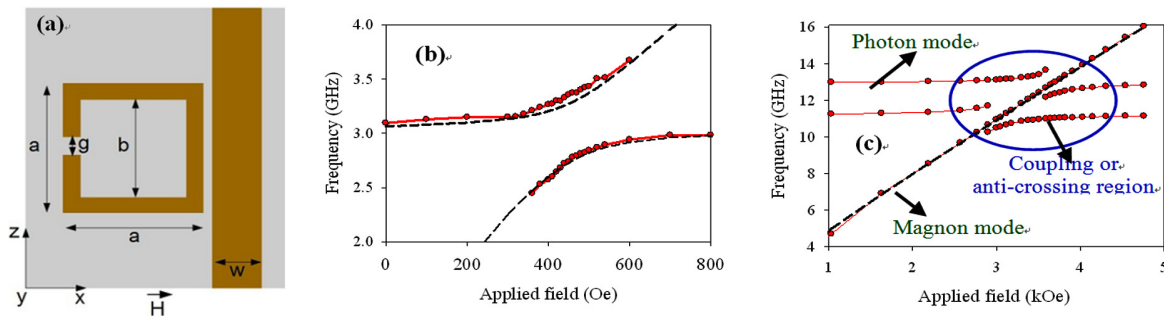


Fig. 1. (a) Sketch of the split ring resonator structure with geometrical parameters.

Frequencies of the peaks as functions of the applied field (b) when YIG film covers only SRR and (c) when YIG film covers both an SRR and a section of the microstrip line

During measurements, an epitaxial YIG film (grown on GGG substrate) with the dimensions $8 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 25 \text{ }\mu\text{m}$ is placed on top of the split ring with the YIG layer facing the SRR. A dc magnetic field (H) is applied (using electromagnet) in the plane of the film in the direction perpendicular to the microstrip line (along X direction). The input and the output of the microstrip feeding line have been connected to the ports of a VNA and its reflection (S_{11}) and transmission (S_{21}) characteristic have been measured as a function of microwave frequency and the strength H of the applied field. A microwave current flowing through the microstrip feeding line (along Z direction) excites a (photon) resonance in the SRR. At resonance, significant microwave current flows through the SRR. Its Oersted field drives the magnetization precession in the YIG film.

The microwave transmission $|S_{21}|$ as a function of microwave frequency (f) measured at different applied magnetic field. At $H=0$ Oe only one resonance mode (which is purely SRR resonance mode) was observed. When magnetic field is applied two peaks were observed out of which one peak is very strongly dependent on the applied field. Essentially, it moves across the displayed frequency range with an increase in field.

3. Discussion

The variation of resonance peak positions are plotted as a function of applied magnetic field and is presented in Fig. 1b. This clearly shows strong anti-crossing of the two lines, which suggests strong coupling between two modes. In order to identify the resonances peaks observed in Fig 1b, another set of measurements were performed. During the measurement the YIG film was placed such that it covered not only the SRR but also a section of the feeding microstrip line. These measurements were taken on a different SRR structure. The shape of the SRR for this structure was the same as in Fig.1a, but its sizes were slightly smaller, therefore the frequencies of the resonances in Fig.1c do not coincide with the ones in Fig.1b. Here we observed that for this YIG film placement one extra a resonance peak was appeared and is located in between two peaks of the type shown in Fig.1b. This extra mode shows a smooth and monotonous variation with the magnetic field and fitted well to the Kittel formula for the in-plane position. We will call it “magnon mode or Kittel mode”. The variation of other two modes as a function of magnetic field can also be seen in Fig1 c. These modes show anti-crossing behavior independently at two different frequency regions when they came closer to Kittel mode. Importantly, far away from the “anti-crossing” with the Kittel mode the frequencies are almost the same and the line slope is practically vanishing. This implies the horizontal sections of these lines are uncoupled (pure) SRR resonances (photon modes). The sections of these lines with significant slopes (close to the anti-crossing region) are SRR resonances coupled to the magnon mode of the YIG film. The strong anti-crossing between the photon and magnon modes seen in Fig 1(b) and (c) suggests a strong coupling between them.

The strength of coupling of the SRR mode to the magnon mode can be determined by using the equation used for two coupled resonators [5]. From the fit, we obtain $\Delta = 270 \text{ MHz}$ or $= 9 \%$. In order to understand the process of anti-crossing of the SRR and magnon modes numerical simulation was carried out to calculate the radiation impedance (Z_r) of spin waves excited by the microwave current in the split-ring resonator. It was shown that the SRR resonator experiences additional energy losses due to excitation of spin waves and also storage of oscillation energy in the spin system of the YIG film within the area of localization of the microwave magnetic field of the microwave current in SRR. It represents the physical mechanisms of coupling of the SRR resonances to magnon excitations in the YIG film.

4. Conclusion

By using the frequency-domain VNA–FMR spectroscopy we have demonstrated a strong coupling regime of

magnons to microwave photons in the planar geometry of a lithographically formed split-ring resonator loaded by a single-crystal epitaxial YIG film. This interaction manifests itself as a strong anti-crossing between the photon and magnon modes. The numerical simulations of the microwave field structure of the SRR and of the magnetization dynamics driven by the microwave currents in the SRR reveals the physical origins of the effect of anti-crossing.

5. References

- [1] M. Goryachev, W. G. Farr, D. L. Creedon, Y. Fan, M. Kostylev, and Mi. E. Tobar, Phys. Rev. Appl. 2, 054002 (2014).
- [2] C. Ciuti and I. Carusotto, Phys. Rev. A 74, 033811 (2006).
- [3] J. Plumridge, E. Clarke, R. Murray, and C. Phillips, Solid State Commun.146, 406 (2008).
- [4] O. O. Soykal and M. E. Flatté, Phys. Rev. Lett. 104, 077202 (2010).
- [5] B. Bhoi, T. Cliff, I. S. Maksymov, M. Kostylev, R. Aiyar, N. Venkataramani, S. Prasad, and R. L. Stamps, J. Appl. Phys. 116 (2014) 243906.

Collective gyration modes in one-dimensional skyrmion lattices

Junhoe Kim^{*}, Jaehak Yang, Young-Jun Cho, Bosung Kim and 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

1. Introduction

Magnetic skyrmions are topologically protected spin textures, which are promising potential candidates for information-storage and -processing device applications due to their characteristic features including nano-scale size, topological stability, and ultra-low threshold current density necessary for their motions [1]. From the fundamental interest as well as technological applications, several internal modes of skyrmion crystals, such as gyration mode and breathing mode have been explored [2,3]. Furthermore, collective excitations in 1D chains of single-skyrmion nanodisks along with spin-wave propagations and their dispersion in 1D periodic skyrmion lattice nanostrips have been investigated as well [4,5]. However, collective skyrmion gyration modes in narrow nanostrips still remain elusive. Here, we report on a micromagnetic numerical simulation study of coupled skyrmion gyration modes in 1D periodic skyrmion lattices in narrow-width nanostrips and their applications for reliable information carriage in straight and curved nanostrips.

2. Methods and Results

In the present study, we employed the Mumax3 code [6] to numerically calculate the coupled gyration modes and their characteristic dispersions. Two, five and more skyrmions are periodically arranged in continuous thin-film narrow-width nanostrips. The first skyrmion core at the left end was displaced and relaxed to study dynamic coupled motions. The collective motions of the individual skyrmion cores show unique standing-wave forms of different wavelengths. The dispersion curves in the reduced zone scheme were obtained and the overall shape was concave up. Additionally, the band structure of 1D skyrmion lattices was varied by changing the skyrmion interdistances (d_{int}) and perpendicular field (H_z). As d_{int} decreases, the band width $\Delta\omega$ and the angular frequency ω_{BZ} at $k = k_{\text{BZ}}$ increase. Also, $\Delta\omega$ and ω_{BZ} of the resultant band structures decrease with increasing H_z .

3. Discussion

Such collective dynamic motions are determined predominantly by a strong exchange interaction according to the relative positions of the nearest-neighboring skyrmion cores. Also, the linear dependences of ω_{BZ} on H_z are mostly associated with the variation of the ω_0 of the isolated skyrmions. From a technological point of view, such gyration-signal propagation in a 1D skyrmion array can be used as a reliable information carrier. The propagation speeds generally follow the dependence of ω_{BZ} on d_{int} and H_z . The results are promising for potential signal-processing applications.

4. Conclusion

In summary, we explored the gyration modes of coupled skyrmions and their dispersions in 1D skyrmion lattices. The modes and their characteristic dispersion relations were examined for different skyrmion interdistances and perpendicular magnetic fields externally applied to the nanostrips. Additionally, the controllability of the dispersion curves and skyrmion gyration propagation were demonstrated. The strong exchange coupling between neighboring skyrmions leads to the propagation of skyrmion gyrations as fast as ~ 135 m/s, which value, significantly, are controllable by applied perpendicular fields. This work provides not only a fundamental understanding of the dynamics of coupled skyrmions but also a new type of skyrmion magnonic crystal applicable to future information processing devices.

5. References

- [1] A. Fert, V. Cros, and J. Sampaio, *Nature Nanotech.* 8, 152 (2013).
- [2] M. Mochizuki, *Phys. Rev. Lett.* 108, 017601 (2012).
- [3] Y. Onose, Y. Okamura, S. Seki, S. Ishiwata, and Y. Tokura, *Phys. Rev. Lett.* 109, 037603 (2012).
- [4] M. Mruczkiewicz, P. Gruszecki, M. Zelent, and M. Krawczyk, *arXiv:1502.08024v1* (2015).
- [5] F. Ma, Y. Zhou, H.-B. Braun, and W. S. Lew, *Nano Letter* 15, 4029 (2015).
- [6] A. Vansteenkiste, J. Leliaert, M. Dvornik, F. Garcia-Sanchez, and B.V. Waeyenberge, *AIP advances* 4, 107133 (2014).

Magnetization dynamics and domain wall motion induced by circular rotating magnetic fields in soft magnetic nanotubes

Jaehak Yang^{1*}, Junhoe Kim¹, Bosung Kim¹, Young-Jun Cho¹,
Jae-Hyeok Lee¹ and Sang-Koog Kim¹

¹National 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

1. Introduction

Magnetic domain-wall (DW) motions in thin-film rectangular-shape nanostripes have attracted significant attentions because of their technological applications in magnetic memory [1] and logic devices [2]. However, one of the main challenges is the suppression of the DW mobility due to the Walker breakdown behavior, in which DWs are periodically transformed from the transverse to vortex walls [3]. Further theoretical works found that the Walker breakdown behaviors can be hindered and/or reduced using specific geometrical confinements of cylindrical nanowires [4] and nanotubes [5]. They have curved geometries that differ from flat thin films and thereby leading to the geometrical confinement of local magnetizations in such structures. Locally different demagnetization fields can thus influence the dynamics of local magnetizations and their collective intrinsic modes. Since systematic study of spin-wave modes as related to the DW motions is a prerequisite for operations performed by such devices, herein we present the results of a study on the magnetization dynamics as well as DW motions in a cylindrical nanotube.

2. Method & Results

We studied, by micromagnetic numerical calculations [6], magnetization dynamics as well as DW motions in a cylindrical nanotube with a head-to-head DW, driven by circular rotating fields of different frequencies. We found the presence of two different localized DW oscillations, ferromagnetic resonance, and azimuthal spin-waves modes at the corresponding resonant frequencies of circular rotating magnetic fields. Associated with these intrinsic modes, there exist very contrasting DW motions of different speeds and propagation directions for a given DW chirality. The direction and speed of the DW propagation were found to be controllable with the rotation sense and the frequency of circular rotating magnetic fields. Furthermore, spin-wave emissions from the moving DW were observed at a specific field frequency along with their *Doppler effect*.

3. Discussions

From an application point of view, such magnetic nanotubes studied here can be used as a DW racetrack and have several advantages such as a high stability of DWs and hindering the Walker breakdown due to the geometrical confinements of local magnetizations. Also, the DW chirality provides a further degree of freedom, which can be detected via the direction of DW propagations for a given rotation sense of the circular rotating

fields. Furthermore, the stray fields of the DWs play a crucial role in trapping magnetic particles inside a nanotube, which may provide an on-chip system for capturing, manipulation, and delivery of individual magnetic nanoparticles in bio-applications, as well as information storage and processing devices.

4. Conclusion

We report on intrinsic spin-wave excitations and these related very contrasting DW motions in soft magnetic nanotubes of a vortex-type DW. We found that the speed and direction of DWs in the nanotube are reliably controllable with the rotation sense and frequency of circular rotating magnetic fields for a given DW chirality. This work provides fundamental correlations between the characteristic DW motions and excited spin-wave modes and furthermore constitutes an important step toward the achievement of all-magnetic-controlled DW motions, applicable to magnetic memory and logic devices using DW motions.

5. References

- [1] S. S. P. Parkin, M. Hayashi, and L. Thomas, “Magnetic Domain-Wall Racetrack Memory”, *Science* **320**, 190 (2008).
- [2] D. A. Allwood, G. Xiong, C. C. Faulkner, D. Atkinson, D. Petit, and R. P. Cowburn, “Magnetic domain-wall logic”, *Science* **309**, 1688 (2005).
- [3] J.-Y. Lee, K.-S. Lee, S. Choi, K. Y. Guslienko, and S.-K. Kim, “Dynamic transformations of the internal structure of a moving domain wall in magnetic nanostripes”, *Phys. Rev. B* **76**, 184408 (2007).
- [4] M. Yan, A. Kákay, S. Gliga, and R. Hertel, “Beating the Walker Limit with Massless Domain Walls in Cylindrical Nanowires”, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 057201 (2010)
- [5] M. Yan, C. Andreas, A. Kákay, F. García-Sánchez, and R. Hertel, “Fast domain wall dynamics in magnetic nanotubes: Suppression of Walker breakdown and Cherenkov-like spin wave emission”, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 122505 (2011)
- [6] D. Suess, and T. Schrefl, FEMME: Finite Element MicroMagnEtics 5.0.9 (SuessCo, <http://suessco.com/>).

국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로에서 자성유체의 열전달 성능에 관한 수치적 연구

서재형^{1*}, 유병희², 김남원³, 이무연⁴

¹엔티에프 테크 연구개발부

²Texas State University, Department of Engineering Technology

³Texas State University, Ingram School of Engineering

⁴동아대학교 기계공학과

1. 서론

최근 전자기기의 고성능화로 인하여 집적회로의 핵심 소자 또한 소형화, 고집적화되어 가고 있다. IGBT, LED 등과 같은 고집적 소자는 출력성능이 향상됨에 따라 발열량도 증가하므로 이를 위한 방열장치의 개발이 필요하다. 일반적인 방열기술은 방열핀에 의한 공랭식 방열과 냉각유로를 통한 수랭식 방열로 분류되지만 최소한의 크기에서 요구되는 방열량을 충족시키기 위하여 열전달을 촉진시키는 특수한 작동유체를 이용한 기술도 제안되고 있다. 이 중에서 자성유체는 강자성체 미립자를 물이나 오일 등에 균일하게 분산시켜 금속의 강자성과 유체의 유동성 두가지 성질을 겸비한 유체로서 차세대 냉각유체로 관심받고 있다. 하지만 아직까지 자기장에 대한 영향도 및 이에 따른 자성유체의 열역학적 성질 및 자연대류 현상에 관한 실증적인 연구는 아직 미비한 상황으로 다양한 환경조건에서 자성유체의 열유동 특성에 대한 심도 있는 연구가 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 고발열원인 고집적 소자를 모사하여 국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로 내 자성유체의 열전달 성능을 파악하고자 하며, 이를 위하여 외부 자기장의 세기에 따른 온도 분포 특성을 고찰하고 국소 열원에서 평균 Nusselt 수를 분석하였다.

2. 수치해석 방법

본 연구에서 사용한 해석모델은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 국소 발열 영역을 갖는 4:1 종횡비의 밀폐된 냉각 유로의 단면으로 자성유체(EMG 304)가 작동유체로서 적용된다. 냉각 유로에서 국소 발열 영역은 가로길이의 1/4 크기로서 온도조건은 120 °C이며, 상면과 하면의 온도조건은 20 °C, 좌우측면은 단열조건을 적용하였다. 자성유체의 열 및 유동현상을 촉진시키는 외부 자기장은 국소 발열 영역에 가까운 좌측면에 위치시켰으며 자기장 세기는 0 - 10000 A/m으로 1000 A/m 간격으로 인가하였다.

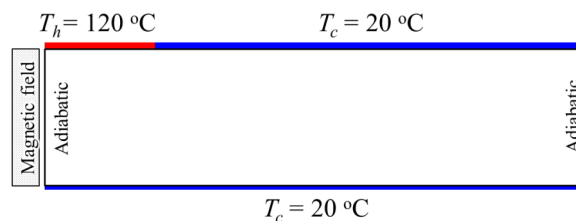


Fig. 1. Analysis model for cooling channel with ferrofluid.

자기장의 영향으로 자성유체의 내부입자가 자화되어 자성유체의 열유동 현상에 영향을 끼치는 특징을 수치해석에 반영하기 위하여 자연대류 현상에 대한 지배방정식인 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지방정식 뿐만 아니라 자화 구성방정식 및 Maxwell 방정식이 고려되었고 무차원 지배방정식으로 유도하고 GSMAC법 (Generalized-simplified marker and cell method)을 이용하여 수치해석하였다[2]. 수치해석을 통하여 외부 자기장

세기에 따른 자성유체의 온도 분포 특성을 나타내고 밀폐형 냉각 유로의 국소 열원에서 평균 Nusselt 수를 계산하여 열전달 성능을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 외부 자기장 세기 변화에 따른 밀폐된 냉각 유로 내 자성유체의 온도 분포 특성을 나타낸다. 인가되는 외부 자기장이 없는 경우($H = 0\text{A/m}$)의 일반적인 뉴턴유체와 유사한 유동 특성과 비교할 때 외부 자기장을 인가할 경우에는 강제대류 조건을 부여한 것과 같이 냉각 유로 내에서 난류 현상이 발생하여 열전달을 촉진시켰으며 이러한 특성은 외부 자기장이 증가할수록 커졌다. 이러한 특성은 자기장의 영향을 받은 자성유체의 입자가 자기체적력이 인가되는 자기장 방향으로 증가하였기 때문이다.

Fig. 3은 외부 자기장 증가에 따른 밀폐된 냉각유로 내 국소 발열 영역에서 자성유체의 평균 Nusselt 수를 나타낸다. 외부 자기장을 7000A/m 으로 인가한 경우 평균 Nusselt 수는 16.8로 열전달이 가장 크게 촉진되었고 외부 자기장이 인가되지 않은 경우의 평균 Nusselt 수는 5.3으로 약 3.2배 증가하였다. 또한 외부 자기장을 더욱 증가시켰을 경우 열전달 특성은 더 이상 증가되지 않으며 자성유체의 최대 열전달 성능을 도출하는 임계 자기장 값이 존재함을 알 수 있다.

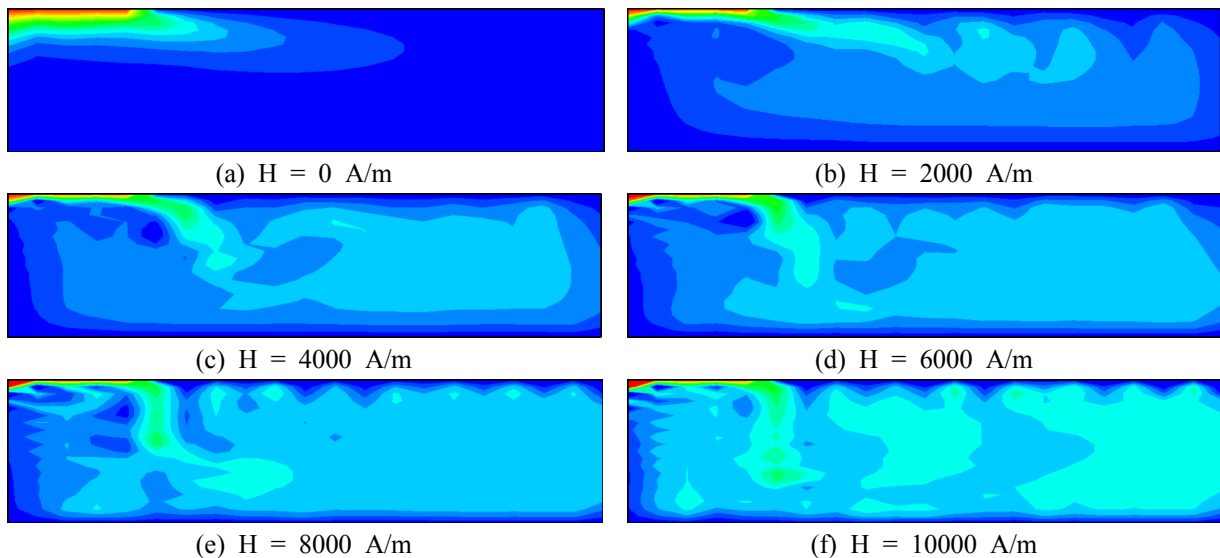


Fig. 2. Isotherms of ferrofluid with variation of magnetic field intensities at $t=50,000$ sec.

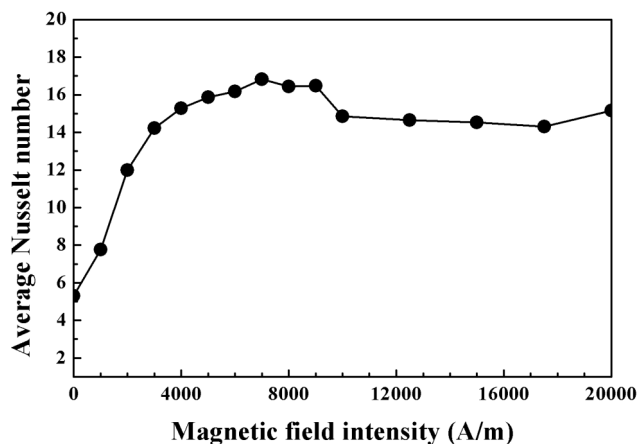


Fig. 3. Average Nusselt numbers of ferrofluid with various magnetic field intensities at $t=50,000$ sec.

4. 결론

본 연구는 국소 열원을 갖는 밀폐형 냉각 유로에서 자성유체의 열전달 성능을 분석하였으며 이를 위하여 외부 자기장의 세기에 따른 온도 분포 특성을 고찰하고 국소 열원에서 자성유체의 평균 Nusselt 수를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 외부 자기장 세기가 증가할수록 밀폐된 냉각 유로 내 자성유체의 열전달 특성은 촉진되었다.
- (2) 외부 자기장을 7000A/m으로 인가한 경우 자성유체의 평균 Nusselt 수는 16.8로 가장 큰 열전달 성능이 도출되었으며 외부 자기장이 인가되지 않은 경우보다 약 3.2배 증가하였다.
- (3) 자성유체의 최대 열전달 성능을 도출하는 임계 자기장 값이 존재하였다.

5. 사사

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013R1A1A1062152) 및 본 연구는 중소기업청의 창업성장기술개발사업의 일환으로 수행하였음. (S2359589)

6. 참고문헌

- [1] H. Kawai, Y. Katoh, T. Sawada, and T. Tanahashi, Int. J. Japan Soc. Mech. Eng. Ser. II. **33**, 17 (1990).
- [2] J. H. Seo, L. S. Seo, and M. Y. Lee, J. Korean Magn. Soc. **23**, 31 (2013).
- [3] J. H. Seo and M. Y. Lee, Trans. of the KSME (B) **14**, 997 (2013).

Author Index

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
Abderrezak Belabbes	O-V-3	167	E. Clements	MO02	112
Arqum Hashmi	O-IV-3	159	Gnu Nam	HM02	79
Aurelien Manchon	O-V-3	167	GuoDong Gong	SA04	120
B. Bhoi	O-VI-2	183	Gyungchoon Go	MD03	71
B. W. Lee	MO02	112	Gyungchoon Go	O-V-3	167
B. W. Lee	MO03	113	H. W. Bang	SS05	101
B. W. Lee	O-I-4	51	H. W. Kwon	O-I-1	47
B. W. Lee	SM08	88	Haein Choi-Yim	SM01	80
Bach Thang Phan	Invited O-II-1	133	Haein Choi-Yim	SM02	81
Bosung Kim	O-VI-3	186	Haein Yim	SM14	95
Bosung Kim	O-VI-4	188	Hae-Woong Kwon	O-I-5	52
Byong-Guk Park	MD01	67	Hee Gyum Park	ST02	109
Byong-Guk Park	MD03	71	Hee Kyeong Hwang	MD06	76
Byoung-Chul Min	SS02	98	Henk J. M. Swagten	MD05	74
Byoung-Chul Min	ST02	109	Heon-Jin Choi	SS01	97
C. M. Kim	SS05	101	Heon-Jin Choi	SS02	98
C.-Y. You	SS04	100	Hong Nhat Nguyen Tran	Invited O-II-1	133
Cao Vinh Tran	Invited O-II-1	133	Hong-Guang Piao	HM02	79
Chang Uk JUNG	O-II-7	139	Hongtao Xu	SM11	92
Changjin Wu	SM11	92	Huu Truong Nguyen	Invited O-II-1	133
Chaun Jang	ST02	109	Hwhiyeon Hwang	MT10	66
Chul-Jin Choi	초S-I-3	5	Hye Jung Chang	SS02	98
Chunli Liu	SA04	120	Hyoungjeen Jeon	MO04	114
Chunli Liu	SM11	92	Hyun Cheol Koo	SO01	103
Chun-Yeol You	MD05	74	Hyun Cheol Koo	SS01	97
Chun-Yeol You	MD06	76	Hyun Soon Park	초S-VI-3	127
Chun-Yeol You	SA02	117	Hyung-jun Kim	SO01	103
D. H. Kim	MO02	112	Hyun-jun Kim	SS01	97
D. H. Kim	MO03	113	Hyun-Sung Lee	SS03	99
D. H. Kim	O-I-1	47	Hyun-Woo Lee	O-V-4	169
D. H. Kim	SM08	88	I. S. Maksymov	O-VI-2	183
D. H. Manh	O-I-4	51	Imran Khan	O-IV-2	158
D. H. Manh	SM08	88	Inwon Lee	MO04	114
D. K. Tung	O-I-4	51	J. G. Lee	O-I-1	47
D. Kim	초S-I-3	5	J. Gu	SS05	101
Daichi Chiba	O-V-3	167	J. H. Yu	O-I-1	47
Deniz P. Wong	Invited O-II-1	133	J. Y. Kim	O-I-1	47
Deok Hyeon Kim	SM11	92	J.-Y. Kim	초S-III-2	26
Do Duc Cuong	MT06	62	Jae Hyeouk Lee	NS01	104
Donghun Lee	초S-VI-5	130	Jaehak Yang	O-VI-3	186
Dong-Hyun Kim	초S-III-3	27	Jaehak Yang	O-VI-4	188
Dongjea Seo	SS02	98	Jaehun Cho	MD05	74
Dong-Soo Han	MD05	74	Jae-Hyeok Lee	O-V-1	163

Name	Abstract ID	Page	Name	Abstract ID	Page
Jae-Hyeok Lee	O-VI-4	188	Kyung-Jin Lee	MD02	69
Jae-Hyoung Yoo	O-II-4	136	Kyung-Jin Lee	MD03	71
Jae-Hyoung You	O-II-5	137	Kyung-Jin Lee	O-V-3	167
Jaemin Lee	초O-III-2	144	Liqing Pan	HM02	79
Jaemin Lee	O-II-6	138	M. H. Jung	SS04	100
Jaekwang LEE	MT01	57	M. H. Jung	SS05	101
Jaekwang Lee	MT10	66	M. H. Phan	MO02	112
Jeehoon Kim	초S-III-5	29	M. Kostylev	O-VI-2	183
Jihoon Park	초O-III-2	144	M. Umar Farooq Umar	O-IV-3	159
Jihoon Park	O-II-6	138	M.B Kishore	O-III-4	146
Ji-Hun Yu	O-I-5	52	Matthew T Willson	O-I-6	54
Jin Hyung Lee	초S-VI-2	126	Ming Yue	Invited S-I-2	4
Jinhyung Cho	MO04	114	Min-Kwan Kim	NS01	104
Jin-Su Kim	SS03	99	Min-Kwan Kim	O-V-1	163
Jinyong Jung	MD05	74	Min-Kwan Kim	O-V-2	165
Jinyong Jung	MD06	76	Min-Sun Jang	MO01	110
Jisang Hong	O-IV-2	158	Miyong Kim	NS01	104
Jisang Hong	O-IV-3	159	Miyong Kim	O-V-1	163
Jiyun Oh	SM01	80	Miyong Kim	O-V-2	165
Jong Bum Kim	초S-VI-2	126	Motohiro Suzuki	O-V-3	167
Jongryoul Kim	초S-I-4	6	Myung-Hwa Jung	SS03	99
Joonhyuck Lee	MO04	114	N. Tran	SM08	88
Joonyeon Chang	SO01	103	N. Venkataramani	O-VI-2	183
Joonyeon Chang	SS01	97	N. X. Phuc	O-I-4	51
Joonyeon Chang	SS02	98	Nam-Hui Kim	MD05	74
June-Seo Kim	MD05	74	Nam-Hui Kim	MD06	76
Jung-Goo Lee	O-I-5	52	Nam-Hyun Kang	O-I-5	52
Junhoe Kim	O-VI-3	186	P. T. Tho	MO02	112
Junhoe Kim	O-VI-4	188	P. T. Tho	SM08	88
K. Lee	SS04	100	P. Taivansaikhani	MT05	61
K. M. Kim	O-I-1	47	Pardi S. Tola	MO03	113
K.-J. Kim	SS04	100	Paul M. Haney	MD03	71
K.-J. Lee	ST01	107	Peong Hwa Jang	ST01	107
Kab-Jin Kim	O-V-3	167	Peong-Hwa Jang	O-V-3	167
Kihiro Yamada	O-V-3	167	Pham Duc Thang	Invited O-III-1	143
Ki-Seung Lee	SA02	117	Prasanta Dhak	NS01	104
Ki-Suk Lee	MO01	110	Prasanta Dhak	O-V-1	163
Kiwoong Moon	초S-I-4	6	R. Aiyar	O-VI-2	183
Kohei Ueda	O-V-3	167	R. L. Stamps	O-VI-2	183
Kohji Nakamura	O-V-3	167	S. C. Hong	MT05	61
Kuei-Hsien Chen	Invited O-II-1	133	S. C. Hong	O-IV-4	160
Kwang Jae Son	초S-VI-2	126	S. H. Lee	SS05	101
Kwang-Ho Shin	SA02	117	S. H. Lim	OT01	121
Kwangwoon Jeon	초S-I-4	6	S. H. Rhim	MT05	61
Kwonjin Park	MD06	76	S. H. Rhim	MT06	62
Kyung Sub Lee	초S-VIII-4	176	S. H. Rhim	O-IV-4	160
Kyung-Ho Shin	ST02	109	S. Prasad	O-VI-2	183
Kyung-Jin Lee	MD01	67	Sandeep K.S. Patel	O-V-1	163

Name	Abstract ID	Page
Sandeep K.S. Patel	O-V-2	165
Sang Woo Kim	초S-VIII-4	176
Sanghoon Kim	O-V-3	167
Sang-Im Yoo	O-II-3	135
Sang-Im Yoo	O-II-4	136
Sang-Im Yoo	O-II-5	137
Sang-Koog Kim	NS01	104
Sang-Koog Kim	O-V-1	163
Sang-Koog Kim	O-V-2	165
Sang-Koog Kim	O-VI-3	186
Sang-Koog Kim	O-VI-4	188
Se-Hyeok Oh	MD03	71
Seong-Cho Yu	HM02	79
Seongsu Lee	초S-VI-1	125
Seo-Won Lee	MD01	67
Seo-won Lee	MD03	71
Seung-Hyub Baek	MO01	110
Seung-Jae Lee	MD02	69
Shu Liu	O-I-5	52
Sol Jung	SM14	95
Soon Cheol Hong	MT06	62
Soo-Whan Kim	SS03	99
Soyoung Jekal	O-IV-4	160
Sri Ramulu Torati	NS02	106
Suik Cheon	O-V-4	169
Suk Hee Han	SO01	103
Suk Hee Han	SS01	97
Sumin Kim	SM02	81
Sung Hoon Kim	초O-III-3	145
Sungjoon Choi	O-II-3	135
SungJoon Choi	O-II-4	136
SungJoon Choi	O-II-5	137
Sunglae Cho	Invited O-II-1	133
Sungwook Kim	SS02	98
Sunwoo Lee	O-II-3	135
Sunwoo Lee	O-II-4	136
Sunwoo Lee	O-II-5	137
T. A. Ho	OT01	121
T. Cliff	O-VI-2	183
T. L. Phan	MO02	112
T. L. Phan	MO03	113
T. L. Phan	O-I-4	51
T. L. Phan	SM08	88
T. Ono	SS04	100
T. W. Kim	SS04	100
Tae-Eon Park	SS02	98
Tae-Soo You	HM02	79
Taewon MIN	MT01	57

Name	Abstract ID	Page
Takahiro Moriyama	O-V-3	167
Takayuki Shiino	MD03	71
Teruo Ono	O-V-3	167
Tetsuya Nakamura	O-V-3	167
Thanh Tuan Anh Pham	Invited O-II-1	133
Tomohiro Koyama	O-V-3	167
Tran Dang Thanh	HM02	79
Umasankar Dash	O-II-7	139
W. S. Yoo	SS05	101
Wen-Zhe Nan	HM02	79
Won Young Choi	SO01	103
Woncheol Lee	초O-III-2	144
Woncheol Lee	O-II-6	138
Y. H. Choi	SS04	100
Y. Yoshimura	SS04	100
Yang-Ki Hong	초O-III-2	144
Yang-Ki Hong	O-II-6	138
Yanglong Hou	Invited S-I-1	3
Yoshinori Kotani	O-V-3	167
Youn Ho Park	SS01	97
Youn Ho Park	SS02	98
Young Rang Uhm	초S-VI-2	126
Young Soo Kang	초S-I-5	7
Young-Jun Cho	O-VI-3	186
Young-Jun Cho	O-VI-4	188
Yuefa Jia	SA04	120
Yunhyeong Jang	MO04	114
Yunseok Kim	초S-III-4	28
Yuxiang Yin	MD05	74
강민규	O-I-3	50
고병욱	SM13	94
공군승	초S-III-1	25
구태준	SM06	86
권도훈	초S-V-5	44
권오룡	MT09	65
권해웅	초S-VII-4	153
김건태	초S-II-2	13
김규민	O-I-3	50
김기현	초S-VIII-2	174
김기홍	초S-IV-2	34
김남원	O-VI-5	190
김대연	O-I-2	48
김덕호	MD04	73
김덕호	O-I-2	48
김동석	O-II-2	134
김동영	NS02	106
김동영	SM03	83
김동영	SM04	84

Name	Abstract ID	Page
김동영	SM05	85
김동영	SM06	86
김동환	초S-III-1	25
김민지	SM12	93
김범진	O-II-2	134
김삼진	SM12	93
김삼진	SM13	94
김상국	O-VI-1	181
김상현	초S-V-3	41
김소연	초S-VIII-1	173
김송이	초S-V-4	43
김송이	HM01	78
김송이	SM07	87
김양도	초S-VII-4	153
김영광	SS06	102
김영근	SM05	85
김영학	초S-II-4	17
김용진	초S-V-1	39
김원동	MT08	64
김유선	초S-VIII-1	173
김은애	초S-II-6	19
김종렬	초S-V-4	43
김종렬	O-I-3	50
김종렬	SM07	87
김지민	O-II-2	134
김지호	O-II-2	134
김진철	초S-VIII-3	175
김진호	MT07	63
김진호	O-IV-1	157
김찬희	NS02	106
김창수	MT08	64
김철기	NS02	106
김철성	SM09	89
김철성	SM10	90
김철성	SM12	93
김철성	SM13	94
김태완	SS06	102
김태훈	초S-VI-4	128
김현아	HM01	78
김효준	초S-VII-2	150
김효준	초S-VII-3	151
김휘준	초S-V-5	44
김희민	SA03	118
남윤석	MD04	73
류상균	MO05	115
문경웅	MT08	64
민병철	MD04	73
민병철	O-I-2	48

Name	Abstract ID	Page
박관수	초S-II-2	13
박관수	SA03	118
박규현	HM01	78
박덕근	O-III-4	146
박수현	MT08	64
박용근	MD04	73
박정훈	SA03	118
박진식	MT03	59
박철수	초S-IV-2	34
배경훈	초S-VII-3	151
배석	초S-VIII-1	173
배석환	초S-IV-3	35
백성문	SA01	116
백철하	초S-IV-1	33
서선열	초S-IV-3	35
서재형	O-VI-5	190
서정민	초S-IV-2	34
서정철	SM13	94
손대락	초S-II-6	19
손대락	초S-II-7	21
손대락	O-III-4	146
송지연	초S-VIII-1	173
신광호	초S-II-4	17
신광호	SA01	116
신성수	초S-IV-2	34
신유정	O-IV-1	157
안우상	초S-IV-2	34
양동열	초S-V-1	39
양상선	초S-V-1	39
양창섭	초S-II-1	11
양창섭	초S-II-3	15
양창섭	초S-II-4	17
양철웅	초S-VI-4	128
오성욱	초S-III-1	25
오혜령	초S-V-4	43
오혜령	HM01	78
오혜령	SM07	87
유병희	O-VI-5	190
유상철	O-I-2	48
유선영	초S-VIII-1	173
유세종	초S-IV-3	35
유승민	SA01	116
유지훈	초S-III-1	25
유지훈	초S-VII-4	153
윤석수	NS02	106
윤석수	SM03	83
윤석수	SM04	84
윤석수	SM05	85

Name	Abstract ID	Page
윤석수	SM06	86
윤성현	SM09	89
윤종흠	초S-VIII-1	173
윤창진	O-II-2	134
이경섭	초S-VIII-5	177
이금원	O-II-2	134
이무연	O-VI-5	190
이미진	초S-VIII-1	173
이민우	초S-VII-3	151
이민하	초S-V-4	43
이민하	HM01	78
이민하	SM07	87
이상관	초S-VIII-2	174
이상복	초S-VIII-2	174
이상선	MT08	64
이상원	초S-VIII-1	173
이상준	SM10	90
이상훈	초S-VII-1	149
이상희	MT09	65
이성래	초S-VII-3	151
이수정	MT07	63
이수정	O-IV-1	157
이승훈	초S-V-2	40
이아영	HM01	78
이우성	초S-V-3	41
이재혁	O-VI-1	181
이정구	초S-III-1	25
이정구	초S-VII-4	153
이정구	O-I-3	50
이주은	MT02	58
이준혁	MO05	115
이준형	초S-III-1	25
이철규	O-III-4	146
이하나	SS06	102
임무택	초S-II-5	18
임상현	초S-II-2	13
임상호	초S-II-4	17
임성현	MT03	59
임정태	SM10	90
장기영	SA01	116
장재욱	초S-IV-3	35
장태석	초S-VII-3	151
전광원	O-I-3	50
전민철	초S-IV-3	35

Name	Abstract ID	Page
전병선	MT08	64
전지훈	O-II-2	134
정명재	초S-VIII-1	173
정병문	초S-VIII-2	174
정연준	O-VI-1	181
정우진	초S-II-1	11
정우진	초S-II-3	15
정태성	MT04	60
정현주	초S-II-1	11
정현주	초S-II-3	15
제갈소영	MT02	58
제갈소영	MT04	60
조동진	초S-II-1	11
조동진	초S-II-3	15
조성언	SM06	86
조성진	MT07	63
조성진	O-IV-1	157
조승찬	초S-VIII-2	174
조영욱	MT07	63
조지웅	SM05	85
조진형	MO05	115
진선일	NS02	106
진형진	MO05	115
진호	초S-II-7	21
차희령	초S-VII-4	153
채준영	MT07	63
최석봉	MD04	73
최석봉	O-I-2	48
최우혁	초S-VIII-2	174
최원식	초S-IV-2	34
최재령	초S-VIII-2	174
최진혁	O-VI-1	181
최현경	SM09	89
한만석	초S-IV-3	35
한보경	O-VI-1	181
한은주	SM10	90
허영철	초S-IV-2	34
홍성욱	초S-V-5	44
홍순철	MT02	58
홍순철	MT03	59
홍순철	MT04	60
홍순철	MT09	65
홍원식	초S-V-3	41
황찬용	MT08	64



Digests of the KMS 2016 Summer Conference
The Korean Magnetics Society
사단법인 한국자기학회

2016년도 하계학술연구발표회 논문개요집

제 26권 1호

(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