ISSN 2233-9485(Print)
ISSN 2233-9574(Online)

논문개요집

한국자기학회 2018년도 춘계학술연구발표회

KMS 2018 Spring Conference

논문개요집

일시 2018. 3. 29(목) ~ 3. 31(토)

장소 강원도 삼척 쏠비치

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

Digests of the KMS 2018 Spring Conference

The Korean Magnetics Society

사단법인 한국자기학회

한국자기학회 2018년도 춘계학술연구발표회

KMS 2018 Spring Conference

논문개요집

일시 2018. 3. 29(목) ~ 3. 31(토)

장소 강원도 삼척 쏠비치

주최 한국자기학회

후원 한국과학기술단체총연합회

"이 발표논문집은 정부재원(과학기술진흥기금 및 복권기금)으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음"

공지사항

1. 연구발표를 하시는 회원은 아래사항을 지켜주시기 바랍니다.
   1) 포스터보드 크기는 한 명당 가로 100cm X 세로 180cm 사용할 수 있습니다.
   2) 포스터는 목요일 14시까지 부착하시면 되고, 포스터 발표 Discussion은 17:00~18:00 사이에 별도 진행됩니다.

2. 일정

2018년 3월 29일[목]

시간	프로그램
13:00 ~	참가자 등록
14:00 ~ 17:00	5개 분과 (대표자) 발표 (그랜드볼룸 (1층)) 연사 : 홍정표(한양대), 손대락(한남대), 김철성(국민대), 홍정일(대구경북과학기술원), 최관우(서울아산병원)
17:00 ~ 18:00	포스터발표 Discussion (소크라테스 (1층))
18:00 ~ 20:00	만찬 (그랜드볼룸 (1층))

2018년 3월 30일[금]

시간	프로그램						
08:30 ~	참가자 등록						
	각 분과 발표						
09:00 ~ 12:00	Special Session I 그랜드볼룸I (1층)	Special Session II 그랜드볼룸II (1층)	Special Session III 소크라테스 (1층)	Special Session V 헤라 (1층)	Special Session VII 플라톤 (지하1층)	Special Session VIII 비너스 (지하1층)	Special Session IX 제우스 (지하1층)
	Electro-Magnetic Energy Conversion	Spin memory & Spin torque devices	Hard & Soft magnetic Materials	Magnetic For IOT	A First-principles Calculation	Mössbauer & Nano	Bio-Convergence Magnetics
12:00 ~ 13:00	점심식사						
	각 분과 발표						
13:00 ~ 18:10	Special Session I 그랜드볼룸I (1층)	그랜드볼룸II (1층)	Special Session IV 소크라테스 (1층)	Special Session VI 헤라 (1층)	Special Session VII 플라톤 (지하1층)	Special Session VIII 비너스 (지하1층)	Special Session IX 제우스 (지하1층)
	Electro-Magnetic Energy Conversion		Magnetization Dynamics	Spin-Orbitronic Materials	A First-principles Calculation	Mössbauer & Nano	Bio-Convergence Magnetics

2018년 3월 31일[토]

시간	프로그램	
09:00 ~ 12:00	Round Table Meeting (소크라테스 (1층))	분과 발표
		Special Session X 헤라 (1층)
		Medical Magnetics
12:00 ~	폐회 (소크라테스 (1층))	

3. 『Best Poster 시상』은 만찬과 함께 진행될 예정입니다.
   3월 29일(목) 18:00부터 시상식이 있을 예정이오니, 회원 여러분의 많은 참여를 바랍니다.

3월 29일(목)

프로그램	
13:00 ~	참가자 등록
14:00 ~ 17:00	5개 분과 (대표자) 발표 (그랜드볼룸 (1층)) 연사 : 홍정표(한양대), 손대락(한남대), 김철성(국민대), 홍정일(대구경북과학기술원), 최관우(서울아산병원)
17:00 ~ 18:00	포스터발표 Discussion (소크라테스 (1층))
18:00 ~ 20:00	만찬 (그랜드볼룸 (1층))

3월 30일(금) 'Electro-Magnetic Energy Conversion'

Special Session I 그랜드볼룸I (1층) 좌장 : 최장영(충남대) / 최홍순(경북대)	
09:00 ~ 09:40	초S-I-1. 블로워용 유도전동기 대체 고효율 LSPM 전동기 설계 Salman Khaliq(KETI)
09:40 ~ 10:20	초S-I-2. 고속회전용 자기베어링 기술 안지훈(㈜마그네타)
10:20 ~ 10:40	Coffee Break
10:40 ~ 11:20	초S-I-3. 초고속 전동기 설계기술 장석명(㈜셈스하이테크엔지니어링)
11:20 ~ 12:00	초S-I-4. 전기자동차용 BLDC MOTOR 제어용 범용인버터 개발 소개 김용학(플랩)
12:00 ~ 13:00	점심식사
13:00 ~ 13:40	초S-I-5. 희토자석 최근 연구동향 및 향후전망 김동환(성림첨단산업㈜)
13:40 ~ 14:20	초S-I-6. 착자방향을 고려한 영구자석 매입형 전동기의 최적 설계 김홍석((주)삼성전자)
14:20 ~ 14:40	Coffee Break
14:40 ~ 15:20	초S-I-7. 이중3상 인버터를 갖는 풍력발전기의 권선체결에 대한 연구 서장호(경북대)
15:20 ~ 16:00	초S-I-8. 철도차량용 견인전동기의 기술 개발 현황 박찬배(한국교통대)

3월 30일(금) 'Spin memory & Spin torque devices'

Special Session II 그랜드볼룸II (1층) 좌장 : 최준우(한국과학기술연구원) / 민병철(한국과학기술연구원)	
09:30 ~ 09:50	초S-II-1. Spectro-microscopic study on two-dimensional magnetic materials 김원동(한국표준과학연구원)
09:50 ~ 10:10	초S-II-2. Electrical manipulation of the magnetization in Fe/GaAs/GaMnAs hybrid structure 이상엽(한국과학기술연구원)
10:10 ~ 10:30	초S-II-3. Control and manipulation of voltage-induced skyrmion and skyrmionium motion 윤정범(한국표준과학연구원)
10:30 ~ 10:50	초S-II-4. Current-induced dynamic motions of ferrimagnetic skyrmions in Pt/GdFeCo/MgO multilayers 송경미(한국과학기술연구원)
10:50 ~ 11:10	Coffee Break
11:10 ~ 11:30	초S-II-5. Annealing temperature dependence on spin current at the CoFeB/Pt interface 이년종(한국기초과학지원연구원)
11:30 ~ 11:50	초S-II-6. Spin memory loss of FMR spin pumping in the ferromagnet/heavy metal bilayer 김상일(한국기초과학지원연구원)
11:50 ~ 12:10	초S-II-7. Spin-orbit-torque and magnetic damping in ferromagnetic bilayers 이동준(한국과학기술연구원)
12:10 ~ 12:30	초S-II-8. Spin accumulation on a non-magnetic metal driven by ultrafast demagnetization of a ferromagnet 신임혁(한국과학기술연구원)

3월 30일(금) 'Hard & Soft magnetic Materials'

Special Session III 소크라테스 (1층) 좌장 : 최철진(재료연구소) / 이우영(연세대) / 임혜인(숙명여대)	
09:00 ~ 09:20	초S-III-1. 차세대 영구자석재료의 연구개발 현황 및 전망 최철진(재료연구소)
09:20 ~ 09:40	초S-III-2. Nd-Fe-B계 영구자석의 성능 향상 및 차세대 영구자석재료 연구 개발 동향 권해웅(부경대)
09:40 ~ 10:00	초S-III-3. Magnet 개발 현황과 발전 방향 (Ferrite Magnet 중심) 최승술(태평양금속)
10:00 ~ 10:20	초S-III-4. M-type hexaferrite의 자성특성 향상 유상임(서울대)
10:20 ~ 10:40	Coffee Break
10:40 ~ 11:00	초S-III-5. 연자성 금속 분말을 이용한 전파흡수체 산업동향 및 전력전송선에서의 응용 강두인(창성)
11:00 ~ 11:20	초S-III-6. 철계 비정질 합금의 결정화 정도와 연자성 특성 이승훈(경북대)
11:20 ~ 11:40	초S-III-7. Crystallization Behaviors and Soft Magnetic Properties of FeMoBCPSi amorphous alloys 김휘준(한국생산기술연구원)
11:40 ~ 12:00	초S-III-8. 친환경차 전력변환부품용 고온내구 연자성 페라이트 개발 김미루(현대자동차)

3월 30일(금) 'Magnetization Dynamics'

Special Session IV 소크라테스 (1층) 좌장 : 이현우(포항공대)	
13:00 ~ 13:30	초S-IV-1. The Three-Dimensional Nature in the Magnetic Vortex dynamics 이기석(울산과학기술원)
13:30 ~ 14:00	초S-IV-2. 수직자성박막의 자구벽 연구 문경웅(한국표준과학기술원)
14:00 ~ 14:30	초S-IV-3. Correlation between Charge Asphericity and Dzyaloshinskii-Moriya Interaction 김상훈(울산대)
14:30 ~ 15:00	초S-IV-4. Field driven magnetic racetrack memory accompanied with the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction 김준서(대구경북과학기술원)
15:00 ~ 15:30	초S-IV-5. Antiferromagnetic spin dynamics at an angular momentum compensation temperature of ferrimagnets 김갑진(한국과학기술원)
15:30 ~ 16:00	초S-IV-6. Spin-transfer torques in the vicinity of the angular momentum compensation temperature in ferrimagnet 김덕호(Kyoto Univ.)

3월 30일(금) 'Magnetic For IOT'

Special Session V 헤라 (1층)	좌장 : 손대락(한남대)
10:00 ~ 10:30	초S-V-1. AMR 지자기센서 개발 윤석수(안동대)
10:30 ~ 11:00	초S-V-2. 펄스와전류 기술의 소개와 적용 박덕근(한국원자력연구원)
11:00 ~ 11:30	초S-V-3. 위성용 자기센서 개발 손대락(한남대)

3월 30일(금) 'Spin-Orbitronic Materials' 비공개 세션

Special Session VI 헤라 (1층) 좌장 : 김영근(고려대)	
13:30 ~ 13:50	초S-VI-1. 연구개발 현황 김영근(고려대)
13:50 ~ 14:10	초S-VI-2. 이론 및 계산 연구 1 이경진(고려대)
14:10 ~ 14:30	초S-VI-3. 이론 및 계산 연구 2 박종선(고려대)
14:30 ~ 14:50	초S-VI-4. 이론 및 계산 연구 3 임성현(울산대)
14:50 ~ 15:10	Coffee Break
15:10 ~ 15:30	초S-VI-5. 소재 공정 연구 1 김영근(고려대)
15:30 ~ 15:50	초S-VI-6. 소재 공정 연구 2 임상호(고려대)
15:50 ~ 16:10	초S-VI-7. 소재 공정 연구 3 홍종일(연세대)
16:10 ~ 16:30	초S-VI-8. 소재 공정 연구 4 박병국(한국과학기술원)
16:30 ~ 16:50	Coffee Break
16:50 ~ 17:10	초S-VI-9. 소재 공정 연구 5 홍정일(대구경북과학기술원)
17:10 ~ 17:30	초S-VI-10. 측정분석 연구 1 황찬용(한국표준과학연구원)
17:30 ~ 17:50	초S-VI-11. 측정분석 연구 2 유천열(대구경북과학기술원)
17:50 ~ 18:10	초S-VI-12. 측정분석 연구 3 최석봉(서울대)

3월 30일(금) 'A First-principles Calculation'

Special Session VII 플라톤 (지하1층) 좌장 : 이주형(광주과학기술원) / 임성현(울산대) / 홍순철(울산대)	
09:00 ~ 09:25	초S-VII-1. Search for magnetism in two-dimensional $PdSe_2$ and PdS_2 최형준(연세대)
09:25 ~ 09:50	초S-VII-2. Design of memcapacitors for neuromorphic computation using magnetoelectric coupling from first principles 이준희(울산과학기술원)
09:50 ~ 10:15	초S-VII-3. Intrinsic spin Hall effect in topological semimetals 이현우(포항공대)
10:15 ~ 10:30	Coffee Break
10:30 ~ 10:55	초S-VII-4. Large thermopower in crystalline topological insulating perovskite 이관우(고려대)
10:55 ~ 11:20	초S-VII-5. The giant out-of-plane Rashba effect and the nanoscale persistent spin helix controlled by ferroelectricity in SnTe thin films 진호섭(울산과학기술원)
11:20 ~ 11:45	초S-VII-6. Valley valve of bilayer MoS_2/WS_2 heterostructure 이재동(대구경북과학기술원)
11:45 ~ 13:00	점심식사
13:00 ~ 13:25	초S-VII-7. Real-time TDDFT study of spin-phonon dynamics and band topology of solids 박노정(울산과학기술원)
13:25 ~ 13:50	초S-VII-8. Interfacial magnetic-phase transition mediated large perpendicular magnetic anisotropy in FeRh/MgO by a heavy transition-metal capping Dorj Odkhuu(인천대)
13:50 ~ 14:15	초S-VII-9. Electronic Structures and Phonon Properties in Correlated Electron Systems 민병일(포항공대)
14:15 ~ 14:30	Coffee Break
14:30 ~ 14:55	초S-VII-10. Magnetic properties of two-dimensional layer structured materials: A first principles study 홍지상(부경대)
14:55 ~ 15:20	초S-VII-11. High coercivity $Fe_{16-x}Al_xN_2$ alloy design 이재광(부산대)
15:20 ~ 15:45	초S-VII-12. Room-temperature ferromagnetism from an array of asymmetric zigzag-edge nanoribbons in a graphene junction 이호식(울산과학기술원)

3월 30일(금) 'Mössbauer & Nano'

Special Session VIII 비너스 (지하 1층) 좌장 : 김삼진(국민대) / 엄영랑(한국원자력연구원)	
09:00 ~ 10:00	초S-VIII-1. Catalytic Effects of magnetic nanoparticles Synthesized by Levitational Gas Condensation (LGC) 엄영랑(한국원자력연구원)
10:00 ~ 11:00	초S-VIII-2. Modelling and Diagnosis of Wooden Cultural Heritages for the Radiation Processing 선광민(한국원자력연구원)
11:00 ~ 12:00	초S-VIII-3. A new approach for targeted hyperthermia using nanoparticle-based microrobot 김성훈(원광대)
12:00 ~ 14:00	점심식사
14:00 ~ 15:00	초S-VIII-4. Revealing the Active Sites of Fe-N/C Oxygen Reduction Electrocatalysts by Mössbauer spectroscopy 주상훈(울산과학기술원)
15:00 ~ 16:00	초S-VIII-5. High-Density Crystalline/Amorphous Phase Boundaries in Electrochemically Activated Nickel-Doped Cobalt Sulfide for Efficient Oxygen Evolution Reaction 민성욱(한국생산기술연구원)
16:00 ~ 17:00	초S-VIII-6. 피셔-트롭쉬 합성반응용 나노 결정질 Fe계 촉매 개발: 뫼스바우어 분석을 통한 기술혁신 천동현(한국에너지기술연구원)

3월 30일(금) 'Bio-Convergence Magnetics'

Special Session IX 제우스 (지하 1층) 좌장 : 홍정일(대구경북과학기술원) / 이명재(대구경북과학기술원)	
09:00 ~ 09:30	초S-IX-1. Current Status on Bio-Spintronics Researches 김철기(대구경북과학기술원)
09:30 ~ 10:00	초S-IX-2. Semiconductor valley magnetism and its control and application 이재동(대구경북과학기술원)
10:00 ~ 10:30	초S-IX-3. 미세유체 시스템을 이용한 이종 순환종양세포의 분리검침 곽봉섭(한국기계연구원)
10:30 ~ 11:00	초S-IX-4. Magnetically actuated microrobots for targeted therapeutics 김진영(대구경북과학기술원)
11:00 ~ 11:30	초S-IX-5. Proteins and Biomagnetics Ogan Gurel(대구경북과학기술원)
11:30 ~ 13:00	점심식사
13:00 ~	바이오 자성 글로벌 융합 센터 워크샵

3월 31일(토) 'Medical Magnetics'

Special Session X 헤라 (1층) 좌장 : 한만석(강원대)	
09:00 ~ 09:30	초S-X-1. A Study on the Change of Reference Value of Patient Specific Quality Assurance according to Intensity Modulated Radiotherapy Technique 김정호(건양대병원)
09:30 ~ 10:00	초S-X-2. Performance Analysis of Low-level Radiation Shielding Sheet with Nanosized Shielding Fiber 조재환(안산대)
10:00 ~ 10:30	초S-X-3. Magnetic Field Variation with Activation of Bending Magnet in Linear Accelerator 서정민(대원대)
10:30 ~ 11:00	초S-X-4. Effects of Task-Oriented Activity after Low Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Cerebral Motor Evoked Potential Emplitude and Latency in Stroke Patients 마성룡(강원대)
11:00 ~ 11:30	초S-X-5. 동작관찰 신체훈련이 관념운동 실행증 환자의 대뇌피질 활성화와 손 기능에 미치는 영향 양병일(강원대)

CONTENTS

3월 30일(금) 09:00~16:00
Special Session Ⅰ 'Electro-Magnetic Energy Conversion' — 그랜드볼룸 I

좌 장 : 최장영(충남대) / 최홍순(경북대)

초S-I-1 09:00 블로워용 유도전동기 대체 고효율 LSPM 전동기 설계 ····· 3
살만칼리크*, 유세현, 김래은, 이기덕

초S-I-2 09:40 고속회전용 자기베어링 기술 ····· 4
안지훈*

초S-I-3 10:40 초고속 전동기 설계 기술 ····· 6
장석명*

초S-I-4 11:20 전기자동차용 BLDC MOTOR 제어용 범용인버터 개발 소개 ····· 8
김용학*, 양금옥

초S-I-5 13:00 희토자석 최근 연구동향 및 향후전망 ····· 10
김동환*, 공군승

초S-I-6 13:40 착자방향을 고려한 영구자석 매입형 전동기의 최적설계 ····· 11
김홍석*

초S-I-7 14:40 이중3상 인버터를 갖는 풍력발전기의 권선체결에 대한 연구 ····· 13
서장호*

초S-I-8 15:20 철도차량용 견인전동기의 기술 개발 현황 ····· 14
박찬배*

3월 30일(금) 09:30~12:30
Special Session Ⅱ 'Spin memory & Spin torque devices' — 그랜드볼룸 II

좌 장 : 최준우(한국과학기술연구원) / 민병철(한국과학기술연구원)

초S-Ⅱ-1 09:30 Spectro-microscopic study on two-dimensional magnetic materials ····· 19
Wondong Kim*

초S-Ⅱ-2 09:50 Electrical manipulation of the magnetization in Fe/GaAs/GaMnAs hybrid structure ····· 20
Sangyeop Lee*, Taehee Yoo, Seul-Ki Bac, Seonghoon Choi, Hakjoon Lee, Sanghoon Lee, Xinyu Liu, Margaret Dobrowolska and Jacek K. Furdyna

초S-Ⅱ-3 10:10 Control and manipulation of voltage-induced skyrmion and skyrmionium motion ··· 21
Jungbum Yoon*, Kyoung-Woong Moon, Dongseuk Kim, Changsoo Kim, Byong Sun Chun, Wondong Kim, and Chanyong Hwang

초S-Ⅱ-4 10:30 Current-induced dynamic motions of ferrimagnetic skyrmions in Pt/GdFeCo/MgO multilayers ····· 23
Kyung Mee Song*, Seonghoon Woo, Xichao Zhang, Yan Zhou, Motohiko Ezawa, S. Finizio, J. Raabe, Jun Woo Choi, Byoung-Chul Min, Hyun Cheol Koo, and Joonyeon Chang

초S-Ⅱ-5 11:10 Annealing temperature dependence on spin current at the CoFeB/Pt interface ····· 25
Nyun Jong Lee*, Sang-Il Kim, Dongjoon Lee, Oukjae Lee, and Seung-Young Park†

초S-Ⅱ-6 11:30 Spin memory loss of FMR spin pumping in the ferromagnet/heavy metal bilayer ··· 26
Sang-Il Kim*, Dongjoon Lee, Oukjae Lee, Seung-Young Park, and Kyung-Jin Lee

초S-Ⅱ-7 11:50 Spin-orbit-torque and magnetic damping in ferromagnetic bilayers ····· 27
D. J. Lee*, J. H. Kim, B. K. Ju, H. C. Koo, B. C. Min, K. J. Lee and O. J. Lee

초S-Ⅱ-8 12:10 Spin accumulation on a non-magnetic metal driven by ultrafast demagnetization on a ferromagnet ····· 29
Im-Hyuk Shin*, Byoung-Chul Min, Byeong-Kwon Ju, and Gyung-Min Choi†

3월 30일(금) 09:00~12:00
Special Session Ⅲ 'Hard & Soft magnetic Materials'

소크라테스

✿ 좌 장 : 최철진(재료연구소) / 이우영(연세대) / 임혜인(숙명여대)

초S-Ⅲ-1 09:00 차세대 영구자석재료의 연구개발 현황 및 전망 ····· 33
최철진*, 정국채, 김종우, 박지훈

초S-Ⅲ-2 09:20 Nd-Fe-B계 영구자석의 성능 향상 및 차세대 영구자석재료 연구 개발 동향 ····· 34
권해웅*, 이정구

초S-Ⅲ-3 09:40 MAGNET 개발 현황 과 발전 방향 (FERRITE MAGNET중심) ····· 35
최승술*

초S-Ⅲ-4 10:00 M-type hexaferrite의 자성특성 향상 ····· 36
유상임*

초S-Ⅲ-5 10:40 연자성 금속 분말을 이용한 전파흡수체 산업동향 및 전력전송선에의 응용 ····· 37
강두인*

초S-Ⅲ-6 11:00 철계 비정질 합금의 결정화 정도와 연자성 특성 ····· 38
이승훈*

초S-Ⅲ-7 11:20 Crystallization Behaviors and Soft Magnetic Properties of FeMoBCPSi amorphous alloys ····· 39
Hwijun Kim*, Myungshin Kim, Sunguk Hong

초S-Ⅲ-8 11:40 친환경차 전력변환부품용 고온내구 연자성 페라이트 개발 ····· 40
김미루*, 김영민, 정연준, 황득규, 함철환

3월 30일(금) 13:00~16:00
Special Session Ⅳ 'Magnetization Dynamics'

소크라테스

좌 장 : 이현우(포항공대)

초S-Ⅳ-1 13:00 The Three-Dimensional Nature in the Magnetic Vortex dynamics ····· 43
Hee-Sung Han, Sooseok Lee, Dae-Han Jung, Namkyu Kim, Ki-Suk Lee*

초S-Ⅳ-2 13:30 수직자성박막의 자구벽 연구 ····· 44
문경웅*, 김창수, 윤정범, 김원동, 전병선, 이상선, 김동석, 김대현, 최준우, 이억재, 김동옥, 송경미, 민병철, 황찬용

초S-Ⅳ-3 14:00 Correlation between Charge Asphericity and Dzyaloshinskii-Moriya Interaction ····· 45
Sanghoon Kim*, Kohei Ueda†, Gyungchoon Go, Peong-Hwa Jang, Kyung-Jin Lee, Abderrezak Belabbes, Aurelien Manchon, Motohiro Suzuki, Yoshinori Kotani, Tetsuya Nakamura, Kohji Nakamura, Tomohiro Koyama, Daichi Chiba, Kihiro Yamada, Duck-Ho Kim, Takahiro Moriyama, Kab-Jin Kim and Teruo Ono†

초S-Ⅳ-4 14:30 Field driven magnetic racetrack memory accompanied with the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction ····· 46
June-Seo Kim*

초S-Ⅳ-5 15:00 Antiferromagnetic spin dynamics at an angular momentum compensation temperature of ferrimagnets ····· 47
Kab-Jin Kim*, Se-Kwon Kim, Yaroslav Tserkovnyak, Arata Tsukamoto, Takahiro Moriyama, Kyung-Jin Lee, Teruo Ono

초S-Ⅳ-6 15:30 Spin-transfer torques in the vicinity of the angular momentum compensation temperature in ferrimagnet ····· 48
Duck-Ho Kim*, Takaya Okuno, Se-Hyeok Oh, Se Kwon Kim, Yuushou Hirata, Tomoe Nishimura, Yasuhiro Futakawa, Hiroki Yoshikawa, Arata Tsukamoto, Yaroslav Tserkovnyak, Yoichi Shiota, Takahiro Moriyama, Kab-Jin Kim, Kyung-Jin Lee, and Teruo Ono

3월 30일(금) 10:00~11:30
Special Session Ⅴ 'Magnetic For IOT'

헤라

좌 장 : 손대락(한남대)

초S-Ⅴ-1 10:00 AMR 지자기센서 개발 ····· 53
윤석수*, 김동영, 신정우

초S-Ⅴ-2 10:30 펄스와전류 기술의 소개와 적용 ····· 54
박덕근*

초S-Ⅴ-3 11:00 위성용 자기센서 개발 ····· 55
손대락*

3월 30일(금) 13:30~18:10
Special Session Ⅵ 'Spin-Orbitronic Materials'

헤라

✿ 좌 장 : 김영근(고려대)

초S-Ⅵ-1 13:30 연구개발 현황 ····· 59
김영근*

초S-Ⅵ-2 13:50 이론 및 계산 연구 1 ····· 60
이경진*

초S-Ⅵ-3 14:10 이론 및 계산 연구 2 ····· 61
박종선*

초S-Ⅵ-4 14:30 이론 및 계산 연구 3 ····· 62
임성현*

초S-Ⅵ-5 15:10 소재 공정 연구 1 ····· 63
김영근*

초S-Ⅵ-6 15:30 소재 공정 연구 2 ····· 64
임상호*

초S-Ⅵ-7 15:50 소재 공정 연구 3 ····· 65
홍종일*

초S-Ⅵ-8 16:10 소재 공정 연구 4 ····· 66
박병국*

초S-Ⅵ-9 16:50 소재 공정 연구 5 ····· 67
홍정일*

초S-Ⅵ-10 17:10 측정분석 연구 1 ····· 68
황찬용*

초S-Ⅵ-11 17:30 측정분석 연구 2 ····· 69
유천열*

초S-Ⅵ-12 17:50 측정분석 연구 3 ····· 70
최석봉*

3월 30일(금) 09:00~15:45
Special Session Ⅶ 'A First-principles Calculation'

플라톤

✿ 좌 장 : 이주형(광주과학기술원) / 임성현(울산대) / 홍순철(울산대)

초S-Ⅶ-1 09:00 Search for magnetism in two-dimensional $PdSe_2$ and PdS_2 ····· 73
Yoseph Cho and Hyoung Joon Choi*

초S-Ⅶ-2 09:25 Design of memcapacitors for neuromorphic computation using magnetoelectric coupling from first principles ····· 74
Jun Hee Lee*

초S-Ⅶ-3 09:50 Intrinsic spin Hall effect in topological semimetals ····· 75
Adarsh S. Patri, Kyusung Hwang, Hyun-Woo Lee*, Yong Baek Kim

초S-Ⅶ-4 10:30 Large thermopower in crystalline topological insulating perovskite ····· 76
Myung-Chul Jung, W. E. Pickett, and K.-W. Lee*

초S-Ⅶ-5 10:55 The giant out-of-plane Rashba effect and the nanoscale persistent spin helix controlled by ferroelectricity in SnTe thin films ····· 77
Hosub Jin*

초S-Ⅶ-6 11:20 Valley valve of bilayer MoS_2/WS_2 heterostructure ····· 78
J. D. Lee*

초S-Ⅶ-7 13:00 Real-time TDDFT study of spin-phonon dynamics and band topology of solids ····· 79
Noejung Park*

초S-Ⅶ-8 13:25 Interfacial magnetic-phase transition mediated large perpendicular magnetic anisotropy in FeRh/MgO by a heavy transition-metal capping ····· 80
Dorj Odkhuu*

초S-Ⅶ-9 13:50 Electronic Structures and Phonon Properties in Correlated Electron Systems ····· 81
Byung Il Min*

초S-Ⅶ-10 14:30 Magnetic properties of two-dimensional layer structured materials: A first principles study ····· 82
Imran Khan, M. Umar Farooq, M. Moaied, S. Fazle and Jisang Hong*

초S-Ⅶ-11 14:55 High coercivity $Fe_{16-x}Al_xN_2$ alloy design ····· 83
Jinho Byun, Taewon Min, Jaekwang Lee*

초S-Ⅶ-12 15:20 Room-temperature ferromagnetism from an array of asymmetric zigzag-edge nanoribbons in a graphene junction ····· 84
Hosik Lee*

3월 30일(금) 09:00~17:00
Special Session Ⅷ 'Mössbauer & Nano'

비너스

❀ 좌 장 : 김삼진(국민대) / 엄영랑(한국원자력연구원)

초S-Ⅷ-1 09:00 Catalytic Effects of magnetic nanoparticles Synthesized by Levitational Gas Condensation (LGC) ····· 87
Young Rang Uhm*

초S-Ⅷ-2 10:00 Modelling and Diagnosis of Wooden Cultural Heritages for the Radiation Processing ····· 88
Gwang Min Sun*

초S-Ⅷ-3 11:00 A new approach for targeted hyperthermia using nanoparticle-based microrobot ··· 89
S. H. Kim*, C. S. Kim

초S-Ⅷ-4 14:00 Revealing the Active Sites of Fe–N/C Oxygen Reduction Electrocatalysts by Mössbauer spectroscopy ····· 90
Sang Hoon Joo*

초S-Ⅷ-5 15:00 High-Density Crystalline/Amorphous Phase Boundaries in Electrochemically Activated Nickel-Doped Cobalt Sulfide for Efficient Oxygen Evolution Reaction ····· 91
Sungwook Mhin*

초S-Ⅷ-6 16:00 피셔-트롭쉬 합성반응용 나노 결정질 Fe계 촉매 개발: 뫼스바우어 분석을 통한 기술혁신 ··· 92
천동현*

3월 30일(금) 09:00~
Special Session Ⅸ 'Bio-Convergence Magnetics'

제우스

❀ 좌 장 : 홍정일(대구경북과학기술원) / 이명재(대구경북과학기술원)

초S-Ⅸ-1 09:00 Current Status on Bio-Spintronics Researches - From molecular diagnosis to Tissue engineering - ····· 95
Cheol Gi Kim*

초S-Ⅸ-2 09:30 Semiconductor valley magnetism and its control and application ····· 96
J. D. Lee*

초S-Ⅸ-3 10:00 미세유체 시스템을 이용한 이종 순환종양세포의 분리검침 ····· 97
곽봉섭*

초S-Ⅸ-4 10:30 Magnetically actuated microrobots for targeted therapeutics ····· 98
Jin-young Kim*, Seungmin Lee, Sunkey Lee, Sangwon Kim and Hongsoo Choi†

초S-Ⅸ-5 11:00 Proteins and Biomagnetics ····· 99
Ogan Gurel*

3월 31일(토) 09:00~11:30
Special Session Ⅹ 'Medical Magnetics'

헤라

❀ 좌 장 : 한만석(강원대)

초S-Ⅹ-1 09:00 A Study on the Change of Reference Value of Patient Specific Quality Assurance according to Intensity Modulated Radiotherapy Technique ····· 103
Jeong Ho Kim*, Se Jong Yoo, Myeong Cheol Park, Seok Hwan Bae, Min-Cheol Jeon

초S-Ⅹ-2 09:30 Performance Analysis of Low-level Radiation Shielding Sheet with Nanosized Shielding Fiber ····· 104
Jae-Hwan Cho*, Myung-Sam Kim, Jea-Dong Rhim†, Man-Seok Han, Chang-Gyu Kim

초S-Ⅹ-3 10:00 Magnetic Field Variation with Activation of Bending Magnet in Linear Accelerator ····· 105
Jeong-Min Seo*, Jeong-Ho Kim, Gap-Jung Kim

초S-Ⅹ-4 10:30 Effects of Task-Oriented Activity after Low Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Cerebral Motor Evoked Potential Emplitude and Latency in Stroke Patients ····· 106
Sung-Ryoung Ma*, Man-Seok Han, and Bo-Kyoung Song

초S-X-5 11:00 동작관찰 신체훈련이 관념운동 실행증 환자의 대뇌피질 활성화와 손 기능에 미치는 영향 ····· 108
양병일*, 한만석, 송보경

3월 29일(목) 17:00~18:00
Session : 포스터발표

소크라테스

좌 장 : 박철수(한림성심대) / 이기석(울산과학기술원)

○ Session EM[Electro-Magnetic Energy Conversion]

EM01 Poster Spin Seebeck effect in a bulk-$Y_3Fe_5O_{12}$ fabricated by a sol-gel synthesis ····· 113
Min-Sun Jang*, Ki-Suk Lee

○ Session MM[Medical Magnetics]

MM01 Poster 저 강도 자기장을 이용한 광자선의 선량 상승 영역 변조를 위한 빔 스포일러 적용의 예비연구 ····· 115
안우상*, 곽정원, 신성수, 정인혜, 최원식

○ Session BM[Bio-Convergence Magnetics]

BM01 Poster Magnetic separation assisted high-throughput differential identification of abnormal fusion genes in prostate cancer patient urine ····· 116
Hyojin Lee*, Dongjin Lee, and Kwan Hyi Lee†

○ Session SO[Spin-Orbitronic Materials]

SO01 Poster Two-dimensional antiferromagnon character in S = 1 one-dimensional chain $NiTe_2O_5$ ····· 117
Jun Han Lee*, Marie Kratochvílová, Zahra Yamani, J. S. Kim, Dae Hwan Park, Hong Eun Choi, G. R. Stewart, Je-Geun Park, Yoon Seok Oh

○ Session MD[Magnetization Dynamics]

MD01 Poster Correlation between Magnetic Properties and Depinning Field in Field-Driven Domain Wall Dynamics in GdFeCo Ferrimagnets ····· 118
Tomoe Nishimura, Duck-Ho Kim,* Yuushou Hirata, Takaya Okuno, Yasuhiro Futakawa, Hiroki Yoshikawa, Arata Tsukamoto, Yoichi Shiota, Takahiro Moriyama, and Teruo Ono

MD02 Poster Correlation between Compensation Temperatures of Magnetization and Angular Momentum in GdFeCo Ferrimagnets ····· 119
Duck-Ho Kim*, Yuushou Hirata, Takaya Okuno, Tomoe Nishimura, Dae-Yun Kim, Yasuhiro Futakawa, Hiroki Yoshikawa, Arata Tsukamoto, Kab-Jin Kim, Sug-Bong Choe, and Teruo Ono

MD03 Poster The symmetry breaking during a transformation from a vortex core to an asymmetric Bloch wall ····· 120
Hee-Sung Han*, Sooseok Lee, Min-Seung Jung, Namkyu Kim, Young-Sang Yu, Mi-Young Im, Jung-Il Hong, Ki-Suk Lee

MD04 Poster Non-Parabolic Confining Potential Model of Magnetic Skyrmion ····· 122
Dae-Han Jung*, Hee-Sung Han, Namkyu Kim, and Ki-Suk Lee†

○ Session HS[Hard &Soft magnetic Materials]

HS01 Poster 산화물 코팅된 모터용 Fe Powder의 자기적 특성 ····· 124
신세희*, 서대석, 박종환, 최호준, 서수정†

HS02 Poster 폴리올 공정을 이용한 FeCo 나노입자의 합성과 자기적 특성평가 ····· 125
박종환*, 김선우, 최호준, 신세희, 권현준, 서대석, 정한영, 서수정

HS03 Poster Permalloy Film의 제작 및 자기적 특성평가 ····· 126
최호준*, 김선우, 박종환, 이정우, 신세희, 권현준, 서대석, 정한영, 서수정

HS04 Poster Phase stability and magnetic properties of Mn50Al50-xCx: First-principles calculation and experiment ····· 127
Sumin Kim*, Minyeong Choi, Yang-ki Hong, Hyun-Sook Lee††, Wooyoung Lee†

HS05 Poster Rare-Earth-Free MnBi Permanent Magnets: Bulks and Thin Films ····· 128
Sumin Kim*, Hongjae Moon, Hwaebong Jung, Hyun-Sook Lee† and Wooyoung Lee†

○ Session OT[Others]

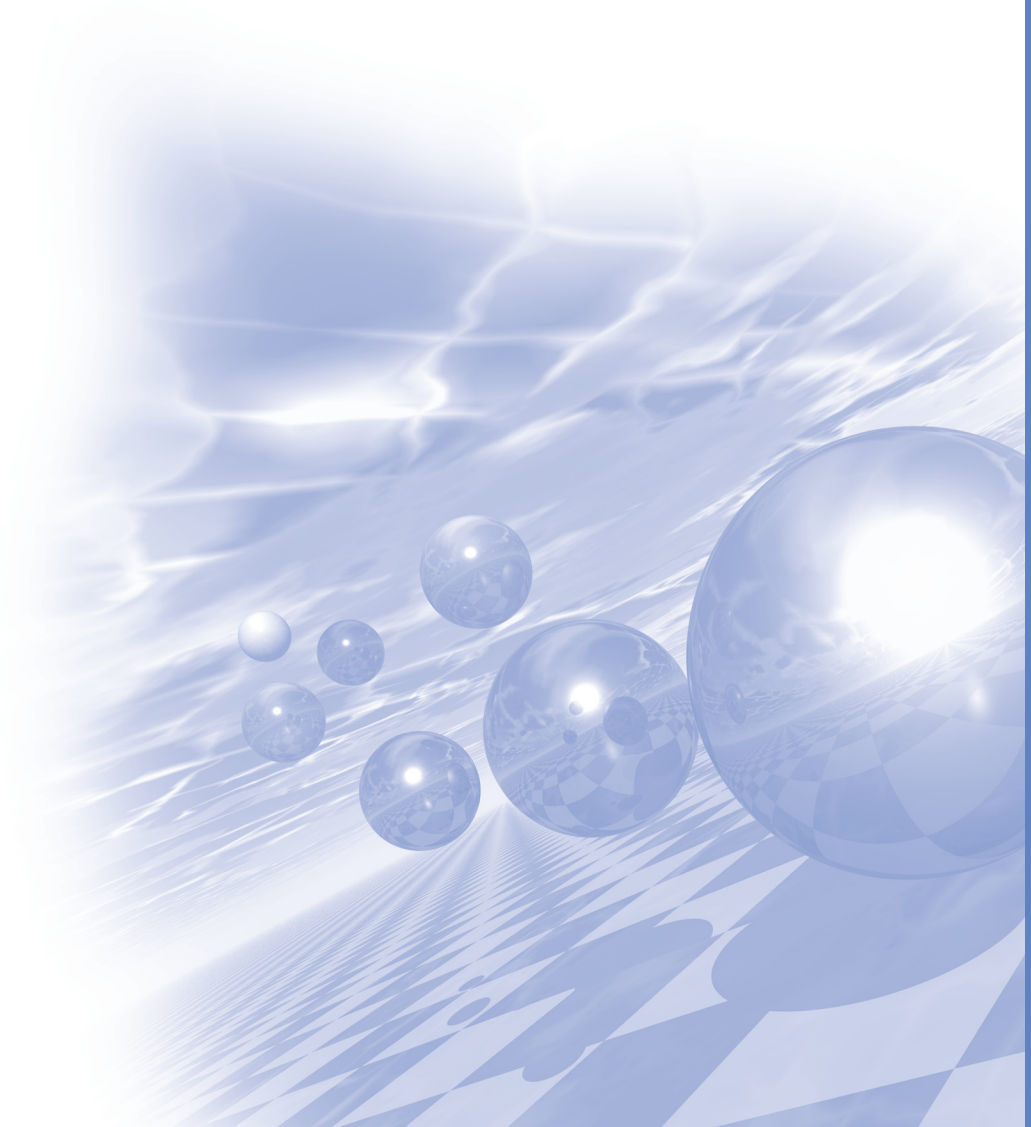
OT01 Poster Optimum Control Program for Helium Recovery System Based on Thermal Equation ····· 129
Daehwan Park*, Yoon Seok Oh

OT02 Poster Fe wire 전기폭발법을 이용한 Magnetic Fluid용 자성파우더 제작 ····· 130
이정우*, 박종환, 김선우, 신세희, 최호준, 서대석, 권현준, 정한영, 서수정

KMS 2018 Spring Conference

Special Session I

'Electro-Magnetic Energy Conversion'



블로워용 유도전동기 대체 고효율 LSPM 전동기 설계
Design of High Efficiency Line Start Permanent Magnet Motor for Blower

살만칼리크*, 유세현, 김래은, 이기덕
전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

Small three phase Induction Motors (IMs) are widely used in many industrial applications, such as a blower, due to its lower cost, robustness and line start capability. However, IMs suffer from overall lower efficiency due to excitation penalty and higher rotor losses. As the energy saving concern is gaining momentum, improving the efficiency of the vast number of IMs installed in the industry is of particular. Furthermore, various legislation has made it necessary for the motor manufacturers to improve the efficiency of motors up to super premium class, i.e., IE4.

On the other hand, Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) can achieve higher power factor and efficiency as compared to IM. However, it lacks the line starting ability like IM. Line Start Permanent Magnet (LSPM) motor is developed to combine the advantages of direct line start ability and higher efficiency. LSPM motors can start directly from the grid due to the electromagnetic induction in the rotor cage bars, which produces cage torque during the asynchronous starting operation. Furthermore, rotor cage also damps the oscillations produced by fast load change, while the buried magnet under the rotor cage produces the torque in the steady state condition. Therefore, once the motor achieves rated speed, cage torque vanishes, and it behaves like PMSM.

In this paper, an LSPM motor is developed by modification to the small scale IM rotor with the aim to achieve almost unity power factor and operational efficiency to an IE4 or higher class motor. In general, small-scale (7.5 kW<) 4-pole LSPM model development is simpler as compared to 2-pole model, as in the former, it is not required to cover the shaft with PMs to for better performance. However, there is more space for efficiency improvement in small-scale IM due to a higher percentage of rotor losses.

The 2-pole LSPM model is developed by inserting PMs in an off the shelf IM, HHT-05, considering minimum manufacturing cost. PM shape was kept rectangular to reduce the manufacturing cost associated with the unconventional shapes. Stator outer dimension and slot design are kept same as in the basic IM model. Two LSPM models have analyzed in this work has the same stator while different rotor magnet design. Both models showed performance improvement in terms of efficiency and power factor. However, one LSPM model did not have any reluctance torque component due to the geometry of the rotor, therefore showed poor synchronizing ability at higher inertia load. In the other, LSPM model synchronizing ability was improved by designing the flux barrier to producing maximum reluctance torque while maintaining the same output performance. Both developed LSPM models showed IE4 class efficiency and also showed a power factor of 13% higher than the basic IM model. LSPM model cost is higher than the IM; however, it will recover the cost in the form of lesser tariffs.

고속회전용 자기베어링 기술

안지훈*
㈜마그네타

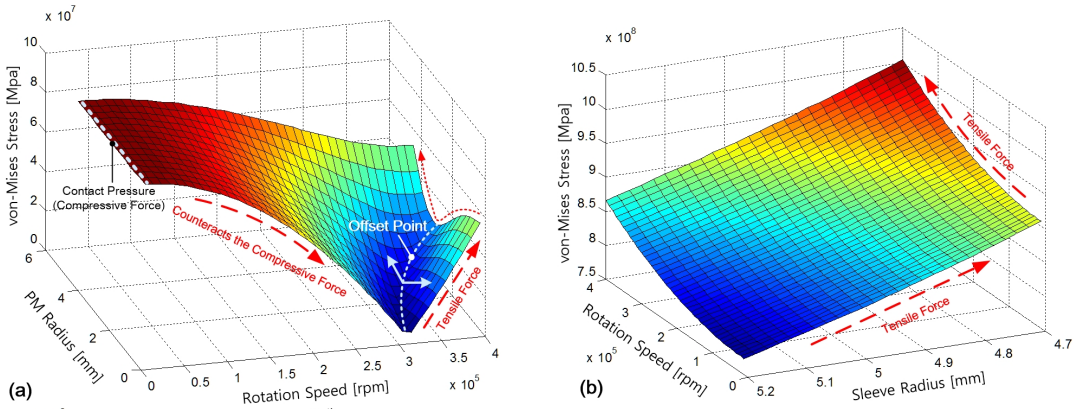
1. 서론

초고속 영구자석형 전동기는 간단한 구조, 높은 전력 밀도 및 소형 크기의 장점으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나, 초고속 PMSM의 경우, 회 전자의 고속으로 인한 회전 기계적 진동은 통합 시스템에 심각한 손상을 초래할 수 있으며, PMSM의 진동은 고속 회전을 위해 매우 중요한 요소이다.

고속 PM 로터에는 자석의 비산을 방지하기 위해 슬리브를 설치하며, 회전자가 고속으로 회전 할 때 원심력 및 압축력이 자석 및 슬리브에 생성된다. 이 기계적 응력은 PM 직경 및 슬리브 두께, 열박음 량에 영향을 받는다. 고속 PM 전동기의 회전자 설계 과정에서 이러한 파라미터를 고려하지 않으면 고속 회전 중 자석 또는 슬리브가 파손될 수 있으며 자석의 균열 또는 수축 완화로 인한 슬리브의 팽창으로 인해 회전자의 진동이 증가할 수 있다. 따라서, 고속 영구자석형 전동기의 경우 기계적 응력을 고려한 초기 설계가 반드시 이루어져야 한다.

2. 실험방법과 결과

슬리브가 설치되어있는 영구자석형 전동기가 고속으로 회전하면, 압축력 및 인장력이 회전자에 발생하게 되며, 이는 슬리브 두께, 회전속도, 재질, 간섭량에 따라 변화한다. 본 논문에서는 해석적인 방법을 이용하여 회전자에서 발생하는 응력을 분석하며, 속도 및 슬리브 두께, 간섭량에 따라 변화하는 응력의 변화에 대해 다룬다.

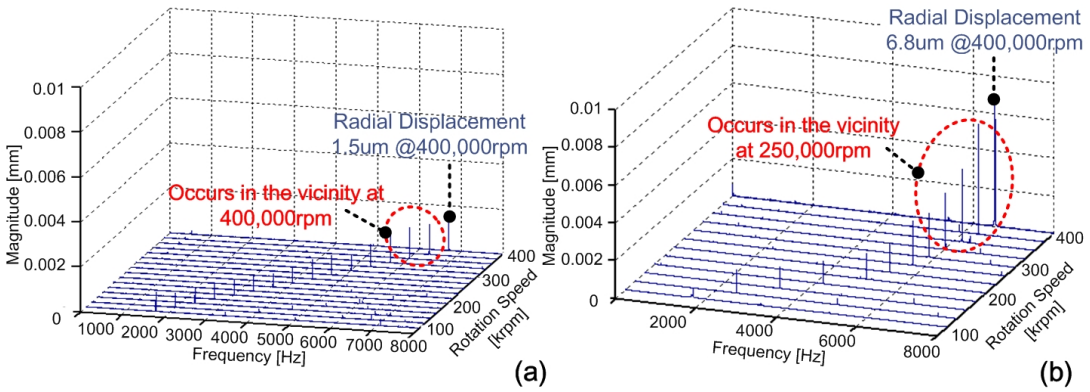


(a) 회전 속도에 따라 변화하는 자석 내부에서 발생하는 응력의 변화,
(b) 회전 속도에 따라 변화하는 슬리브 내부에서 발생하는 응력의 변화

3. 고찰

원심력에 따라 반경방향으로 펼쳐지려는 자석의 현상은 자석 중심에서 가장 크게 나타난다. 회전 속도가 증가함에 따라 압축 응력은 원심력에 의해 상쇄되고 일정 속도 이상에서는 인장 응력 만 발생하며, 자석에서 발생하는 응력의 변화는 압축력이 상쇄되는 지점을 통해 확인할 수 있으며, 간섭량 및 회전 속도에 따라 변화한다.

4. 결론



(a) 회전 속도에 따른 진동 (간섭량 : 45um), (b) 회전 속도에 따른 진동 (간서량 : 30um)

제안 된 방법을 사용하여 설계된 회 전자는 모터 링 테스트를 통해 평가된다. (a)는 회전 응력을 고려하여 설계된 회전자엣 발생하는 진동량을 나타내며, 400,000rpm에서 1.5um의 회전진동을 나타냄을 확인 할 수 있다. 그러나 수축 끼워 맞춤이 제대로 조정되지 않으면 (b)와 같이 회전이 크게 발생함을 확인할 수 있으며, 약 250,000 rpm부터 증가하고 400,000 rpm에서 매우 커짐을 확인 할 수 있다.

5. 참고문헌

[1] L. Zhao, C. Ham, L. Zheng, T. Wu, K. Sundaram, J. Kapat, and L. Chow, "A highly efficient 200000rpm permanent magnet motor system," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 43, no. 6, pp. 2528-2530, Jun, 2007.

[2] C. H. Park, S. K. Choi, D. E. Hong, T. G. Yoon, and S. H. Lee, "Note: Radial-thrust combo metal mesh foil bearing for microturbomachinery," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 84, no. 10, p. 106102, Oct. 2013.

[3] J. D. Ede, Z. Q. Zhu, D. Howe, "Rotor resonances of high-speed permanent magnet brushless machines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol.38, no. 6, pp.967-972, Nov/Dec. 2002.

[4] D. H. Lee, J. H. Lee, and J. W. Ahn, "Mechanical vibration reduction control of two-mass permanent magnet synchronous motor using adaptive notch filter with fast Fourier transform analysis," *IET Electr. Power Appl.,* vol. 6, no. 7, pp. 455-461, July, 2012.

[5] D. K. Hong, B. C. Woo, and D. H. Koo, "Rotordynamics of 120000 r/min 15 kW Ultra High Speed Motor," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 45, no. 6, pp. 2831-2834, 2009

[6] R. G. Budynas, *Advanced Strength and Applied Stress Analysis*, New York: McGraw-Hill Science/ Engineering/Math, 1998, p. 348.

초고속 전동기 설계 기술

장석명*
(주)셈스하이테크엔지니어링

고속회전기 시스템은 기존 증속기어를 적용한 고속 회전기 시스템과 고속 전동기를 적용한 시스템으로 분류할 수 있다. 현재 국내에도 그림 (a)와 같이 기존 방식을 적용한 고속회전 시스템을 보유하고 있지만 이를 그림 (b)와 같이 고속 전동기로 대체 하였을 경우 시스템의 효율이 약 10% 이상 상승하게 되고 전체 시스템의 소음도 대폭 감소되며 부피가 약 1/10으로 줄어들어 소형-경량화 등 많은 장점이 존재하게 된다[1]-[3].

초고속 전동기 시스템의 핵심요소기술은 고속화 설계기술, 효율 최대화 설계기술, 고속전동기 제어기술 및 시험평가기술로 분류할 수 있다. 초고속 전동기는 고속회전으로 인해, 전자기 설계기술뿐만 아니라 회전자 구조 강성설계등과 같은 기계적 설계기술 등을 확보해야하며, 인버터의 고속스위칭기술 및 센서리스 제어기술 역시 요구된다[4], [5]. 또한 고속회전으로 인해 일반적인 다이나모 미터를 이용한 전부하 시험 및 실부하 시험이 어려운 경우도 있으므로 이를 대비한 시험 평가기술역시 확보해야만 한다.

본 연구에서는 초고속 전동기의 설계기술에 대한 이론적인 방법과 다양한 사례를 통한 적용기술에 대한 내용을 다루고자 한다.

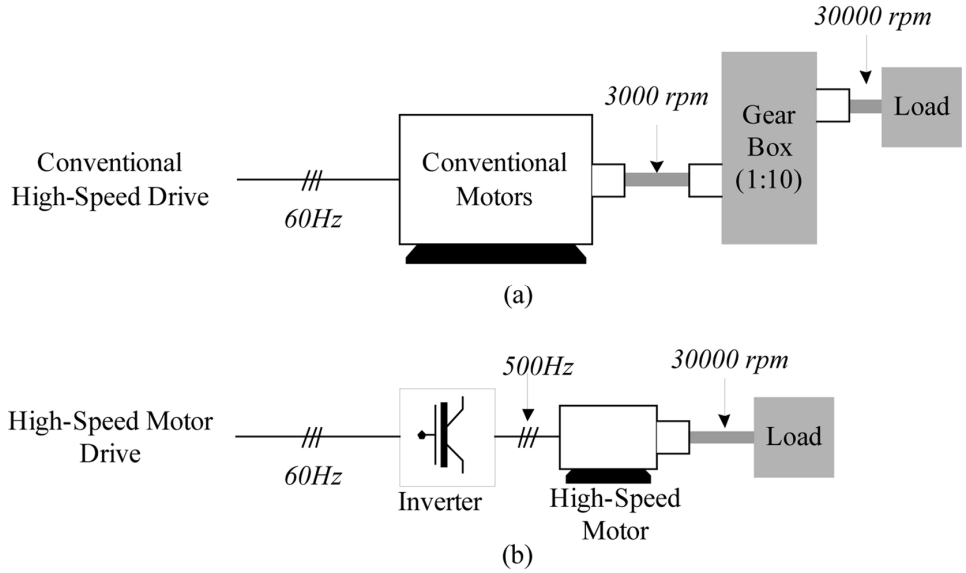


그림. 고속 회전기 시스템: (a) 기존 증속기 기어를 갖는 시스템, (b) 고속 전동기 적용 시스템.

참고문헌

[1] B.H.Bae, S.K.Sul, J.H.Kwon, and J.S.Byeon, “Implementation of sensorless vector control for super-high-speed PMSM of turbo-compressor,” IEEE Trans. Indust. Applicat., vol.39, no.3, pp.811-818, May/June 2003.

[2] Z.Q.Zhu, K.Ng, and D.Howe, “Design and analysis of high-speed brushless permanent magnet motors,” 8th IEE International Conference of Electrical Machines Drives, pp.381-385, Sept. 1997.

[3] S.-M. Jang, H.-W. Cho, S.-K. Choi, “Design and analysis of a high-speed brushless DC motor for centrifugal compressor,” IEEE Trans. Magn., vol.43, no.6, pp.2573-2575, June 2007.

[4] N.Bianchi, S.Bolognani, and F.Luise, “Potentials and limits of high-speed PM motors,” IEEE Trans. Indust. Applicat., vol.40, no. 6, pp.1570-1578, Nov./Dec. 2004.

[5] I.Takahashi, T.Koganezawa, G.Su, K.Ohyama, “A super high speed PM motor drive system by a quasi-current source inverter,” IEEE Trans. Indust. Applicat., vol.30, no.3, pp.683-690, May/June 1994.

전기자동차용 BLDC MOTOR 제어용 범용인버터 개발 소개

김용학*, 양금옥
플랩

1. 서론

전기자동차 및 전기구동장치의 메인 부품인 구동모터는 신규로 개발을 할 경우에는 제작후 구동모터의 성능을 확인하기 위하여 개발된 모터에 맞는 인버터의 확보가 중요한 일이다.

그러나 구동모터에 맞는 인버터를 확보하는 일은 어렵고, 모터개발 업체 및 모터측정을 필요로 하는 업체에서는 신규 제작하는 일이 빈번히 발생을 하고 있는 실정이다.

이러한 모터개발상의 문제를 해결하기 위하여 모터 제조사들로부터 많은 요구가 있어 개발 성능시험용으로 사용할 수 있는 범용 인버터를 개발하였고, 생산과 내구시험용으로 거듭 버전업을 실시하여 범용 인버터로써의 규격을 인정받은 제품에 대한 소개를 드립니다.

2. 개발 사양 및 활용

2-1 개발 사양

용량은 90A, 12V 자동차용 제어기를 바탕으로 개발하였으나 최초 제작한 MOTOR를 시험하다 보니 설정을 맞추는 과정에서 고장이 발생하는 단점이 있어 제어전원과 INVERTER 전원을 분리하고 내압을 높여서 H/W FAULT DETECT 기능을 추가시켜 최초 설정이나 내구 시험용으로 사용 가능하도록 하였고 제어기 SIZE도 소형화하였다.

TYPE	전압	최대 제어 전류	최대속도	구동 MODE
저압	85V	150A RMS	15000 RPM	BLAC/BLDC
고압	350V	150A RMS	15000 RPM	BLAC/BLDC

사용 편의성으로는 PC와 CAN(Controller Area Network)으로 INTERFACE되어 GUI (Graphical User Interface)를 통해 MOTOR극수, POSITION SENSOR TYPE, 구동방법, 연속내구 설정이 가능하고 POSITION SENSOR를 외부에 사용해도 자동으로 ALIGN을 하여 구동할 수 있어 MOTOR BACK EMF와 POSITION SENSOR를 맞추지 않아도 되도록 했다.

SERVO를 사용하여 MOTOR 특성을 TEST할 때 PC에서 ID, IQ, BETA ANGLE을 RPM별로 통신으로 넣어주면 제어기가 SERVO속도에 따라 전류와 각도를 INTERPOLATION해서 제어하여 T-N 특성이나 VIBRATION NOISE TEST에 사용할 수 있게 하였다. CAN(Controller Area Network) 통신은 ISO STANDARD를 준수하여 UDS ON CAN PROTOCOL을 사용하였으며 이를 통해 PARAMETER 수정 및 FIRMWARE UPDATE가 가능하도록 되어있다.

MOTOR CONTROL은 NXP사의 MPC5643L 32Bit 128MHz FLOATING POINT연산이 가능한 자동차 MOTOR CONTROL 전용 MCU를 사용 했으며 PMSM VECTOR CONTROL과 BLDC 6 STEP 구동 AC MOTOR 구동 DC MOTOR 구동이 모두 가능하다.

상간 전류편자 1% 이내로 CONTROL되고 최대 RPM은 150A까지 CONTROL하고 저 전압용은 100V, 고 전압용은 최대 350VDC (내압 1200V)까지 사용할 수 있어서 제어기를 별도로 만들지 않아도 제작한 MOTOR 를 TEST 하기에 적합한 제품이다.

상간 전류 편차 [단위: %]

구분	U-V	V-U	W-U
- Max.	0.787	0.394	0.393
+ Max.	0.522	0.916	0.393

사양:최대 2% @100A

2-2 활용 현황

많은 전기모터 제작 및 모터 관련 시스템 제작회사에 다용도로 활용을 하고 있으며, 활용기관 별로 활용현황을 소개한다.

M사 : MOTOR 생산LINE 부하시험기/소음측정 시험팀 소음, 내구, 성능 시험용
L사 : 신제품 MOTOR 성능시험
G사 : 200V HYBRID 자동차용 PUMP MOTOR 생산 LINE 및 시험팀 고압/저압/고속 공구용 MOTOR
H사 : 신제품 MOTOR 성능시험
N사 : 신제품 MOTOR 성능시험

희토자석 최근 연구동향 및 향후전망

김동환*, 공군승
성림첨단산업(주) 연구소, 대구광역시 달서구 호림동 8

현대사회가 점차 인간의 편이성을 추구하면서 여러 산업분야의 다양한 제품생산이 확대됨에 따라 에너지의 효율적 사용과 지구상의 환경오염 억제가 가장 큰 화두가 되어 있고, 이와 같은 미래 산업트렌드에 부응하기 위해 자동차, 로봇, 에너지, 정보분야 등 첨단산업 중심으로 모터의 사용량이 급격히 증가하는 추세이다.

이와 같은 모터산업 발전 추이와 더불어 이들 고효율 모터에 사용되는 핵심소재인 고성능 희토자석 역시 수요가 급증하리라 예상되지만, 희토자석 사용상의 단점인 가격이 고가이고, 희토자원이 중국에 편중되어 정치적 상황에 따라 언제든지 공급에 문제가 있을 수 있다는 우려를 해결하지 못한다면 모터 설계자들 입장에서 희토자석형 모터를 유도전동기 혹은 동기형릴럭턴스 모터로 전환할 가능성이 높다. 또한, 최근 세계적인 희토자원 개발현황을 살펴보면 2011년 희토류 파동 이후 희토 생산기지가 중국 이외에 호주, 미국, 말레이시아 등으로 다변화되어 있고, 경희토류(Nd, Pr)의 매장량은 인류가 향후 1000년 이상 사용할 수 있을 정도로 충분하기 때문에 아직 중국의 자원편중이 높은 고가의 중희토만 사용하지 않고 희토자석을 제조할 수 있다면 저가의 희토자석 및 안정적인 희토자석 공급 문제를 동시에 해결하는 해법이 된다.

현재까지 발표된 대표적인 중희토 저감기술에는 중희토 입계확산기술과 입자미세화 기술이 제시되고 있는데, 2005년 Shin-Etsu Chemical에서는 자석 표면에 DyF3를 도포한 후 진공분위기에서 800～900℃ 조건으로 가열하여 중희토 물질의 입계확산을 유도함으로서 보자력을 6 kOe 이상 향상시키는 연구결과를 발표한 바 있다.[1] 또한, 2010년 M. Sagawa 등은 중희토를 함유하지 않는 합금조성에서 분말입도를 1.2 ㎛까기 감소시켜 자석을 제조함으로서 보자력 20 kOe 이상 자석 제조가 가능하다는 연구 결과를 발표하였다.[2]

당사 연구소에서는 지난 3년간 중희토저감형 희토자석 개발에 역량을 집중하여 연구를 수행하였고 최근에는 국내 H사, L사의 자동차용 모터에 사용되는 중희토저감형 희토자석을 개발 중에 있다. 본 발표에서는 중희토저감형 희토자석 제조를 위한 당사의 고유기술을 소개하고, 향후 대한민국의 희토자석 사업의 기술적 발전 방안에 대한 제언을 하고자 한다.

참고문헌

[1] H. Nakamura, K. Hirota, M. Shimao, T. Minowa and M. Honoshima, IEEE Trans. Magn. **41**, 3844 (2005).

[2] M. Sagawa: Proc. 21th Int. Workshop on REPM and their Applications (2010) 183.

착자방향을 고려한 영구자석 매입형 전동기의 최적설계

김홍석*
삼성전자

1. 서론

최근의 가정용, 산업용에 사용되는 전동기에서 고효율에 대한 요구가 높아져 왔다. 전동기의 고효율을 위해서 특별히 마그네틱 토크와 릴럭턴스 토크를 동시에 활용하여 높은 출력밀도를 갖는 영구자석 매입형 전동기(IPM motor: Interior Permanent Magnet Motor)에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 최근에는 IPM motor의 진동, 소음을 줄이는 것이 중요한 문제로 부각되고 있으며, 여러 연구를 통해서 효과적인 해결방법이 제안 되어져 왔다. 한편 영구자석 내부의 착자방향(Magnetization direction) 변화를 이용한 모터의 출력밀도 향상 및 진동, 소음저감을 위한 연구도 진행되고 있는데, 대부분의 연구가 표면 부착형 영구자석 전동기(SPM motor: Surface Permanent Magnet Motor)에 국한되어 연구되어져 왔으며, IPM motor에서의 영구자석의 내부의 착자방향에 대한 연구보다는 V-shape, multi-segment, multi-layer 및 spoke type 등의 영구자석의 배치에 대한 연구가 주를 이루어 왔다. 그래서 본 연구에서는 IPM motor에서 진동, 소음 저감 및 평균토크 개선을 위한 전동기의 형상 및 영구자석의 착자방향을 제안하였다.

2. 착자방향을 고려한 IPM 전동기의 최적설계

IPM motor의 초기설계를 위하여 영구자석 형상 및 극-슬롯 조합에 대한 검토를 진행하였다. 특별히 극-슬롯 조합 검토와 착자방향을 동시에 검토하여 고정자 슬롯 조합과 착자방향 변화에 대한 전동기의 특성 변화 경향을 검토하였다. 검토결과 극-슬롯 조합이 착자방향 보다 모터특성에 더 큰 영향을 주는 것을 확인하였으며 착자방향 특성을 고려하였을때 모터의 초기설계 결과가 추가로 개선될 수 있음을 증명하였다.

다음 과정으로 진동, 소음 저감을 위한 형상 설계 변수와 착자방향에 대한 영향도 분석을 진행하였다. 영향도 분석을 위해서 실험계획법 중 요인배치법(Factorial design)과 주요 효과 분석(Main effect plot) 및 분산분석(ANOVA)을 통해 객관적인 영향도를 비교 하였으며, 가장 영향도가 큰 설계 변수는 공통적으로 착자방향임을 확인하였다. 영향도 분석을 통해 최적설계에 적용될 3가지 설계 변수를 선정하였다.

선정된 설계 변수에 대하여 진동, 소음 저감 및 평균토크 개선을 위한 최적 설계를 진행하였다. 최적 설계의 목적함수는 모터의 진동-소음에 영향을 주는 Torque ripple, cogging torque, 역기전력의 THD 및 평균토크의 최대화를 선정하여 가중치를 고려한 다목적 최적화를 진행하였다. 최적 설계를 위하여 Latin Hypercube Sampling (LHS)을 통해 실험계획을 위한 샘플링을 하였으며, 선정된 모델에 대한 해석결과에 대하여 Kriging 근사 모델링 과 유전알고리즘(GA : Genetic algorithm)을 이용하여 목적함수와 제약조건을 만족하는 최적 값을 제안하였다.

3. 실험 및 결론

최적 설계 결과에 대한 타당성을 검증하기 위하여 최적 모델에 대한 시작품을 제작하였으며, 무부하 실험과 부하실험을 통하여 진동, 소음에 원인이 되는 cogging torque, torque ripple 및 평균토크가 개선됨을 확인하였다. 또한 실제 모터가 적용될 제품과의 특성을 확인하기 위하여 진동 실험을 진행하였으며, 모터의 cogging toruque, toruque ripple 및 radial force의 주파수특성인 4차와 12차 주파수의 진동 특성이 실제로 감소함으로 인해서 제품 적용 시 제품의 고유 진동 주파수와 만나는 공진점에서의 진동특성도 개선될 것으로 예상된다.

또한 IPM motor에서 영구자석과 회전자 형상을 변경하지 않고 영구자석 내부의 착자방향 변화를 통하여 모터 특성이 개선되는 부분은 고효율 모터나 저소음-저진동 모터 적용 시 개발 비용이나 양산 설비 증가 없이 모터 특성의 성능 향상을 제안할 수 있는 장점을 가지고 있음을 알 수 있다.

4. 참고문헌

[1] Seok-Hee Han, Thomas M. Jahns, Wen L. Soong, Mustafa K. Guven, Mahesh S. Illindala, “Torque Ripple Reduction in Interior Permanent Magnet Synchronous Machines Using Stator with Odd Number of Slots Per Pole Pair”, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.25, no. 1, March 2010.

[2] Jin Hur, Jin-Wook Reu, Byeong-Woo Kim, Gyu-Hong Kang, “Vibration Reduction of IPM-Type BLDC Motor Using Negative Third Harmonic Elimination Method of Air-Gap Flux Density”, IEEE Trans. Industrial Application, vol. 47, No. 3, pp. 1300-1309, May/June 2011.

[3] Leila Parsa, Lei Hao, “Interior Permanent Magnet Motors with Reduced Torque Pulsation”, IEEE Trans. Industrial electronics., vol. 55, No. 2, pp. 602-609, Feb 2008.

[4] Seong-Pyo Hong, Han-Sam Cho, Hae-Seok Lee, Hyun-Rae Cho, Hak-Yong Lee, “Effect of the Magnetization Direction in Permanent Magnet on Motor Characteristics,” IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, no.3, pp.1231-1234, May. 1999.

[5] Hong-seok Kim, Yong-min You, Byung-il Kwon, “Rotor shape Optimization of Interior Permanent Magnet BLDC motor according to Magnetization direction,” IEEE Transactions on Magnetics, vol.49, no.5, pp.2193-2196, May. 2013.

[6] Hong-seok Kim, Byung-il Kwon, “Optimal Design of motor shape and magnetization direction to obtain vibration reduction and average torque improvement in IPM BLDC motor,” IET Electric power application, vol.11, no.3, pp.378-385, Mar. 2017.

[7] Jae-Woo Jung, Do-Jin Kim, Jung-Pyo Hong, Geun-Ho Lee, Seong-Min Jeon, “Experimental Verification and Effects of Step Skewed Rotor Type IPMSM on Vibration and Noise,” IEEE Transactions on Magnetics, vol. 47, no.10, pp.3661-3664, Oct. 2011.

이중3상 인버터를 갖는 풍력발전기의 권선체결에 대한 연구

서장호*
경북대학교 자동차공학부

1. 서론

이중(Dual) 인버터 시스템을 풍력발전기에 적용하면, 고장 시에도 여전히 발전 출력을 확보할 수 있어 유지보수가 어려운 해상용 풍력시스템에 적합하다. 또한 이중 인버터 시스템은 발전기의 가격을 줄이는데 도움이 된다. 해상풍력 발전기와 같은 대형 전동기의 경우 제작성을 고려한 설계가 매우 중요해하므로 슬롯 수를 최소화시킬 수 있는 새로운 설계 전략이 필요하다. 본 논문은 분포권을 이용하여 이중 3상 인버터 시스템용 모듈러 방식을 구현한다. 제작성을 향상시키고자 슬롯 수가 최소화된 극매상 슬롯수 q를 '1'로 설정하였다. 풍력발전기의 무정지 기능을 구현하기 위해 기자력(Magnetomotive Force)함수에 기반을 두어 다수의 후보 모델('MDE')을 제시한다. 또한 이중 인버터 시스템을 갖지만 무정지 기능은 없는 한 개의 모델('MD')을 제시하고 모델들 간의 상 평형성을 검토한다.

2. 본론

본 논문에서 제안된 체결법(Modular Dual 3-phase and Electrically balanced) *MDE*의 타당성을 확인하기 위해 유한 요소법을 이용하여 인덕턴스 및 (한 개의 인버터만으로 동작을 하는 (One-Set Condition) *OSC*에서의 유기전압파형을 검토하였다. 이때, *OSC*의 상황은 인버터 1은 동작하고 인버터 2는 고장이라고 가정하였다. 제안된 체결법(*MDE*)의 상호인덕턴스 Lb1a1과 Lc1a1이 서로 일치함을 알 수 있었다. (Two-Set Condition) *TSC*에서의 상 유기전압 특성을 비교하였다. 기존모델과 제안된 모델모두 *TSC*상태에서는 모두 같은 자계조건이 된다. 왜냐하면, q=1인 상태에서 인버터 전류 위상차는 '0'이므로 Ia1=Ia2, Ib1=Ib2, Ic1=Ic2가 성립하여 두 인버터를 모두 동작시킬 경우 전기장하는 모두 같은 상황이 되기 때문이다. 따라서 상 유기전압의 파형이 서로 일치하게 됨을 알 수 있다. 한편, 무정지 기능을 만족시키기 위해서는 *OSC*상황에서도 상평형을 이루는 유기전압 특성을 보여주어야 한다. *OSC*에서 모델에 따른 상 유기전압 특성을 비교하였다. 기존모델의 경우, 국부 자계포화특성이 존재함을 알 수 있다. 이는 세그먼트 단위가 클수록 세그먼트 양 끝단에서 감당해야할 자속량이 증가하여 주 자로(Magnetic Path)에 해당되는 고정자 요크와 회전자 요크에 국부 자계포화가 발생하는 것이다. 아울러, 상 유기전압의 특성을 보면, *MD*는 상간 서로 값이 일치하지 않는 전압 파형을 보여주지만, 제안된 모델인 *MDE*는 상간 전압이 전기적 평형을 이루는 결과를 보여주었다.

3. 결론

본 논문은 무정지 기능을 갖는 이중 3상 인버터를 시스템을 위한 모듈화 분포권 권선을 제안하였으며 유한요소법을 이용하여 제안된 모델의 타당성을 확인하였다. 매극매상슬롯수 q=1을 채택하여 슬롯수를 최소화 하였다. 본 연구에서 제안한 간략화 된 쇄교자속법으로 모듈화 고정자구조에서도 상평형성을 유지할 수 있는 체결법을 제시하였다.

4. 참고문헌

[1] Alberti Luigi and Bianchi Nicola, "Impact of winding arrangement in dual 3-phase induction motor for fault tolerant applications," in IEEE International Conference on Electrical Machines, 2010.

[2] Alberti Luigi and Bianchi Nicola, "Experimental Tests of Dual Three-Phase Induction Motor Under Faulty Operating Condition," IEEE Trans. Industrial electronics, vol. 59, No. 5, May 2012.

철도차량용 견인전동기의 기술 개발 현황

박찬배*
한국교통대학교 철도공학부 철도운전시스템전공

1. 서론

최근, 전세계적으로 친환경적 철도교통시스템의 부각에 따라 전기철도 차량용 친환경적 추진시스템 기술의 연구가 활발히 진행 중이다. 철도차량에 적용되고 있는 견인전동기로는 과거 직류전동기를 주로 사용하여 왔으나, 근래에 들어 전력전자 기술의 발달, 고속 대용량 스위칭 소자의 발달, 마이크로 프로세서를 비롯한 마이크로 일렉트로닉스의 발달에 힘입어 고속회전 기술을 통한 소형 경량화 및 유지보수 면에서 유리한 교류전동기를 적극 채택하고 있는 실정이다. 특히, 교류전동기로써 유도전동기가 주로 적용되고 있지만, 전기자동차 분야에서 이미 안정적으로 사용되고 있는 영구자석형 동기전동기가 최근에는 철도차량의 고속화, 소형화, 고효율화에 힘입어 유도전동기를 대체할 새로운 견인전동기로 주목받고 있다. 영구자석 동기전동기의 경우, 가전제품이나 전기자동차 분야에서의 적용이 이미 활발히 진행되고 있으므로, 철도차량 분야로의 기술 확대가 용이할 것으로 보인다. 이와 같이, 철도차량 분야에서 추진용 견인전동기는 소형/경량화 및 고효율화를 위해 끊임없이 업그레이드 되고 있는 상황이다. 따라서 본 논문에서는 철도차량 추진용 견인전동기의 기술 동향 및 미래 기술에 대해서 알아보고자 한다.

2. 국내외 기술 개발 현황 분석

국내의 철도차량의 기술수준은 1970년대 직류직권전동기 단계, 1980년대 유도전동기 단계로 발전하여 약 30년 동안 유도전동기 단계에서 머물러 있는 실정이다. 최근에는 철도차량의 고속화, 경량화, 고효율화가 중시되면서 유도전동기 보다 고속화, 경량화, 고효율화에 유리한 영구자석형 동기전동기 연구가 새로운 화두로 떠오르고 있다. 국내 철도차량 분야에서는 자체적으로 견인전동기를 제작, 생산하여 다양한 철도차량에 적용하고 있다. 현대중공업은 국내 최초로 동력집중식 추진시스템을 개발하였으며, 입력전압이 AC 1400 V인 1100 kW급 3상 농형유도전동기를 개발하여 최초의 한국형 고속열차인 KTX-II에 적용하였다. 차세대 고속열차인 HEMU-430X 개발에서는 KTX-II 사업을 통해 축적한 유도전동기 기술을 활용하여 분산형 고속열차용으로 410 kW급 3상 농형유도전동기를 개발하였으며, 중량대비 전기출력이 0.77 kW/kg으로 견인용 유도전동기에 있어서는 세계적 수준에 버금가는 수준이다. 국내에서는 철도차량용 유도전동기의 설계 및 제작기술은 선진국 수준에 도달하였으나, 영구자석형 동기전동기 부분에 있어서는 아직 선진국 수준에 미치지 못하고 있는 실정이다. 해외의 경우, 고속철도용 견인전동기로 영구자석형 동기전동기를 개발하여 적용한 단계이며, 출력밀도가 1.0 kW/kg 수준인 반면, 국내의 차세대 고속열차(Hemu-430X)에 적용된 3상 농형유도전동기는 출력밀도가 0.75 kW/kg로 국제수준에 미치지 못하고 있다. 국내 주요 제작사들은 해외 주요 제작사와의 기술제휴를 통하여 제작 관련 원천기술을 습득하였지만, 아직 내구성 면에서는 차이를 보이고 있어, 유지보수 측면, 냉각기술 측면에서의 지속적인 연구가 필요하다.

해외 선진국의 경우, 철도차량용 견인전동기로는 상대적으로 고효율인 영구자석형 동기전동기 및 3상 농형유도전동기를 채택하고 있으며, 기술에 있어서 안정화 단계에 접어들었다고 볼 수 있다. 최근 에너지 Saving이 중요한 문제로 대두되면서, 경전철에서부터 전기기관차에 이르기까지 다양한 견인전동기의 고효율화, 소형화 및 최적화 기술 연구가 활발히 진행 중이다. 프랑스는 TGV 고속철도차량을 개발하면서 추진용 견인전동기로 권선형 동기전동기와 유도전동기를 사용하였으나, 최근의 차세대 모델인 AGV 시리즈를 개발하면서 영구자석

형 동기전동기 기술을 개발하여 적용을 완료하였다. AGV 시리즈에 적용된 영구자석형 동기전동기는 기존 유도전동기 대비 무게와 부피를 1/3로 줄였으며 1 kW/kg의 출력밀도를 달성하였다. 일본의 경우, 과거 300계 신칸센 고속열차에서 차량의 최대 축중을 저감시키기 위해 한 개의 인버터로 복수의 견인전동기를 병렬 구동하는 방식을 채택하였으며, 이를 위해 견인전동기로 유도전동기를 적용하였다. 하지만 1970년대부터 견인전동기로 AC 전동기 검토를 시작하여 전류형 인버터＋동기전동기, 전류형 인버터＋유도전동기, 전압형 인버터＋유도전동기 등의 각 방식에 대하여 성능 비교를 하여 고효율/고출력의 전류형 인버터＋영구자석형 동기전동기 방식을 선택하였다. 일본은 신칸센 E954, E955에 강제수냉각 방식을 적용하여 소형화, 경량화, 저소음화를 구현하고 있으며 유도전동기 및 영구자석형 전동기를 적용하고 있다. N700계 고속열차에 적용된 견인전동기는 305 kW급 3상 농형유도전동기로써 출력밀도가 0.77 kW/kg 수준이다. 최근 일본은 견인전동기의 유지보수 비용 절감 및 냉각 성능 향상을 위한 기술 개발에 힘을 쓰고 있다. 독일의 ICE 고속열차에는 3상 농형유도전동기가 적용되고 있으며, 고효율/경량화를 위한 연구가 진행 중이다. 견인전동기 제작업체로는 독일의 Siemens와 스위스의 ABB가 다양한 사양의 견인전동기를 제작, 납품하고 있다. ABB사는 높은 사양의 견인전동기 부품을 제작하는 선도업체로써, 1909년부터 부품을 공급하고 있으며, 경전철급의 트램에서부터 대형의 전기기관차에 이르기까지 다양한 철도차량용 견인전동기를 제작하여 전 세계의 수많은 철도차량 제작사에 견인전동기를 납품하고 있다. ABB사의 프레임레스 3상 농형유도전동기는 높은 토크 출력 및 신뢰성으로 고속열차용으로 많은 인기를 얻고 있다.

표 1. 세계 고속열차용 견인전동기의 중량 및 출력 비교

항목	일본 Series 0	일본 Series 300	일본 Series N700	일본 FASTECH360S	독일 ICE-1	프랑스 TGV-A	프랑스 AGV
견인전동기 출력 (kW)	185	300	305	355	1200	1100	760
견인전동기 중량 (kg)	876	390	394	440	1980	1450	730
출력밀도 (kW/kg)	0.211	0.769	0.774	0.807	0.606	0.759	1.041
견인전동기 타입	직류전동기	유도전동기	유도전동기	영구자석형 동기전동기	유도전동기	권선형 동기전동기	영구자석형 동기전동기

3. 결론

최근 교통시스템의 가장 큰 화두는 친환경성과 Energy Saving이며, 이러한 흐름에 맞추어 철도차량에 있어서도 소형-경량화가 가능하며, 친환경적인 전기추진시스템 기술의 연구가 활발히 진행 중이다. 전기자동차의 추진용 견인전동기 연구 경향과 유사하게 철도차량에 취부되는 견인전동기의 경우에도 크기 및 중량의 제약이 심하며, 또 주행과 제동 시 발생하는 진동 및 충격에도 견딜 수 있도록 견고하게 설계되어야 한다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 철도차량 분야에서도 추진용 견인전동기는 소형/경량화 및 고효율화를 위해 끊임없이 업그레이드되고 있는 상황이다.

본 논문에서는 철도차량 추진용 견인전동기의 국내외 기술 동향 및 미래 철도를 위한 영구자석형 동기전동기 기술 동향에 대하여 살펴보았다. 아직은 철도차량 추진용 견인전동기에 있어서, 국내 기술 수준이 해외 선진국에 비해 낮기 때문에 이의 극복을 위하여 정부 및 국내 관련 업체들의 적극적인 R&D 투자가 요구된다.

4. 참고문헌

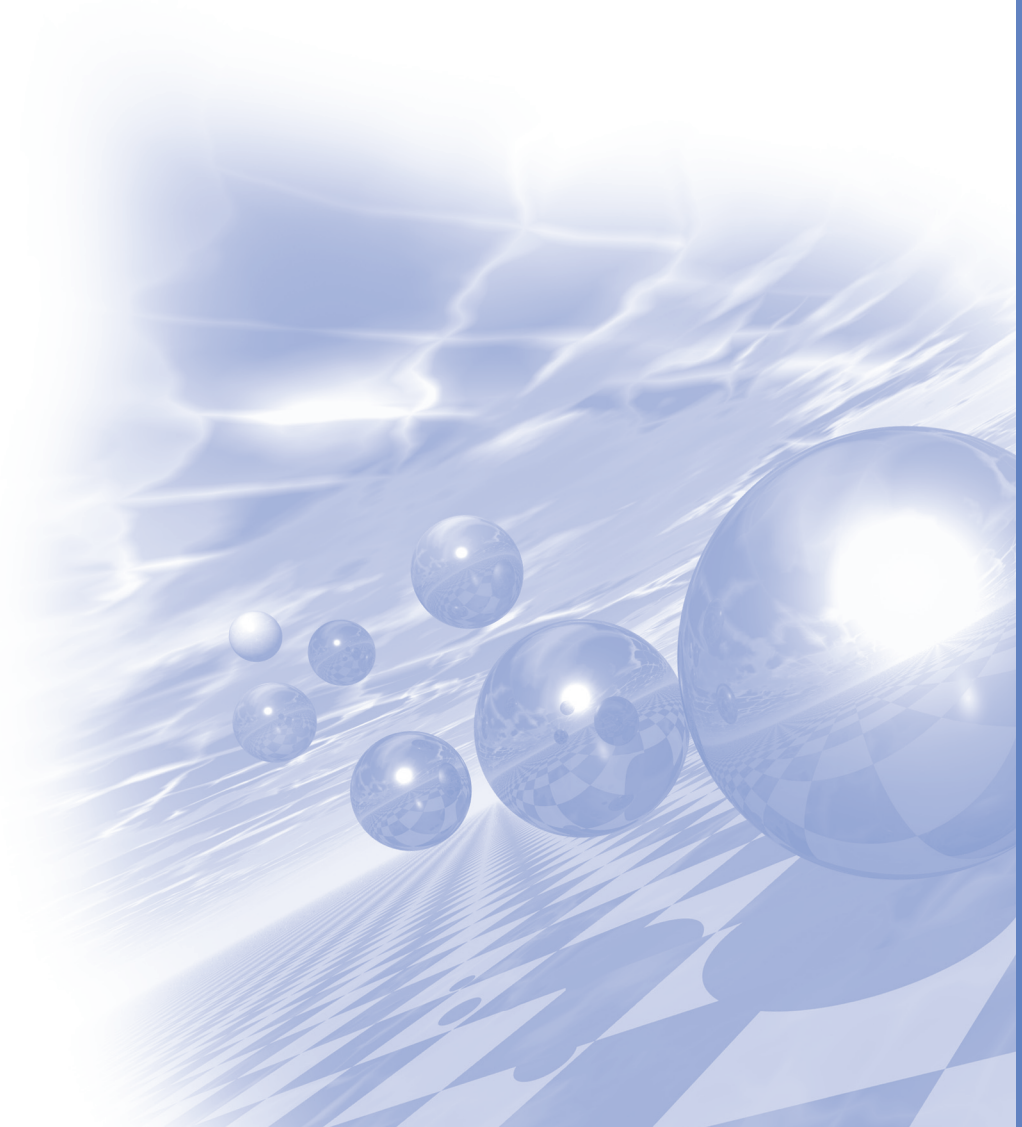
[1] Yoshiki Mizuguchi, Junji Kawasaki, “Development of Main Circuit System for FASTECH360,” JR EAST Technical Review, No.16, pp. 13-16. 2010.

[2] “Alsotom unveils its new high-speed multiple unit, the AGV,” Railway Update, pp. 68-71, 2008.
[3] Wolfram, M., and R. Theo., ICE High-Tech on Rails, 3rd ed., Hestra-Verlag, pp. 172-176, 1996.
[4] David Briginshaw “AGV: the next generation,” International Railway Journal, pp. 23-26, 2008.
[5] “TGV POS prepares to enter service,” Railway Gazette International, pp. 783-784, 2006.
[6] “Permanent Magnet Synchronous Motor for Propulsion System,” Toshiba Catalog 2012.

KMS 2018 Spring Conference

Special Session II

'Spin memory & Spin torque devices'



Spectro-microscopic study on two-dimensional magnetic materials

Wondong Kim*
Quantum Technology Institute, Korea Research Institute of Standards and Science

We investigated layer-dependence of the electronic structures of transition metal phosphorus tri-sulfides ($TMPS_3$, TM = Mn, Fe, and Ni), which are known as magnetic Van der Waals materials, by using scanning transmission X-ray microscopy (STXM). X-ray absorption spectra (XAS) at transition metal *L*-edge and Sulfur *L*-edge were measured for $TMPS_3$ flakes which have lateral size of a few-micrometer and thickness range from a few atomic layers to several hundred atomic layers. $MnPS_3$ and $NiPS_3$ showed typical features of 2+ ion *L*-edge XAS spectra for whole thickness range, but $FePS_3$ showed much complex thickness-dependence in Fe *L*-edge XAS spectra. By comparison with S *L-edge* XAS spectra, the features in Fe *L*-edge XAS spectra could be interpreted as mixed signal of Fe^{2+} XAS spectra from the pristine layers and Fe^{3+} XAS spectra from the oxidized layers, which implies that $FePS_3$ is extremely air-sensitive. By comparing and fitting the measured spectra with the results of calculation of cluster model based on the atomic multiplet theory, we could obtain information on the symmetry of ground state and parameters such as charge transfer energy and electron-electron correlation. From this analysis, it was revealed that $NiPS_3$ is an exotic compound which has negative charge transfer energy. Experimental approach based on STXM is expected to be utilized to investigate the layer-dependent magnetic properties of $TMPS_3$, in combination with X-ray circular or linear dichroism.

Electrical manipulation of the magnetization in Fe/GaAs/GaMnAs hybrid structure

Sangyeop Lee[1,2*], Taehee Yoo[2], Seul-Ki Bac[2], Seonghoon Choi[2], Hakjoon Lee[2], Sanghoon Lee[2], Xinyu Liu[3], Margaret Dobrowolska[3] and Jacek K. Furdyna[3]

[1]Center for Spintronics Research, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

[2]Physics Department, Korea University, Seoul, 136-701, Republic of Korea

[3]Physics Department, University of Notre Dame, Notre Dame, IN, 46556, USA

We have investigated the selective manipulation of the magnetization alignment in hybrid magnetic system of Fe/GaAs/GaMnAs structure by SOI magnetic fields. A key feature for such selective manipulation is that the SOI field depends strongly on the crystal structure of the ferromagnetic film. Therefore, even if the same current is simultaneously applied to the Fe layer and the GaMnAs layer of such a hybrid structure, each of the magnetic layers experiences different strength of the SOI field. This difference in the SOI field between two magnetic layers provides a unique opportunity to control the magnetization in one layer (in the presence case in GaMnAs) by the current while the magnetization in the Fe layer remains fixed. Owing to such ability to control the magnetization in the GaMnAs layer selectively, we can manipulate the relative spin configurations in Fe/GaAs/GaMnAs structure between collinear and non-collinear alignments simply by switching current polarity even in the absence of an external field.

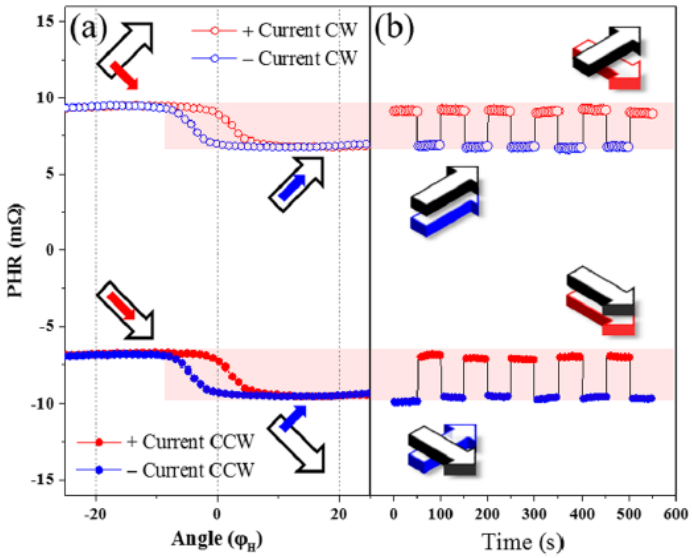


Fig. 1. (a) The angular dependence of PHR for ϕ_H between −25° to +25°. (b) PHR measured as a function of time, showing abrupt switching of PHR as current polarity is reversed every 50 seconds. In both panels the magnetization for the Fe layer is shown by black arrows, and for GaMnAs in color, red for positive and blue for negative current.

Control and manipulation of voltage-induced skyrmion and skyrmionium motion

Jungbum Yoon*, Kyoung-Woong Moon, Dongseuk Kim, Changsoo Kim, Byong Sun Chun, Wondong Kim, and Chanyong Hwang

Spin Convergence Research Team, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 34113, Republic of Korea

1. Introduction

Under interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) [1] in heavy metal/ferromagnetic bilayers, spins favor spiral configurations and so-called magnetic skyrmions [2] can be placed with the topological stability by the topological energy barrier. Thus they have the topological charge (Q) and act like a particle. In the current or magnetic field-driven skyrmion motion for racetrack devices, the skyrmions may be pinned and then annihilated at the side edges and the notches of racetrack due to the transverse motion by an undesirable force. Because their motion can be deflected by the topological Magnus force depending on the Q. To overcome the bottleneck of the desirable skyrmion motion, we propose various voltage-gated racetracks in the current- or voltage-driven skyrmion (skyrmionium [3]) motion. During the moving, the skyrmion (skyrmionium) is controlled and manipulated by the attractive or repulsive forces between the skyrmion (skyrmionium) and voltage-controlled gates.

2. Simulation details

The current- or voltage-driven skyrmion (skyrmionium) motion can be described by Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) equation with the consideration of the spin-orbit torque. To solve this equation, the micromagnetic simulations are performed using OOMMF [4]. Magnetic parameters are adopted from Sampaio *et al*. [5] as follows: damping constant (α = 0.3), saturation magnetization (M_s = 580 kA/m^2), thickness of ferromagnetic layer (d = 0.4 nm), perpendicular uniaxial magnetic anisotropy constant (K_{uni} = 0.8 MJ/m^3), exchange stiffness constant (A=15 pJ/m), DMI constant (D = −3.5 mJ/m^{-2}). We assume that the K_{uni} of the voltage-controlled gates can be changed by the electric field [6].

3. Results and discussion

First, we investigate the current-driven skyrmion (skyrmionium) motion in the racetrack considering various shapes and positions of voltage-controlled gates. The K_{uni} of the gates can be higher or lower than that of the rest of the racetrack. The skyrmion (skyrmionium) receives repulsive or attractive forces from the gate of higher or lower K_{uni}, respectively. When the current is applied, the skyrmionium can move parallel to the current direction, because of no Magnus force corresponding to the Q = 0 [3]. For the current-driven skyrmionium motion, the skyrmionium circumvents a voltage-controlled gate with higher K_{uni} (= 0.88 MJ/m^3) due to the repulsive force between the skyrmionium and the gate, as shown in Fig. 1(a). In result, the voltage-controlled gates can manipulate the path of skyrmion (skyrmionium) for the current-driven motion.

Second, the voltage-driven skyrmion (skyrmionium) motion is investigated in the racetrack with voltage-controlled gradient gates. The skyrmion (skyrmionium) flows into the gate of lower and lower K_{uni} due to the attractive force from that of lower K_{uni}. Figure 1(b) shows the voltage-driven skyrmionium motion in the racetrack with the voltage-controlled gate of gradient K_{uni}. The skyrmionium can move along the gradient gate without the current. Thus, the skyrmion (skyrmionium) motion can be efficiently controlled by the voltage-controlled gradient gates.

4. Conclusion

In conclusion, we have investigated the current- or voltage-driven the skyrmion (skyrmionium) motion in the racetrack, which has the magnetic anisotropy change in the local region by means of the voltage-controlled gates. For the current- or voltage-driven motion, the path of the skyrmion (skyrmionium) motion are manipulated or controlled by the voltage-controlled gates or gradient gates, respectively. Our work will give an approach to realize skyrmion-based storage, memory, or logic devices.

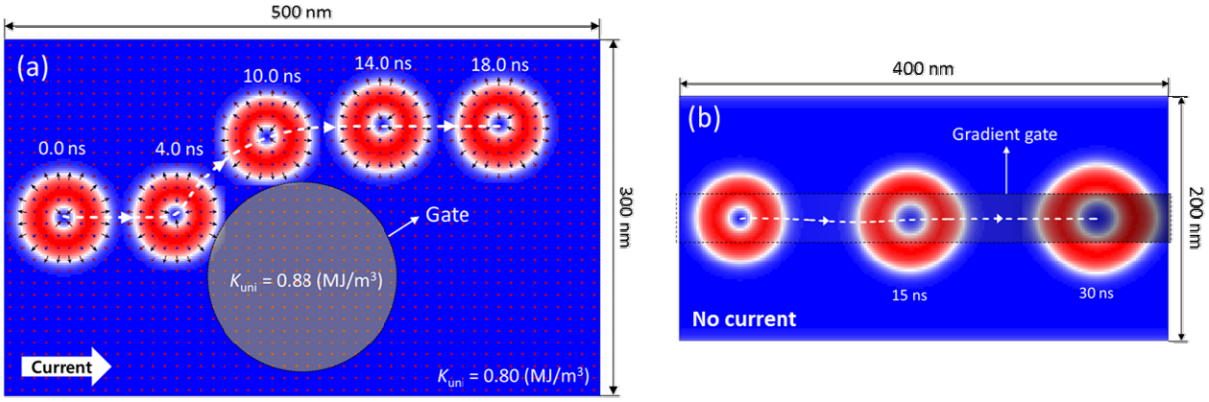


Fig. 1. (a) Current- and (b) voltage-driven skyrmionium motion in the racetrack with (a) a voltage-controlled gate and (b) a voltage-controlled gradient gate, respectively.

5. References

[1] A. Fert, Mater. Sci. Forum 59-**60**, 439-480 (1990).

[2] U. K. Rößler, A. N. Bogdanov and C. Pfleiderer, Nature **442**, 797-801 (2006).

[3] X. Zhang, J. Xia, Y. Zhou, D. Wang, X. Liu, W. Zhao, and M. Ezawa, Phys. Rev. B **94**, 094420 (2016).

[4] M. J. Donahue and D. G. Porter, OOMMF User's Guide, Interagency Report NISTIR 6376, NIST, Gaithersburg, MD, 1999, http://math.nist.gov/oommf.

[5] J. Sampaio, V. Cros, S. Rohart, A. Thiaville, and A. Fert, Nat. Nanotechnol. **8**, 839-844 (2013).

[6] P. Upadhyaya, G. Yu, P. K. Amiri, and K. L. Wang, Phys. Rev. B **92**, 134411 (2015).

Current-induced dynamic motions of ferrimagnetic skyrmions in Pt/GdFeCo/MgO multilayers

Kyung Mee Song[1,2*], Seonghoon Woo[1], Xichao Zhang[3], Yan Zhou[3], Motohiko Ezawa[4], S. Finizio[5], J. Raabe[5], Jun Woo Choi[1,6], Byoung-Chul Min[1,6], Hyun Cheol Koo[1,7], and Joonyeon Chang[1,6]

[1]Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea
[2]Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04130, Korea
[3]School of Science and Engineering, The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen 518172, China
[4]Department of Applied Physics, University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Tokyo 113-8656, Japan
[5]Swiss Light Source, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen, Switzerland
[6]Department of Nanomaterials Science and Engineering,
Korea University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea
[7]KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul 02792, Korea

Magnetic skyrmions are topologically protected spin textures and have received great interest in utilizing the information memory bit due to their unique topological characteristics. Recent studies have reported that chiral skyrmions are formed in heavy metal (HM)/ferromagnet (FM)/oxide metallic heterostructures that exhibit strong interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) such as Ta/CoFeB/TaOx[1,2], Pt/CoFeB/MgO[3], Pt/Co/Ir[4] or Pt/Co/MgO[3]. However, there exists an undesirable but unavoidable topological effect with ferromagnetic skyrmions: the skyrmion Hall effect,[5,6] which makes their current-driven motion towards device edges where the skyrmions could easily be annihilated by topographic defects. Recent theoretical studies have predicted that the skyrmion Hall effect can be suppressed in antiferromagnets, which also offer unique characteristics such as ultrafast dynamics in THz regime.[7]

In this work, using element-specific scanning X-ray transmission microscopy (STXM), we first show that chiral skyrmions can be generated in ferrimagnetic Pt/GdFeCo/MgO multilayer structure. Magnetic moments of the skyrmions in GdFeCo films exhibit the antiparallel spin alignment between rare-earth component, Gd, and transition-metal, FeCo. We have then demonstrated the current pulse-driven behavior of ferrimagnetic skyrmions with the velocity reaching up to 50 m/s at $|j_a| \sim 3.94\times10^{11}$ A m^{-2} while the skyrmion Hall angle is significantly reduced to $\theta_{SkHE} < 20°$, which is much smaller than skyrmion Hall angle of ferromagnetic skyrmion[5,6]. Using micromagnetic simulations, we also reveal that the skyrmion Hall angle within ferrimagnetic material largely depends on material parameters such as Gilbert damping constant and effective saturation magnetization, which can be engineered by e.g. composition modification. We believe that our findings reveal the important topology-driven physics of ferrimagnetic skyrmions, which could be used to realize robust skyrmionic devices in the future.

References

[1] Jiang, W. *et al., Science* aaa1442 (2015)
[2] Yu, G. *et al., Nano Lett.* **17**, 261-268 (2017)
[3] Woo, S. *et al., Nat. Mater.* **15**, 501-506 (2016)

[4] C, Moreau-Luchaire *et al., Nat. Nanotechnol.* **11**, 444-448 (2016)
[5] Wanjun Jiang *et al.,* Nature Physics. **13**, 162-169 (2017)
[6] Kai Litzius *et al.,* Nature Physics. **13**, 170-175 (2017)
[7] Joseph Baker *et al.,* Physical Review Letters. **116**, 147203 (2016)

Annealing temperature dependence on spin current at the CoFeB/Pt interface

Nyun Jong Lee[1*], Sang-Il Kim[1], Dongjoon Lee[2], Oukjae Lee[3], and Seung-Young Park[1†]
[1]Spin Engineering Physics Team, Division of Scientific Instrumentation,
Korea Basic Science Institute, Daejeon 34133, Korea
[2]KU-KIST Graduated School of Converging Science and Technology, Seoul 02841, Korea
[3]Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea

Spin pumping from the ferromagnetic resonance (FMR-) in ferromagnetic/non-magnetic (FM/NM) bilayer has attracted interest in the field of spintronics because it can inject a pure spin current (J_s) from the FM layer into the adjacent NM layer [1,2,3,4]. The observation of spin pumping is possible either through a change in the Gilbert damping α of the FM layer or the measurement of the inverse spin Hall voltage [1,2,3,4]. A spin current emission from the FM layer deprives the magnetization of the spin angular momentum and causes an additional damping since the spin current transfers the spin angular momentum [2]. The change of α depends on the thickness and saturation magnetization of the FM layer, the interfacial spin mixing conductance, and the gyromagnetic ratio [5]. The J_s is sensitive to the FM/NM interface properties.

In this work, we investigate the influence of annealing temperature (T_a) on spin current in a CoFeB/Pt bilayer structure using a broadband coplanar waveguide (CPW-) FMR. The T_a is chosen as a control variable for inducing a structural change at the CoFeB/Pt interface because an amorphous CoFeB thin film is crystalized by annealing process at 300°C [6]. Several temperatures between 200 and 400°C were selected as T_a. The field derivative FMR absorption spectra were acquired by sweeping the external magnetic field for a set of microwave frequencies. The magnetic damping parameter α extracted from the ferromagnetic resonance field (H_{res}) and the peak-peak line width obtained by fitting the absorption data. A CoFeB/Cu bilayer system is comparatively studied in order to rule out T_a dependence of the intrinsic damping. The J_s value is calculated from the variation of α, which shows that T_a can be attributed to the spin pumping efficiency at the CoFeB/Pt interface.

References

[1] Y. Tserkovnyak, A. Brataas, and G. E. W. Bauer, Phys. Rev. Lett. 88, 117601 (2002)
[2] H. Nakayama, et al., Phys. Rev. B 85, 144408 (2012)
[3] T. Taniguchi and H. Imamura, Phys. Rev. B 76, 092402 (2007)
[4] T. Taniguchi and H. Imamura, Mod. Phys. Lett. B 22, 2909 (2008)
[5] Y. Tserkovnyak, A. Brataas, G. E. W. Bauer, and B. I. Halperin, Rev. Mod. Phys. 77, 1375 (2005)
[6] Kailash Chandra, et al., IRJNAS 3, 66 (2016)

Spin memory loss of FMR spin pumping in the ferromagnet/heavy metal bilayer

Sang-Il Kim[1,2*], Dongjoon Lee[3], Oukjae Lee[4], Seung-Young Park[1], and Kyung-Jin Lee[2,3]

[1]Spin Engineering Physics Team, Division of Scientific Instrumentation,
Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-806, South Korea

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

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

[4]Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, South Korea

The manipulation of pure spin current (J_s) has provided more efficient ways for the spin-torque switching in spintronic devices [1]. Conventionally, the spin Hall effect has been considered as an origin of J_s for the magnetic switching. It is essentially important that the generation and detection of J_s can be understood in the multilayer structure. So far the spin pumping method has been used for the generation of J_s and the inverse spin-Hall effect (ISHE) has been used as one of the electrical methods to detect J_s [2]. The above experiments such as the conventional spin pumping and inverse spin Hall voltage measurement are insignificant for the spin-orbit coupling at the interface of ferromagnet (FM)/heavy-metal (HM). In 2015, K. Chen and S. Zhang [3] proposed a developed spin-pumping theory, taking account of both Rashba spin orbit coupling (RSOC) at the interface of FM/HM and the backflow of J_s from the HM to FM. According to the theory, due to the interfacial RSOC, the amount of transmitted J_s is significantly lost at the FM/HM interface, which is referred to as a spin-memory loss (SML) [3].

Here, we experimentally study the spin pumping effect induced by the ferromagnetic resonance in the CoFeB/Pt bilayer system. Furthermore, the issues of damping constant and inverse spin Hall voltage effectively consider the effect of SML in the propagation of J_s through the CoFeB/Pt interface.

References

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

[2] E. Saitoh et al., Appl. Phys. Lett. **88** 182509 (2006).

[3] K. Chen et al., Phys. Rev. Lett. **114** 126602 (2015).

Spin-orbit-torque and magnetic damping in ferromagnetic bilayers

D. J. Lee[1,2*], J. H. Kim[1,4], B. K. Ju[4], H. C. Koo[1], B. C. Min[1], K. J. Lee[1,2,3] and O. J. Lee[1]

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

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

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

[4]Department of Electrical Engineering, Korea University, Seoul, Korea

[*]E-mail: 215353@kist.re.kr

The spin-orbit torques (SOTs) is currently the focus of research interest, because this may offer significant advantages in technological applications including non-volatile magnetic memory and logic devices. For highly efficient spin memory devices, a reduction of switching current is required. In an in-plane magnetization SOT-devices, a spin orbit torque driven switching current density is proportional to the magnetic damping(α) and inversely to the spin Hall angle (θ_{SH}). Hence the achievement of a larger spin-Hall angle and a lower magnetic damping at the same time is important for successful SOT-devices. However, recent researches have shown that the transparency at the interface of heavy metal(HM)/ferromagnet(FM) plays an important role in determining the magnitude of θ_{SH} ; e.g. θ_{SH}(Pt|Co)~0.11 vs θ_{SH}(Pt|Py)~0.05 and the enhancement of α due to the spin pumping effects; e.g. $\Delta\alpha_{sp}$(Pt|Co)~2·$\Delta\alpha_{sp}$(Pt|Py) [1,2,3]. For the Platinum/Ferromagnet bilayer system, this model indicates that the advantage of high spin transparency can be reduced by enhancement of α.

For relieving this issue, we utilized ferromagnetic bilayers instead of a single ferromagnetic layer on top of a Pt layer. We used DC/RF magnetron sputtering to deposit two series of multilayer films having different stack orders, Pt|Co|Py or Pt|Py|Co, on a thermally oxidized Si substrate at room temperature. The multilayers consist of, from the bottom to the top, Ta(1)/Pt(5)/Co(*t*)/Py(5-t)/MgO(2)/Ta(2) and Ta(1)/Pt(5)/Py(5-*t*)/Co(t)/MgO(2)/Ta(2) (thickness in nm) where the thickness of cobalt (t_{Co}) layer was varied from 0 to 5 nm. and we investigated their spin-Hall angles and magnetic damping's by utilizing the spin torque ferromagnetic resonance technique (ST-FMR) [3]. We observed that θ_{SH} seem to be consistent with the transparency model in which the spin-Hall efficiency is determined by the adjacent FM layer to the Pt layer. However, α and ΔH_0 are likely decided by the FM layer interfacing to the MgO layer, which is inconsistent with the model.

We also studied about two components of spin-orbit torques; the damping-like torque $\sim m\times(\sigma\times m)$ and the field-like torque $\sim\sigma\times m$. To identify both efficiencies we compared three ferromagnetic materials (Py, Co and $Co_4Fe_4B_2$) in contact to a platinum layer. We investigated the magnetic damping (α) and θ_{SH} in Pt/FM/MgO multilayers by ST-FMR and conventional ferromagnetic resonance technique. From the thickness dependence of the damping and the spin Hall angle, we can estimate the values of damping-like torque efficiency (θ_{DL}), field-like torque efficiency (θ_{FL}), spin-transparency (T), and spin mixing conductance ($\sigma_{\uparrow\downarrow}$). Our results show that the magnitude of θ_{SH} is determined by the interface material in contact to the Pt layer which is consistent with the spin-transparency model [1]. However, we observed that the interface contributes to θ_{DL} and the θ_{FL} in a different way.

In this presentation, we shall show the detailed results and analysis method from our ST-FMR measurements for the various stacking order and thickness ranges. And we will discuss about HM/FM and FM/MgO interface effects on α and θ_{SH}.

References

[1] W. Zhang, W. Han, X. Jiang, S.-H. Yang and S. S. P. Parkin, Role of transparency of platinum-ferromagnet interfaces in determining the intrinsic magnitude of the spin Hall effect, Nature Physics 11, 496-502 (2015).

[2] C.-F. Pai, Y. Ou, D. C. Ralph and R. A. Buhrman, Dependence of the efficiency of spin Hall torque on the transparency of Pt/ferromagnetic layer interfaces, Physical Review B 92, 064426 (2015).

[3] L. Liu, T. Moriyama, D. C. Ralph, and R. A. Buhrman Spin-Torque Ferromagnetic Resonance Induced by the Spin Hall Effect, Phys. Rev. Lett. 106, 036601 (2011).

Spin accumulation on a non-magnetic metal driven by ultrafast demagnetization on a ferromagnet

Im-Hyuk Shin[1,2*], Byoung-Chul Min[1], Byeong-Kwon Ju[2], and Gyung-Min Choi[1,3†]
[1]Center for Spintronics, Korea Institute of Science and Technology
[2]Display and Nanosystem Laboratory, Korea University
[3]Department of Energy Science, SungKyunKwan University
Email: 117013@kist.re.kr

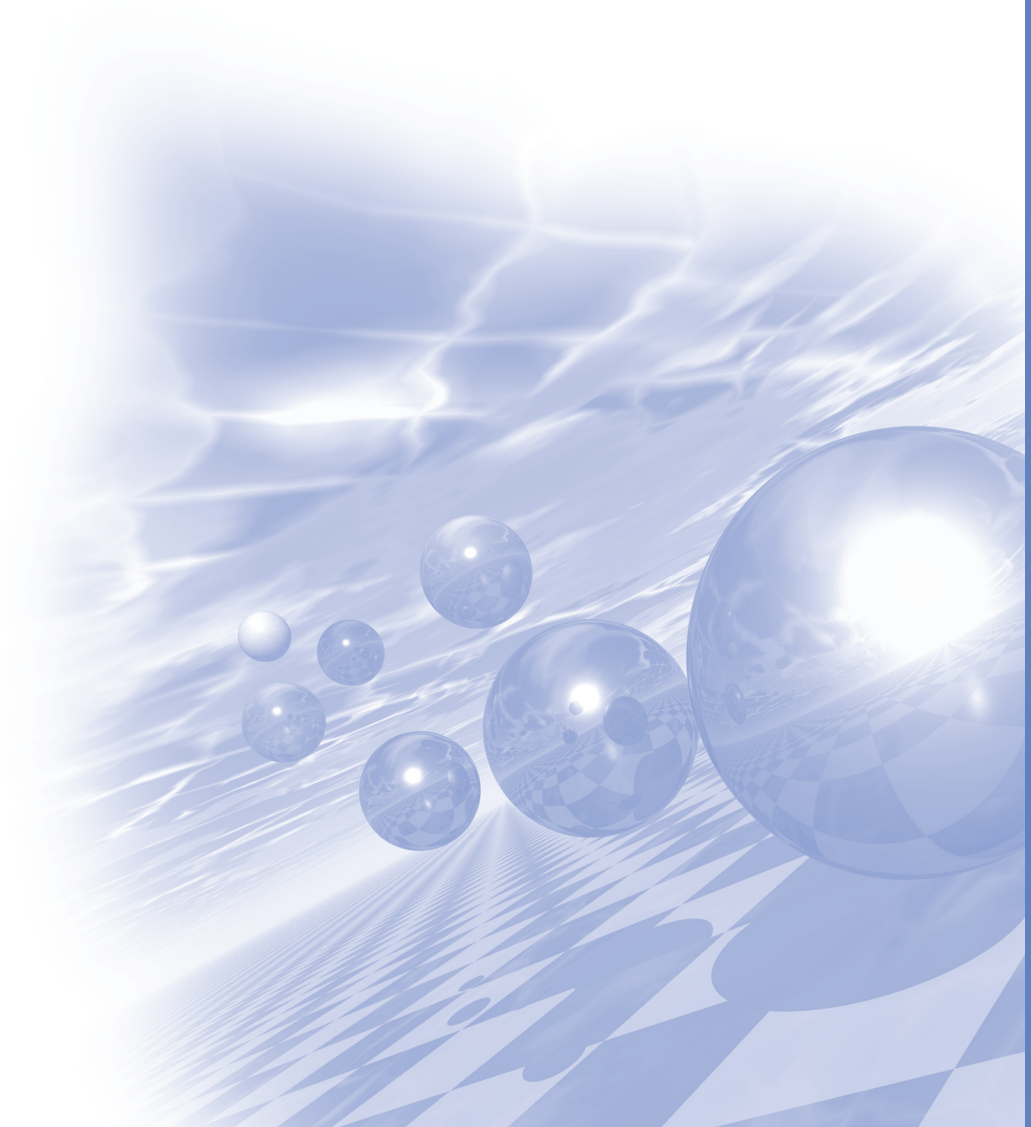
Generation of spin current is a fundamental requirement in spintronics. Recently, it has been shown that pulsed laser injected into metallic FMs can generate spin currents by ultrafast demagnetization. However, most experimental evidences were focused on dynamics of magnetization of ferromagnets in a ferromagnet/non-magnet/ ferromagnet structure.

In this work, we show direct measurements of spin accumulation on non-magnets driven by ultrafast demagnetization of a ferromagnet in the ferromagnet/non-magnet structure. We find that the spin accumulation on a non-magnet, Cu, is well explained by dynamics of demagnetization of ferromagnets, Fe, Co, and Ni, and spin diffusion process. From quantitative analysis of the spin accumulation by spin diffusion modeling, we determine the spin relaxation time of ferromagnets.

KMS 2018 Spring Conference

Special Session III

'Hard & Soft magnetic Materials'



차세대 영구자석재료의 연구개발 현황 및 전망

최철진*, 정국채, 김종우, 박지훈
재료연구소, 분말/세라믹 연구본부
경남 창원시 창원대로 797

영구자석 자성소재는 전기적 에너지와 기계적 에너지를 상호변환시키는데 산업적으로 응용할 수 있는 유일한 소재이며, 고효율 모터, Generator 등에 광범위하게 활용되고 있다. 이러한 영구자석기술은 21세기 인류가 추구하는 저탄소 녹색성장전략의 구현을 위해 차세대 자동차, 에너지 절전형 가전제품, 그리고 신재생 에너지 생산용 주요부품의 매우 중요한 기반 기술이다.

하지만 자기적 특성이 우수한 기존 희토류 영구자석소재는 주요 수출국인 중국의 자원 편중성 및 전략적인 수출 제한 정책으로 인해 수급불균형이 심각하고, 가격이 가파르게 상승하는 등의 취약성이 있다. 따라서 비희토류 기반의 차세대 자성소재 개발은 다가오는 미래사회의 성장동력을 안정적으로 견인하기 위해 국가차원에서 전략적으로 개발해야 하는 필수적인 과제이다.

기존 희토류계 자성소재는 1980년대 개발된 이후, 지난 30 여년간의 연구개발을 통해 자기적 특성이 한계에 도달하고 있으며, 상온에서의 특성은 우수한 편이나 온도에 따른 열화 특성이 크기 때문에 200°C 이상의 온도영역에서 안정적인 작동을 요구하는 차세대 자동차 및 풍력산업 등에 적용하기에는 많은 제약이 있는 실정이다. 따라서 이러한 한계성을 극복하기 위해서는 궁극적으로 고온작동특성이 우수하고 산업적 가격경쟁력을 갖는 차세대 영구자석소재 개발연구가 전세계적으로 활발하게 추진중에 있다. 현재 주로 연구되고 있는 재료는 천이원소인 Fe를 기반으로 한 정방형 구조의 Fe-Co계, Fe-Ni계, $Fe_{16}N_2$계 등이 주로 연구되고 있으며, Mn계에서는 Mn-Al, Mn-Bi계 합금 등이 다양한 제조공정으로 연구되고 있다.

따라서 본 발표에서는 국내 차세대 영구자석재료의 연구개발 활성화를 위해, 차세대 영구자석소재의 현황, 국내외 동향 및 개발 trend 등을 발표하고자 한다.

Nd-Fe-B계 영구자석의 성능 향상 및 차세대 영구자석재료 연구 개발 동향

권해웅[1*], 이정구[2]
[1]부경대학교, [2]재료연구소

영구자석용 재료와 관련하여 현재 주로 진행되고 있는 연구 개발 활동은 기존 희토류-천이금속계 (주로 Nd-Fe-B계) 영구자석의 고성능화 그리고 이들 기존 영구자석을 대체할 수 있는 차세대 고성능 영구자석용 신물질 개발로 요약된다. 기존 Nd-Fe-B계 영구자석의 고성능화 연구 개발은 HEV, EV 등 환경친화형 자동차 수요의 폭발적인 증가에 따라 더욱 활발하게 진행되고 있다. HEV, EV 등의 구동모터에 이용되는 자석은 그 우수한 자기적 성능으로 인하여 Nd-Fe-B계 영구자석이 거의 독점적으로 이용되고 있지만, 구동모터 내에서 이 자석의 지나치게 높은 작동온도 (> 150 ℃)에 대응할 수 있을 정도로 충분한 보자력이 확보되지 않아서 보자력의 향상은 여전히 시급히 해결해야 하는 문제로 남아 있다. Nd-Fe-B계 영구자석의 높은 작동온도에 따른 문제를 해결하기 위한 기술 개발 및 보자력 향상을 위한 연구 개발 활동을 검토해 본다.

기존 Nd-Fe-B계 영구자석의 성능 향상 연구 개발과는 별도로 차세대 고성능 영구자석용 신물질을 찾기 위한 연구 개발도 활발하게 진행되고 있다. 지난 세기 1980년대 초 Nd-Fe-B계 자석이 개발된 이래 영구자석 시장에서는 이 자석이 그 우수한 특성으로 인하여 황금시대를 누려 왔으나 최근의 새로운 응용 분야에 대응하지 못하는 열악한 고온특성의 문제, 그리고 희토류 원소의 자원고갈 문제 및 그에 따른 가격 및 공급 불안이 상존함에 따라 차세대 고성능 영구자석 재료 개발 필요성이 오랫동안 제기되어 왔다. 기존 영구자석을 대체할 수 있을 정도의 차세대 고성능 영구자석용 신물질 개발은 높은 자기이방성과 높은 포화자화를 갖는 새로운 희토류 화합물 및 희토류 원소를 사용하지 않는 3d 천이금속 합금 찾기 등으로 요약할 수 있다. 현재 진행되고 있는 신물질 개발 동향을 알아보고 희토류원소를 사용하지 않는 3d 천이금속계 고성능 재료 발견 가능성 등에 대하여 토론하고, 특히 기존의 여러 자석재료 관련 지식을 고성능 영구자석용 신물질을 찾아내는데 활용할 수 있는 방법에 대하여도 토의해 본다.

MAGNET 개발 현황 과 발전 방향 (FERRITE MAGNET중심)

최승술*
태평양금속

M-type hexaferrite의 자성특성 향상

유상임*
서울대학교 재료공학부

$MeFe_{12}O_{19}$ (Me=Ba, Sr) 화학식을 갖는 M-type hexaferrite는 세라믹 영구자석 소재로 잘 알려져 있다. 초기 BaM에서 SrM으로 다시 SrM의 Me site와 Fe를 La와 Co로 부분 치환하여 Hc, Br 및 $(BH)_{max}$ 등의 자성특성을 향상시켜 왔고, 최근에는 SrM의 Me site를 Ca와 La로 완전 치환하고, Fe site를 Co로 부분 치환하여 자기이방성을 향상시킴으로써 자성특성을 좀 더 향상시킬 수 있었다. 현재에는 고가의 Co와 La를 완전 혹은 부분 대체하여 원가절감을 이루고자 하는 노력과 자성특성을 더욱 향상시키고자 하는 노력이 활발하게 진행되고 있다.

최고 성능을 보이는Ca-La M-type의 주요 성분 중 고가의 Co를 부분 혹은 완전 대체할 수 있는 원소로는 Mn, Cr, Ni, Zn, Mg, Cu 등이 있고, La를 부분 혹은 완전 대체할 수 있는 원소로는 Sr, Ba, Ce, Y, Bi 등이 있으므로 이러한 치환 원소들을 적절히 조합하면 자성특성의 유지하며 고가 원소의 대체가 가능할 것으로 사료된다. 자성 특성을 보다 향상시키기 위해서는 경정립의 평균 입경을 약 1μm 이하로 유지하며 높은 c-축 배향성을 갖게 하고 동시에 고밀도를 얻을 수 있는 미세조직 제어 기술의 개발과 spinel ferrite 혹은 다른 hexaferrite 등 Ms값이 큰 연자성 재료와 exchange coupling을 이용하는 기술 개발이 필요할 것으로 사료 된다. 본 발표에서는 M-type hexaferrite의 자성특성 향상을 위한 개발 방향에 대해 주로 논의하고자 한다.

연자성 금속 분말을 이용한 전파흡수체 산업동향 및 전력전송선에의 응용

강두인*
㈜창성 필름사업부
E-mail: dikang@changsung.com

최근 전자파 장애에 대한 규격이 강화되고 있고 자동차 전장부품 확대, 전기차 상용화, IT 기술과 가전기기의 융합이 활발히 진행되고 있어 불요 전자파에 의한 기기 오작동 등을 억제하기 위한 다양한 방법들이 제안되고 있다. 그 하나의 대책으로써 연자성 금속 분말을 이용한 전파흡수체를 다양한 산업분야에서 활용하고 있다. 개선효과를 극대화하기 위해 자성체를 이용한 전파흡수체의 대표 성능 지표인 투자율을 향상시키고자 하는 산업계의 노력이 활발히 이루어지고 있다.

다양한 응용 환경 중 데이터 전송선이나 전력전송선은 대부분 차폐선을 사용하고 있지만 자기장 차폐에 대한 대책으로서는 미흡하다고 판단되고 페라이트 비드 등을 사용하여 공통 모드 노이즈 전류에서 생성되어 방사되는 자기파를 감소시키는 대책 등이 적용되고 있다.

본 연구에서는 전송선의 EMI 필터로 적용 가능성을 검토하기 위해서 전파흡수체의 임피던스 특성 및 전자기파 감쇄능을 조사하였다. 이를 기반으로 전력전송선에 전파흡수체를 삽입하여 차폐능을 측정하였고 기존 차폐 구조보다 전파흡수체가 삽입되었을 경우 더 높은 차폐능 구현이 가능함을 확인하였다.

철계 비정질 합금의 결정화 정도와 연자성 특성

이승훈*
경북대학교 금속신소재공학과

수십 마이크론 두께의 리본이나 분말 형태로 제조가 용이한 철계 비정질 합금은 Si-steel 대비 높은 투자율, 낮은 보자력 등 우수한 연자성 특성을 나타내지만 포화자속밀도가 낮은 단점이 있다. 즉, 비정질상 형성을 위하여 필연적으로 들어가는 비정질 형성원소 (B, Si, P, C)들로 인하여 단위량당 철원소의 함량이 낮아짐에 따라 포화자속밀도가 감소하는 경향을 나타낸다. 또한, 철계 비정질 합금은 상대적으로 큐리 온도가 낮고, 자왜가 커서 실질적인 적용 범위가 제한됨에 따라 비정질 상의 나노결정화 열처리를 통하여 사용하게 된다. 이때, 나노결정화를 촉진하고, processing window를 공업적으로 현실화시키기 위하여 다양한 합금원소의 미량 첨가 영향에 대한 연구가 활발하다. 따라서, 최근의 새로운 철계 비정질 연자성 합금의 개발을 추진함에 있어서는, 철의 함량을 극대화 하여 포화자속밀도를 Si-steel의 포화자속밀도에 근접하게 하고, 경제적이면서 공업적으로 용이하게 나노 결정화가 가능한 합금을 설계하는 것이 중요한 과제이다. 한편, 같은 철원소 함량을 가지더라도 철 원소의 공간적 분포에 따라 교환 에너지가 달라지는 것은 Bethe-Slater curve를 통하여 잘 알려져 있다. 이는 비정질 상내의 철 원소의 공간적 분포제어를 통하여도 포화자속밀도를 향상 시킬 수 있음을 의미한다. 그러나, 이에 대한 연구는 매우 미미한 현실이다. 본 발표는 철계 비정질 합금의 연자성 특성에 미치는 원자구조에 대한 고찰이다. 즉, 비정질 상의 구조완화 및 Medium range ordering을 통하여 철 원소의 공간적 분포를 제어하고, 이에 따른 연자성 특성 변화에 대해 조사하였다. 이를 통하여, 철 함량 극대화 합금설계를 통하여 얻을 수 있는 포화자속밀도를 더욱 향상시킬 수 있는 철계 비정질 연자성 합금의 개발 방안을 토의하고자 한다.

Crystallization Behaviors and Soft Magnetic Properties of FeMoBCPSi amorphous alloys

Hwijun Kim*, Myungshin Kim, Sunguk Hong
Korea Institute of Industrial Technology, Korea

Due to the characterization of low coercivity and high permeability, soft magnetic amorphous alloys have been used in various industrial fields such as high frequency inductor core, transformer core, sensor, and electromagnetic wave shielding sheets. Especially, because of low cost, many studies of Fe-based soft magnetic amorphous alloy have been proceeded briskly. To enhance amorphous structure alloy design of Fe-based soft magnetic alloy has been performed by adding metalloid elements which have small atomic radius. As contents of metalloid elements increase, saturated magnetic flux density is deteriorated. To increase improve saturated magnetic flux density with keeping coercivity low, nanocrystalline alloys have been studied by many researchers. It has been reported that Nb and Mo are excellent grain growth inhibitors leading to uniform distribution of fine nanocrystallines in amorphous matrix.

Thus, in this study, we focused on investigating the effect of additive metalloid elements on crystallization behaviors and soft magnetic properties of $Fe_{bal.}Mo_{3.5}B_XC_YP_ZSi_W$ alloys. Their ribbons were fabricated by melt spinning process by which rapid solidified ribbons could be obtained. Thermal analysis was conducted by DSC analysis and it was indicated that crystallization temperature of $Fe_{bal.}Mo_{3.5}B_XC_YP_ZSi_W$ alloys was raised with increasing metalloid contents. The kinetics of crystallization behavior of amorphous ribbon was interpreted for $Fe_{79}Mo_{3.5}B_4C_1P_{10}Si_{2.5}$ amorphous ribbon which exhibited the highest value of Δ H for crystallization. Isochronal annealing analysis was created by Kissinger, Flynn-Wall-Ozawa, Augis-Bennett Method. Activation of crystallization was an average value of 285.4 kJ/mol. Isothermal annealing analysis was calculated by Johnson-Mehl-Avrami Equation and Avrami exponent was in the range of 2.19 ~ 2.90.

Heat treatment for nanocrystalline was conducted at just below crystallization temperature during 10 ~ 60 mins. Soft magnetic properties with the variation of crystallization fraction were measured by VSM. Furthermore, morphology and phase of nanocrystallines were analyzed by SEM and TEM.

It was found that nanocrystallines exhibited α-Fe phases with the size of 20 ~ 90 nm containing metalloid elements such as B, C, P and Si. As the fraction of nanocrystalline in amorphous matrix was raised by increasing the time of heat treatment, saturated magnetic flux density was continuously raised but coercivity was rapidly deteriorated upward more than 14 % in nanocrystalline fraction.

In the field of power electronics, requirement for improving the efficiency and reducing the volume is more and more high, that is because the nanocrystalline alloy with high permeability and low coercivity has been widely used, in areas such as communication, electric vehicles, electrolytic plating with the application of switching power supply.

친환경차 전력변환부품용 고온내구 연자성 페라이트 개발
A Development of High-temperature endurable Soft Ferrite in Eco-friendly Vehicle's Power Devices

김미루[1*], 김영민[1], 정연준[1], 황득규[2], 함철환[3]
Mi Ru Kim[1], Young Min Kim[1], Yeon Jun Chung[1], Deuk Kyu Hwang[2], Choul Hwan Ham[3]
[1]현대자동차 분말소재개발팀, [2]현대모비스 재료연구팀, [3]삼화전자 R&D Center

최근 강화되는 환경규제와 기술적 진보로 친환경차의 판매량이 증가하고 있다. 그 중 전기자동차(EV) 및 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV) 비중 또한 크게 상승하고 있으며, 이러한 차량에는 고전압 배터리를 충전할 수 있는 차량용 완속 충전기(On-Board-Charger ; 이하 OBC)가 탑재된다.

OBC는 상용 전원(220V 교류)을 인가받아 DC 컨버팅을 거쳐 차량의 고전압 배터리를 충전시키는 역할을 한다. 이러한 전압/전류 변화에 의해 의도치 않은 노이즈가 시스템 내/외부로 전파되어 시스템 내구 저하나, 상용 전원과 연결되어 있는 타 전자 부품의 품질을 저하시켜 오작동을 일으킬 수 있다. OBC의 소형화 및 전력변환 효율 증대 니즈에 따라 시스템이 복잡해지고, 전자파 간섭(EMI) 또한 커지고 있다.

이에 따라 원치않는 노이즈를 제거할 수 있는 노이즈 필터의 중요성이 커지고 있다. 이때 고투자율 페라이트 코어를 사용할 수 있으나, 큐리 온도가 낮아 고온에서는 적용이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 고온 환경에 사용가능한 Mn-Zn 페라이트를 개발하고자 하였다.

OBC용 노이즈필터로 페라이트 적용시 해결해야할 과제는 2가지이다.

(1) 페라이트의 Tc(Curie Temperature ; 자성을 잃게 되는 온도)를 높일 것

(2) 일정 이상의 인덕턴스 부품 설계 사양을 만족하기 위해 고투자율일 것

위와 같은 과제를 해결하기 위해 본 개발은 다음과 같이 진행하였다. 주 조성 Fe2O3 및 ZnO 함량을 조절하여 Tc를 향상시켰으며, 첨가물을 추가하여, 투자율을 증가시켰다.

상기 개발로 아래와 같은 결론을 얻었다.

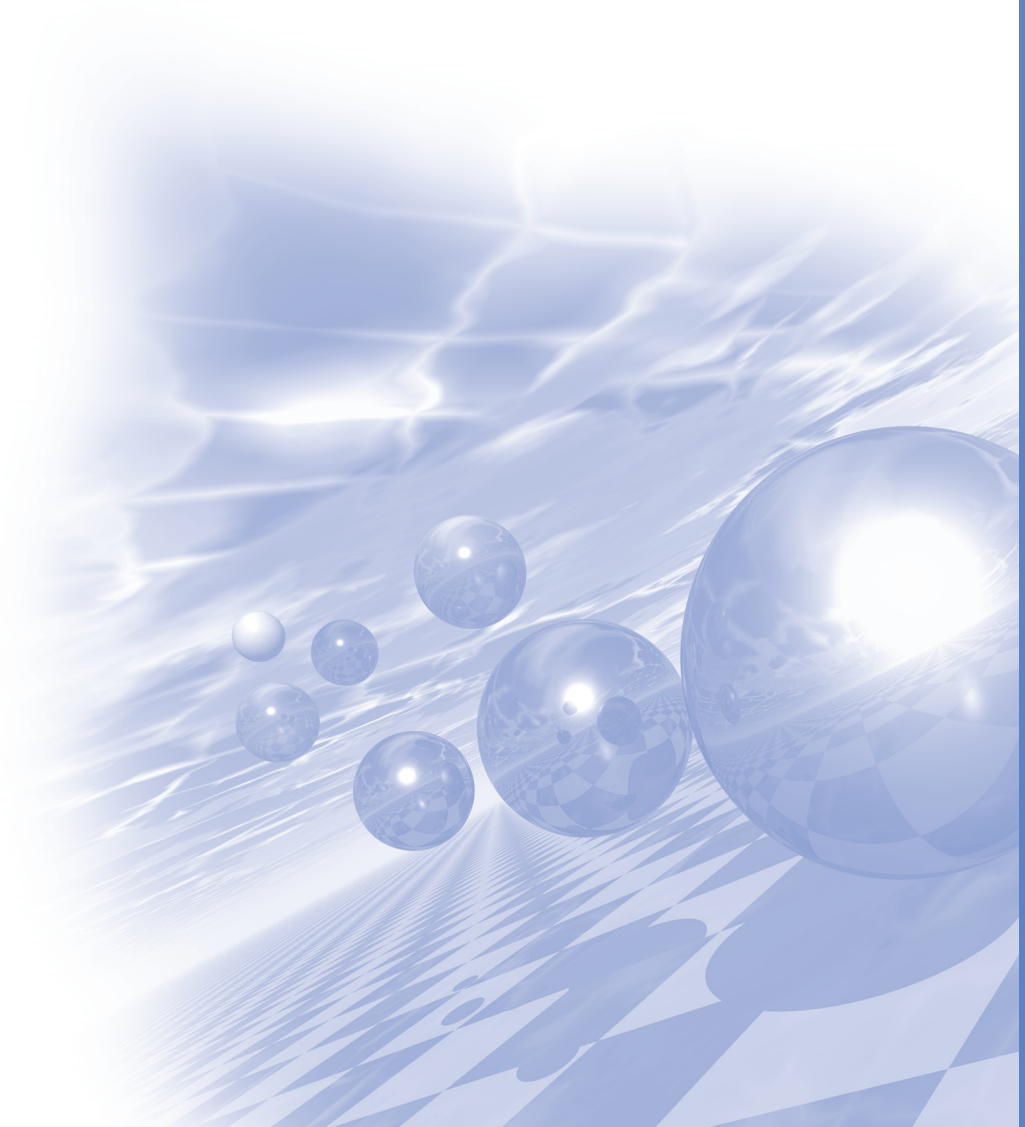
(1) 요구 투자율 및 고특성인 나노결정질의 동등 수준으로 노이즈 필터링 성능을 확보하였다.

(2) 고온 Tc를 확보하여, 악의 온도 조건에서도 사용 가능하다.

KMS 2018 Spring Conference

Special Session Ⅳ

‘Magnetization Dynamics’



The Three-Dimensional Nature in the Magnetic Vortex dynamics

Hee-Sung Han, Sooseok Lee, Dae-Han Jung, Namkyu Kim, Ki-Suk Lee*
School of Materials Science and Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Korea

The dynamic excitation in a magnetic vortex structure is an interesting topic in a magnetism for the development of novel data processing device with low power consumption. In a confined system, the magnetic vortex shows various excitation modes such as translational, azimuthal, and radial spin-wave modes [1-3]. However, most of the studies have been performed under the assumption that the magnetization is uniform along the thickness direction. However, it is recently reported that three-dimensional (3D) nature causes flexible oscillation of the vortex core (VC) [4], which makes a rich variety of spin-wave modes in a relatively thick nanodisk.

From micromagnetic simulations, we find various 3D dynamic behaviors including novel spin-wave modes such as “beating modes” - the size oscillations of VC with inhomogeneous phase along the thickness direction as well as asymmetric gyrotropic mode and a dramatic tearing of VC structure.

Furthermore, we found the VC reversals can occur through the resonant excitation of the beating mode. Interestingly, its reversal mechanism is completely different with previously known vortex-antivortex pair mediated one [5]; the Bloch-point pair are created at the center of the VC structure and they propagate through the film thickness. In the presentation, we will discuss detailed mechanism and physical understandings on this novel core switching process.

References

[1] S.-K. Kim, K.-S. Lee, et al., Appl. Phys. Lett. 92, 022509 (2008).
[2] M.-W. Yoo, and S.-K. Kim, Appl. Phys. Lett. 117, 023904 (2015).
[3] M.-W. Yoo, et al, Appl. Phys. Lett. 100, 172413 (2012).
[4] J. Ding et al., Sci. Rep. 4, 4796 (2014).
[5] R. Hertel et al., Phys. Rev. Lett. 98, 117201 (2007).

수직자성박막의 자구벽 연구

문경웅[1*], 김창수[1], 윤정범[1], 김원동[1], 전병선[1], 이상선[1], 김동석[1], 김대현[1], 최준우[2], 이억재[2], 김동옥[3], 송경미[4], 민병철[2], 황찬용[1]

[1]스핀융합연구팀, 한국표준과학연구원
[2]스핀트로닉스센터, 한국과학기술연구원
[3]물리학과, 숭실대학교
[4]물리학과, 숙명여자대학교

이번 발표에서 수직자성박막에 존재하는 자구벽과 관련한 본 연구단의 최근 연구 결과들을 발표하고자 한다. 기존의 자구벽 관련 연구들은 선구조의 자성체에서 자구벽 이동을 관찰하는 것에 집중하였는데 이번 연구는 박막에서 자구벽을 관찰하여 자구벽의 형태에 대해 집중하였다. 특히 자성체에 전류가 흐르는 상태에서는 전류의 방향성에 의해 특징적인 형태를 가지는 자구벽들이 만들어지는데 이러한 관찰결과와 최근 자성분야의 주요 이슈인 스핀-트랜스퍼-토크, 좔로신스키-모리야 상호작용의 관계에 대해 생각해보았다.

Correlation between Charge Asphericity and Dzyaloshinskii-Moriya Interaction

Sanghoon Kim[1*], Kohei Ueda[1,2†], Gyungchoon Go[3], Peong-Hwa Jang[3], Kyung-Jin Lee[3,4], Abderrezak Belabbes[5], Aurelien Manchon[5], Motohiro Suzuki[6], Yoshinori Kotani[6], Tetsuya Nakamura[6], Kohji Nakamura[7], Tomohiro Koyama[8], Daichi Chiba[8], Kihiro Yamada[1], Duck-Ho Kim[1], Takahiro Moriyama[1], Kab-Jin Kim[1,9] and Teruo Ono[1,10†]

[1]Institute for Chemical Research, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, Japan,
[2]Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139, USA,
[3]Department of Materials Science & Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea,
[4]KU-KIST Graduate School of Converging Science and Technology, Korea University, Seoul 02841, Korea,
[5]Physical Science and Engineering Division (PSE), King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Thuwal 23955-6900, Saudi Arabia,
[6]Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI), Sayo, Hyogo 679-5198, Japan,
[7]Department of Physics Engineering, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, Japan,
[8]Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-8656, Japan,
[9]Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, Korea,
[10]Center for Spintronics Research Network (CSRN), Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Osaka 560-8531, Japan
[†]Correspondence to: ono@scl.kyoto-u.ac.jp, makuny80@gmail.com

Recent intensive studies on the formation of chiral domain wall (DW) and skyrmion, and their current-driven dynamics are closely related to the Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) in the systems with the inversion symmetry breaking (ISB) [1-3]. In spite of many progresses to understand and utilize DMI, the microscopic origin of DMI has remain controversial [4,5]. In this presentation, we show results of our experimental and theoretical studies to examine the microscopic origin of the DMI. Firstly, we demonstrate that DMI in the Co/Pt bilayer shows strong temperature dependence. To find correlation between electron orbital structure and the temperature dependence of DMI, the x-ray magnetic circular dichroism analysis results are mainly discussed. We find that the perpendicular orbital moment and the dipole moment increase at low temperature while the in-plane orbital moment is almost temperature-independent. The theoretical investigation based on the tight-binding model qualitatively reproduces the anisotropic change of the orbital moment, showing that orbital-to-orbital electron hopping with the ISB is related to the temperature dependence of DMI. In addition, the density functional theory calculation exhibits that the orbital anisotropy and the dipole moment have clear correlation with DMI.

References

[1] Dzyaloshinskii, I. E. *Sov. Phys. JETP* **5**, 1259 (1957).
[2] Moriya, T. *Phys. Rev*. **120**, 91-98 (1960).
[3] Fert, A., Cros, V. & Sampaio, J. *Nat. Nanotech*. **8**, 152-156 (2013).
[4] Emori, S., Bauer, U., Ahn, S.-M., Martinez, E. & Beach, G. S. D. *Nat. Mater*. **12**, 611-616 (2013).
[5] Yang, H. et al. *Phys. Rev. Lett.* **115**, 267210 (2015).

Field driven magnetic racetrack memory accompanied with the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction

June-Seo Kim[1,2,3*]

[1]DGIST Research Center for Emerging Materials, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, Daegu 42988, Republic of Korea

[2]Intelligent Devices and Systems Research Group, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, Daegu 42988, Republic of Korea

[3]Global Center for Bio-Convergence Spin System, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, Daegu 42988, Republic of Korea

Various spintronic devices based on magnetic domain wall (DW) motions have been extensively developed for high-density storage devices, logic gates, bio-inspired devices, and so on [1,2]. Because of its big potential for numerous information technologies and 4th generation industrial revolution, many individual techniques to manipulate DWs have been theoretically and experimentally demonstrated in the last decade.

In this study, we analytically and numerically explain synchronous multiple DW motions in a perpendicularly magnetized nanowire by applying in-plane magnetic field pulses [3,4]. The direction of the DW motion depends on the chirality of the DW. In order to drive a Bloch (Neel) type domain wall, a longitudinal (transverse) magnetic field pulse is necessary. We also show the contribution of the interfacial Dzyaloshinskii-Moriya (DM) interaction. First of all, the DM interaction occurs multiple Neel types DWs of synchronized chirality, which is mandatory for synchronous multiple DW motions. The DW displacements decrease with increasing the DM energy density because a tilting angle of the DW is larger with a large DM energy density. In addition, we solve one-dimensional equation of motion for the DW for all cases in the present work. The one-dimensional equation of motion and the micromagnetic simulation results shows excellent agreements to reproduce most important features of the DW motion by in-plane magnetic field pulses.

References

[1] S.S.P. Parkin, M. Hayashi, L. Thomas, Science **320** (2008) 190-194.

[2] S. Emori *et al.*, Nat. Mater. **12** (2013) 611-616.

[3] J.-S. Kim *et al.*, Nat. Commun. **5** (2014) 3429.

[4] J.-S. Kim *et al.*, http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.08.094 (in press)

Antiferromagnetic spin dynamics at an angular momentum compensation temperature of ferrimagnets

Kab-Jin Kim[1*], Se-Kwon Kim[2], Yaroslav Tserkovnyak[2], Arata Tsukamoto[3], Takahiro Moriyama[4], Kyung-Jin Lee[5], Teruo Ono[4]

[1]Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, Korea
[2]Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles, California 90095, USA
[3]College of Science and Technology, Nihon University, Funabashi, Chiba 274-8501, Japan
[4]Institute for Chemical Research, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011, Japan
[5]Department of Materials Science & Engineering, Korea University, Seoul 02841, South Korea

Antiferromagnetic spintronics is an emerging research field which aims to utilize antiferromagnets as core elements in spintronic devices. A central motivation toward this direction is that antiferromagnetic spin dynamics is expected to be much faster than ferromagnetic counterpart because antiferromagnets have higher resonance frequencies than ferromagnets. Recent theories indeed predicted faster dynamics of antiferromagnetic domain walls (DWs) than ferromagnetic DWs. However, experimental investigations of antiferromagnetic spin dynamics have remained unexplored mainly because of the immunity of antiferromagnets to magnetic fields. Furthermore, this immunity makes field-driven antiferromagnetic DW motion impossible despite rich physics of field-driven DW dynamics as proven in ferromagnetic DW studies. Here we show that fast field-driven antiferromagnetic spin dynamics is realized in ferrimagnets at the angular momentum compensation point T_A. Using rare-earth-3d-transition metal ferrimagnetic compounds where net magnetic moment is nonzero at T_A, the field-driven DW mobility remarkably enhances up to 20 km $s^{-1}T^{-1}$ (Fig. 1). The collective coordinate approach generalized for ferrimagnets and atomistic spin model simulations show that this remarkable enhancement is a consequence of antiferromagnetic spin dynamics at T_A. Our finding allows us to investigate the physics of antiferromagnetic spin dynamics and highlights the importance of tuning of the angular momentum compensation point of ferrimagnets, which could be a key towards ferrimagnetic spintronics [1].

Reference

[1] Kab-Jin Kim et al. Nat. Mater. 16, 1187 (2017).

Spin-transfer torques in the vicinity of the angular momentum compensation temperature in ferrimagnet

Duck-Ho Kim[1*], Takaya Okuno[1], Se-Hyeok Oh[2], Se Kwon Kim[3], Yuushou Hirata[1], Tomoe Nishimura[1], Yasuhiro Futakawa[4], Hiroki Yoshikawa[4], Arata Tsukamoto[4], Yaroslav Tserkovnyak[3], Yoichi Shiota[1], Takahiro Moriyama[1], Kab-Jin Kim[5], Kyung-Jin Lee[2], and Teruo Ono[1,6]

[1]Institute for Chemical Research, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011, Japan
[2]Department of Materials Science & Engineering, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea
[3]Department of Physics and Astronomy, University of California, LA, California 90095, USA
[4]College of Science and Technology, Nihon University, Funabashi, Chiba 274-8501, Japan
[5]Department of Physics, KAIST, Daejeon 34141, Republic of Korea
[6]CSRN, Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Osaka 560-8531, Japan

Antiferromagnets have come into the spotlight [1, 2] as a promising material for spintronic devices because they exhibit the fast-magnetic dynamics and the low susceptibility to magnetic field. Recently, it has been demonstrated that fast field-driven antiferromagnetic spin dynamics can be realized in ferrimagnets at the angular momentum compensation temperature T_A [3]. The peak of field-driven domain-wall (DW) speed at T_A naturally invokes curiosity about the effect of current on the DW motion across T_A. For this study, we prepared an amorphous ferrimagnetic GdFeCo film, where the detailed structure is 5-nm SiN/30-nm $Gd_{23.5}Fe_{66.9}Co_{9.6}$/100-nm SiN on the intrinsic Si substrate. Since this film lacks nonmagnetic heavy metal as a spin current source, the effect of current can be considered as spin transfer torques (STT), which arise from the exchange interaction between conduction electrons and localized electrons. The field-driven DW speed was measured under positive and negative bias current at various temperatures T. The DW speed difference $\triangle v$ induced by a current density J is defined as $\triangle v = [v(+J) - v(-J)]/2$. Figure 1 shows $\triangle v/J$ as a function of T under several J. It shows that the effect of current gradually changes its sign across T_A and the asymmetry of $\triangle v/J$ with respect to T_A occurs. To explain such an intriguing observation, we developed a generalized model based on the collective coordinate approach including STT terms [3]. From the theory, the nonadiabatic and adiabatic STT as a function

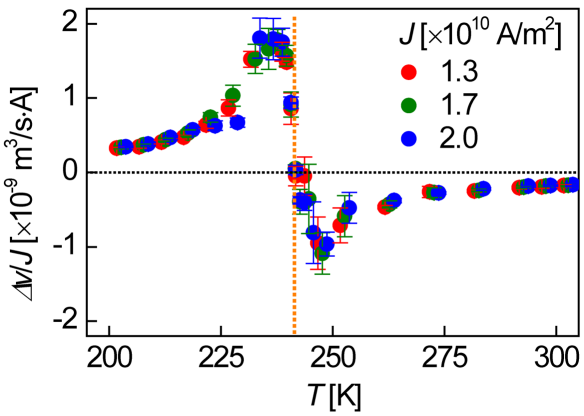


Fig. 1. The STT-induced DW speed difference divided by current density as a function of temperature for several current densities. The dashed orange line indicates the angular momentum compensation temperature.

of T respectively constitutes the symmetric and the antisymmetric contribution with respect to T_A. The good agreement between theory and experiment supports that STT-driven DW dynamics is clarified in ferrimagnets at T_A. Details will be discussed in the presentation.

References

[1] A.H. MacDonald *et al*., Phil. Trans. R. Soc. A **369**, 3098 (2011).

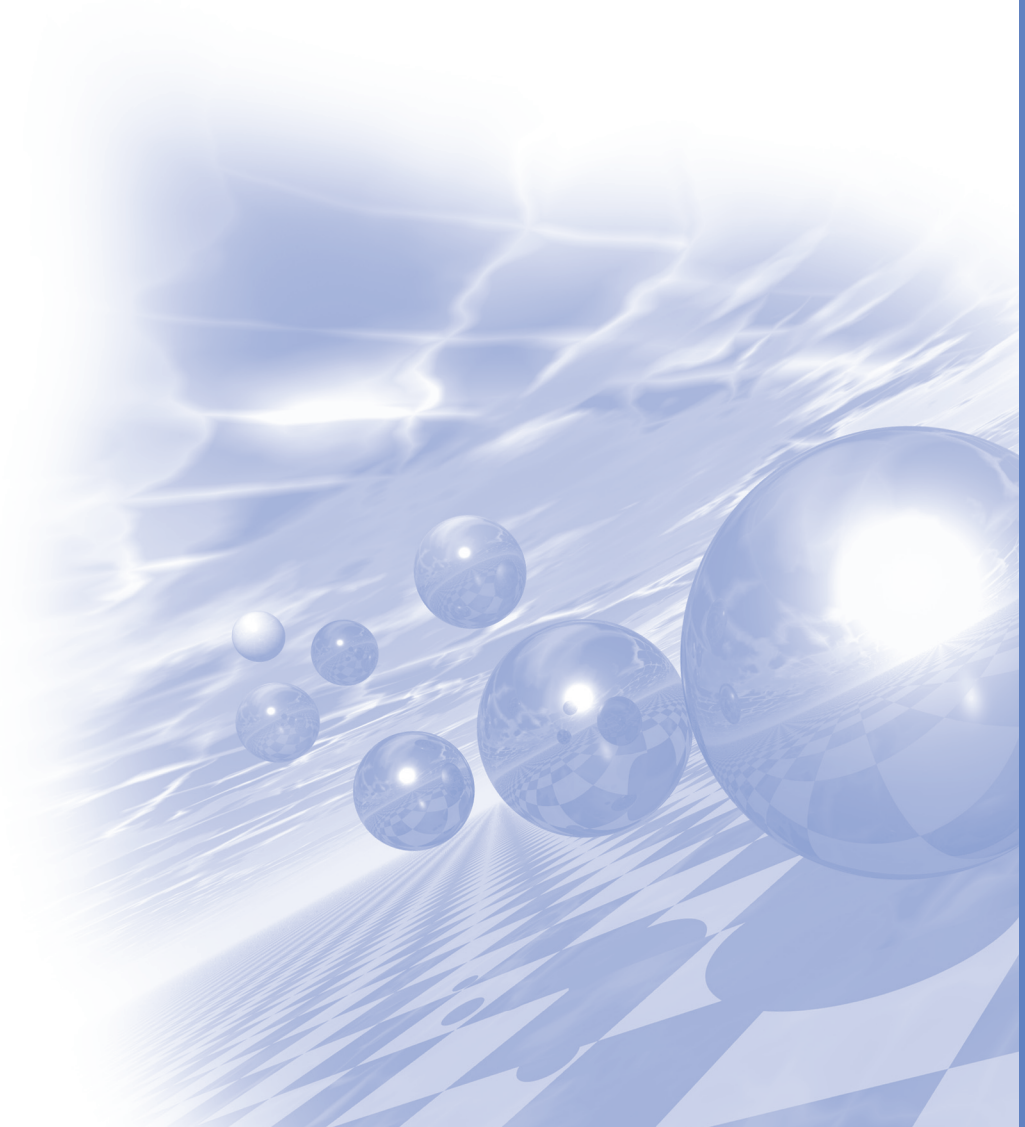
[2] T. Jungwirth *et al*., Nat. Nanotechnol. **11**, 231 (2016).

[3] K.-J. Kim *et al*., Nat. Mater. **16**, 1187 (2017).

KMS 2018 Spring Conference

Special Session V

'Magnetic For IOT'



AMR 지자기센서 개발

윤석수*, 김동영, 신정우
안동대학교 물리학과

스마트폰, 테블릿 등 모바일 기기는 기본적으로 지자기 센서를 장착하고 있기 때문에 지자기센서의 시장규모가 확대되고 있고 있다. 현재 Giant magnetoresistive(GMR), tunneling magnetoresistive(TMR), anisotropic magnetoresistive(AMR), giant magneto-impedance(GMI) 등 다양한 자기현상을 이용한 모바일 용 지자기 센서가 개발되어 시장에 출시되고 있다. 모바일용 지자기센서는 센서 구동을 위한 전자회로 뿐 아니라 센서제어 및 통신기능까지 모두 수 mm 크기의 하나의 IC 속에 들어 있으면서 저전력, 고분해능이 요구된다. 현재 시판되고 있는 모바일용 지가지센서의 분해능은 약 10 mG 에서 1 mG 정도를 보이고 있다. 센서개발에 있어서 센서소자 제작기술 뿐 아니라 센서를 구동하는 전자회로(신호적합회로)의 설계기술도 매우 중요한 역할을 한다. 왜냐하면 센서의 선형성, 분해능의 주요 특성이 신호적합회로의 설계에 따라 달라지기 때문이다.

본 발표에서는 퍼몰로이 연자성(30 nm)/MnIr 반강자성(10 nm)의 2층 자성박막을 링형으로 만든 AMR 자기센서 소자를 이용하여 지자기 센서를 개발한 것을 신호적합회로를 중심으로 다루고자 한다. AMR 센서의 지구자기장 분해능을 최적화하기 위해 신호적합회로가 어떻게 구성되었으며 그 결과 분해능이 얼마까지 실현될 수 있었는지를 제시하고자 하며, 센서의 동작 시연도 발표현장에서 하고자 한다.

본 연구는 미래창조과학부 및 대구경북과학기술원(바이오×자성 글로벌 융합 센터)의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

펄스와전류 기술의 소개와 적용

박덕근*
한국원자력연구원 원자력재료연구부

와전류 기술은 구조물의 안전 과 유지보수 측면에서 많은 기여를 해왔다. 특히 초음파와 와전류를 이용하여 가동중인 구조물의 결함을 찾아내는 일은 본질적으로 어려운 일은 아니라, 여러 층의 경계를 가진 구조물 등에서는 적용하기 힘들었다. 펄스와전류 기술은 이러한 제한점들을 극복하기 위하여 고안 되었다. 본 연구에서는 펄스와전류의 기초이론, 시스템 디자인 과 응용분야 등을 소개한다. 펄스와전류의 응용분야 중 가장 일반적으로 사용되는 곳은 항공기의 동체와 같이 여러개의 평판이 겹쳐져서 리벳팅으로 결합되어있는 곳에서 판사이에 일어나는 부식을 측정하는 문제와, 보온재가 설치된 배관에서 보온재를 제거하지 않고 국소적인 배관내부의 결함을 측정한 예를 소개하였다. 보온재가 설치된 배관에서의 주손상은 절연체하의부식(CUI)와 유동가속부식(FAC)로 나누어진다. 산업현장에서 사용되는 대부분의 배관은 열손실을 방지하기 위하여 외부에 열전도도가 낮은 물질이 보온재로 설치되어 있으므로, 보온재를 제거하지 않고 내부의 결함을 탐지하는 비파괴기술이 필요하다. 비파괴 신호는 특성상 신호식별이 쉽지 않다. 즉 여러개의 판이 겹쳐진 곳의 결함이나 보온재 하의 결함을 탐지할 경우 비파괴 신호만으로 결함의 위치를 판별하기가 어렵다. 이 경우 패턴인식이나 최근에 많이 사용되는 딥러닝 기법이 유효하며, 이에 대하여도 소개하였다.

위성용 자기센서 개발

손대락*
한남대학교, 대전광역시 대덕구 한남로70(오정동)

인공위성이 지구괘도를 회전하는 동안 지구를 향하는 자세를 조절하여야 한다. 위성을 회전시키기 가장 쉬운 방법은 소형의 로켓을 사용하는 방법이나 이는 위성의 수명과 관계가 있기 때문에 자기적인 방법을 사용하고 있다. 이를 위하여 마그네토미터(TAM)을 사용 지구자기장을 측정하여 지구자기장에 대한 위성의 자세를 측정하고, Magnetic torquer(MTQ)를 사용 자기쌍극자 모멘트를 발생시켜서 지구자기장에 대하여 비틀림력(torque)를 생성시켜 위성을 회전시키게 된다. Momentum wheel을 사용하는 경우 Momentum wheel의 각운동량을 줄이기 위하여도 TAM과MTQ를 사용하게 된다.

순수한 과학적인 목적으로 지구를 감싸고 있는 플라즈마의 운동을 측정하거나 달의 자기장분포를 측정하기 위하여도 고감도의 TAM이 사용된다.

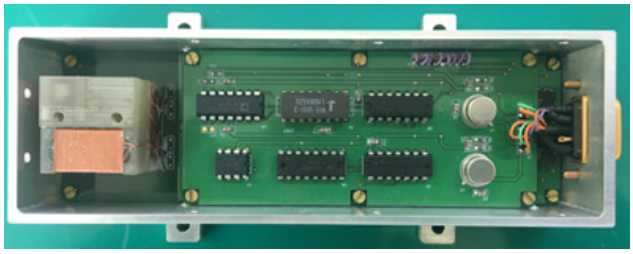


그림 1. 제작된 three axis magnetometer의 사진.

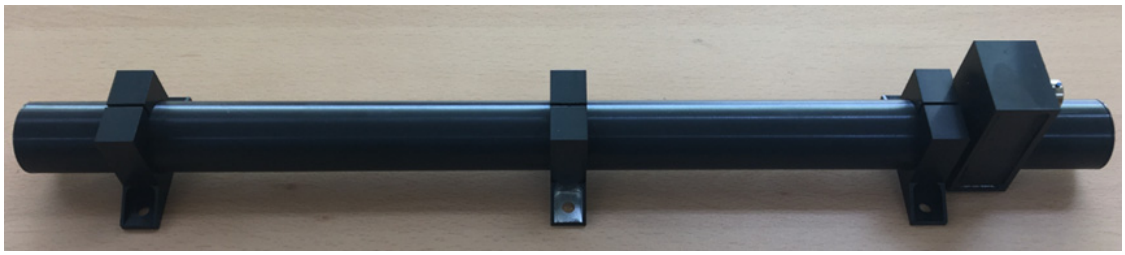
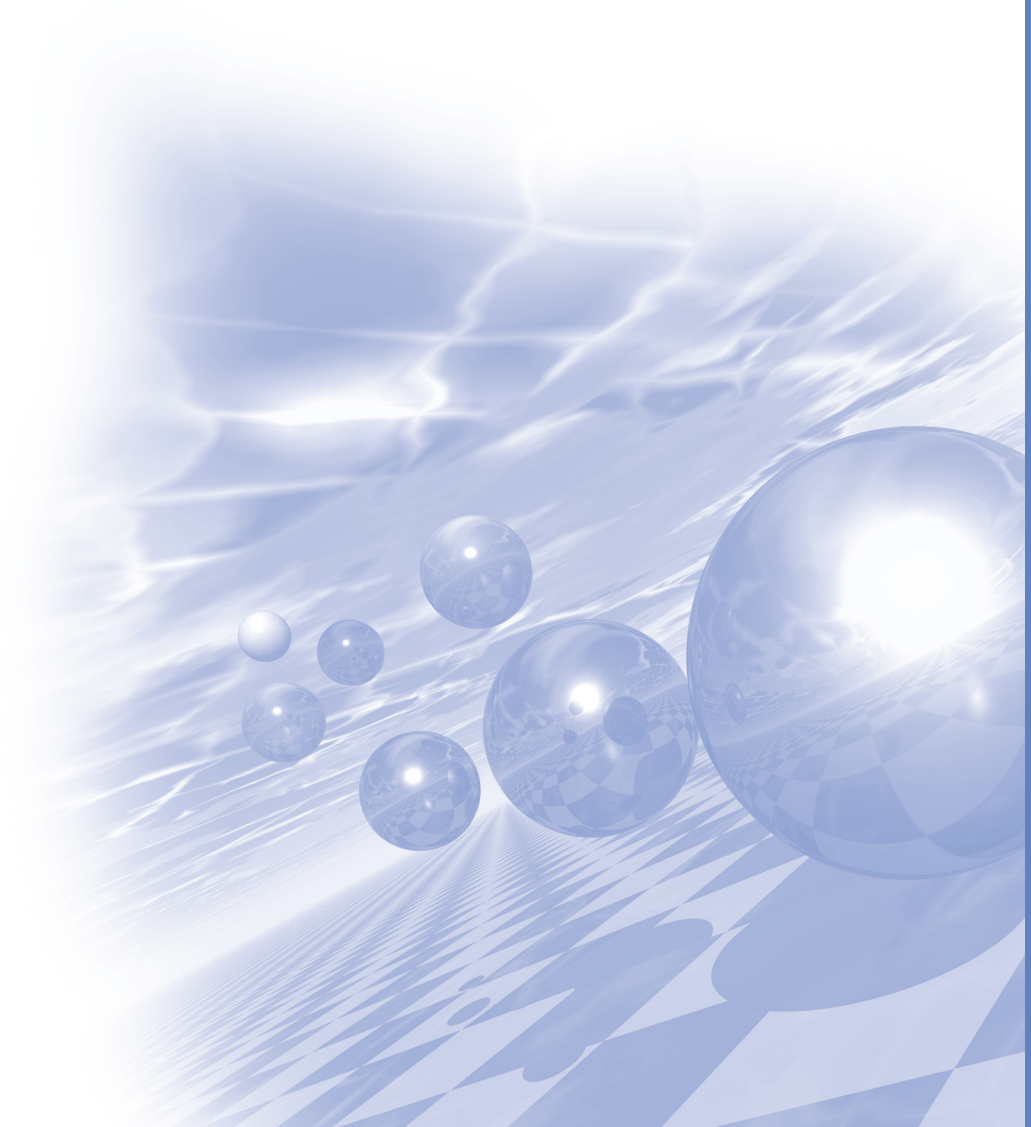


그림 2. 제작된 magnetic torquer의 사진.

KMS 2018 Spring Conference

Special Session VI

'Spin-Orbitronic Materials'



연구개발 현황

김영근*
고려대

이론 및 계산 연구 1

이경진*
고려대

이론 및 계산 연구 2

박종선*
고려대

이론 및 계산 연구 3

임성현*
울산대

소재 공정 연구 1

김영근*
고려대

소재 공정 연구 2

임상호*
고려대

소재 공정 연구 3

홍종일*
연세대

소재 공정 연구 4

박병국*
KAIST

소재 공정 연구 5

홍정일*
DGIST

측정분석 연구 1

황찬용*
KRISS

측정분석 연구 2

유천열*
DGIST

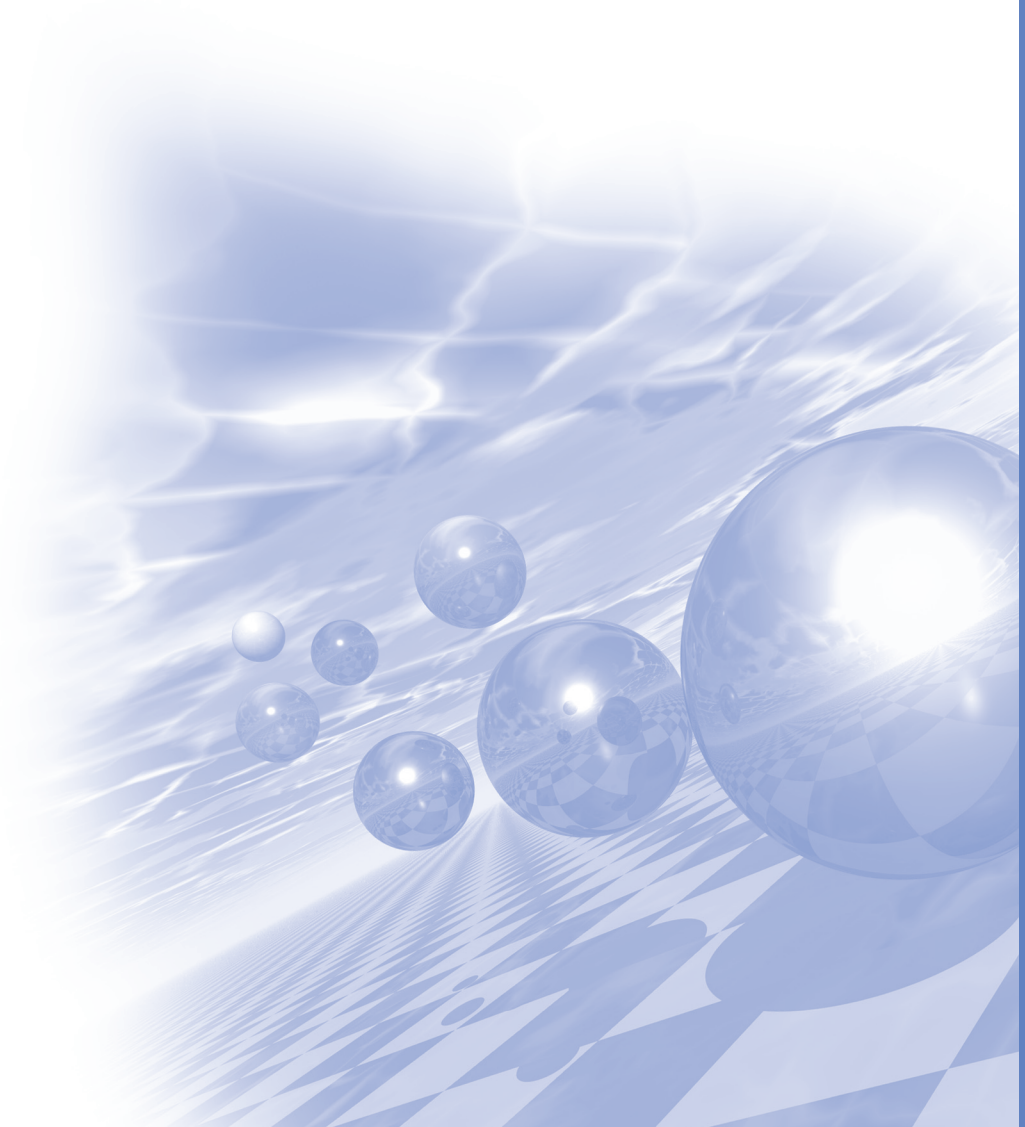
측정분석 연구 3

최석봉*
서울대

KMS 2018 Spring Conference

Special Session VII

'A First-principles Calculation'



Search for magnetism in two-dimensional $PdSe_2$ and PdS_2

Yoseph Cho and Hyoung Joon Choi*
Department of Physics, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

$PdSe_2$ and PdS_2 are semiconducting materials with puckered layer structure. Recently, monolayer (ML) $PdSe_2$ has been successfully exfoliated. Two-dimensional $PdSe_2$ layers have excellent air stability and a band gap that depends on the number of layers. In previously reported density functional theory (DFT) calculations, the valence bands of ML $PdSe_2$ have very large effective masses. This may imply that the system is close to instability when hole-doped. In our present work, we search for magnetism in hole-doped ML $PdSe_2$ and PdS_2 using first-principles DFT calculations. Considering both ferromagnetism and antiferromagnetism, we study energetic stability of magnetic phases, electronic structures in magnetic phases, and structural conditions for magnetic stability. We also discuss mechanism for magnetism in these hole-doped systems. This work was supported by NRF of Korea (Grant No. 2011-0018306) and KISTI supercomputing center (Project No. KSC-2017-C3-0079)

Design of memcapacitors for neuromorphic computation using magnetoelectric coupling from first principles

Jun Hee Lee*
School of Energy & Chemical Engineering, UNIST

Mutlfiferroics with various interactions among charge, spin, and lattice have endless possibilities for material engineering. Such interactions may result in various alternative magnetic phases that have different spin-charge-lattice combinations and thus distinct dielectric properties that can be controllable by electric field. I will talk about how to implement multi-level dielectric constants (memcapacitors) from the alternative phases for developing neuromorphic computations with ultralow energy consumption. And some recent experimental results veryfing our predictions will be introduced. I will highlight the importance of first-principles search and collaboration with experiments to uncover the novel phases with different magnetic states and multiple dielectric constants for the next-generation neuromorphic computation.

Intrinsic spin Hall effect in topological semimetals

Adarsh S. Patri[1], Kyusung Hwang[1,2], Hyun-Woo Lee[1,3*], Yong Baek Kim[1]
[1]Department of Physics and Center for Quantum Materials,
University of Toronto, Toronto, Ontario M5S 1A7, Canada
[2]Department of Physics, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA
[3]Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, Pohang 37673, Korea
Email: hwl@postech.ac.kr

We theoretically investigate a mechanism to generate intrinsic spin Hall effect in topological semimetals such as iridates. With $SrIrO_3$ as a specific example, it is shown that large spin Hall effect arises in this system via the spin-Berry curvature originating from the nearly degenerate electronic spectra surrounding the nodal line. The effect persists even when the nodal line is gently gapped out, suggesting the robustness of this mechanism. The magnitude of the spin Hall conductivity is shown to be the biggest in any transition metal oxides.

Large thermopower in crystalline topological insulating perovskite

Myung-Chul Jung[1], W. E. Pickett[2], and K.-W. Lee[1,3*]
[1]Department of Applied Physics, Graduate School, Korea University, Sejong, Korea
[2]Depatment of Physics, Univ. of California, Davis, CA, USA
[3]Division of Display and Semiconductor Physics, Korea University, Sejong, Korea

In the condensed matter physics, one of the hot issues is topological material physics for last ten years. Many distinct types of topological phases have been proposed, and some of them have been supported by experiments. Among them, the called topological crystalline insulator (TCI) is of interest, since it is protected by crystal symmetries, whereas ordinary Z_2 topological insulators (Tis) are protected by time-reversal symmetry.

In this presentation, we will propose a new TCI $ThTaN_3$, synthesized 25 years ago, and address its excellent thermoelectric properties with seebeck coefficient of maximum 400 $\mu V/K$. Remarkably, the bulk gap is 150 meV, quite large for any kind of Tis. The combination of topological surface bands with good thermoelectric properties has become a recent high profile topic, because the combination enables engineering of thermoelectric devices by trading off the bulk (thermopower) and surface (conducting states) contributions to the net device performance. This feature is made easier in the cubic material here, where size and shape can be engineered more readily than in quasi-2D materials. Thus, $ThThN_3$ combines excellent bulk thermopower with parallel conduction through topological surface states that provide a platform for large engineering devices with ever large figures of merit.

Acknowledgements: This research was supported by NRF of Korea Grants No. **NRF-2016R1A2B4009579**

The giant out-of-plane Rashba effect and the nanoscale persistent spin helix controlled by ferroelectricity in SnTe thin films

Hosub Jin*
Department of Physics, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan 44919, Korea

A non-vanishing electric field inside a non-centrosymmetric bulk crystal transforms into a momentum-dependent magnetic field, namely, a spin-orbit field (SOF). SOFs are of great use in spintronics because they enable spin manipulation via the electric field. At the same time, however, spintronic applications are severely limited by the SOF, as electrons traversing the SOF easily lose their spin information. Here, we present that in-plane ferroelectricity in (001)-oriented SnTe thin films harness the Janus-faced SOF in a reconcilable way to enable electrical spin controllability and suppress spin dephasing. The in-plane ferroelectricity produces a unidirectional out-of-plane Rashba SOF that can host a long-lived helical spin mode known as a persistent spin helix. Through direct coupling between the inversion asymmetry and the SOF, the ferroelectric switching reverses the out-of-plane Rashba SOF, giving rise to a maximally field-tunable persistent spin helix. Furthermore, the giant out-of-plane Rashba SOF seen in the SnTe thin films is linked to the nano-sized persistent spin helix, potentially reducing spintronic device sizes to the nanoscale.

Valley valve of bilayer MoS_2/WS_2 heterostructure

J. D. Lee*
Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu, 42988, Korea
E-mail: jdlee@dgist.ac.kr

Being analogous to the spin valve of spintronics, the valley valve manipulating the valley spin magnetism and transport is firstly proposed from the bilayer MoS_2/WS_2 heterostructure. The proposed valley valve controls the interlayer as well as intralayer non-local current driven by the inverse valley Hall effect of the anomalous Lorentz effect. Here we demonstrate three types of segment signals of the nonlocal current at the terminals of the heterostructure, where the nonlocal transports of low resistance (LR), middle resistance (MR), and high resistance (HR) would be realized depending on the field bias. This finding provides a new chance of the highly advanced valley informatics or valleytronics.

Real-time TDDFT study of spin-phonon dynamics and band topology of solids

Noejung Park*
Department of Physics, Ulsan National Institute of Science and Technology, Ulsan, 689-798 Korea

Topological states have commonly been cited as a new classification of materials, and global properties immune to local perturbations have been suggested as topological non-trivial attributes. Actual computations of the topological quantities of real materials have been obtained through the theories of linear responses over the static ground electronic structure. Here, we propose an alternative way by considering the time-evolution of the Hamiltonian, which lets the pumping parameter run periodically through the geometric space of the Hamiltonian. As test examples of this method, we present a trivial insulator, a spin-frozen valley-Hall system, a spin-frozen Haldane-Chern insulator, and a quantum spin-Hall insulators. In later part, we also demonstrate the spin precession dynamics of MoS_2, in which the spin is strongly coupled to the optical phonon. This dynamical spin state can be resolved into discrete Floquet-phononic spectra, and once the phonon is pumped so as to break time-reversal symmetry, the resulting spin-Floquet structures induce net out-of-plane magnetizations in the otherwise non-magnetic 2D material.

Interfacial magnetic-phase transition mediated large perpendicular magnetic anisotropy in FeRh/MgO by a heavy transition-metal capping

Dorj Odkhuu*
Department of Physics, Incheon National University, Incheon 22012, South Korea

Stacking a magnetic memory junction in spintronic devices necessarily involves making contacts with a transitional-metal capping electrode. In this talk, we will present results of our recent first-principles calculations on a cruicial role of heavy transition-metal (HTM) capping on magnetic-phase transition from antiferromagnetic to ferromagnetic order and large perpendicular magnetic anisotropy (PMA) found in Ta- and Os-capped FeRh films on MgO substrate. While magnetization of FeRh films reorients from in-plane to PMA when in contact with MgO, the presence of HTM capping further enhances PMA up to an order of magnitude in energy, which is associated with the occurrence of ferromagnetism at the interface. Such a large PMA is mainly driven by the interplay between the out-of-plane Fe 3*d*-O 2*p* and Ta (Os) 5*d*-Fe 3*d* hybridized orbital states at both interfaces. Furthermore, the magnetic-phase transition at the interface is the results of the mutual mechanisms of the capping-induced volume/tetragonal expansion in the interfacial FeRh layers and the competition between the direct and indirect exchange interactions mediated by the hybridization with the spin-polarized Ta (Os) 5*d* orbitals. These findings suggest that HTM/FeRh/MgO multilayers may represent the highly favorable memory materials with net interfacial ferromagnetism and large PMA in antiferromagnet spintronics.

Electronic Structures and Phonon Properties in Correlated Electron Systems

Byung Il Min*
Department of Physics, Pohang University of Science and Technology, Korea

In general, the phonon effects on magnetism are considered to be minor as much as the ratio of phonon energy to electron energy. However, Professor Duk Joo Kim has shown that the phonon effect can determine the temperature-dependence of magnetic properties in the case of large exchange-enhanced systems. We have discussed the Prof. Kim's theory by demonstrating the phonon effects explicitly on the Curie temperature and magnetic susceptibility in the exchange-enhanced systems and the strong electron-phonon interaction systems. Then we have discussed the success and failure of band description of f-electron properties in correlated systems. We have explored a typical two-peak structure in the f-electron spectral function of Ce systems and examined the temperature-dependent evolution of coherent f-band structure.

Magnetic properties of two-dimensional layer structured materials: A first principles study

Imran Khan, M. Umar Farooq, M. Moaied, S. Fazle and Jisang Hong*
Department of Physics, Pukyong National University, Busan, Korea 608-737

Study on two-dimensional (2D) layer structured materials is one of the most fascinating research topics in condensed matter physics. So far, various types of 2D materials have been investigated either theoretically or experimentally and many intriguing physical properties have been explored. However, most of the studies focused on the electrical and optical properties because many of 2D materials are intrinsically non-magnetic. Regarding the magnetism in the 2D structure, it was first reported that the intrinsic ferromagnetic 2D material could be fabricated in CrI_3. Although it is still rare to find the studies on the 2D magnetic materials, the ferromagnetic 2D material may bring potential application for spintronics in diverse fields. Here, we will present the recent works on magnetic properties of 2D layer structured materials in two ways; (i) theoretical design of 2D materials (ii) theoretical understanding of pre-existing 2D materials.

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

High coercivity $Fe_{16-x}Al_xN_2$ alloy design

Jinho Byun, Taewon Min, Jaekwang Lee*
Department of Physics, Pusan National University, Busan 46241, Korea

Iron nitrides ($Fe_{16}N_2$) have recently attracted considerable attentions for the future rare-earth free permanent magnets due to its low cost and high magnetization compared to other RE-free magnetic materials. Despite such a high remanent magnetization, its usefulness is restricted because it is easily de-magnetized. Here, using the first-principles density functional theory calculations, we extensively investigated the structure evolution, stability and magnetic properties of $Fe_{16-x}Al_xN_2$ alloys by varying Al contents. We find that substituting Fe by Al in $Fe_{16}N_2$ greatly improves the magnetic anisotropy of the alloys, and their coercivities can increase by about 300% compared to that of $Fe_{16}N_2$. We thus expect that these $Fe_{16-x}Al_xN_2$ alloys will be promising candidates for strong rare-earth free permanent magnets.

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

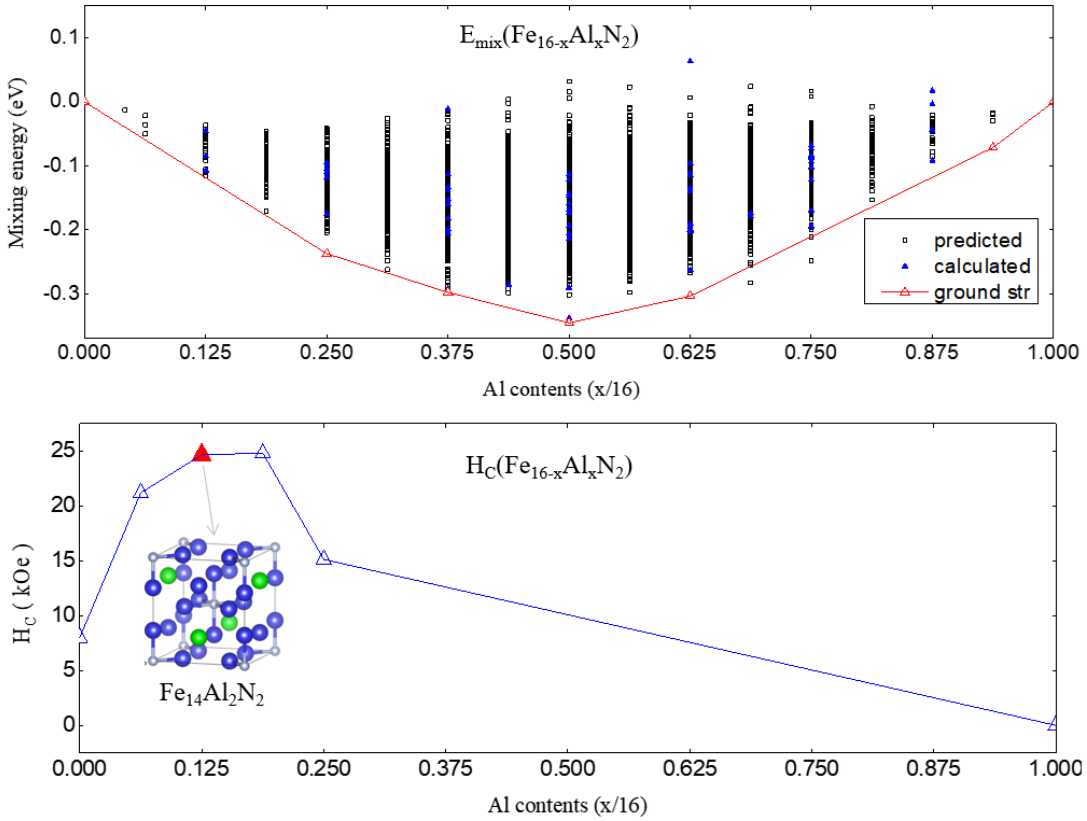


Fig. 1. Mixing energies and coercivities of $Fe_{16-x}Al_xN_2$ alloys

Room-temperature ferromagnetism from an array of asymmetric zigzag-edge nanoribbons in a graphene junction

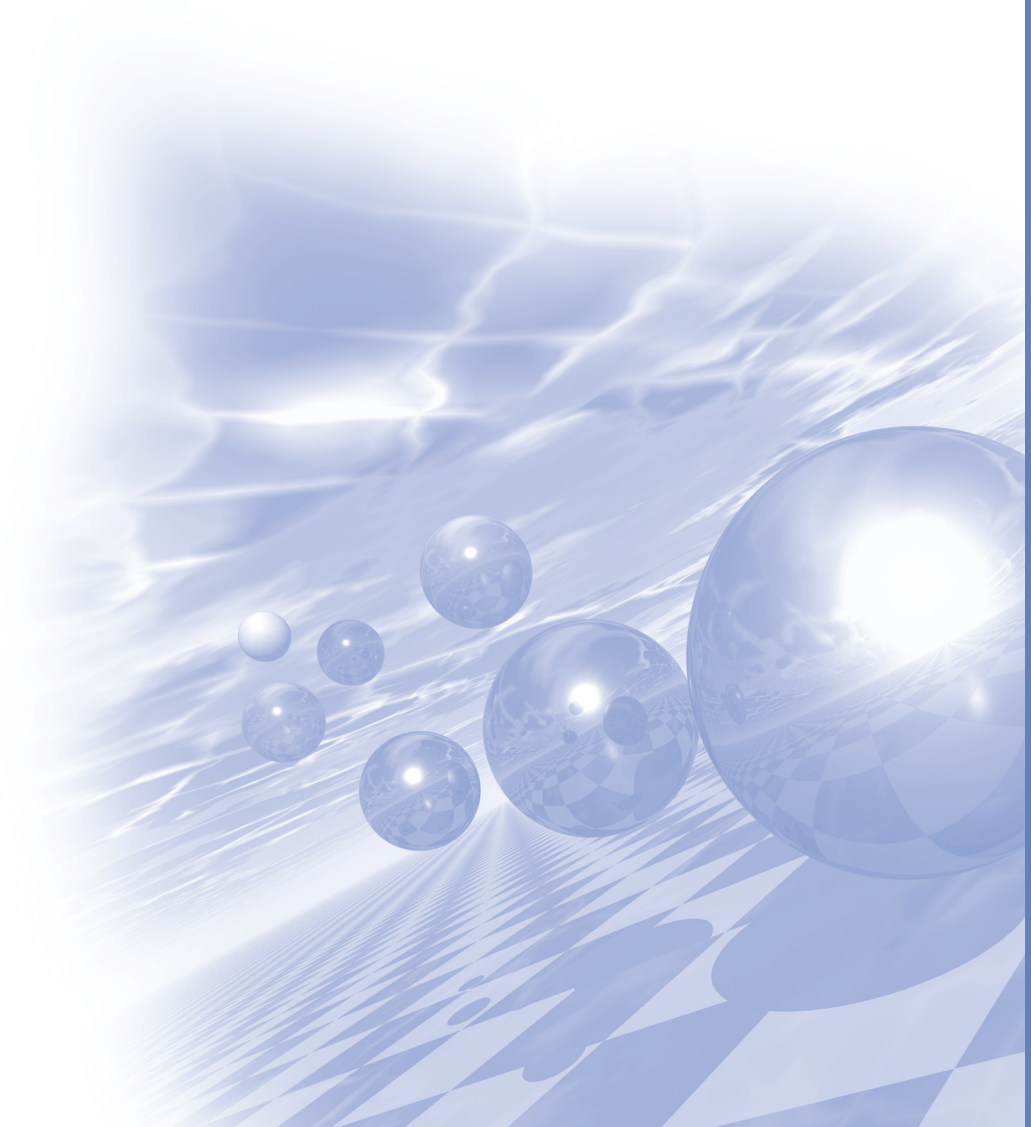
Hosik Lee*
UNIST, School of mechanical, aerospace and nuclear engineering department

Room-temperature ferromagnetism in graphene layers with defects has been experimentally measured. Despite disagreement around the intrinsic origin of carbon magnetism, experimental evidence has supported the existence of paramagnetism or ferromagnetism in carbon materials. Convincing theoretical explanations, however, have not yet been proposed. In this work, density functional theory calculations were used to suggest a plausible explanation for this phenomenon as it is observed at the zigzag grain boundaries of a mismatched single-double-single-layer graphene junction. We identified asymmetric zigzag-edge graphene nanoribbons that display ferromagnetic properties in a graphene junction structure. Two ferromagnetic asymmetric zigzag graphene nanoribbons displayed antiferromagnetic coupling in a defect-free structure at the grain boundary. The introduction of a vacancy or N-substitutional defect was found to destroy the magnetism on one side only; the nanoribbon on the other side continued to display a large ferromagnetic exchange coupling. The ferromagnetic nanoribbon in the junction was ferromagnetically correlated with other nanoribbons in the two-dimensional junction array, yielding a Curie temperature well-above room temperature. Moreover, the ferromagnetic correlation was observed regardless of the arrangement of the magnetic layers, enabling ferromagnetic ordering within the graphene junction array.

KMS 2018 Spring Conference

Special Session VIII

'Mössbauer & Nano'



Catalytic Effects of magnetic nanoparticles Synthesized by Levitational Gas Condensation (LGC)

Young Rang Uhm*
Affiliation A, Korea1Radioisotope Research Division,
Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 34057 Korea

Among the various methods for preparing nanopowders, almost all of the processes face important challenges, such as poor control of size distribution, surface contamination, the agglomeration of the particles, and so on. Many attempts have been made to develop processes and techniques that can synthesize nanoparticles with specific functional properties. Dry methods such as the levitational gas condensation (LGC) process, have been developed to obtain high purity nanopowders, while suppressing the agglomeration of the produced particles. The produced magnetic metal (Ni and Fe) and carbon encapsulated metal (Ni@C, and Fe@C) nanoparticles showed a non-collinear magnetic structure between the core and surface layer of the particles. The morphologies and the dispersion stability kinetics in the solvents are introduced in this study. A very stable dispersion for the carbon coated metals was observed without showing any clarification or sedimentation in EG and PEG. In contrast, a progressive fall signal was observed as a function of time in the middle region of metal nanoparticles which had an average particle size of 20 nm. This can be explained by flocculation-induced particle growth. Also, the carbon encapsulated metal nanoparticles were successfully applied as a catalyst for the multi-component Biginelli reaction. The simultaneous use of a heterogeneous catalyst along with the chiral modifier allowed the ratiobetween stereoisomer in the Biginelli reaction to be changed in some experiments in favor of the S-enantiomer, with an excess of about 19.6 %.

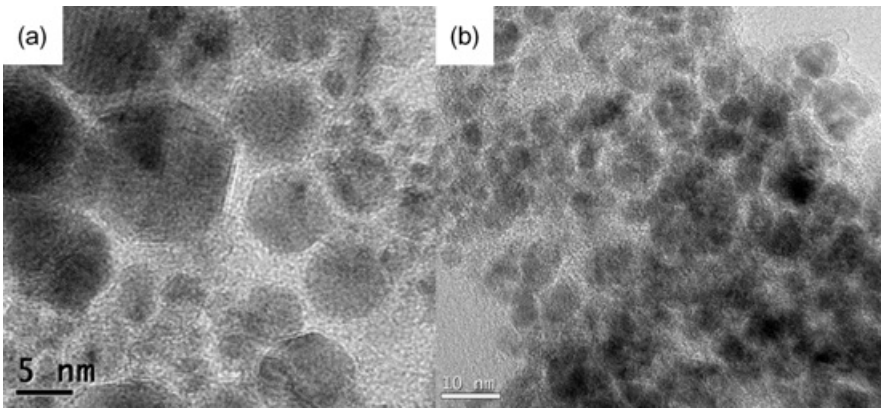


Fig. 1. High resolution TEM images of carbon en-capsulated (a) Ni and (b) Fe

Modelling and Diagnosis of Wooden Cultural Heritages for the Radiation Processing

Gwang Min Sun*
Affiliation A, Group of NAA and Precise Nuclear Detection,
Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, 34057 Korea

All areas for heritage protection are concerned by infestation problems. Methyl bromide has been used to treat the conservation of the traditional and cultural heritages such as historical building, woodblock and hanji (Korean traditional paper) and so on. According to the global agreement to slow down the depletion of the Ozon Layer, the use of methy bromide will be banned in 2018. Chemicals such as ethyl formate and phosphine were developed as an alternative fumigant to replace the methyl bromide, but these could not show the efficient effects to get rid of the bugs, worms and their larvae and eggs inside the cultural heritages due to their reduced penetrating powers. Furthermore, chemical agents have caused dozens of accidents from poisoning accidents each year. Therefore, to replace these chemicals, the technology to process the cultural heritages using ionizing radiation has been developed and used around world, especially in Europe, US and Japan. Nowadays, many Asian countries like Iran, Kazakhstan also adopted the radiation technology to protect their cultural assets from infestation. IAEA's efforts to preserve the World Heritages using radiation are also expanding through the technical expert meetings. In this study, we will assess the influence of gamma and X-ray radiation on the woodblock and hanji to establish the SOP for processing the domestic cultural heritages. In the case of Korean wooden heritages, the type of the woods and processing methods vary depending on the times and areas, so it is necessary to secure and provide the computerized modelling of the various media and processing conditions.

A new approach for targeted hyperthermia using nanoparticle-based microrobot

S. H. Kim[1*], C. S. Kim[2]
[1]Wonkwang University, Republic of Korea
[2]Kookmin University, Republic of Korea

Typically, iron oxide nanoparticles have been used for heat generation to kill cancer cells in magnetic hyperthermia, whereas nanoparticles are accumulated after hyperthermia and they can cause side effects. To avoid this issues, we proposed a new approach for hyperthermia using a microrobot. The proposed microrobot head is made of Fe_3O_4 magnetic nanoparticles(MNPs) for hyperthermia, and the robot generate active locomotion by magnetic field manipulation. In this study, we investigated magnetic properties and heat generation of Fe_3O_4 nanoparticles for microrobot design whit hyperthermia. We have manufactured Fe_3O_4, copper tube, copper tube filled with Fe_3O_4 and permanent magnet attached to this copper tube. Fe_3O_4 were prepared by HTTD method. The microrobot head was put in the magnetic induction coil with a heat insulator and induction heating system generates magnetic field strength of 250 Oe with 112 kHz. The magnetic properties were investigated by VSM. For active locomotion and targeting of the microrobot, we utilized spiral-type magnetic microrobot mechanism with 3-axis Helmholtz coil system. The robot, which is driven by magnetic torque, is synchronized by the applied rotating magnetic field (40~100 Oe and 1~100 Hz). Figure 1 shows the concept of microrobot for hyperthermia and experimental results. The value of saturation magnetization and self-heating temperature are 4, 12.9 E^{-3}, 67, and 52 emu/g and 58, 60, 70, and 64 ^oC for Fe_3O_4, copper tube, copper tube filled with Fe_3O_4 and permanent magnet attached to this copper tube, respectively. It can be seen that self-heating temperature of the copper tube filled with the MNPs (robot head) is higher than that of pure MNPs. Therefore, the application of a microrobot with heat function can solve the side effect caused by the accumulation of MNPs in the human body.

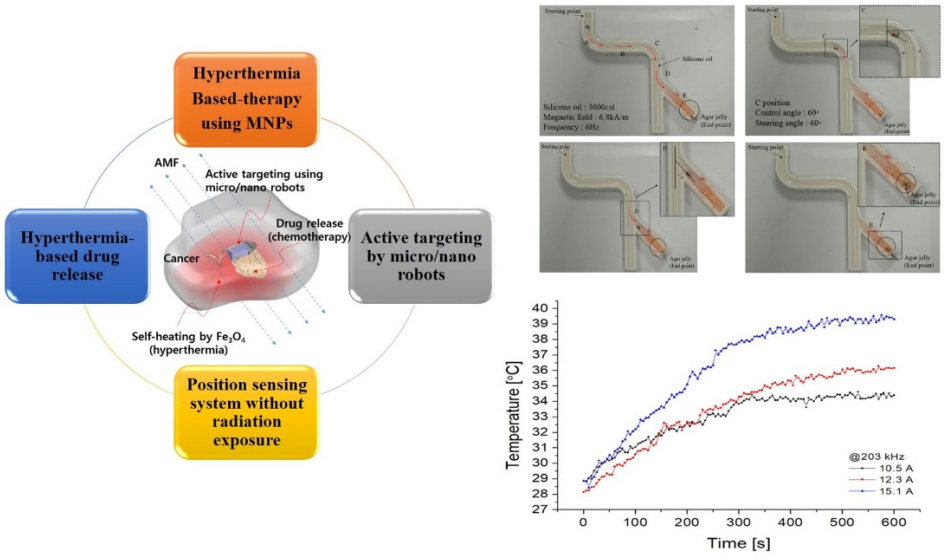


Fig. 1. Concept of targeted hyperthermia: active locomotion with results of hyperthermia

Revealing the Active Sites of Fe—N/C Oxygen Reduction Electrocatalysts by Mössbauer spectroscopy

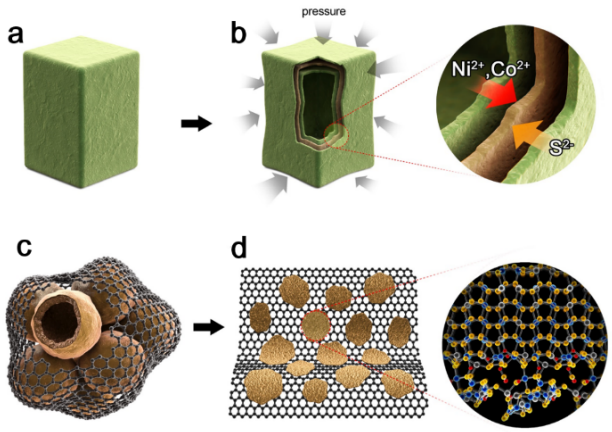
Sang Hoon Joo*
School of Energy and Chemical Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan 44919, Republic of Korea

Iron and nitrogen doped on carbon (Fe–N/C) catalysts have emerged as promising nonprecious metal catalysts (NPMCs) for oxygen reduction reaction (ORR) for fuel cells. In this presentation, we show that Mössbauer spectroscopy, in combined with other spectroscopic and microscopic methods, plays a pivotal role in revealing the nature of active sites in Fe–N/C catalysts. Based on the information on the active sites, we developed a general "silica-protective-layer-assisted" approach that can preferentially generate the catalytically active Fe–N_x sites in Fe–N/C catalysts while suppressing the formation of inactive large Fe-based particles. The preferential formation of Fe–N_x sites in the resulting Fe–N/C catalysts was characterized by Mössbauer spectroscopy, X-ray absorption spectroscopy, X-ray diffraction, and transmission electron microscopy. The developed Fe–N/C catalysts showed very high ORR activity and excellent stability in both alkaline and acidic media.

High-Density Crystalline/Amorphous Phase Boundaries in Electrochemically Activated Nickel-Doped Cobalt Sulfide for Efficient Oxygen Evolution Reaction

Sungwook Mhin*
Korea Institute of Industrial Technology, 156 Gaetbeol-ro 156,
Yeonsu-gu, Incheon 406-840, Republic of Korea
hyeleci@kitech.re.kr

The development of highly efficient, low-cost electrocatalysts for water splitting is essential to achieve sustainable production of hydrogen fuel. It has recently been proposed that the OER activity of transition metal sulfides (TMSs) can be enhanced by forming a thin amorphous layer on a pristine surface. We report here a novel strategy for enhancing OER by developing a nickel-doped cobalt sulfide (CNS) with a high density of crystalline and amorphous phase boundaries. Electrochemical activation (ECA) can partially amorphize hollow CNS nanoparticles derived from surface-selective sulfidation. ECA-treated CNS (ECA-CNS) electrocatalysts, which are comprised of CNS nanodots separated by thin amorphous layers, show high densities of crystalline and amorphous phase boundaries. This catalyst shows superior OER catalytic performance with a current density of 10 mA cm^{-2} at a small overpotential of 290 mV, a low Tafel slope of 46 mV dec^{-1}, a high mass activity of 217 A g^{-1}, a high turnover frequency of 0.21 s^{-1} at an overpotential of 340 mV, and excellent stability in alkaline media.



Schematic illustration of the preparation of (a-c) hollow CNS-rGO nanoparticles in GO solution and (d) morphology change after ECA process

피셔-트롭쉬 합성반응용 나노 결정질 Fe계 촉매 개발: 뫼스바우어 분석을 통한 기술혁신

천동현*
한국에너지기술연구원 청정연료연구실
*cdhsl@kier.re.kr

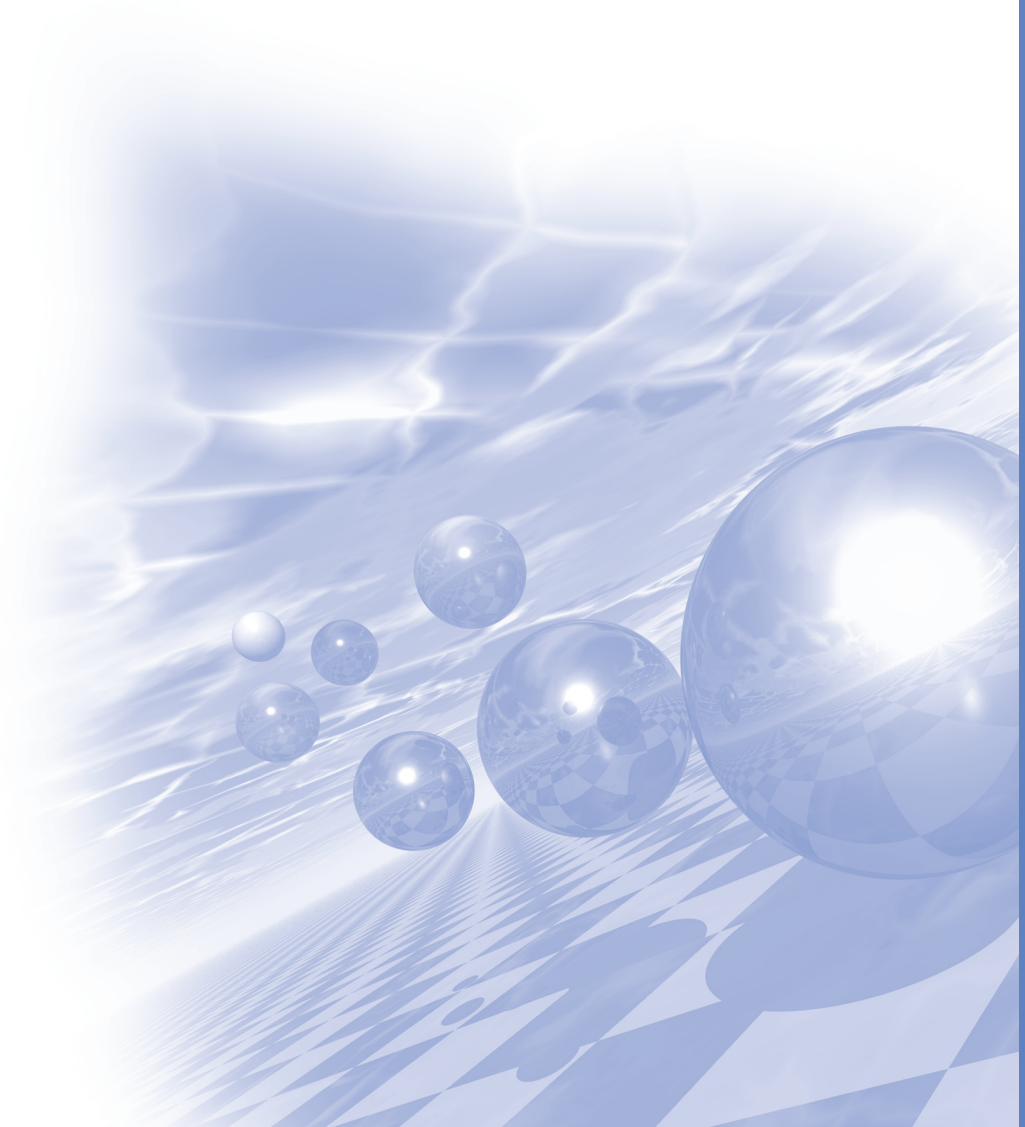
최근 북미지역에서 셰일가스 바람이 불면서 메탄(CH_4), 이산화탄소(CO_2), 일산화탄소(CO) 등의 C_1 가스 활용기술에 대한 관심이 증폭되고 있다. 피셔-트롭쉬 합성반응($2H_2 + CO \rightarrow 1/nC_nH_{2n} + H_2O$)은 합성가스($H_2 + CO$)를 촉매상에서 반응시켜 청정액체연료를 생산할 수 있는 기술로, 메탄의 이산화탄소 개질($CH_4 + CO_2 \rightarrow 2H_2 + 2CO$)과 연계할 경우, 원유의존도 감소 및 온실가스 절감에 동시에 기여할 수 있는 매우 유망한 기술이다. Fe계 촉매는 가격이 저렴하고 낮은 H_2/CO 분율(≤ 1.0)의 합성가스에도 적용할 수 있기 때문에, 메탄의 이산화탄소 개질과 연계된 피셔-트롭쉬 합성반응에 가장 적합한 촉매라 할 수 있다. Fe계 촉매를 피셔-트롭쉬 합성반응에 실제로 적용하기 위해서는 높은 값의 C_{5+} 탄화수소 선택도 및 생산성이 요구되며, 이를 달성하기 위해서는 (1) 촉매 제법, (2) 촉매 활성화 방식, (3) 반응 조건 등의 변수가 반드시 종합적으로 고려되어야 한다. 본 발표에서는 한국에너지기술연구원에서 피셔-트롭쉬 합성반응용 고성능 Fe계 촉매를 개발하기 위하여 수행한 일련의 연구결과를 소개한다. 특히 뫼스바우어 분석을 통한 나노 결정질 Fe계 촉매의 구조분석을 통해 기술혁신을 이루었던 사례를 중점적으로 소개한다.

키워드: C_1 Chemistry, Fischer-Tropsch, Nanocrystalline Catalysts, Mössbauer Spectroscopy

KMS 2018 Spring Conference

Special Session IX

'Bio-Convergence Magnetics'



Current Status on Bio-Spintronics Researches - From molecular diagnosis to Tissue engineering -

Cheol Gi Kim*
Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu, 42988, Republic of Korea
*cgkim@dgist.ac.kr

The integration of a remotely controllable particles/cells manipulation in a lab on a chip system, including diagnosis sensors, promises to play a key role towards the advancement in gene sequencing, single cell analysis and cell separation technology. Particularly, most existing single cell platforms are unable to achieve large scale operation with flexibility on cells and digital manipulation, and thus there is urgent need of innovative techniques to accomplish the automation of single cells. Recently, the flexibility of magnetic shuttling technology using nano/micro scale magnets for the manipulation of particles has gained significant advances and has been used for a wide variety of single cells manipulation tasks. Here, we have developed a class of integrated magnetic track circuits designed by conventional lift-off technology for executing sequential and parallel, timed operations on an ensemble of single particles and cells. When the magnetic tracks are combined into arrays and driven by rotating magnetic field, the single cells/particles are precisely control for multiplexed analysis [1]. The concentric cells/particles transport to one point and then transported to apartments array for the single cell analysis were performed by the assembly of this magnetic track into a novel architecture, resembled with spider web network consisted of several radii and spirals. Furthermore, a planar Hall resistance sensor was integrated at the center of the web networks, and the manipulation and detection are achieved *via* superparamagnetic particles with dual functions as a biomolecule carrier for transportation and labels for monitoring [2]. This novel platform could possibly open a new biological assay system for both future diagnostic devices that overcomes diffusive bioanalytes transportation issues facing existing nano/micro-biosensors, and cells-on-chip which allows the heterogeneity analysis in individual cell levels. Here, I will also review the application of Spintronics devices to the bio-chemical and bio-physical analysis

References

[1] B. Lim, V. Reddy, X. H. Hu, K. W. Kim, M. Jadhav, R. Abedini-Nassab, Y. W. Noh, Y. T. Lim, B. B. Yellen, C. G. Kim, *Nature Communications*, 5, 1(2014)

[2] B. Lim, S. R. Torati, K. W. Kim, X. Hu, V. Reddy, C. Kim, *NPG Asia Materials* (2017) doi:10.1038/am.2017.37

Semiconductor valley magnetism and its control and application

J. D. Lee*
Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu, 42988, Korea
E-mail: jdlee@dgist.ac.kr

Being analogous to the spin valve of spintronics, the semiconductor nanoarchitecture playing a role of the valley valve is firstly proposed from the bilayer MoS_2/WS_2 heterostructure, which manipulates the valley spin magnetism and its related transport. The proposed valley valve controls the nonlocal current driven by the inverse valley Hall effect of the anomalous Lorentz effect and produce three types of segment signals of the nonlocal current at the terminals of the heterostructure, where the nonlocal transports of low resistance (LR), middle resistance (MR), and high resistance (HR) would be realized depending on the field bias. This finding provides a new chance of the highly advanced valleytronics and further the valleytronic devices for the bio-inspired application.

미세유체 시스템을 이용한 이종 순환종양세포의 분리검침
Microfluidic System for Selective Isolation of Heterogenic Circulating Tumor Cells

곽봉섭*
한국기계연구원 대구융합기술연구센터
*bsk@kimm.re.kr

체 내 종양은 끊임 없는 세포 분열을 통하여 크기가 커지며 정상 장기를 파괴한다. 끊임 없는 세포 분열은 반대로 암세포로 공급되는 영양분의 고갈, 노폐물의 제거, 산소와 이산화탄소의 교환도 제한이 되며 이로 인하여 종양을 이루고 있던 암세포는 단일 세포 단위로 떨어져 나와 혈관 내부로 이동하며, 다른 장소로 이동하여 다시 암을 발생시키며 이를 암의 전이라 한다. 암으로 인한 사망의 90%는 암의 전이로 인해 발생한다. 암의 수술적 방법을 통한 제거 후 재발 또는 전이를 측정하기 위해서 혈액 내 극소량 함유되어있는 암세포인 순환종양세포(Circulating tumor cell, CTC)를 검출해야 하지만 1ml의 혈액 내 50억 개의 적혈구, 3억 개의 혈소판, 4백만 개의 백혈구와 함께 1-1,000개의 비율로 포함이 되어 있어 검출이 매우 어렵다. 또한 혈액 내 모든 암세포가 전이에 직접적으로 관여하지 않으며 특성이 변화된 비전이성 암세포가 포함되어 있다. 따라서 나노 자성 입자와 미세유로 기반의 바이오칩을 이용하여 극소량의 혈액 내 순환종양세포를 검침함과 동시에 전이성 유무에 따른 분리 검침에 관한 연구를 수행하였으며 그 결과에 대하여 발표하고자 한다.

키워드: 순환종양세포, 미세유로 기반 바이오칩, 자력 기반 세포 분리

Magnetically actuated microrobots for targeted therapeutics

Jin-young Kim[1,2*], Seungmin Lee[2], Sunkey Lee[1], Sangwon Kim[3] and Hongsoo Choi[1,2†]
[1]DGIST-ETH Microrobotics Research Center, DGIST, Korea
[2]Department of Robotics Engineering, DGIST, Korea
[3]Institute of Robotics and Intelligent Systems, ETH Zurich, Switzerland

Targeted therapies have emerged as a promising new biomedical treatment since they can transport agents such as drug, cells, thermal energy to specific areas in a body and then treat the targeted area for an appropriate length of time [1]. These therapies have many advantages such as reduction of ADR (Adverse drug reaction) and drug dosage over conventional medical treatments (ex. oral or intravenous drug administration). However, they are not yet available for clinical treatments as the targeted drug/cell delivery mechanisms require improvement. For example, it remains difficult to deliver the micro- or nanoparticles used as drug carriers to specific areas of the body since some of the drug carriers administered deviate from the intended route, especially under fluid flow conditions, such as in circulating blood [2]. Therefore, there is a demand for more accurately targeted drug/cell delivery methods. These methods should transport drugs precisely to the targeted areas without losing therapeutic agents before they reach their destination. These challenges have prompted considerable interest in microrobots. Microrobots are micron scale (less than 1 mm) devices that can be precisely and wirelessly controlled by external power sources such as ultrasound and magnetic fields. This means that they can be used to accurately deliver medicine in a minimally invasive way [3]. As they are operated wirelessly, they have a possibility to be navigated around various environments inside the human body, such as the circulatory, urinary, and central nervous systems. External magnetic fields are often used to control the motion of microrobots in three-dimensional (3D) space. In this talk, I will introduce various microrobots for targeted therapy that are actuated by an external magnetic field, including the 3D porous scaffold-type and the capsule-type microrobot for drug/cell delivery, the magnetic drilling actuator for vascular disease, and biodegradable microrobots for drug delivery.

References

[1] Y. Chen, L. Jiang, R. Wang, M. Lu, Q. Zhang, Y. Zhou, Z. Wang, G. Lu, P. Liang, and H. Ran, Injectable Smart Phase-Transformation Implants for Highly Efficient In Vivo Magnetic-Hyperthermia Regression of Tumors, *Adv. Mater.* 26 (2014) 7468-7473

[2] T. M. Allen, and P. R. Cullis, Drug delivery systems: entering the mainstream, *Science* 303 (2004) 1818-1822

[3] V.D. Nguyen, J. Han, Y.J. Choi, S. Cho, S. Zheng, S.K. Ko, J.O. Park, S. Park, Active tumor-therapeutic liposomal bacteriobot combining a drug (paclitaxel)-encapsulated liposome with targeting bacteria (Salmonella Typhimurium), Sensors and Actuators B: Chemical 234 (2016) 217-224

Proteins and Biomagnetics

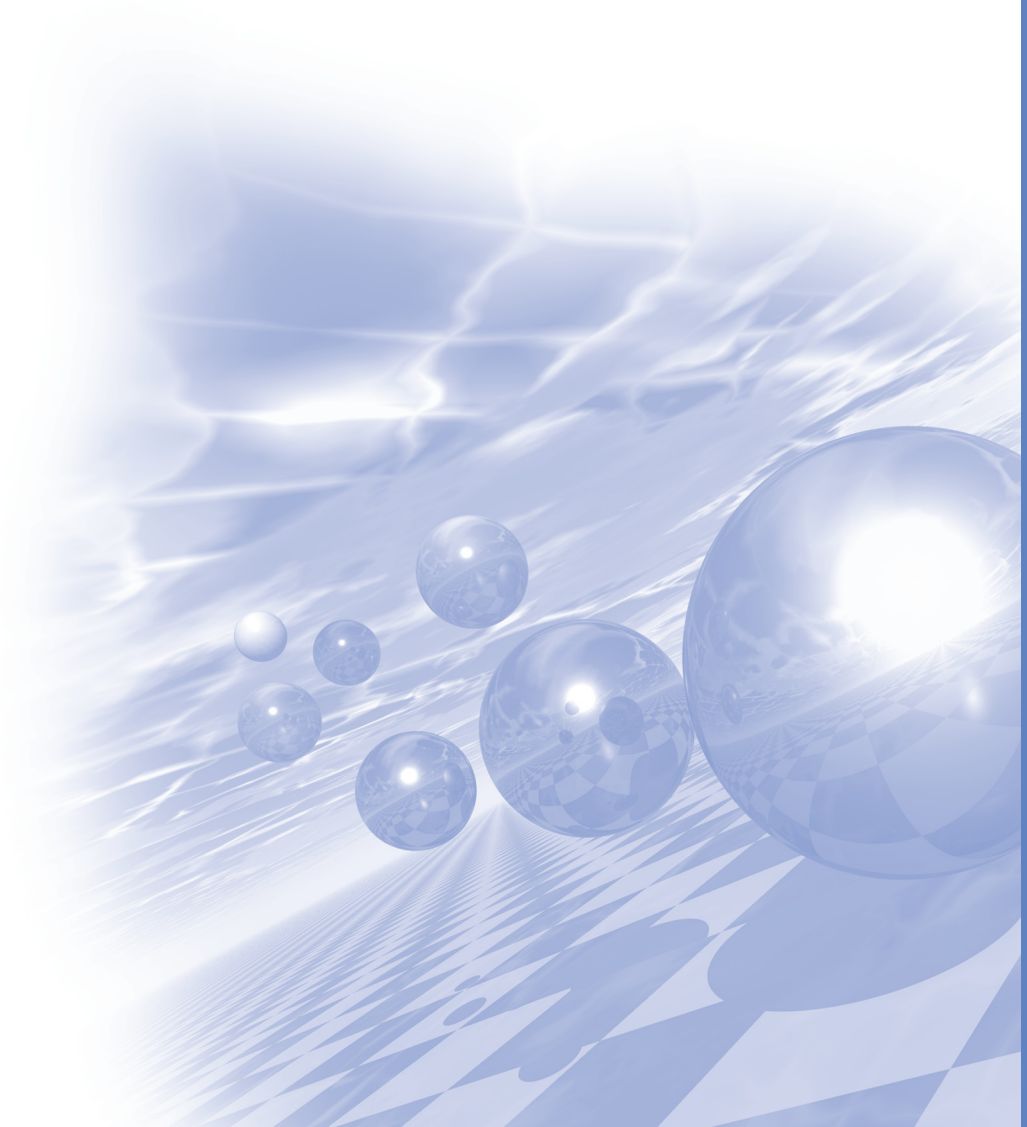
Ogan Gurel*
Distinguished Invited Professor, DGIST

It is well known that proteins exhibit dynamic behavior with their normal modes specifically vibrating at terahertz frequencies. These motions are essential to protein function and because these macromolecules are charged the existence of such vibrations suggest the possibility of specific interaction with electromagnetic radiation in the terahertz band. Time-domain spectroscopic experiments were performed identifying specific absorption of terahertz radiation (~0.8THz and 1.3THz) by met-hemoglobin as well as potential interactions between high frequency and low frequency modes (e.g. Stokes shift). This proof-of-concept result suggests that these protein spectroscopic signatures can serve as the basis of a novel form of molecular medical imaging; likewise terahertz-modulated manipulation of such motions may underlie new forms of therapy. Other collaborative studies now underway, including THz imaging of Alzheimer's tissue, and THz spectroscopy of diabetes-related hemoglobin, and 2D THz spectroscopy as applied to biomolecules, will also be discussed along with implications for biomagnetics in general.

KMS 2018 Spring Conference

Special Session X

'Medical Magnetics'



A Study on the Change of Reference Value of Patient Specific Quality Assurance according to Intensity Modulated Radiotherapy Technique

Jeong Ho Kim[1*], Se Jong Yoo[2], Myeong Cheol Park[3], Seok Hwan Bae[4], Min-Cheol Jeon[5]
[1]Department of Radiation Oncology, Konyang University Hospital
[2]Department of Radiation Technology, Daejeon Health Institute of Technology
[3]Department of Diagnostic Radiology, Konyang University Hospital
[4]Department of Radiological Science, Konyang University
[5]Department of Radiation Technology, Daejeon Health Institute of Technology

Introduction : In the case of the intensity-modulated radiotherapy technique that reflects various factors of change, the patient specific quality assurance is performed before application. However, the evaluation criteria of the patient specific quality assurance according to the types of the intensity modulated radiotherapy technique are all the same. Therefore, we propose the evaluation criterion by comparing the evaluation value of the patient specific quality assurance according to the type of intensity modulated radiotherapy technique.

Materials and method : Three intensity modulated radiotherapy techniques in the Step and Shoot technique, the Sliding Window technique, and the volumetric modulated Arc radiotherapy technique were applied to 16 patients. Then QOC, HI, and CI according to intensity modulated radiotherapy technique were measured and the area gamma, the maximum gamma, the average gamma, the maximum dose difference, and the average dose difference were compared.

Result : For the sliding window technique, QOC was 0.97 ± 0.014, HI was 1.103 ± 0.026, and CI was 0.931 ± 0.027. For the Step and Shoot technique, QOC is 0.965 ± 0.016, HI is 1.112 ± 0.03, and CI is 0.941 ± 0.032. For the VMAT technique, the QOC is 0.973 ± 0.015, the HI is 1.101 ± 0.024, and the CI is 0.944 ± 0.026. In the sliding window technique, the area gamma is 96.03, the maximum gamma is 2.08, the average gamma is 0.21, the maximum dose difference is 0.457, and the average dose difference is 0.062. In the Step and Shoot technique, the area gamma is 97.99, the maximum gamma is 1.09, the average gamma is 0.014, the maximum dose difference is 0.14, and the average dose difference is 0.004. In the VMAT technique, the area gamma is 95.16, the maximum gamma is 2.57, the average gamma is 0.326, the maximum dose difference is 0.633, and the average dose difference is 0.084.

Conclusion : As a result of the evaluation of the patient specific quality assurance according to the intensity modulated radiotherapy technique, the Step and Shoot technique showed the best reproducibility and the VMAT technique showed the greatest difference. Also, each evaluation index should be adjusted based on the average value. However, for clinical application, statistical significance should be increased by increasing the number of samples.

Performance Analysis of Low-level Radiation Shielding Sheet with Nanosized Shielding Fiber

Jae-Hwan Cho[1*], Myung-Sam Kim[2], Jea-Dong Rhim[3†], Man-Seok Han[4], Chang-Gyu Kim[5]
[1]Department of International Radiological Science, Hallym University of Graduate Studies, Seoul 135-841, Korea
[2]MS Medicamp Company, Daegu 702-280, Korea
[3]Department of Radiological Science, Daewon University College, Jecheon 390-702, Korea
[4]Department of Radiological Science, Kangwon National University
[5]Department of Radiological Science, Gimcheon Univertisy

In this study, the authors attempted to produce a medical radiation shielding fiber that can be produced at a nanosize scale and that is, unlike lead, harmless to the human body. The performance of the proposed medical radiation shielding fiber was then evaluated. First, bismuth oxide, an element which, among elements that have a high atomic number and density, is harmless to the human body, was selected as the shielding material. Next, 10 ~ 100 nm sized nanoparticles in powder form were prepared by ball milling the bismuth oxide (Bi_2O_3), the average particle size of which is 1～500 ㎛, for approximately 10 minutes. The manufactured bismuth oxide was formed into a colloidal solution, and the radiation shielding fabric was fabricated by curing after coating the solution on one side or both sides of the fabric. The thicknesses of the shielding sheets prepared with bismuth oxide were 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, and 1.0 mm. An experimental method was used to measure the absorbed dose and irradiation dose by using the lead equivalent test method of X-ray protection goods presented by Korean Industrial Standards; the resultant shielding rate was then calculated. From the results of this study, the X-ray shielding effect of the shielding sheet with 0.1mm thickness was about 55.37% against 50keV X-ray, and the X-ray shielding effect in the case of 1.0mm thickness showed shielding characteristics of about 99.36% against 50keV X-ray. In conclusion, it is considered that nanosized-bismuth radiation shielding fiber developed in this research will contribute to reducing the effects of primary X-ray and secondary X-ray such as when using a scattering beam at a low level exposure.

Keywords: Shielding material, Bismuth oxide, Nanosize, Absorbed dose, Irradiation dose, Shielding rate

Magnetic Field Variation with Activation of Bending Magnet in Linear Accelerator

Jeong-Min Seo[1*], Jeong-Ho Kim[2], Gap-Jung Kim[3]
[1]Dept. of Radiological Science, Daewon University
[2]Dept. of Radiation Oncology, Konyang University Hospital
[3]Dept. of Radiological Science, Songho University

The nuclide transformation could occur by radio-activation whenever the high-energy electromagnetic radiation of the medical linear accelerator is irradiated in high capacity, and the magnetic field strength would be changed due to the nuclide transformation of bending magnet, and this change in the magnetic field strength is shown as the change in flux of the electromagnetic radiation. Therefore, the effect of radio-activation on the change in flux of the electromagnetic radiation according to the electromagnetic radiation dose is to be evaluated.

Subjected to 7 medical linear accelerators planned for disposal, the total dosage, nuclide analysis using the spectrometer of the magnet core, flatness using the water phantom & ion chamber, and the change amount of symmetry were evaluated.

As a result, the relationship of change rate in flux according to the dosage is shown in 4 % error per 1,000 Gy. As a result of applying the 1 % threshold limit by the American Association of Physicists in Medicine, TG-142 Report, the tolerated dose is 250Gy.

Therefore, on the use of medical linear accelerator in the future, it is recommended to perform the flux evaluation according to the magnet core radio-activation for each 250Gy along with the existing periodical quality control.

Effects of Task-Oriented Activity after Low Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Cerebral Motor Evoked Potential Emplitude and Latency in Stroke Patients

Sung-Ryoung Ma[1*], Man-Seok Han[2], and Bo-Kyoung Song[3]
[1]Department of Occupational Therapy, Shinsung University
[2]Department of Radiological Science, Kangwon National University
[3]Department of Occupational Therapy, Kangwon National University

1. Introduction

This study aimed to investigate the effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation applied over the cerebral motor cortex, and the subsequent task-oriented activities performed under the residual effect, during the rehabilitation of stroke patients by measuring changes in MEPs amplitude, MEPs latency of the affected cerebral motor cortex.

2. Methods and Results

this study conducted an intervention program on two groups (experimental group-TIL, control groups-GRT, each consisting of 10 patients) of chronic stroke patients. The program which was conducted three times a week for 6 weeks—evaluated the MEP amplitudes, MEP latency before and after the experiment. In an inter-group test of MEP amplitude and MEP latency, all groups showed an increase between pre- and post-test evaluations. In an intergroup examination on MEP amplitude and MEP latency, a significant difference was observed between the TIL and GRT groups.

3. Conclusions

Noninvasive brain stimulation using repetitive transcranial magnetic stimulation is a new concept of reurorehabilitation that is different from existing rehabilitation, which is based on improvement of brain function through peripheral control. This study reports that an intervention combining low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation and task-oriented activities demonstrated significantly greater improvements in MEP amplitude, MEP latency in the affected cerebral cortex as compared with conventional rehabilitation training in stroke patients when performed three times a week for six weeks. Therefore, based on the present study, transcranial magnetic stimulation is a new neurorehabilitation and evaluation method that can be used safely and effectively for stroke patients, and it seems to be more likely to develop in the future.

4. References

[1] Y. H. Kim, Journal of the Korean Medical Association, 57, 1. 30-37 (2014).
[2] C. G. Mansur, F. Fregni, P. S. Boggio, M. Riberto, J. Gallucci-Neto, & C. M. Santos, A. Pascual-Leone, Neurology, 64, 10, 1802-1804 (2005).

[3] F. Fregni, P. S. Boggio, A. C. Valle, R. R. Rocha, J. Duarte, M. J. Ferreira, & S. D. Freedman, A sham-controlled trial of a 5-day course of repetitive transcranial magnetic stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients. Stroke, 37, 8, 2115-2122 (2006).

[4] Y. S. Bang, J Korean Acad Occup Ther, 15, 49-61 (2007).

[5] J. A. Williams, M. Imamura & F. Fregni, Journal of rehabilitation medicine, 41(5), 305-311 (2009).

[6] D. A. Nowak, C. Grefkes, M. Ameli & G. R. Fink, Neurorehabilitation and neural repair, 23, 7, 641-656 (2009).

[7] M. Corti, & C. Patten, W. Triggs, American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 91, 3, 254-270 (2012).

[8] M. Rastgoo, S. Naghdi, N. Nakhostin Ansari, G. Olyaei, S. Jalaei, B. Forogh & H. Najari, Disability and rehabilitation, 38, 19, 1918-1926 (2016).

[9] M. Corti & C. Patten, W. Triggs, American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 91, 3, 254-270 (2012).

[10] G. Thut & A. Pascual-Leone, Brain topography, 22, 4, 219 (2010).

[11] S. Rossi, M. Hallett & P. M. Rossini, A. Pascual-Leone, Safety of TMS Consensus Group. Clinical neurophysiology, 120, 12, 2008-2039 (2009).

[12] D. A. Nowak, C. Grefkes, M. Dafotakis, S. Eickhoff, J. Küst, H. Karbe & G. R. Fink, Archives of neurology, 65, 6, 741-747 (2008).

동작관찰 신체훈련이 관념운동 실행증 환자의 대뇌피질 활성화와 손 기능에 미치는 영향

양병일[1*], 한만석[2], 송보경[3]
[1]상지영서대학 작업치료과 /수원요양병원 성인재활센터
[2]강원대학교 보건과학대학 방사선학과
[3]강원대학교 보건과학대학 작업치료학과

1. 서론

동작관찰 신체훈련은 실제 환경에서 일어나는 활동을 관찰함으로써 뇌졸중 환자의 신체기능 향상을 위한 새로운 치료방법으로 제시되고 있으며 이는 거울 메커니즘에 기반하여 뇌졸중 환자의 동작관찰 신체훈련이 관념운동 실행증 환자의 대뇌피질 활성화와 손 기능에 미치는 영향을 알아보고자 하였다

2. 실험방법과 결과

본 연구는 개별 사례 연구로 A-B-A 설계를 기반으로 연구하였으며 기초선(A), 중재기간(B), 보유기간(C)으로 세분화하였다. 연구는 관념운동 실행증을 동반한 2명의 뇌졸중 환자를 대상으로 하였다. 경두개자기자극을 이용하여 대뇌피질의 활성도를 측정하였고 손 기능의 향상을 알아보고자 도수기능검사를 실시하였다. 동작관찰 신체훈련은 칫솔질하기, 병뚜껑 열기, 물 마시기, 책장 넘기기, 전화 걸기 등의 5가지 동작을 관찰하고 과제훈련을 시행한 후 총 12회의 피질 활성도를 평가하여 훈련 전과 후의 차이를 확인하였다. 연구결과 2명의 대상자 모두 기초선보다 중재기간 동안 운동유발전위의 진폭값이 증가하였고 잠복기는 감소하였다. 보유기간에서는 이러한 대뇌피질 활성도가 유지되는 것을 확인하였다. 그리고 대상자 모두 도수기능검사 점수가 중재 전보다 중재후 그리고 보유기간에 증가하였다.

3. 고찰

현재 뇌졸중 환자에게 제안되고 있는 운동학습 중 새로운 전략으로 동작관찰 신체훈련을 제시하고 있다. 본 연구는 이를 기반으로 운동장애를 갖는 관념운동 실행증 환자에게 새로운 전략적인 치료방법인 동작관찰 신체훈련을 적용하여 임상에 이용될 수 있는지를 확인하고 운동유발전위 검사로 제시된 경두개자기자극을 통하여 객관적이고 효율적인 지표를 제시하고자 하였다. 운동유발전위의 진폭의 증가와 잠복기 시간 단축은 겉질척수로 흥분성을 증가시킨 것으로 반복적이고 집중적인 동작관찰 신체훈련을 뇌졸중 환자의 운동학습에 긍정적인 효과가 줄 수 있다는 것을 입증할 수 있다. 그리고 최근 연구에서 관념운동 실행증을 동반한 뇌졸중 환자의 병변 부위를 분석한 결과 상당 부분이 뻗기와 잡기 기능과 관련되어 있는 영역들로 동작관찰 시 활성화되는 영역과 연관 되어있다는 것을 확인하였고 이를 기반으로 손 기능의 회복의 객관적으로 근거를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 관념운동 실행증이 있는 뇌졸중 환자에게 있어 동작관찰 신체훈련이 상지기능이 향상되고 대뇌피질 활성도가 증가함을 확인하였다. 향후 연구에서는 동작관찰 신체훈련의 장점을 구체적으로 확인하는데 있어 운동유발전위 검사로 활용되는 경두개자기자극의 특성을 보다 객관적으로 확인하며 뇌활성도의 영향성에 대한 객관적 자료로서의 가치를 확인하도록 한다.

5. 참고문헌

[1] 김종만, 양병일, 이문규. 한국전문물리치료학회지, 17, 2, 17-24 (2010)

[2] 이문규, 김종만. 한국신경재활학회지, 1, 1, 51-62 (2011)

[3] G. Bellelli, G. Buccino, B. Bernardini, A. Padovani, & M. Trabucchi, Archives of physical medicine and rehabilitation, 91, 10, 1489-1494 2010.

[4] G. Buccino, D. Arisi, P. Gough, D. Aprile, C. Ferri, L. Serotti, & E. Fazzi, Developmental Medicine & Child Neurology, 54, 9, 822-828 2012.

[5] B. H. Dobkin, Nature Clinical Practice Neurology, 4, 2, 76-85 2008.

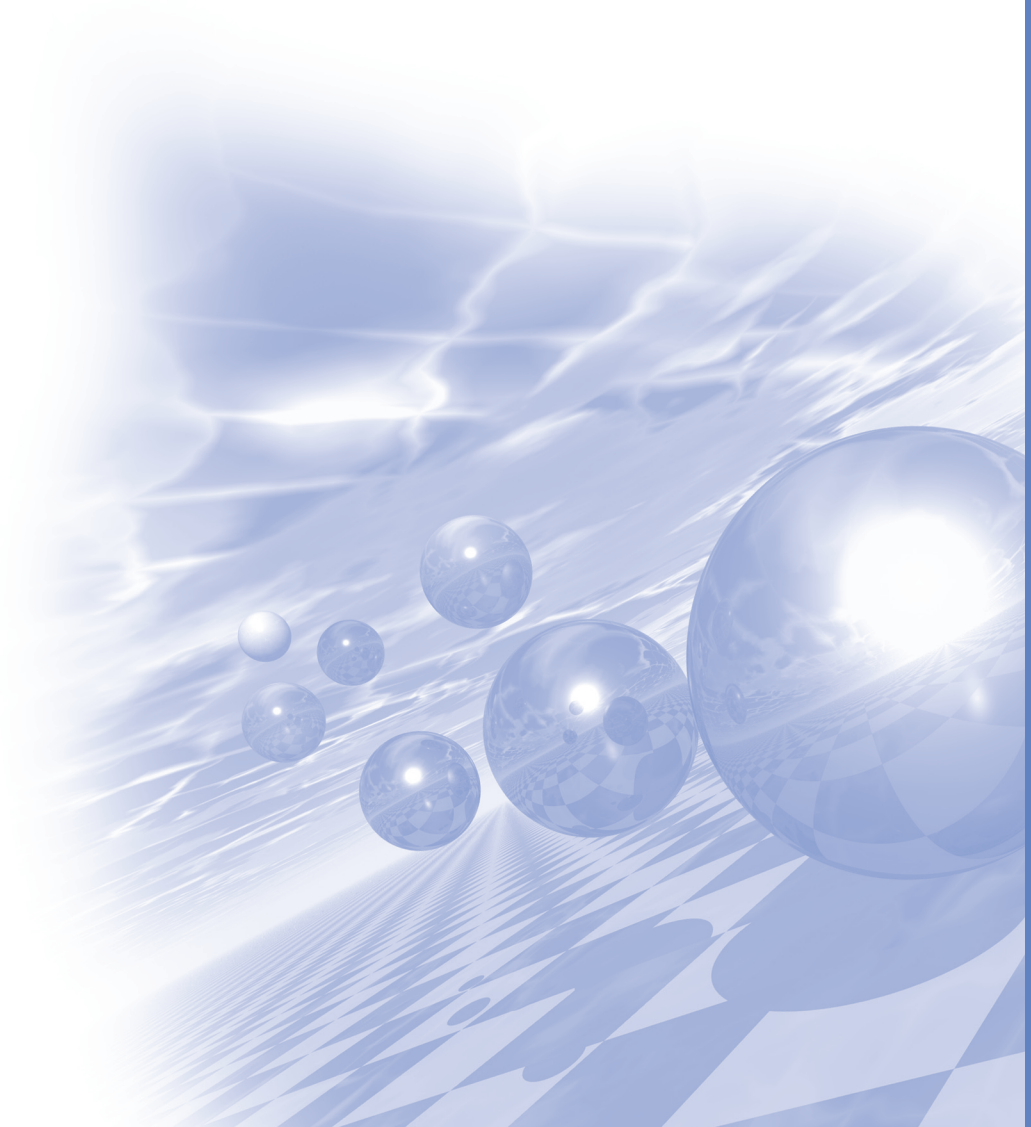
[6] V. Pomeroy, S. M. Aglioti, V. W. Mark, D. McFarland, C. Stinear, S. L. Wolf, & S. M. Fitzpatrick, Neurorehabilitation and Neural Repair, 25, 5, 33-43 2011.

[7] T. Vanbellingen, B. Kersten, A. Van de Winckel, M. Bellion, F. Baronti, R. Müri, & S. Bohlhalter, Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 2010.

[8] L. A. Wheaton, & M. Hallett, Journal of The Neurological Sciences, 260, 1, 1-10 2007.

[9] C. J. Winstein, & S. L. Wolf, Stroke Recovery and Rehabilitation, 267-290. 2008

Poster Session



Spin Seebeck effect in a bulk-$Y_3Fe_5O_{12}$ fabricated by a sol-gel synthesis

Min-Sun Jang*, Ki-Suk Lee
School of Materials Science and Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan 44919, Republic of Korea

1. Introduction

Spin-caloritronics, based on the spin Seebeck effect (SSE) has been considered as a prominent candidate for future sustainable green energy technologies [1]. Most of experiments has been performed on a single crystal $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) fabricated by a pulsed laser deposition (PLD) method [2,3]. This is because a single crystal YIG has been believed to be able to generate sufficiently high SSE signal [4]. However, this method is known to be very difficult to use in mass-production. In contrast, the sol-gel synthesis can provide a low-cost and mass-production method. Here, we fabricated a bulk-YIG by adopting a sol-gel synthesis and a mechanical pressing process with heat-treatments [5]. We measured thermoelectric (TE) voltage of a bulk-YIG through the inverse spin-Hall effect in Pt electrodes on a bulk-YIG surface. It is found that TE performance of a bulk-YIG is almost closed to that of a single crystal YIG by PLD method.

2. Experiments

YIG precursor was prepared by mixing yttrium nitrate ($Y(NO_3)_3.6H_2O$, 99.99%) and iron nitrate ($Fe(NO_3)_3.9H_2O$, 99.99%) powders in a stoichiometric ratio of 3: 5 and adding citric acid ($C_6H_8O_7.H_2O$). The precursor mixture was dissolved in distilled water (100 mL) by stirring (300 rpm) at 27 °C for 18 hours. The solution of the citric acid was maintained at 1pH. The resulting solution (sol) was then stirred for 24 hours at 80 °C to obtain a homogenous gel. Next, a form a dry material (gel) was obtained from the sol by drying the solution, which was decomposed at 100 °C for 5 hours. The YIG powder was obtained by grinding the completely dried gel. The calcination process was carried out at 850 °C in the air at the ratio of 7.0 °C/min to get rid of residual impurities and the crystallization. After, we did the pressing process to produce the substrate-free as well as the bulk- YIG by pushing 15 MPa for 5 minutes and observed the influence of external mechanics for magnetic properties. Lastly, sintering has been done at 1400 °C at the ratio of 5.0 °C/min. To measure the longitudinal-SSE (LSSE), a Pt electrode was fabricated on the bulk-YIG sample. By applying 400 Oe magnetic field parallel to the disk plane (+y direction), magnetization in bulk YIG aligned along +y direction. To form temperature difference along -z direction, bottom surface was heated, and top surface was air cooled.

3. Results & Discussion

From this process, the saturated magnetization (M_s) value of a bulk-YIG was obtained upto 26.5 emu/g, which is 70% of the ideal M_s of a YIG. From the previous studies [6], it is well known that heat treatment from the sol-gel method can affect the crystalline structure and enhanced magnetic properties of YIG. In this work, however, we found that the pressing process can play a crucial role for the high performance M_s of YIG. Also, it is evident that a significant TE voltage is generated in a Pt/bulk-YIG structure. These results reveal clearly

that the SSE signal can generated well in a polycrystalline bulk-YIG structure.

4. References

[1] K. Uchida et al., Nat. Mat. **9**, 894 (2010).

[2] N. B. Ibrahim, et al., J. Magn. Magn. Mater. **220**, 183 (2000).

[3] A. Sposito, et al., Opt. Express **3**, 624 (2013).

[4] Siegel, G., et al., Sci. Rep. **4**, 4429 (2014).

[5] M.-S. Jang, et al., J. Alloys Compd. **711**, 693 (2017).

[6] R. Kuchi et al. Nanosci. Nanotechnol. Lett. **7**, 738 (2015).

저 강도 자기장을 이용한 광자선의 선량 상승 영역 변조를 위한 빔 스포일러 적용의 예비연구

안우상[1*], 곽정원[2], 신성수[1], 정인혜[1], 최원식[1]
[1]울산의대 강릉아산병원 방사선종양학과
[2]울산의대 서울아산병원 방사선종양학과

1. 서론

성문암 방사선치료의 경우와 같이 표적체적(target volume)이 피부와 가까이 위치해 있어 표체면에 충분한 선량을 전달하기 위해 전통적으로 저 에너지 광자선(4 MV 또는 Co-60)을 이용하거나 6 MV 이상의 광자선의 경우에는 조직등가물질인 bolus를 선택적으로 사용하여 표체면의 선량을 증가시킨다. 본 연구의 목적은 저 강도 자기장을 이용하여 6 MV 광자선의 선량 상승 영역(build-up region)의 선량 상승을 위한 빔 스포일러의 효과를 실험적으로 평가하고자 하였다.

2. 실험방법

5×5×5 cm^3 크기의 두 개의 네오디뮴 영구자석을 양쪽으로 고정하면서 거리를 조절할 수 있는 고정용 장치를 자체 제작하였다. 선원표면간거리(source—to-surface distance, SSD)는 100 cm에서 조사야는 5×5 cm^2으로 하였고 효과적인 이차 전자 생성을 위하여 물등가고체팬텀(solid water phantom)을 광자선 선원과 영구자석 사이에 위치시켰다. 0.5 T 자지장을 광자선의 수직방향으로 인가한 후, 영구자석 사이의 거리(magnet-to-magnet distance, MMD), 영구자석과 물팬텀 사이의 거리(magnet-to-surface distance, MSD), 빔 스포일러와 자석 사이의 거리(beam spoiler-to-magnet distance, BMD)에 따른 선량 상승 영역을 유효부피가 작은 CC01 (IBA Dosimetry, Schwarzenbruck, Germany) 이온전리함을 사용하여 측정하였다. 선형가속기는 Varian 사의 TrueBeam 장비를 이용하여 4 MV와 6 MV 광자선을 실험에 사용하였다. 광자선의 선량 상승 영역을 정량적으로 평가하기 위해 심부선량백분율의 D_0(%), D_{2mm}(%), D_{5mm}(%), D_{10mm}(%)를 비교 및 분석하였다.

3. 결과

자기장을 적용하지 않은 선량상승영역은 D_0(%), D_{2mm}(%), D_{5mm}(%), D_{10mm}(%)는 4 MV에서 53.0%, 69.7%, 91.1%, 100%이었고, 6 MV에서 44.7%, 61.4%, 84.5%, 98.1% 이었다. 자기장을 인가한 경우에서 빔 스포일러의 사용이 선량 상승 영역의 선량 상승을 확인하였다. 빔 스포일러와 자석 사이의 거리가 멀수록 6 MV 광자선의 선량 상승 효과를 보였다. 특히 MMD와 MSD 거리가 증가할수록 높은 선량 상승을 보였다.

4. 결론

0.5T 자기장 내에서 6 MV 광자선의 선량 상승 영역을 변조할 때, 기존의 광자선의 선량 상승 영역보다 높은 선량 상승을 위한 빔 스포일러 적용을 실험적으로 평가하였다. 4 MV 광자선 보다 표면선량을 약 13% 감소 효과를 보이면서 6 MV 보다 약 2% 이상의 선량 상승 효과를 보였다. 이는 기존의 6 MV 광자선와 비교하여 표체면에 좀 더 충분한 선량을 제공하면서 유사한 피부 선량을 보임을 확인함으로써 임상 적용 가능성을 기대할 수 있을 것이다.

Magnetic separation assisted high-throughput differential identification of abnormal fusion genes in prostate cancer patient urine

Hyojin Lee[1*], Dongjin Lee[1,2], and Kwan Hyi Lee[1,2†]
[1]Center for Biomaterials, Biomedical Research Institute,
Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul 02792, Korea
[2]Division of Bio-Medical Science &Technology, KIST School,
Korea University of Science and Technology (UST), Seoul 02792, Korea
[†]kwanhyi@kist.re.kr

We introduce how the TMPRSS2-ERG fusion genes found in urine samples can be used as a biomarker to diagnose prostate cancer in accordance with widely used prostate serum antigen, PSA. Bio-barcode assay detected three types of TMPRSS2-ERG fusion genes that are expressed frequently in urine of prostate cancer patients at an extremely low level. In the bio-barcode system, micro magnetic particle can isolate target fusion genes specifically through hybridization with complementary sequence. Therefore, we detected target genes quickly without any sample preparation steps.

In our study, we detected multiple target sequences to verify the diversity of TMPRSS2-ERG fusion genes between the patients. We demonstrated the bio-barcode assay that elucidated the existence of the TMPRSS2-ERG fusion gene up to a 100 aM (10 zmole) concentration. Notably, the bio-barcode assay also could differentiate prostate cancer patients with different types of fusion gene, while traditional PSA assay did not. This opens up a possibility of classifying cancer patients by detecting different types of fusion genes. Another ability of the bio-barcode assay is that it can identify patient who was treated with hormones therapy which could decrease the PSA concentration almost to zero level in urine of patient. These findings offer a new patient-friendly monitoring method that could add accuracy to the conventional method for prostate cancer patients by detecting multiples fusion genes in their urine with highly sensitive bio-barcode assay.[1]

Reference

[1] Hyojin Lee, Dongjin Lee, Jea Ho Park, Sang Hoon Song, In Gab Jeong, Choung-Soo Kim, Peter C. Searson, Kwan Hyi Lee, Biomaterials, 135, 23-29

Two-dimensional antiferromagnon character in S = 1 one-dimensional chain $NiTe_2O_5$

Jun Han Lee[1*], Marie Kratochvílová[3,4], Zahra Yamani[5], J. S. Kim[6], Dae Hwan Park[1], Hong Eun Choi[1], G. R. Stewart[6], Je-Geun Park[3,4], Yoon Seok Oh[1,2]

[1]School of Natural Science, UNIST, Ulsan, Korea
[2]Department of Physics, UNIST, Ulsan, Korea
[3]Center for Correlated Electron Systems, IBS, Seoul, Korea
[4]Dept. of Phys. & Astro., Seoul National University, Seoul, Korea
[5]Canadian Neutron Beam Centre, Chalk River, ON, Canada
[6]Dept. of Physics, University of Florida, FL, USA

Since Haldane conjectured that ground state of one-dimensional Heisenberg antiferromagnet has a finite spin excitation gap for integer spins, while gapless excitations for half-odd integer spins, it has inspired lots of theoretical and experimental studies on low-dimensional quantum magnets. This integer spin chain, called Haldane chain, generally has antiferromagnetic coupling for the intrachain exchange interaction. Recently, a new Haldane chain compound $NiTe_2O_5$ has been discovered, in which antiferromagnetic order is accompanied by antiferromagnetic interchain coupling between one-dimensional ferromagnetic chains. In the new compounds, magnetic and thermal properties have been intensively studied. Interestingly, it has been found that the one-dimensional spin chain $NiTe_2O_5$ has two-dimensional antiferromagnon character. In this presentation, we present our comprehensive experimental studies on $NiTe_2O_5$ and discuss about the possible two-dimensional antiferromagnon excitation.

Correlation between Magnetic Properties and Depinning Field in Field-Driven Domain Wall Dynamics in GdFeCo Ferrimagnets

Tomoe Nishimura[1], Duck-Ho Kim[1*], Yuushou Hirata[1], Takaya Okuno[1], Yasuhiro Futakawa[2], Hiroki Yoshikawa[2], Arata Tsukamoto[2], Yoichi Shiota[1], Takahiro Moriyama[1], and Teruo Ono[1,3]

[1]Institute for Chemical Research, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

[2]College of Science and Technology, Nihon University, Funabashi, Chiba 274-8501, Japan

[3]Center for Spintronics Research Network (CSRN), Graduate School of by Engineering Science, Osaka University, Osaka 560-8531, Japan

The dynamics of the domain walls (DWs) in magnetic materials has been extensively explored for understanding the physics [1] as well as the potential applications in spintronic devices [2, 3]. Here, we report that the depinning magnetic field strongly depends on the magnetic properties. For this study, Si substrate/100-nm SiN/30-nm GdFeCo/5-nm SiN films with perpendicular magnetic anisotropy were prepared. The DW velocity v was measured as a function of an applied magnetic field $\mu_0 H$ at different temperatures T by use of a real-time DW detection technique [4]. As shown in Fig. 1(a), we find that the depinning field $\mu_0 H_{dep}$ monotonically decreases as T increases. Furthermore, we find that $\mu_0 H_{dep}$ is proportional to $\sqrt{\mu_0 H_K / M_s}$ as shown in Fig. 1(b), where M_S is the saturation magnetization and $\mu_0 H_K$ is the magnetic anisotropy field. This correlation between $\mu_0 H_{dep}$ and the magnetic properties is understood in terms of the creep scaling law. Details will be discussed at the presentation.

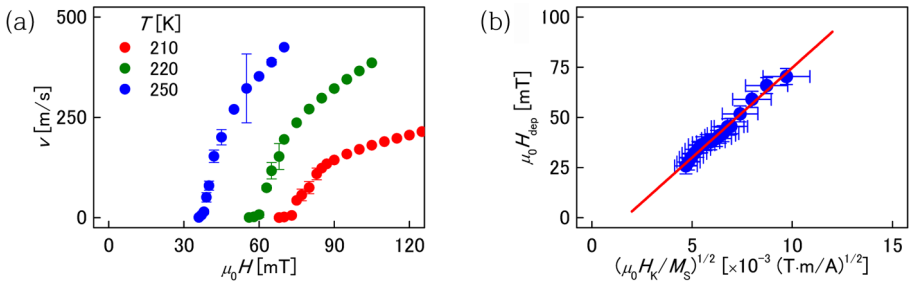


Fig. 1. (a) Magnetic field $\mu_0 H$ dependence of the DW velocity v at different temperatures T. (b) The depinning field $\mu_0 H_{dep}$ as a function of $\sqrt{\mu_0 H_K / M_s}$.

References

[1] P. J. Metaxas *et al.*, Phys. Rev. Lett. **99**, 217208 (2007).

[2] S. S. P. Parkin *et al.*, Science **320**, 190 (2008).

[3] J. Sampaio *et al.*, Nat. Nanotechnol. **8**, 839 (2013).

[4] Y. Yoshimura *et al.*, Nat. Phys. **12**, 157 (2016).

Correlation between Compensation Temperatures of Magnetization and Angular Momentum in GdFeCo Ferrimagnets

Duck-Ho Kim[1*], Yuushou Hirata[1], Takaya Okuno[1], Tomoe Nishimura[1], Dae-Yun Kim[2], Yasuhiro Futakawa[3], Hiroki Yoshikawa[3], Arata Tsukamoto[3], Kab-Jin Kim[4], Sug-Bong Choe[2], and Teruo Ono[1,5]

[1]*Institute for Chemical Research, Kyoto University, Uji, Kyoto 611-0011, Japan*
[2]*Department of Physics and Institute of Applied Physics, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea*
[3]*College of Science and Technology, Nihon University, Funabashi, Chiba 274-8501, Japan*
[4]*Department of Physics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, Republic of Korea*
[5]*Center for Spintronics Research Network, Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Machikaneyama 1-3, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan*

Recently, magnetic field-controlled antiferromagnetic spin dynamics has been achieved using ferrimagnets [1]. This observation reveals that ferrimagnets exhibit the antiferromagnetic dynamics because of the zero net angular momentum at the compensation temperature of the angular momentum. Although remarkable efforts have been made theoretically and experimentally [1, 2, 3] in understanding the role of angular momentum compensation in DW dynamics, it is difficult to determine the angular momentum compensation temperature because of the methodological complexities. Here, we propose a way to estimate the angular momentum compensation temperature of ferrimagnets. We find a linear relation between the compensation temperatures of the magnetization and angular momentum in GdFeCo ferrimagnetic materials, which is proved by theoretically as well as experimentally. The linearity comes from the power-law criticality and is governed by the Curie temperature and the Landé g factors of the elements composing the ferrimagnets. Therefore, measuring the magnetization compensation temperature and the Curie temperature, which are easily assessable experimentally, enables to estimate the angular momentum compensation temperature of ferrimagnets. Our study provides efficient avenues into an exciting world of ferrimagnetic spintronics.

References

[1] K.-J. Kim *et al*., Nat. Mater. doi:10.1038/nmat4990 (2017).
[2] C. D. Stanciu *et al*., Phys. Rev. B 73, 220402(R) (2006).
[3] C. Kaiser, A. F. Panchula, and S. S. P. Parkin, Phys. Rev. Lett. 95, 047202 (2005).

The symmetry breaking during a transformation from a vortex core to an asymmetric Bloch wall

Hee-Sung Han[1*], Sooseok Lee[1], Min-Seung Jung[2], Namkyu Kim[1], Young-Sang Yu[4], Mi-Young Im[2,4], Jung-Il Hong[4], Ki-Suk Lee[1]

[1]School of Materials Science and Engineering, UNIST, Ulsan, Korea
[2]Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu, Korea
[3]Advanced Light Source, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA
[4]Center for X-ray Optics, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA

1. Introduction

A competition between dipole-dipole interaction and exchange interaction the competition stabilize a Landau domain structure (a magnetic vortex structure) in a square (circular) sub-micron scaled ferromagnetic disk [1]. These magnetic configurations have been studied in a two-dimensional structure. However, as increasing the thickness of the disk, it should be considered as a three-dimensional structure due to the non-homogeneous magnetization along thickness. In this work, we show the deformation of magnetic vortex core under in-plane magnetic field in a ferromagnetic disk, which is originated from the formation of asymmetric Bloch wall with Néel caps [2, 3]. Furthermore, we report the symmetry breaking in the formation of the asymmetric Bloch wall.

2. Experiment & micromagnetic simulation

The sample was prepared by electron beam lithography and lift-off patterning technique on a silicon nitride membrane substrate. A 100 nm thick Permalloy ($Ni_{80}Fe_{20}$) layer was deposited by DC-sputtering. To observe the domain structure, we utilize a magnetic transmission soft X-ray microscopy (MTXM). The magnetic imaging in Permalloy (Py) disk was carried out at the Fe L_3 X-ray absorption edge at 707 eV. To understand the experimental results, the micromagnetic simulation was performed for the field-driven vortex core motion in a 100 nm-thick Py square disk of a thickness L = 100nm. For the typical material parameters for Py, we used the saturation magnetization M_s = 800 kA/m, the exchange stiffness A_{ex} = 13 pJ/m, and a zero magnetocrystalline anisotropy constant.

3. Results & Discussion

As shown in Fig. 1(a), the vortex core on the top (bottom) surface is abruptly shifted along -x (+x) direction when it is shifted along +*y* direction by applying magnetic field, *i.e., the asymmetric Bloch wall is formed between two shifted vortex cores.* Interestingly, the shifted direction of vortex core is determined by the direction of in-plane magnetic field direction as seen in Fig. 1(b). we found that this symmetry breaking is related to the configuration of an asymmetric Bloch wall. Our work help to design the magnetic vortex-based spintronic device.

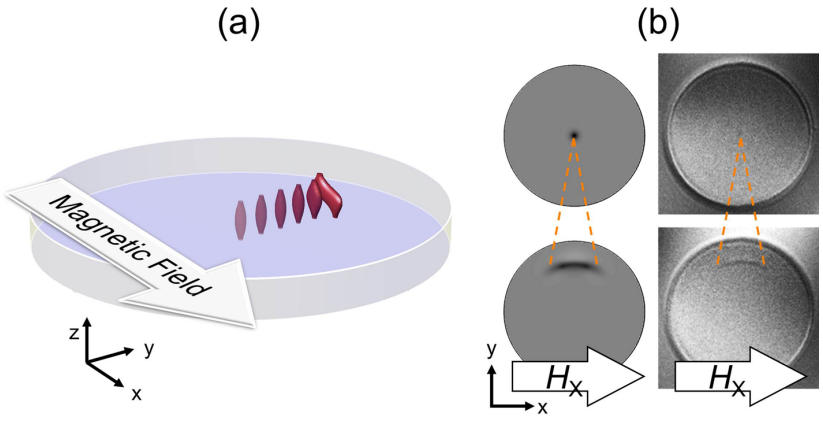


Fig. 1. (a) The simulated images for the formation process of the asymmetrci Bloch wall. The red surface is the area where $M_z/M_s > 0.8$, *i.e., vortex core.* (b) The asymmetric Bloch wall observed by the micromagnetic simulation (left column) and MTXM (right column).

4. References

[1] A. Hubert and R, Schäfer. Magnetic Domains. (Springer, Berlin, 1999).

[2] F. Cheynis et al., Phys. Rev. Lett. 102, 107201 (2009)

[3] A. Masseboeuf et al., Phys. Rev. Lett. 104, 127204 (2010)

Non-Parabolic Confining Potential Model of Magnetic Skyrmion

Dae-Han Jung*, Hee-Sung Han, Namkyu Kim, and Ki-Suk Lee†
School of Mechanical and Advanced Materials Engineering,
Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan, Republic of Korea

1. Introduction

Magnetic skyrmions can be ideally incorporated into the future spintronic devices, owing to their unique advantages such as extremely small sizes in the nanometric range and particle-like behaviors [1-3]. The prerequisite for such potential devices is related to understanding on the motion of skyrmion under the influence of potentials in a confined geometry. Here, we report the micromagnetic simulation studies on confining potentials of skyrmion with respect to the geometrical boundaries. In this work, we find that the confining potentials of skyrmion cannot be a simple model of parabolic potential because of particular characteristics of skyrmion spin texture as shown in Fig. 1. The non-parabolic potentials of skyrmion can be understood by analyzing the energy changes in the system. We hence derived analytical model of confining potentials of skyrmion.

2. Micromagnetic simulations

For micromagnetic simulations, we used the OOMMF code [4], which includes the extension code for the interfacial Dzyaloshinskii–Moriya interaction [5]. As a model system, we employed Co(0.6nm)/Pt nanostripe and mimic a nanostrip of infinite length using periodic boundary conditions. In the intial state obtained by the energy minimization method, the Neel-type skyrmion are at the center, and DMI-induced locally-tilted magnetization are present near the boundaries. The magnetization dynamics of skyrmions driven by in-plane current are modelled by the modified Landau-Lifshitz-Gilbert equation [6-8].

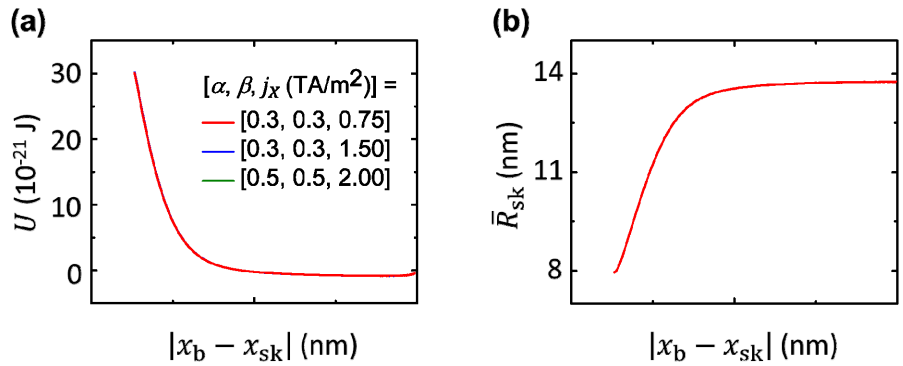


Fig. 1. (a) Confining potentials of skyrmion versus the displacement of skyrmion from the boundaries with different conditions of current. (b) The radius of skyrmion versus the displacement of skyrmion from the boundaries obtained from micromagnetic simulations.

3. Result & Discussion

Based on the simulation results, we find that the confining potentials of skyrmion cannot be a simple model of parabolic potential because of particular characteristics of skyrmion spin texture. The boundary put a constraint on the local spin structure and certainly influence a skyrmion closeby. The local deformation, in turn, leads to the interaction of skyrmion size with the boundary and the non-parabolic potentials. The studies on micromagnetic energy, which is a linear dependence on skyrmion size, show that the boundary forces exerted to the skyrmion decreases with increasing the exchange coupling and perpendicular anisotropy, while it increases with increasing Dzyaloshinskii-Moriya interaction and dipolar coupling.

4. Conclusion

We conducted numerical and analytical studies on confining potentials of skyrmion with respect to the geometrical boundaries. Our results provide not only analytical expressions describing the skyrmion dynamics based on collective coordinates but also fundamental understandings on the phenomena related to the boundaries such as the skyrmion-Hall effect. Consequently, our results could provide basic guidelines for the operation of skyrmion-based spintronics devices.

5. References

[1] N. S. Kiselev, A. Bogdanov, R. Schäfer, and U. K. Rößler, *J. Phys. D* **44**, 392001 (2011).

[2] A. Fert, V. Cros, and J. Sampaio, *Nat. Nanotech.* **8**, 152 (2013).

[3] N. Nagaosa and Y. Tokura, *Nat. Nanotech.* **8**, 899–911 (2013).

[4] M. J. Donahue and D. G. Porter, (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1999).

[5] S. Rohart and A. Thiaville, Phys. Rev. B **88**, 184422 (2013).

[6] J. C. Slonczewski, *J. Magn. Magn. Mater.* **159**, L1 (1996).

[7] J. Xiao, A. Zangwill, and M. Stiles, *Phys. Rev. B* **70**, 172405 (2004).

[8] S. Zhang, and Z. Li, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 127204 (2004).

산화물 코팅된 모터용 Fe Powder의 자기적 특성

신세희*, 서대석, 박종환, 최호준, 서수정†
성균관대학교 신소재공학부

soft magnetic composites는 기존의 laminated된 강판에 비해 3차원 구조 형상이 용이할 뿐 아니라 절연 막의 종류, 윤활제의 함량 및 압력, 열처리 등 제조공정에 따라 다양한 결과를 나타내기 때문에 많은 연구가 진행 중에 있다. 본 연구에서는 high Bs인 철 분말을 이용하여 고밀도, 저손실의 특성을 갖게 하기 위한 절연 소재의 영향 및 절연코팅의 두께에 따른 영향에 대한 연구를 수행하였다.

철 분말에 절연효과를 상승시키기 위해서 산화물 등 첨가물을 활용하여 코팅을 진행하였고 절연 코팅된 소재는 1000MPa에서 성형하였으며 고온에서 열처리하여 잔류응력을 제거하였다.

인산용액으로 절연된 분말의 주사전자현미경을 통해 철 분말 표면에 균일한 절연층이 형성됨을 확인하고, 밀도측정을 통해 절연막이 코어의 밀도에 미치는 영향을 확인하였다. BH analyzer 측정을 통해 loss값을 확인 후 절연코팅의 최적 조건을 확립하였다.

폴리올 공정을 이용한 FeCo 나노입자의 합성과 자기적 특성평가

박종환*, 김선우, 최호준, 신세희, 권현준, 서대석, 정한영, 서수정
성균관대학교 신소재공학부

1. 서론

최근 전자파 차폐 흡수체의 개발이 활발하게 일어나고 있다. 특히 고주파 광대역용 흡수체 개발을 위한 자성 나노 입자의 개발이 진행 중이다. FeCo 자기입자는 이원계 합금 중 가장 높은 포화자화, 낮은 보자력, 높은 큐리온도로 인해 다양한 엔지니어링 분야에 쓰인다. FeCo는 열분해, 솔젤법, 금속염 환원, 공침법, 폴리올과 같은 방법으로 합성이 가능하다. 그 중 폴리올 공정은 폴리올의 고유 특성으로 나노입자를 합성을 하더라고도 산화방지가 가능하며, 환원속도를 조절하여 입자의 형상을 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 발표에서는 합성 시간과 조성에 따라 FeCo 나노입자의 자기특성 변화를 볼 것이다.

2. 실험방법과 결과

폴리올 공정을 이용하여 거의 원하는 조성의 FeCo나노입자를 합성하였다. 조성은 EDS로 확인하였다. $Fe_{75}Co_{25}$, $Fe_{66}Co_{34}$,$Fe_{52}Co_{48}$의 중 가장 높은 포화자화값을 가진 조성은 $Fe_{52}Co_{48}$ 이었다. 상기의 조성을 가지고 합성 시간을 1h, 2h, 3h으로 합성하고 포화자화값을 비교했다. 포화자화값을 비교했을 때 최적의 합성 조건은 130℃-2h 이였고 이 수치는 벌크의 수치와 유사했다. TEM을 통해 입자의 형상은 큐빅형 이었고 입자 크기는 거의 100nm가졌다. 하지만 산화가 많이된 일부 수nm의 미세입자가 관찰되었다. EDS Mapping을 통해 FeCo 나노입자에 2-3nm의 얇은 산화층이 확인 되었다.

3. 고찰

조성이 Co at%양이 높아질수록 포화자화 값이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이것은 벌크 중 가장 높은 포화자화 값을 가진 $Fe_{50}Co_{50}$조성에 가장 가깝게 합성되어 그런 것으로 보인다. 하지만 나노입자의 포화자화 값은 벌크에 비해 상대적으로 낮으며, 보자력은 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 이것은 FeCo 나노입자의 얇은 산화층과 100nm보다 작고 산화율이 더 큰 입자로 인한 것으로 보이며, 분위기 열처리를 통해 보자력을 줄이고 포화자화 값을 더 높일 수 있을 것으로 보인다. FeCo 합성시간이 최적화 조건보다 길 경우 포화자화 값이 낮아지는 것을 확인하였다. 이것은 합성시간이 길어짐에 따라 FeCo 나노입자가 산화된 것으로 보인다.

4. 결론

폴리올 공정을 통해 원하는 조성에 거의 가깝게 합성을 하였다. 입자의 형태는 큐빅형 이었고 2-3nm의 산화층을 가지는 입자였으며 크기는 거의 100nm였다. 그리고 벌크와 비슷하게 $Fe_{50}Co_{50}$에 거의 가까운 조성에서 포화자화 값을 가졌다. 그리고 합성시간을 조절하여 특정온도에서 2h 합성 시 가장 최고의 포화자화 값과 가장 낮은 보자력을 가지는 것을 알 수 있었다. 이 보다 길 경우 FeCo의 산화로 인해 더 낮은 값의 포화자화값과 높은 보자력을 가졌다.

5. 참고문헌

[1] Adv. Mater. 2006, 18, 3154–3159

Permalloy Film의 제작 및 자기적 특성평가

최호준*, 김선우, 박종환, 이정우, 신세희, 권현준, 서대석, 정한영, 서수정
성균관대학교 신소재공학부

1. 서론

최근 전자제품의 집약화 및 소형화에 따라 전자파에 따른 문제가 관심을 받고 있다. 전자파는 기기 장동오류 및 인체에 유해한 영향을 줄 수 있으므로 이를 차폐하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 전자파 차폐를 위해 연자성체인 Permalloy(NiFe) Film을 제작하고자 전해도금을 통해 제작하고 이의 물성 분석을 실시하였다.

2. 실험방법과 결과

전해도금은 스테인리스 기판을 음극으로 하여 실시하였으며, 양극으로는 백금을 이용하였다. 전해도금 후 제조한 박막은 음극 전극에서 분리하여 물성평가를 실시하였다. 제조한 박막의 결정구조를 확인하기 위하여 XRD 분석을 실시하였으며, SEM을 통한 표면 형상 분석, EDS를 통한 박막의 조성 분석, 박막의 표면 전기전도도를 4-point probe를 통하여 확인하였다. 또한 Ni-Fe 합금 박막의 자성 특성을 확인하기 위하여 투자율 측정을 실시하였다.

3. 고찰

전해도금 방법을 이용하여 제작한 Ni-Fe 합금 박막의 조성 변화에 따른 특성 변화를 분석하였다. 도금액 이온 조성의 변화에 따라 합금 박막의 결정구조 및 전기전도도에서 차이가 보였다. 니켈 함량의 변화에 따라 표면 전기전도도의 변화가 나타났으며, 박막의 투자율 또한 조성의 변화에 따라 다르게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서 제작한 Ni-Fe 합금 박막은 연자성체의 특성을 나타냈다. 투자율은 1GHz까지 측정을 실시하였으며, MHz 대역의 저주파 대역에서 투자율이 우수하게 나타났다. 니켈 철 함량 조성 비율에 따른 투자율 변화를 분석하였으며, 본 연구를 통해 최근 주목받고 있는 전자파 차폐 재료의 흡수체로서의 응용 가능성을 확인하였다.

5. 참고문헌

[1] 최종구・황도근・이상성・이장로(2009), 퍼멀로이와 코네틱 박막의 연자성 특성 비교,『한국자기학회지』19(4), 2009.8, 142-146

[2] 예길촌・김용웅・문근호(1996), Fe-Co-Ni합금박막의 조성 및 자기적 성질,『한국표면공학회지』29(3), 1996.6, 195-202

Phase stability and magnetic properties of Mn50Al50-xCx: First-principles calculation and experiment

Sumin Kim[1*], Minyeong Choi[2], Yang-ki Hong[2], Hyun-Sook Lee[1††], Wooyoung Lee[1†]
[1]Yonsei University, Korea
[2]University of Alabama, USA

Mn-based magnetic materials including MnBi, MnAl and MnGa have received much attention due to their high magnetocrystalline anisotropy and high Curie temperature without rare earth or noble metals. Especially, MnAl-based permanent magnet have advantage of low cost, which might fill in the gap between the traditional NdFeB and ferrite permanent magnets if a well manufacturing process could be developed. The ferromagnetic and metastable τ–phase MnAl, which has the L10 stucture and relatively low density 5.1 g/cm3, has relatively good intrinsic magnetic properties (K1 = 1.7 MJ/m3, Ms = 7.5 kG), suggesting a potential maximum energy product of ~12 MGOe with appropriate microstructural development. The L10 phase is metastable and forms from the ε phase, which is stable above 870 °C. The equilibrium phases at room temperature that normally result from the decomposition of the ε phase are γ2 and β-Mn. The addition of C tends to increase the stability of the metastable τ phase, likely by suppressing formation of the equilibrium phases. The C addition to the L10 does not deleteriously affect the intrinsic properties, except for the Curie temperature.

In this study, we fabricate the MnAlCx ribbons by rapid solidification using melt spinning bypasses the primary solidification of γ2 and β-Mn phases, resulting in single-phase ε in the as-solidified case. Consequently, ribbons were heat treated and milled to particles by ball milling. The MnAlC powder was separated by size through sieves. A relatively high coercivity of about 3.2 kOe and saturation magnetization of ~96 emu/g can be obtained under an applied magnetic field of 3T. This saturation magnetization value is the highest value reported so far.

Rare-Earth-Free MnBi Permanent Magnets: Bulks and Thin Films

Sumin Kim*, Hongjae Moon, Hwaebong Jung, Hyun-Sook Lee† and Wooyoung Lee†
Department of Materials Science and Engineering, Yonsei University,
50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 03722, Republic of Korea
†Corresponding Authors Email: wooyoung@yonsei.ac.kr (W. Lee), h-slee@yonsei.ac.kr (H.-S. Lee)

Low-temperature phase (LTP) of MnBi has attracted much attention due to its larger coercivity than that of Nd-Fe-B at high temperature. Moreover, according to the theory of exchange-coupled core-shell magnet, when the LTP-MnBi is used as a hard magnetic core and combined with soft magnetic shell, the maximum energy product $(BH)_{max}$ is estimated to overcome that of Nd-Fe-B. In this regards, there have been many efforts to obtain the LTP-MnBi bulks and thin films for the exchange-coupled magnets. We report on the magnetic properties of low-temperature-phased (LTP) MnBi bulks synthesized by arc-melting and melt-spinning, and LTP-MnBi thin films grown by a UHV sputtering system. First of all, we found that MnBi bulks shows ${}_iH_c$ = 5.60 kOe, B_r = 6.00 kG, and $(BH)_{max}$ = 7.27 MGOe for 1 h milling (low-energy planetary ball milling) in the synthesis process, indicating that anisotropic precursor powders are crucial in achieving high-performance MnBi bulk magnets. On the other hand, we found that the ratio of Bi/Mn strongly has an effect on the magnetic properties of LTP-MnBi films. The highest value of $(BH)_{max}$ of LTP film was obtained to be ~ 8.6 MGOe at room temperature when the thicknesses of Bi and Mn were adjusted in 36nm and 14nm, respectively. The magnetic properties of exchange-coupled MnBi with various soft layers such as FeCo and Fe will be discussed in detail.

Keywords: Permanent magnet, rare-earth free permanent magnet, MnBi, bulk, multilayer film

Optimum Control Program for Helium Recovery System Based on Thermal Equation

Daehwan Park*, Yoon Seok Oh
Department of Physics, UNIST, Ulsan, Korea

Nowadays, liquid helium is one of essential resource for modern civilization in which it is utilized to cool down the superconducting magnet devices in various fields, such as magnetic resonance image (MRI), nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy, and research on nuclear fusion reactor, etc. However, unfortunately, the helium resource is very limited on Earth. Therefore, one has been looking for the way to minimize loss and consumption of helium in those application. As an idea, a system is suggested to trap the evaporating helium gas and liquefy liquid helium, so called helium recovery system or helium recovery plant. A couple of companies have manufactured helium recovery system for laboratory/hospital and helium recovery plant for the large facility. The helium recovery system liquefies using the 4K cryocooler so that it can be operated in the relatively small space. However, its conventional operation needs constant cooling down with the cryocooler, which causes high maintenance cost about $30,000 in a year. Thus, new control method is required to reduce cost of the maintenance of the helium recovery system. We designed IoT (Internet of Things) based program to extend effective lifetime of the cryocooler. The program optimizes operation time of the cryocooler using thermal equations of the liquefaction system. In addition, it displays real-time status of the cryocooler. Eventually we demonstrate to extend the lifetime of cryocooler up to 300%.

OT02

Fe wire 전기폭발법을 이용한 Magnetic Fluid용 자성파우더 제작

이정우[1*], 박종환[1], 김선우[1], 신세희[1], 최호준[1], 서대석[2], 권현준[3], 정한영[4], 서수정[1]
[1]성균관대학교 신소재공학과,
[2]선문대학교 신소재공학과,
[3]건국대학교 경제학과,
[4]수원대학교 신소재공학과

1. 서론

자성유체란(Ferrofluid) 마그네타이트(Magnetite, Fe_3O_4)와 같은 자성 분말을 안정하게 분산시키기 위해 콜로이드 용액으로 원심력과 자기장 속에서 분산질과 분산매의 분리가 일어나지 않으며, 외관상 액체가 강자성을 띠어 있어, 액체의 유동이 자기장에 의해 통제될 수 있다. 자성유체는 1960년 대 미항공우주국(NASA)에서 로켓연료를 자성유체화하여 무중력 상태에서도 연료탱크 속에 고정하기 위한 연구에서 개발되기 시작하였다. 그 후 높은 자속이 걸리는 부분의 자성유체를 주입시켜 밀봉(sealing) 작용을 하여, 우주복 등에 적용되었다. 현재에는 여러 가지 기계장치의 구동축이나 컴퓨터 하드드라이브, 회적축의 윤활 및 밀봉, 자성잉크, 복사현상액, 자성도료 등의 기록재료, 발전기의 열교환기, 의료기, 스피커 등에 응용, 지폐의 종류와 진위 여부 판단 등에 사용되고 있다. 그리하여 본 실험에서는 자성유체에 사용되는 Fe_3O_4 나노파우더 제작을 위하여 Fe wire를 전기폭발하여 나노파우더를 제조하여 특성을 분석하였다.

2. 실험방법

본 실험방법으로는 먼저 99.999%의 고순도 0.2mm Fe wire를 준비하여 전기폭발 장치에 Fe wire를 연결하고 챔버에 1.2L의 DI water를 채워 넣었다. 공정 조건으로는 24mm의 전극간 거리를 설정하고, 1.5 kV의 공정 전압으로 약 4500회 전기 폭발시켜 나노사이즈를 가지는 Fe_3O_4 자성파우더를 제조하였다. 제조된 Fe_3O_4 자성파우더에 계면활성제를 코팅하기 위하여 올레인산 파우더를 약 3g 첨가하여 2시간동안 초음파공정을 진행하였다. 계면활성제까지 코팅된 Fe_3O_4 자성파우더를 건조시키기 위하여 100nm Mesh망의 Filter sheet를 이용하여 파우더만 Filter시켜 60℃온도에서 약 15시간 Oven에서 건조시켜 나노사이즈를 가지는 Fe_3O_4자성 파우더를 제조하게 되었다.

3. 실험결과 및 고찰

0.2mm의 Fe wire를 전기폭발시켜 나노사이즈를 가지는 Fe_3O_4 자성 파우더를 제조하였다. 사이즈 분석을 위한 TEM 분석 결과 약 10~30nm 평균입도를 가지는 자성파우더를 확인하였으며, XRD를 통하여 Fe_3O_4의 결정구조를 갖는 것을 확인하였다. 마지막으로 VSM 분석 장비를 통하여 54 emu/g의 Ms(포화자화)값을 측정하였다. 여기서 포화자화값은 제조된 자성파우더의 건조 조건(건조 온도 및 분위기)을 최적화한다면 보다 향상될 수 있을 것이다.

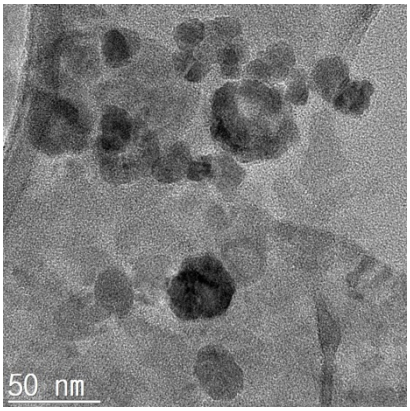


그림. 제조된 Fe_3O_4 파우더의 TEM분석 이미지.

4. 결론

0.2mm의 99.999%의 고순도 Fe wire를 이용하여 전기폭발시켜 Fe_3O_4의 결정구조를 가지고, 54 emu/g의 포화자화값, 약 10~30nm의 평균입도 및 균일한 입도분포를 가지는 자성파우더를 제작하였다.

5. 참고문헌

[1] Fe_3O_4 magnetic nanoparticles synthesis from tailings by ultrasonic chemical co-precipitation, Materials Letters 65 (2011) 1882–1884

Author Index

Name	Abstract ID	Page
Abderrezak Belabbes	초S-IV-3	45
Adarsh S. Patri	초S-VII-3	75
Arata Tsukamoto	MD01	118
Arata Tsukamoto	MD02	119
Arata Tsukamoto	초S-IV-5	47
Arata Tsukamoto	초S-IV-6	48
Aurelien Manchon	초S-IV-3	45
B. C. Min	초S-II-7	27
B. K. Ju	초S-II-7	27
Bo-Kyoung Song	초S-X-4	106
Byeong-Kwon Ju	초S-II-8	29
Byong Sun Chun	초S-II-3	21
Byoung-Chul Min	초S-II-4	23
Byoung-Chul Min	초S-II-8	29
Byung Il Min	초S-VII-9	81
C. S. Kim	초S-VIII-3	89
Chang-Gyu Kim	초S-X-2	104
Changsoo Kim	초S-II-3	21
Chanyong Hwang	초S-II-3	21
Cheol Gi Kim	초S-IX-1	95
D. J. Lee	초S-II-7	27
Dae Hwan Park	SO01	117
Dae-Han Jung	MD04	122
Dae-Han Jung	초S-IV-1	43
Daehwan Park	OT01	129
Dae-Yun Kim	MD02	119
Daichi Chiba	초S-IV-3	45
Dongjin Lee	BM01	116
Dongjoon Lee	초S-II-5	25
Dongjoon Lee	초S-II-6	26
Dongseuk Kim	초S-II-3	21
Dorj Odkhuu	초S-VII-8	80
Duck-Ho Kim	MD01	118
Duck-Ho Kim	MD02	119
Duck-Ho Kim	초S-IV-3	45
Duck-Ho Kim	초S-IV-6	48
G. R. Stewart	SO01	117
Gap-Jung Kim	초S-X-3	105
Gwang Min Sun	초S-VIII-2	88
Gyungchoon Go	초S-IV-3	45
Gyung-Min Choi	초S-II-8	29
H. C. Koo	초S-II-7	27
Hakjoon Lee	초S-II-2	20
Hee-Sung Han	MD03	120
Hee-Sung Han	MD04	122
Hee-Sung Han	초S-IV-1	43
Hiroki Yoshikawa	MD01	118
Hiroki Yoshikawa	MD02	119
Hiroki Yoshikawa	초S-IV-6	48
Hong Eun Choi	SO01	117
Hongjae Moon	HS05	128
Hongsoo Choi	초S-IX-4	98
Hosik Lee	초S-VII-12	84
Hosub Jin	초S-VII-5	77
Hwaebong Jung	HS05	128
Hwijun Kim	초S-III-7	39
Hyojin Lee	BM01	116
Hyoung Joon Choi	초S-VII-1	73
Hyun Cheol Koo	초S-II-4	23
Hyun-Sook Lee	HS04	127
Hyun-Sook Lee	HS05	128
Hyun-Woo Lee	초S-VII-3	75
Im-Hyuk Shin	초S-II-8	29
Imran Khan	초S-VII-10	82
J. D. Lee	초S-IX-2	96
J. D. Lee	초S-VII-6	78
J. H. Kim	초S-II-7	27
J. Raabe	초S-II-4	23
J. S. Kim	SO01	117
Jacek K. Furdyna	초S-II-2	20
Jae-Hwan Cho	초S-X-2	104
Jaekwang Lee	초S-VII-11	83
Jea-Dong Rhim	초S-X-2	104
Je-Geun Park	SO01	117
Jeong Ho Kim	초S-X-1	103
Jeong-Ho Kim	초S-X-3	105
Jeong-Min Seo	초S-X-3	105
Jinho Byun	초S-VII-11	83
Jin-young Kim	초S-IX-4	98
Jisang Hong	초S-VII-10	82
Joonyeon Chang	초S-II-4	23
Jun Han Lee	SO01	117
Jun Hee Lee	초S-VII-2	74
Jun Woo Choi	초S-II-4	23
June-Seo Kim	초S-IV-4	46
Jungbum Yoon	초S-II-3	21

Name	Abstract ID	Page
Jung-Il Hong	MD03	120
K. J. Lee	초S-II-7	27
K.-W. Lee	초S-VII-4	76
Kab-Jin Kim	MD02	119
Kab-Jin Kim	초S-IV-3	45
Kab-Jin Kim	초S-IV-5	47
Kab-Jin Kim	초S-IV-6	48
Kihiro Yamada	초S-IV-3	45
Ki-Suk Lee	EM01	113
Ki-Suk Lee	MD03	120
Ki-Suk Lee	MD04	122
Ki-Suk Lee	초S-IV-1	43
Kohei Ueda	초S-IV-3	45
Kohji Nakamura	초S-IV-3	45
Kwan Hyi Lee	BM01	116
Kyoung-Woong Moon	초S-II-3	21
Kyung Mee Song	초S-II-4	23
Kyung-Jin Lee	초S-II-6	26
Kyung-Jin Lee	초S-IV-3	45
Kyung-Jin Lee	초S-IV-5	47
Kyung-Jin Lee	초S-IV-6	48
Kyusung Hwang	초S-VII-3	75
M. Moaied	초S-VII-10	82
M. Umar Farooq	초S-VII-10	82
Man-Seok Han	초S-X-2	104
Man-Seok Han	초S-X-4	106
Margaret Dobrowolska	초S-II-2	20
Marie Kratochvílová	SO01	117
Min-Cheol Jeon	초S-X-1	103
Min-Seung Jung	MD03	120
Min-Sun Jang	EM01	113
Minyeong Choi	HS04	127
Mi-Young Im	MD03	120
Motohiko Ezawa	초S-II-4	23
Motohiro Suzuki	초S-IV-3	45
Myeong Cheol Park	초S-X-1	103
Myung-Chul Jung	초S-VII-4	76
Myung-Sam Kim	초S-X-2	104
Myungshin Kim	초S-III-7	39
Namkyu Kim	MD03	120
Namkyu Kim	MD04	122
Namkyu Kim	초S-IV-1	43
Noejung Park	초S-VII-7	79
Nyun Jong Lee	초S-II-5	25
O. J. Lee	초S-II-7	27
Ogan Gurel	초S-IX-5	99
Oukjae Lee	초S-II-5	25
Oukjae Lee	초S-II-6	26
Peong-Hwa Jang	초S-IV-3	45
S. Fazle	초S-VII-10	82
S. Finizio	초S-II-4	23
S. H. Kim	초S-VIII-3	89
Sang Hoon Joo	초S-VIII-4	90
Sanghoon Kim	초S-IV-3	45
Sanghoon Lee	초S-II-2	20
Sang-Il Kim	초S-II-5	25
Sang-Il Kim	초S-II-6	26
Sangwon Kim	초S-IX-4	98
Sangyeop Lee	초S-II-2	20
Se Jong Yoo	초S-X-1	103
Se Kwon Kim	초S-IV-6	48
Se-Hyeok Oh	초S-IV-6	48
Se-Kwon Kim	초S-IV-5	47
Seok Hwan Bae	초S-X-1	103
Seonghoon Choi	초S-II-2	20
Seonghoon Woo	초S-II-4	23
Seul-Ki Bac	초S-II-2	20
Seungmin Lee	초S-IX-4	98
Seung-Young Park	초S-II-5	25
Seung-Young Park	초S-II-6	26
Sooseok Lee	MD03	120
Sooseok Lee	초S-IV-1	43
Sug-Bong Choe	MD02	119
Sumin Kim	HS04	127
Sumin Kim	HS05	128
Sung-Ryoung Ma	초S-X-4	106
Sunguk Hong	초S-III-7	39
Sungwook Mhin	초S-VIII-5	91
Sunkey Lee	초S-IX-4	98
Taehee Yoo	초S-II-2	20
Taewon Min	초S-VII-11	83
Takahiro Moriyama	MD01	118
Takahiro Moriyama	초S-IV-3	45
Takahiro Moriyama	초S-IV-5	47
Takahiro Moriyama	초S-IV-6	48
Takaya Okuno	MD01	118
Takaya Okuno	MD02	119
Takaya Okuno	초S-IV-6	48
Teruo Ono	MD01	118
Teruo Ono	MD02	119
Teruo Ono	초S-IV-3	45
Teruo Ono	초S-IV-5	47
Teruo Ono	초S-IV-6	48
Tetsuya Nakamura	초S-IV-3	45
Tomoe Nishimura	MD01	118
Tomoe Nishimura	MD02	119

Name	Abstract ID	Page
Tomoe Nishimura	초S-IV-6	48
Tomohiro Koyama	초S-IV-3	45
W. E. Pickett	초S-VII-4	76
Wondong Kim	초S-II-1	19
Wondong Kim	초S-II-3	21
Wooyoung Lee	HS04	127
Wooyoung Lee	HS05	128
Xichao Zhang	초S-II-4	23
Xinyu Liu	초S-II-2	20
Yan Zhou	초S-II-4	23
Yang-ki Hong	HS04	127
Yaroslav Tserkovnyak	초S-IV-5	47
Yaroslav Tserkovnyak	초S-IV-6	48
Yasuhiro Futakawa	MD01	118
Yasuhiro Futakawa	MD02	119
Yasuhiro Futakawa	초S-IV-6	48
Yoichi Shiota	MD01	118
Yoichi Shiota	초S-IV-6	48
Yong Baek Kim	초S-VII-3	75
Yoon Seok Oh	OT01	129
Yoon Seok Oh	SO01	117
Yoseph Cho	초S-VII-1	73
Yoshinori Kotani	초S-IV-3	45
Young Rang Uhm	초S-VIII-1	87
Young-Sang Yu	MD03	120
Yuushou Hirata	MD01	118
Yuushou Hirata	MD02	119
Yuushou Hirata	초S-IV-6	48
Zahra Yamani	SO01	117
강두인	초S-III-5	37
공군승	초S-I-5	10
곽봉섭	초S-IX-3	97
곽정원	MM01	115
권해웅	초S-III-2	34
권현준	HS02	125
권현준	HS03	126
권현준	OT02	130
김대현	초S-IV-2	44
김동석	초S-IV-2	44
김동영	초S-V-1	53
김동옥	초S-IV-2	44
김동환	초S-I-5	10
김래은	초S-I-1	3
김미루	초S-III-8	40
김선우	HS02	125
김선우	HS03	126
김선우	OT02	130
김영근	초S-VI-1	59

Name	Abstract ID	Page
김영근	초S-VI-5	63
김영민	초S-III-8	40
김용학	초S-I-4	8
김원동	초S-IV-2	44
김종우	초S-III-1	33
김창수	초S-IV-2	44
김홍석	초S-I-6	11
문경웅	초S-IV-2	44
민병철	초S-IV-2	44
박덕근	초S-V-2	54
박병국	초S-VI-8	66
박종선	초S-VI-3	61
박종환	HS01	124
박종환	HS02	125
박종환	HS03	126
박종환	OT02	130
박지훈	초S-III-1	33
박찬배	초S-I-8	14
살만칼리크	초S-I-1	3
서대석	HS01	124
서대석	HS02	125
서대석	HS03	126
서대석	OT02	130
서수정	HS01	124
서수정	HS02	125
서수정	HS03	126
서수정	OT02	130
서장호	초S-I-7	13
손대락	초S-V-3	55
송경미	초S-IV-2	44
송보경	초S-X-5	108
신성수	MM01	115
신세희	HS01	124
신세희	HS02	125
신세희	HS03	126
신세희	OT02	130
신정우	초S-V-1	53
안우상	MM01	115
안지훈	초S-I-2	4
양금옥	초S-I-4	8
양병일	초S-X-5	108
유상임	초S-III-4	36
유세현	초S-I-1	3
유천열	초S-VI-11	69
윤석수	초S-V-1	53
윤정범	초S-IV-2	44
이경진	초S-VI-2	60
이기덕	초S-I-1	3

Name	Abstract ID	Page
이상선	초S-IV-2	44
이승훈	초S-III-6	38
이억재	초S-IV-2	44
이정구	초S-III-2	34
이정우	HS03	126
이정우	OT02	130
임상호	초S-VI-6	64
임성현	초S-VI-4	62
장석명	초S-I-3	6
전병선	초S-IV-2	44
정국채	초S-III-1	33
정연준	초S-III-8	40
정인혜	MM01	115
정한영	HS02	125
정한영	HS03	126
정한영	OT02	130
천동현	초S-VIII-6	92
최석봉	초S-VI-12	70
최승술	초S-III-3	35
최원식	MM01	115
최준우	초S-IV-2	44
최철진	초S-III-1	33
최호준	HS01	124
최호준	HS02	125
최호준	HS03	126
최호준	OT02	130
한만석	초S-X-5	108
함철환	초S-III-8	40
홍정일	초S-VI-9	67
홍종일	초S-VI-7	65
황득규	초S-III-8	40
황찬용	초S-IV-2	44
황찬용	초S-VI-10	68

Digests of the KMS 2018 Spring Conference

The Korean Magnetics Society

사단법인 한국자기학회

2018년도 춘계학술연구발표회 논문개요집 제 28권 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