【신청서요약문】

<신청서 요약문>

<table>
<tr><td rowspan="3">중심어</td><td>양자물질</td><td>극한물성</td><td>온도 압력</td></tr>
<tr><td>양자특이점</td><td>초전도성</td><td>슈퍼물성</td></tr>
<tr><td>창의적인재</td><td>실용물리</td><td>융합적사고</td></tr>
<tr><td>교육연구팀의
비전과 목표</td><td colspan="3">비전: 극한물성분야의 창의적 연구인재 양성
목표: 양자물질의 시간・공간・환경 물리변수기반 극한물성 탐구에 필요한 세계적 연구인력 양성
• 교육: 물리학의 한계에 도전하는 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 후속 인재 양성
• 연구: 극한 물리환경에서 시공간 비대칭성과 초전도를 포함한 양자특이성 연구
• 국제화: 양자물질의 극한물성 연구분야 국제 허브 구축</td></tr>
<tr><td>교육역량 영역</td><td colspan="3">온도와 압력 그리고 시간을 변수로 하여 양자물질이 극한환경에서 보이는 물리현상을 이해하고 창의적이고 독립적인 연구능력과 사회적 소통능력을 갖춘 인재를 양성하고자 한다. 이를 위해 전문화된 대학원 교육과정, MoU 기반 국제화 프로그램, 우수한 대학원생 확보를 위한 다양한 장학금과 학사 제도를 설계하였다.
교육과정: 양자물질 극한물성 연구 수행에 필요한 교과과목들을 개설하여 현대과학 난제해결에 도전할 인재를 양성할 목적으로 정규교과목을 기초, 핵심, 심화 및 특성화 과목으로 분류하였고 다음과 같은 기준으로 신규과목을 구성하였음.
• 응집물질물리 중심으로 한 분야간 융합 과목: 고체장론, 위상광자학
• 연구주제 맞춤형 극한물성 분석 과목: 양자물질전자구조계산, 양자스핀트로닉스, 강상관양자물질분광학, 저차원반도체물성, 다체계및위상물리
• 이론・실습 연계과목: 고압물성분석, 광학설계실습
• 창의형 IC-PBL을 비롯한 다양한 비정규과목을 개설하여 산업계 인력을 양성함.
• 응집물질물리학 실험 분야로 신임교수 2인을 초빙하여 교육의 질을 향상함.
국제적 수준의 교육
• 해외 7개 기관들과 체결한 MoU를 기반으로 국제석학 공동 지도교수, 학점 및 연구인력 교류, 온라인기반 국제 세미나와 공동강의, 국제학회개최 등을 추진하여 본 교육연구팀이 극한물성 교육분야의 국제 허브가 되도록 함.
우수대학원생 확보 및 장학금 지원
• 본교 학부졸업생 대학원진학률을 현재의 15%에서 30% 이상으로 증가시켜 대학원입학 경쟁률을 강화하고 교육의 질적 역량을 제고할 것임.
• 본 교육연구팀 참여 박사과정생들에게 지도교수와 분담하여 경제적 자립에 필요한 실질장학금을 지원함으로써 연구에 집중할 수 있는 여건을 제공할 계획임.
• 외국인 학생 수는 증가하지만 외국인 학생 참여비율은 현재의 30% 이내로 유지할 것임.
제도 개선:
• 예비시험제도를 실시하여 대학원 기초교육을 보강하였으며, 박사학위심사를 국제적 수준으로 강화하고 교육위원회, 외국인학생지도위원회 등을 구성하여 대학원생들의 교육연구 활동을 지원할 것임.</td></tr>
</table>

연구역량 영역	초고압-초고온, 초고압-초저온 등 극한 물리환경에서 발생하는 시공간 비대칭성과 양자특이성을 연구하기 위하여 응집・광과학이 융합된 교육연구팀을 구성하였으며, 상온초전도를 포함한 현대과학 난제에 도전하고 세계적 수준의 연구결과를 도출하기 위하여 연구의 질적향상, 국제화, 그리고 연구인력의 전문화를 추진하고자 한다. **참여교수의 연구 역량과 연구진 구성** • Nature, Science, Nat. Comm.(4), Phys. Rev. Lett.(9) 등 지난 5년간 참여교수들이 발표한 논문은 186편이며 이중 26편이 IF>9.227 (Phys. Rev. Lett.) 임. • 본 연구팀은 양자 스핀트로닉스, 수소화물 초전도체 발굴, 저차원 반도체소자, 나노광소자 분야에서 이론과 실험이 연계된 이상적인 협력관계를 구성하고 있음. • 본 사업 참여연구원 28명은 박사과정 80%, 석사과정 20%의 비율로 연구력이 가장 왕성한 박사과정생 중심의 연구진으로 구성되어 있음. **연구의 국제화** • 고압기반 극한환경 연구분야에서 명실공히 세계최고 연구기관인 중국 북경고압연구센터 (HPSTAR), 길림대학 (Jilin University), 미국 카네기연구소 (CIS, Carnegie Institution for Science) 등과 수행해온 인력교류와 국제공동연구, 국제학회 공동주최 등을 기반으로 현재 본 교육연구팀이 보유한 연구력과 연구시설을 더하여 양자물질 극한물성 연구분야의 국제 허브가 되도록 함. **산업계 연관 연구** • 산업계에 활용 가능한 태양전지 효율 향상 원리 규명 (Science 2017, 2,784회 인용), 노광소자 실용화 구현 (Nature 2018), 대용량 수소기체 포집, 차세대 비휘발성 메모리 제작, 그래핀 단순 공정 등 산업문제 해결에 기여할 수 있는 다수의 국제특허를 등록함. **연구 인력의 전문화** • 박사학위 취득에 필요한 추가조건으로 학위기간 동안 주저자로서 IF 3.0 이상 논문으로 총 IF 합 10 이상을 출간함으로써 연구인력의 질적 향상뿐 아니라 전문성도 구비하도록 하였음.
기대 효과	**교육·학문적 효과** • 극한물성이라는 학문적 기반을 확충하고 관련 학문발전을 견인하며 차세대 연구개발에 필요한 고도로 전문화된 연구인력을 양성함. • 상온초전도체 발굴을 포함한 현대과학 난제 해결에 필요한 지식을 제공함. • 우수한 대학원생을 유치, 교육하여 세계 수준의 신진연구인력으로 양성함. **연구·기술적 효과** • 극한물성 연구를 통해 새로운 물질을 합성하고 관련 지식을 창조하여 기존에 존재하지 않았던 초전도, 초강도, 초에너지 등 ‘슈퍼물성’ 을 가지는 양자물질 개발에 필요한 기초지식을 제공함. • 기술적・학술적 파급효과가 큰 신소재 개발로 국제 원천특허 확보가 가능함. **경제·산업·사회적 효과** • 고압연구를 통해 설계된 재료는 다이아몬드를 능가하는 고부가성 정밀 고강도 소재, 수소저장, 무기를 비롯한 에너지와 국방관련 산업에 활용될 수 있음. • 고도로 숙련된 전문인력을 배출하여 이들이 대한민국 기초연구를 발전시키고 국가 성장동력의 원천이 되어 연구 선진국 완성에 기여할 것임.

Ⅰ. 교육연구단 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구단 구성

1.1 교육연구단장의 교육연구행정 역량

성　　　명	한글	김재용	영문	Kim, Jae-yong
소 속 기 관	한양대학교	자연과학대학		물리학과

<표 1-1> 교육연구팀장 최근 5년간 연구실적

연번	저자	논문제목/저서제목/book chapter/설계작품명	저널명/학술대회명/출판사/행사명	권(호), 페이지/ISSN/ISBN (pp. ** - **)	게재 · 출판 · 행사 연도	DOI 번호 (해당 시)
1		Pressure-induced fluorescence enhancement of FAαPbBr2+α composite perovskites	Nanoscale	11 (13), 5868/ 2040-3372(5868-73)	2019	10.1039/c8nr09780a
2		Tuning the Photoresponse of Nano-Heterojunction: Pressure-Induced Inverse Photoconductance in Functionalized WO3 Nanocuboids	Advanced Science	6 (19), 1901132/ 2198-3844 (1901132)	2019	10.1002/advs.201901132
3		Simultaneous Measurement of Humidity and Temperature with Cyto-reduced Graphene Oxide-overlaid Two-mode Optical Fiber Sensor	Sensors and Actuators B: Chemical	298, 126841/0925-4005(126841-9)	2019	10.1016/j.snb.2019.126841
4		Perovskite Nanoparticle Composite Films by Size Exclusion Lithograph	Advanced Materials	30 (29), 1802555/0935-9648 (1802555)	2018	10.1002/adma.201802555

<표 1-1> 교육연구팀장 최근 5년간 연구실적

연번	저자	논문제목/저서제목/book chapter/설계작품명	저널명/학술대회명/출판사/행사명	권(호), 페이지/ISSN/ISBN (pp. ** - **)	게재 · 출판 · 행사 연도	DOI 번호 (해당 시)
5		Structure and hydrogen absorption properties of Ti53Zr27Ni20(Pd,V) quasicrystals	International Journal of Hydrogen Energy	43 (41), 19130/0360-3199(19130-40)	2018	10.1016/j.ijhydene.2018.08.141

I. 교육연구팀 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구팀 구성

1.1 교육연구팀장의 교육연구행정 역량

교육연구팀장을 맡은 김재용 교수는 Washington University in St. Louis에서 준결정체의 구조와 수소저장을 주제로 박사학위를 취득한 후 Brookhaven National Laboratory에서 박사후 연구원과 포항가속기 선임연구원을 거쳐 2005년 3월 본교에 부임하였다. 이후, 물리학과장, 나노융합학과장, 한양대부설 고압연구소장 등 교육・연구 관련 다양한 보직을 수행하였고, 130 여 편의 SCI 논문을 출간하였다. 최근 다이아몬드 앤빌셀을 활용한 백만기압 단위 초고압 관련 국내 연구를 선도하고 있다고 평가 받는다.

교육연구팀장의 연구 역량

비주기적 결정체의 형성과 응용에 관한 연구분야에서 김재용 교수는 1990년 '준결정체' 가 보이는 준주기성 개념을 국내에 도입하였으며 준안정상태의 구조 및 물성분석, 그리고 이를 응용한 수소에너지 저장연구를 수행해오고 있다. 최근에는 중국 북경고압연구센터 (HPSTAR, Center for High Pressure Science and Technology for Advanced Research)와 미국 카네기연구소 (CIS, Carnegie Institution for Science)를 한양대학교에 유치하여 국내에서 다이아몬드 앤빌셀을 이용한 초고압연구분야를 선도하였다. 본 연구를 시작으로 국내에서도 수십 GPa 초고압상태의 물성을 분석할 수 있게 되었고, 레이저 가열법을 연계하여 섭씨수천 도에 이르는 초고압-초고온 상태의 물성을 실시간으로 분석하는 등, 소위 압력-온도를 매개로 하는 '극한환경' 연구를 국내에서 시작하였다고 자부한다. 2019년 8월 1일 한양대학교부설 고압연구소를 설립하여 압력 전반에 관한 연구 및 국내외 네트워크를 구축하고 있다. 세계우수연구기관유치사업 (GRDC, Global Research Development Center) 협의회장으로서, 2019년 GRDC 국제심포지엄 (2019년 11월 20일)을 주관하였고, 제 10회 아시아고압학회를 세계고압반도체학회, 세계고압초전도학회와 함께 유치하여 올해 11월 제주에서 한국의 고압연구현황을 세계에 소개할 예정이다.

교육연구팀장의 교육 및 행정 역량

본 교육연구팀장은 학과 실험주임 (2007.03-2008.08), 물리학과장 (2008.09-2010.02), 나노융합학과장 (2013.09 ~ 2016.08), GRDC-2019 협회장, 한양대-HPSTAR-CIS 고압연구센터장 (2016.08~현재), 한양대부설 고압연구소장 (2019.08.01~현재) 등 다양하고 전문적인 교육・행정 경험을 갖추고 있다.
특히 물리학과 실험주임 시기에는 일반물리학, 일반역학, 그리고 학부 전자기학과 현대물리학 실험실장비와 교육 시설을 대폭 개선하여 본 학과 현대물리학실험실이 대학교육협의회에서 주관하는 학과평가에서 모범 교육 실험실로 선정되도록 노력하였고 (2009), 물리학과장 시기에는 장학기금 조성, 교육전담교원채용 등 학과의 학사와 행정제도를 개편하였다. 특히 학부-대학원 연계 연구논문발표회 (봄), 학과체육회 (가을), 그리고 학부생 졸업여행 (1월)을 실시하여 학생-교수간 원활한 채널을 구성하고자 노력하였다. 일반인과 학생들을 대상으로 '금요일에과학터치' 프로그램을 부산 (2017.06)과 광주 (2018.10)에서 진행하여 과학대중화 및 고압관련 연구를 국내에 보급하는데 일조하였다. 나노융합학과장 기간 동안 공과대학 교육과정에 자연과학대학 과목들을 개설하여 자연과학과 공학이 연계된 교과과정을 수립하는 등 학제간 융합교육을 시도하였다. 이렇듯 다양하고 지속적인 교내외 교육과 행정 경험은 본 교육연구팀을 성공적으로 이끌어 갈 수 있는 원동력이라고 확신한다.

교육연구팀장의 수행의지

교수의 역할은 연구와 교육을 동시에 수행하여 다음 세대에게 자신이 쌓아온 지식과 경험을 전해 주는 것이라고 생각한다. 그런 면에서 BK 팀장은 교수로서 가장 의미있고 보람있는 경험이 될 것으로 기대한다. 김재용 교수는 지금까지 쌓아온 연구・교육・행정 경험과 능력을 바탕으로 본 교육연구팀이 '양자물질 극한물성' 분야에서 우수한 신진 연구인력을 양성하고 세계적인 연구결과를 도출하여 극한물성 연구를 선도하는 연구와 교육의 메카가 될 수 있도록 교육자의 소명감을 가지고 최선을 다할 것이다.

1.2 교육연구팀 참여교수 및 참여연구진

<표1-2> 교육연구팀 참여교수 및 참여연구진 현황

연번	성명 (한글/영문)		직급	연구자 등록번호	세부전공분야	신임교수 *	외국인
1	송석호	SONG SEOK HO	교수		광자기술	기존	내국인
2	신상진	Sang-Jin Sin	교수		장물리이론	기존	내국인
3	홍진표	Jin Pyo Hong	교수		반도체물리	기존	내국인
4	김재용	Kim, Jae-yong	교수		표면/경계면물리	기존	내국인
5	조준형	Cho Jun-Hyung	교수		표면/경계면물리	기존	내국인
6	김은규	Eun Kyu Kim	교수		반도체물리	기존	내국인
7	문순재	Soonjae Moon	부교수		에너지띠/전자구조	기존	내국인

1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황

<표 1-3> 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황 (단위: 명)

기준일	대학원 학과(부)		학과(부) 소속 전체 교수 수	참여교수 수
2020.05.14	물리학과	임상,건축학 인문사회계열 포함		7
		임상,건축학 인문사회계열 제외		7

<표 1-4> 교육연구팀 대학원 학과(부) 소속 전임교원 변동 현황

(단위 : 명)

구 분	2017년		2018년		2019년		2020년		비고
	1학기	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	
전체 교수 수 (명)	21	21	21	20	19	19	20		
전입 교수 수 (명)	1						1		
전출 교수 수 (명)				1	1				

<표 1-5> 최근 3년간 교육연구팀 대학원 학과(부) 소속 전임 교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1	천상모	2017-1학기	전입	신규임용	
2		2018-2학기	전출	정년퇴임	
3		2019-1학기	전출	-	
4		2020-1학기	전입	신규임용	

<표 1-6> 교육연구팀 참여교수 지도학생 현황

(단위 : 명, %)

<table>
<tr><th rowspan="3">기준일</th><th rowspan="3">대학원
학과(부)</th><th rowspan="3">참여
인력
구성</th><th colspan="12">대학원생 수</th></tr>
<tr><th colspan="3">석사</th><th colspan="3">박사</th><th colspan="3">석 · 박사 통합</th><th colspan="3">계</th></tr>
<tr><th>전체</th><th>참여</th><th>참여
비율
(%)</th><th>전체</th><th>참여</th><th>참여
비율
(%)</th><th>전체</th><th>참여</th><th>참여
비율
(%)</th><th>전체</th><th>참여</th><th>참여
비율
(%)</th></tr>
<tr><td rowspan="3">2020.
05.14</td><td rowspan="3">물리학과</td><td>전체</td><td>6</td><td>6</td><td>100.00</td><td>7</td><td>3</td><td>42.86</td><td>20</td><td>19</td><td>95.00</td><td>33</td><td>28</td><td>84.85</td></tr>
<tr><td>자교
학사</td><td>1</td><td>1</td><td>100.00</td><td>2</td><td>1</td><td>50.00</td><td>8</td><td>7</td><td>87.50</td><td>11</td><td>9</td><td>81.82</td></tr>
<tr><td>외국인</td><td>0</td><td>0</td><td>-</td><td>2</td><td>2</td><td>100.00</td><td>6</td><td>6</td><td>100.00</td><td>8</td><td>8</td><td>100.0
0</td></tr>
<tr><td colspan="6">참여교수 대 참여학생 비율</td><td colspan="9">400.00</td></tr>
</table>

<표 1-7> 교육연구팀 참여교수 지도학생(외국인) 학생 현황

연번	성명	국적	학사출신대학	공인어학성적		비고
				국어	영어	
1		중국	Henan Normal University			
2		베트남	VNU-Hanoi University of Science			
3		베트남	한양대학교			
4		중국	Zhengzhou University			
5		중국	Zhejiang University			
6		중국	Henan Normal University			
7		중국	Hunan University			
8		중국	Zhengzhou University			

2. 교육연구팀의 비전 및 목표

2.1 교육연구팀의 비전 및 목표

2 교육연구팀의 비전 및 목표

2.1 교육연구팀의 비전 및 목표

- 비전: 극한물성분야의 창의적 연구인력 양성
- 목표: 양자물질의 시간・공간・환경 물리변수기반 극한물성 탐구에 필요한 세계적 연구인력 양성
- 양자물질이 극한 환경에서 보이는 위상학적 양자특이성과 초전도성 연구를 선도할 수 있는 창의적이고 도전적인 차세대 물리인재를 양성하기 위해 다음과 같은 세부목표를 설정한다.
    - 교육: 물리학의 한계에 도전하는 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 후속 인재 양성
    - 연구: 극한 물리환경에서 시공간 비대칭성과 초전도를 포함한 양자특이성 연구
    - 국제화: 양자물질의 극한물성 연구분야 국제 허브 구축

급속도로 발전하는 측정기술의 한계는 시간의 경우 펨토초를 뛰어넘어 아토초에 도전하고 공간의 경우 나노스케일을 넘어 원자 날개를 조절할 수 있는 수준에 도달함에 따라, 자연계의 극한 영역에서 발생하는 물리현상은 현대과학이 탐구해야 할 새로운 연구분야로 대두되었다. 온도와 압력, 시간을 변수로 하여 양자물질이 극한환경에서 발현하는 물성이 주요 연구 대상이다. 하지만 국내의 극한환경 연구는 그 중요성에 비해 연구 장비 및 시설 등의 인프라와 연구를 수행할 수 있는 젊은 연구인력이 절대적으로 부족하다. 이는 역설적으로 극한물성 연구가 앞으로 우리가 추진해야 할 연구 주제이며 이를 수행할 수 있는 우수한 연구인력을 양성하는 것이 필요함을 강조한다.

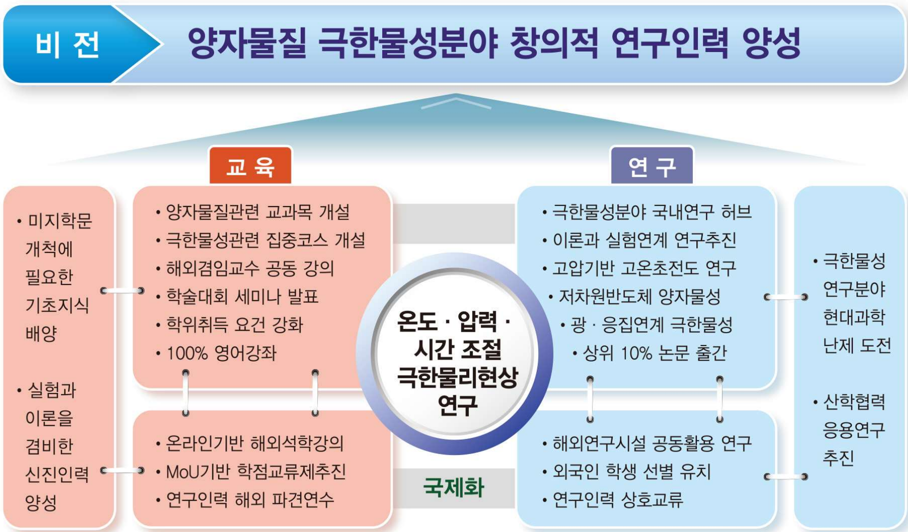
이러한 현실에 기반하여 본 교육연구팀은 양자물질을 대상으로 온도와 압력 그리고 시간을 매개로하는 극한영역에서의 물리현상을 이해하고 현대과학 난제 해결에 도전할 수 있는 세계적 수준의 젊은 연구인력을 양성하고자 한다.

팀 구성과 교육연구 비전

한양대 물리학과는 1955년 공과대학 수물학과 이름으로 개설된 이래 고체물리학 중심으로 연구와 교육을 수행해 왔다. 12명의 명예교수 중 XXXXXXXX 교수를 비롯한 6명이 고체물리 전공이었고, 현재도 20명의 교원 중 대다수가 응집물질물리와 직・간접적으로 연관된 연구를 수행하고 있다. 본 교육연구팀의 경우, 나노반도체, 초저차원물질 물성 연구를 수행하는 김은규, 홍진표 교수, 최근 백만기압 단위 초고압기술을 도입하여 극한물성 연구를 수행하는 김재용 교수, 분광학을 극한환경에 접목하는 문순재 교수, 물질의 전자구조 계산 연구를 수행하는 조준형 교수, 최근 응집물질의 강상관계를 끈이론으로 해석하려는 신상진 교수, 그리고 양자물성을 연구함에 있어 필수적인 극한시간단위 광과학을 연구하는 송석호 교수까지, 광학이 융합된 응집물질연구의 규모와 깊이는 세계 어느 유수대학의 연구팀과 비교해도 손색이 없다.

지난 10년 동안 물리학과는 총 136명 (박사 65, 석사 71)을 배출하였고 그 중 교육연구팀 소속 7명의 참여교수는 학과전체의 50%에 해당하는 69명을 배출하였다 (박사: 31, 석사: 38 포함, 총 69 명). 이들이 배출한 31명의 박사학위졸업생 중 26명은 학계와 연구소 그리고 대기업으로 진출하여 대한민국 과학기술계를 이끌어가는 핵심적인 인적자산으로 성장하였다.

실사구시에 기반한 본 학과는 대한민국 기초과학을 선도하는 가장 보편적이면서 핵심적인 역할을 수행해 왔으며, 이제 차세대 현대과학을 이끌어갈 새롭고 창의적인 연구인력을 양성하려는 본 교육연구팀의 비전과 목표로 이어질 것이다. 본 BK 사업을 통하여 참여교수진들은 교육과 연구의 중심을 응집물질물리학 기반 극한물성분야로 설정하고 이와 선순환구조를 이루는 대학원교육과정을 설계함으로써 양자물질 극한물성분야 연구가 융합된 교육과정을 구축하고 세계적 성과를 도출할 수 있는 젊은 연구자를 양성 하고자 한다. 이러한 목표를 이루기 위하여 응집물질물리와 광과학 분야에서 선구적인 연구를 수행하는 7명의 교수들은 앞으로 7년을 2단계로 나누어 비전과 달성 방안을 아래 그림 I.1과 같이 제시한다.



[그림 I.1. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 비전 개념도]

교육비전과 목표

양자물질을 연구함에 있어 물리적 한계의 영역에 도전하는 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 후속 인재를 양성하고자 한다. 압력과 온도를 변수로 하는 연구의 경우 미국과 영국 그리고 독일을 포함한 서양뿐 아니라 일본과 중국도 1940년대부터 시작된 오랜 역사를 지니고 있다. 특히 최근에 중국은 고압 연구분야에 투자를 집중하여 잠재력이 큰 우수한 연구인력을 첨단과학분야로 끌어들이는 등 극한물성 연구를 선도하고 있다.

이러한 국제적 연구환경의 변화를 반영하여 본 교육연구팀은 양자물질이 극한상황에서 보이는 새로운 물성을 분석할 수 있는 도전적이고 진취적인 신진연구인력을 양성하기 위해, 창의형 IC-PBL 기반으로 하는 전문화된 교육과정과 첨단 연구가 융합된 연구추진형 교육시스템을 제공하고자 한다. 체계화되고 전문화된 교육 과정을 개설하여 아직 시도하지 못했던 연구분야에 과감히 도전하고 추진할 수 있는 동력을 함양하고자 한다.

이를 위해 1단계 (2020-23)에서는 본교 학부생의 대학원 진학률을 현재 15%에서 30% 이상으로 향상시키고, 해외석학 공동지도교수제도 활용, 연구주제관련 세미나 및 집중코스 개최, 해외연수 및 파견, 교과과정 수료 후 박사 연구제안서 심사, 종합시험 강화 등 교육 충실도를 높일 것이다. 또한 Rice University (https://physics.rice.edu) 벤치마킹을 통해 습득한 제도를 적용할 것이다. 본 교육연구팀은 우수한 대학원생을 확보하기 위해 1단계 기간 동안 현재의 대학원생 수를 40명 선으로 확보하고 2단계에서는 질적으로 우수한 학생을 선별할 수 있도록 입학 경쟁률을 강화할 것이다. 하지만 본 사업에 참여하는 학생 수는 현재 수준을 유지할 것이다. 이러한 내용을 정량적으로 정리하면 다음 표 I.1과 같다.

[표 I.1. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 교육관련 정량적 목표]

항목	현재	1단계	2단계	최종
주제관련 교과목 개설(년)	4	6	8	8
관련 세미나	10	> 15	> 20	> 20
본교생 대학원 진학률 (%)	15	> 20	> 30	> 30
영어강좌 비율(%)	42	100	100	100
해외파견 연수 학생 (명)	8	> 20	> 25	> 25
여름학교 등 집중코스 개설 (년)	1	2	4	4
MoU 체결 및 유지 (건)	7	8	10	10
참여 대학원생수 (비참여 포함)	28 (33)	30 (35)	30 (40)	30 (40)

연구비전과 목표

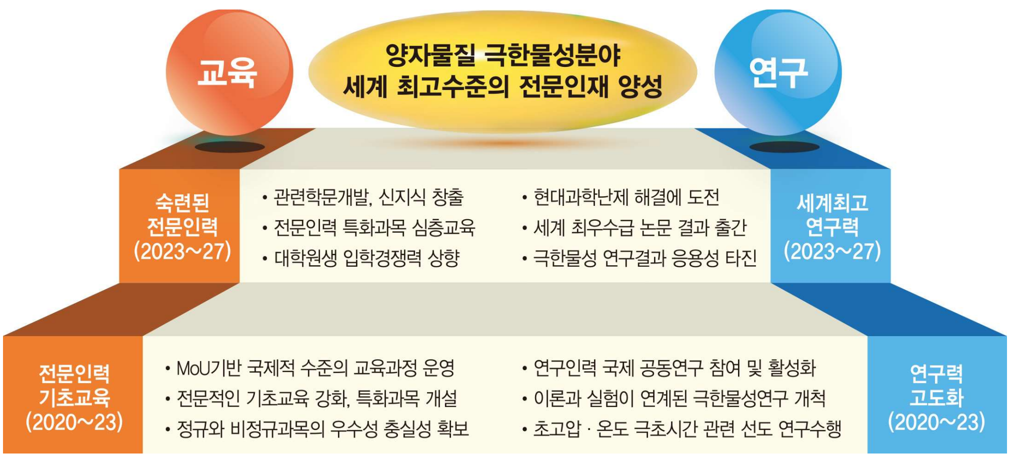
백만기압 단위의 초고압에서 발생하는 현상은 아직 현대과학이 접근하지 않은 미개척 분야이며 초저온, 혹은 초고온 등 온도와 연계시키면 고온 초전도, 초강도, 초에너지 등 그 동안 상상해왔던 슈퍼물성을 지닌 물질을 제작할 수 있는 실험적 가능성을 내포하고 있다. 실제로 압력을 변수로 하는 연구는 미지의 자연현상을 탐구하는데 있어 새로운 축을 형성 할 것이며, 극저온, 초고온 등 물리변수가 융합된 극초시간에 발생하는 자연현상을 연구함으로써 지금까지 기대하지 못하였던 지식확대, 기술개발로 직접 이어질 것으로 기대하고 있다.

하지만 압력과 온도 그리고 시간을 매개로 하는 극한물성연구는 단순히 연구시설과 조건만을 갖춘다고 실행될 수 있는 것이 아니며, 최적화된 시료선택과 이에 필요한 지식과 기술, 실시간 다중분광학 및 상변화 해석, 전산모사를 통한 구조 변이 예측 및 최적화 계산 등 응집물질물리학과 광과학 관련 연구들이 융합되어야 추진할 수 있는 분야이다. 따라서 극한물성연구는 다양한 첨단 연구가 융합되어 우수한 성과를 도출할 수 있는 분야라고 해석할 수 있다. 아직 극한물성연구가 국내에서 활성화되어 있지 않은 현실을 감안하여, 현재 본교에 설립된 고압연구소와 이미 구축된 연구 인프라를 바탕으로 기존 소재의 한계를 뛰어넘는 슈퍼물성을 가지는 신소재를 개발하고 관련분야를 선도하는 연구성과를 도출하고자 한다.

이를 위해 구체적 목표로써 1단계에서는 첨단연구수행에 필요한 국내외 연구 인프라를 확장하고 연구범위를 심화하여 2단계에서는 세계적으로 영향력 있는 연구결과를 도출하도록 할 것이다. 이러한 내용을 정량적으로 정리하면 표 I.2와 같고 정성적으로 기술하면 그림 I.2와 같다. 연구에 참여하는 박사과정생의 경우 졸업요건을 학위기간동안 주저자로서 IF 3.0 이상인 논문으로 총 IF 합 10 이상 출간하는 것을 내부 규정으로 하였고, 석사과정생의 경우 SCI 논문 1편 이상 출간하도록 지도할 것이다.

[표 I.2. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 연구 정량적 목표]

항목		현재	1단계	2단계	최종
졸업요건 1: 논문출간 IF 총합	박사	규정 없음	> 6.0	> 10.0	> 10.0
	석사		SCI 논문 1편	SCI 논문 1편	SCI 논문 1편
졸업요건 2: 학회발표	박사	규정 없음	해외구두발표	해외구두발표	해외구두발표
	석사		국내포스터발표	국내구두발표	국내구두발표



[그림 I.2. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 교육과 연구 목표 개념도]

미래 목표 달성 방안

연구내용에 특화된 대학원 교육과 우수한 연구결과가 동전의 양면처럼 분리될 수 없듯이 본 교육연구팀은 연구주제에 맞는 교육프로그램을 개발하고자 한다. 또한 학생들이 대학원에 진학한 동기를 계속 유지할 수 있도록 국제공동연구 참여, 학회발표, 새로운 교육과정개발 등 신선한 자극을 꾸준히 공급하고자 한다. 시급성과 절박성이 점점 결여되어가는 대학원생들에게 진취적이고 적극적인 문제 해결 능력을 배양시키기 위해 본 교육연구팀은 극한물성분석에 필요한 실습이 연계된 교육과목을 개설할 것이며 이러한 노력을 교과과정, 제도 및 학사관리, 국제화 그리고 기타 분야로 분류하여 다음과 같이 제시한다.

교과과정 운영과 관련 연구수행

새로운 학문을 개척한다는 자세로 양자물질과 극한물성 분야에 직접적으로 연관된 교과목을 개설할 것이다. 또한 이론과 실험이 연계된 과목을 중심으로 새로운 과목을 개설하고 온라인을 기반으로 하여 국제기관들과 세미나를 공유하고, IC-PBL과 연계하여 실습 경험을 쌓을 수 있도록 할 것이다.

- 응집물질물리학분야 신학문 개척과목: 고체장론 과목에서는 끈이론의 홀로그래피 방법을 활용하여 응집계를 대상으로 스펙트럼과 수송계수를 계산하는 방법론을 강의하고 이를 통해 고전적인 고체이론을 재해석한다. 또한 입자물리학 강상관계 이론을 응집물질물리학에 접목할 것이다 (신상진 교수). 위상광자학과목에서는 종래의 광과학 분야에 열린 양자역학 이론 및 위상기하학적 대칭성 또는 특이성을 도입하여 다양한 기존의 물리적 한계를 극복하려는 시도들을 소개할 것이며, 동시에 열린 양자역학이라는 이론을 실험적으로 검증하고 발전시키기 위한 새로운 광과학 영역을 학습할 것이다 (송석호 교수).
- 극한물성관련 과목: 최근 초고압 상태의 수소화물 고온초전도체 발견처럼 활발한 연구결과가 보고되는 주제를 선택하여 이론적으로 해석하려는 과목들을 운영할 것이다. 양자물질전자구조계산 과목을 개설하여 상온에서 발생하는 초전도 현상의 BCS기반 초전도메커니즘을 고압환경 전자에너지띠 이론으로 이해하고 (조준형 교수), 강상관양자물질분광학 과목을 통하여 강상관 양자물질에 분광 실험법을 적용하고 극한환경에서 이들 물질의 전자구조를 설명한다 (문순재 교수). 고압물성분석과목을 개설하여 초고압-초고온/초저온 등 극한 상황에서 발생하는 물질의 구조와 상전이, 전기 광학적 특성 그리고 물리・화학적 현상을 이해하고, 이론이 확립되지 않은 연구결과가 보고되었거나 학문적으로 매우 새로운 경우 관련분야 전문가를 섭외하여 온라인기반 세미나과목도 수시로 운영할 것이다 (김재용 교수).
- 이론-실험 연계형 교육과정: 광학시뮬레이션의 경우 이론지식을 ray-tracing 방식이 아닌, EM field-tracing 방식을 집중적으로 실습하고, 수치해석적인 resonance-mode solving 및 spatio-temporal mode evolution 방식에 대해 교육한다.
- 산업체 연계 교과목: IC-PBL연계과정을 신설하여 본 교육연구팀의 연구 결과가 산업체에 직접적으로 응용될 수 있도록 할 예정이다. 김은규, 홍진표 교수들이 담당할 극저차원반도체물성, 양자스핀트로닉스 등이 해당된다.
- 해외석학 공동지도교수가 참여하는 공동연구 지도교수제도: 현재 본 학과에는 초고압력 연구를 전공으로 하는 3명의 외국인학자들이 소속되어 있는 바 이들 특임교수 (XXXXXXX , HPSTAR 소장)과 겸임교수들 (XXXXXXXXXX 교수, XXXXXX 교수)을 활용하여 학생들의 연구논문 및 학위논문을 공동으로 지도할 예정이다.
- 학부-대학원 연계 과목: 현재 운영 중인 학-석사 연계과정을 활성화시켜 우수한 학부생이 대학원에 진학할 수 있도록 할 예정이다.

제도 및 학사관리

첨단 연구를 수행함에 있어 우수 대학원생을 확보하여 이들을 연구목적에 맞게 교육하고 연구 동기를 계속 부여해가며 졸업 때까지 잘 지도하는 것이 중요하다. 우수한 본교 학부졸업생들을 대학원으로 유도하고 이들이 중도탈락하지 않고 끝까지 학위를 마칠 수 있도록 지도할 것이다. 본 교육연구팀이 BK사업에 선정되어 대학원생들에 대한 지원이 본격화 된다면 연구 활력 뿐 아니라 대학원 지원동기도 급격히 상승할 것이라 기대한다. 참고로 본 연구팀은 80% 이상의 참여인력이 가장 연구력이 왕성한 석박통합, 박사과정(수료생 포함)으로 구성되어 있다 (2020년 신입생을 제외하면 92%). 또한 다수의 우수한 외국 학생들을 참여시켜 국내학생들에게 신선한 자극이 되도록 할 것이다. 대학원생들의 연구 동기를 고취하고 우수한 결과를 도출할 수 있도록 다음과 같이 제도 및 학사관리를 충실히 운영할 것이다.

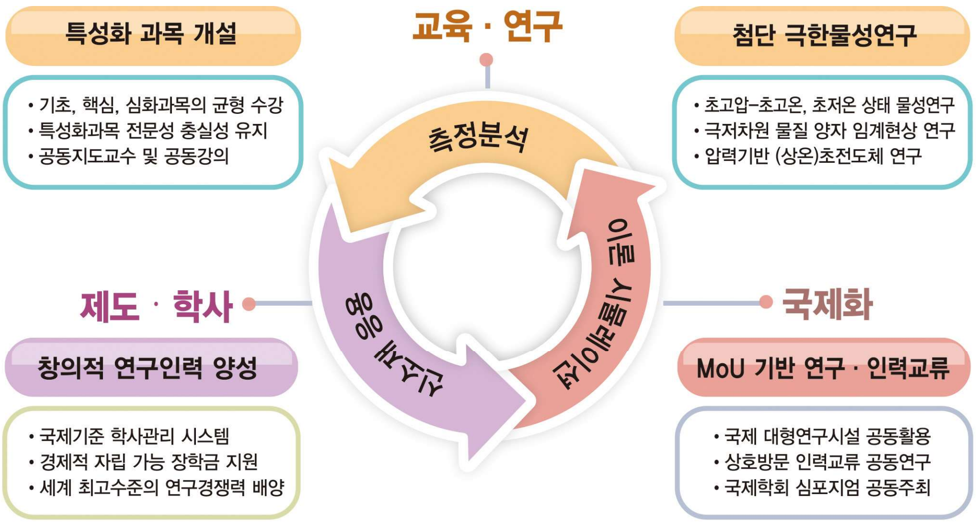
- 본교 학부졸업생 대학원 진학 유도: 본교 물리학과에 진학하는 학부생 수준은, 고교 교과과정 1.8등급 이내 혹은 수능정시 1.34등급 (자료출처: EDUJIN, http://www.edujin.co.kr/news/articleView.html?idxno=8979)으로 상당히 높다. 하지만 졸업 후 타교 대학원 진출과 성적이 우수한 학생들의 기업체 취직률이 높은 편이다. 자체조사 결과 대학원 진학시 고려하는 항목으로 스스로 독립할 수 있는 재원마련이 중요한 요소로 파악되어, 우수한 본교 졸업생을 대학원으로 유도하기 위해 장학금 확보에 노력할 것이다. 실제로 2005년 이후 교원 수 대비 대학원 입학생 숫자가 감소하는 추세인 점을 고려하면 본교생 유치는 본 교육연구팀에서 우선적으로 추진할 사항이다 (우수대학원생 확보 계획 참조).
- 박사학위 자격요건 강화: 세계적으로 경쟁력 있는 박사학위자를 배출하기 위하여 본 사업에 참여하는 학생들의 학위취득 요건을 세계적 수준으로 강화할 예정이다. 즉, 자기주도연구를 격려하기 위해 석박사통합과정 학생들은 수료를 마치는 입학 후 6학기 (박사과정은 4학기) 후 박사학위 연구제안서를 작성하게 하여 학위예비심사위원들의 승인을 거치게 한다. 박사학위 심사는 모든 학생과 교수들을 대상으로 개방형심사를 진행하고, 해외 학자들이 최소 1인 이상 심사위원으로 참여하도록 할 계획이다. 또한 졸업요건으로써 석사/박사 학점 평균 3.75 이상, 해외 학자와의 공동 연구 논문 발표, 해외 구두 발표 1회 이상, 박사 주저자 논문 IF 3.0 이상 논문으로 박사학위 기간 동안 총 IF 합 10 이상 또는 그에 준하는 우수 논문 발표를 지정할 것이다.
- 교육연구팀내의 상시적 연구분위기 조성: 수시로 세부 전공분야별 워크샵, HYU-노벨 시리즈를 포함한 해외석학 초빙 강좌와 세미나를 개최하여 우수한 연구결과가 새로운 교육과정 개설로 선순환 될 수 있도록 할 것이다. 여름과 겨울방학기간 동안 극한물성 관련 집중강좌를 개설하고 대학원생의 해외학회 구두발표를 지원할 것이다.
- 산업연계 프로그램: IC-PBL 강의를 기반으로 산업체에 연계된 기업인과 연구원을 겸임교수로 발령하여 공동지도교수 역할을 수행함으로써 졸업 후 학생들이 산업계에 진출하는데 도움이 되도록 할 것이다. 또한 대기업 연구소에 진출한 졸업생을 초청하여 기업현장의 현황과 소식을 전해주고 졸업생과 재학생 연계를 강화할 것이다. 실제로 우수한 논문을 출간한 학생이 대기업에 스카우트되었는 바, 이는 우수 연구 수행과 산업계 진출이 동일한 트랙이라는 것을 보여주고 있다. 실제로 본 학과 졸업생의 경우 기업체에 취직한 졸업생들의 성실성과 연구력이 회사에서 높이 평가받고 있다. 이는 이직률도 적고 회사에 잘 적응하고 있다는 방증이니 만큼 기업 연구에 연관되는 인재도 많이 배출 할 수 있도록 교육과정을 구성하였다.

국제화

다른 학문 분야가 그렇듯이 극한물성연구는 연구의 주도권이 최근 미국에서 중국으로 넘어가는 추세이며 그 시발점은 2014년 북경고압연구센터 (HPSTAR, http://hpstar.ac.cn)의 설립이다. 이에 본 팀은 압력기반 극한연구를 세계적으로 선도하고 있는 북경고압연구센터와 중국 고압연구의 발원지이며 초고압-초강도물질 연구에 특화된 길림대학 물리학과 (Jilin University, http://phy.jlu.edu.cn)를 중심으로 국제교류를 수행할 계획이다.

- 국제 대형연구시설 활용: 현재 활발히 공동연구를 수행하고 있는 미국의 Advanced Photon Source (APS), 일본의 SPring-8, 유럽의 ESRF와 Eu-XFEL 등 다양한 해외 대형 연구 시설들을 이용한 실험에 참여하여 학생들이 세계 최고 수준의 연구를 경험할 수 있도록 할 것이다.
- 광을 이용한 물성분석 연구는, 현재 공동연구를 진행중인 캐나다의 오타와대학교가 단광자연구분야에서 세계적으로 우수한 광학시설이 잘 구비되어 있는 바, MoU 기반 공동연구를 통해서 극초 단위 시간 분해능 관련 연구를 확장할 것이다.
- 국제학회 공동주최: 극한물성관련 국제학회 주최, 특정 주제에 집중된 세미나 수시 개최를 통해 첨단 연구 흐름을 파악하여 세계최고수준의 연구력을 유지하도록 할 것이다.
- 연구인력 교류: Vietnam National University Ho Chi Minh (베트남), 허난사범대학교 (Henan Normal University), 린이대학교 (Linyi University, 중국) 등 기존 MoU를 체결한 대학들 외 최근 극한물성분야 강자로 부상하고 있는 얀샨대학교 (Yanshan University, 중국)의 Center for High Pressure Science (CHiPS)과도 연구 및 인력교류를 실시하여 연구범위를 확장할 예정이다 (현재 MoU 체결 진행 중).

이러한 내용을 요약하면 그림 I.3과 같다.



[그림 I.3. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 교육·연구 추진체계 및 미래목표 달성방안]

국제화 연계 벤치마킹 결과

- 본 팀과 연구·교육면에서 비슷한 인력과 연구 규모를 가진 학과들을 대상으로 벤치마킹결과를 분석하고 우리의 현실과 비교하여 미래 목표를 설정하였다. 대상기관들은 교육에서는 미국 Rice대학, 연구에서는 우리와 경쟁상대로 여길 수 있는 중국 길림대학을 선정하였다.
- 43명의 교수진으로 구성된 Rice 대학교 물리학과가 2018년 세계랭킹 101-150권에서 2020년 51-100권으로 단기간에 성장할 수 있었던 이유는 응집물질물리 중심으로 2014년 9월에 설립된 양자물질 센터 (Rice Center for Quantum Materials, https://rcqm.rice.edu/)에서 도출되는 우수한 연구 결과로 설명될 수 있다. 본 교육연구팀 참여 모든 교수들은 한양대 부설 고압연구소 (http://hpc.hanyang.ac.kr/)의 주요 연구원으로 활동하고 있다.
- 중국 장춘시에 위치한 길림대학의 경우 대학원생만 2만여 명에 이르는 중국내에서 단일학교로는 가장 큰 규모의 대학이며 특히 물리학과에는 중국 고압연구의 양대 축을 이루는 초강도물질연구센터 (State Key Laboratory of Superhard Materials)가 있다. 본 교육연구팀은 지난 3년간 위 센터와 공동심포지엄 개최, 연구원 교류를 포함하여 극한물성분야에서 지속적으로 연구교류를 수행해왔다.

[표 I.3. 벤치마킹 기관 대비 본 학과의 미래 목표]

구분	Rice University (현행)	Jilin University (현행)	한양대학교 (미래목표)
연구분야 (소속학과)	• 원자 및 분자 광학 • 생물 물리 • 응집 물리 • 핵 및 입자 물리 • 천체 및 플라즈마 물리	• 이론 물리 • 원자 및 분자 물리 • 응용 물리 • 응집 물리 • 광과학 및 전파물리	• 극한물성중심 응집물리 • 광과학 • 입자 및 천체물리
특성화 분야	• Rice Center for Quantum Materials	• State Key Laboratory of Superhard Materials	• 한양대 고압연구소
교원 수 (명)	43	215	22
이수필수학점	24	불분명	석사: 26 박사: 58
지도교수 선정방식	1학기 이후 결정 성적 기준이 있음	입학과 동시에 결정	예비시험 통과 후 결정
교과과목	Basic Course/Advanced Course/Seminar	기초/전공	기초, 핵심, 심화, 특성화
산업연계과목	없음	없음	IC-PBL
논문자격 종합시험	• 대학원 평균 평점 B 이상 • 대학원 연구 과목 (필수이수) • RPP (Research Progress and Proposal) 보고서 제출 • Oral research presentation	• 종합시험	• 예비시험, 종합시험 (필기) • 박사 프로포절 평가 • 대학원평점평균: 3.75/4.5 이상 • 논문 (주저자): IF >10.0 • 구두 학위시험 (공개)
학위연계 프로그램	• 석박사 연계프로그램 • 박사과정 프로그램	• 석사과정 프로그램 • 석박사 연계프로그램 • 박사과정 프로그램	• 학석사 연계프로그램 • 석사과정 프로그램 • 석박사 연계프로그램 • 박사과정 프로그램

마무리

- 본 교육연구팀은 인류가 아직 탐색하지 않았던 분야를 연구함으로써 지금까지 알지 못했던 자연현상을 이해하려는 노력의 일환으로, 양자물질이 온도와 압력 그리고 시공간의 극한환경에서 발현하는 물성을 연구할 수 있는 창의적이고 도전적인 신진 인력을 양성하고자 한다.
- 한국 물리학계와 기초과학, 그리고 세계 기초과학이 도미노처럼 연결되어 있는 현실에서 그 시작점에 위치한 본 교육연구팀은 BK 사업 수행을 통해 현대과학의 난제에 도전하고 융합적 사고를 갖춘 인재를 양성함으로써 이들이 한국 물리학 발전에 기여할 수 있도록 최선을 다할 것이다.

Ⅱ. 교육역량 영역

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

Ⅱ 교육역량 영역

1 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

- 인류가 지금까지 추구해왔던 시간과 공간의 개념을 뛰어넘는 새로운 환경에서의 물성분석 및 이에 필요한 기초연구의 필요성이 대두됨에 따라, 본 교육연구팀은 온도와 압력 그리고 시간을 변수로 하여 극한환경에서 발생하는 양자물질의 물리현상을 이해하고 창의적이고 독립적인 연구능력과 사회적 소통능력을 갖춘 인재를 양성하고자 대학원 교육과정을 구성하였다.
- 특히 극한물성 연구분야는 본 교육연구팀이 보유한 연구장비와 여건 그리고 이론과 실험으로 구성된 연구와 교육현실을 연계하여 도전함으로써 현대과학의 난제 해결에 필요한 가시적 연구성과를 도출하고 이에 필요한 연구인력을 양성할 수 있다는 자신감을 바탕으로 설정하였다.
- 한양대학교 물리학과 현 대학원교육과정은 크게 응집물질물리, 광과학, 그리고 입자·천체 물리학으로 구분되어 있다. 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 인재를 양성하기 위하여 응집물질물리와 광과학 분야 중에서도 본 연구의 취지에 부합하는 내용을 중심으로 교육과정과 학사관리로 구분하여 각각의 운영 및 계획을 기술하면 다음과 같다.

교육과정 운영과 계획

기존 교육과정의 충실성, 지속성:

- 교육과정은 크게 정규과목과 비정규과목으로 나누고 정규과목은 기초, 핵심, 심화, 실험연계과목으로 분류하여 연구에 필요한 과목을 입학 시부터 곧바로 수강할 수 있게 설계 하였다.
- 학생들이 매 학기 기초 핵심, 심화 혹은 실험연계과목 중에서 각 1과목씩 선택하여 수강함으로써 연구와 교육이 유기적인 연관성을 가지고 운영될 수 있도록 하였다.
- 특히 학생들의 연구 참여 기회를 독려하고 전공과목 선택의 다양성을 넓히고자, 그 동안 3학점 단위로 운영되었던 학과 콜로퀴움 과목을 2020-1학기부터 1학점으로 조정하였다.

정규과목

정규과목은 전통적인 물리학과 대학원과정에 맞추어 충실하게 구성하였다. 응집물질물리, 광과학 분야 학생들이 수강해야 할 기본적인 과목들로 구성되어 있으며 응집물질물리와 광과학 분야에서 학기당 평균 3.5 과목, 10.5 학점씩 개설되고 있다. 양자물질 극한물성연구에 필요한 학과 공통과목들은 다음과 같다.

- 기초과목:
  물리학의 기본개념을 체득할 수 있도록 4대 역학과목으로 구성되어 있으며 연구도 병행해야 하는 환경에 맞추어 한 학기에 한 과목씩 수강하도록 되어 있다. 취득 성적이 B 미만일 경우 학과장 면담 후 학부과목을 이수하게 하고 있다. 통계역학을 제외한 모든 과목은 자격시험 필수과목이며 핵심 및 심화 과목들의 수강을 위한 필수과목으로 지정되어 있다 (세부사항은 학과 내규에 따른다).
- 핵심과목:
  연구에 필요한 전문 지식의 전달을 주요 목표로 하는 강의 과목으로서 1년 단위로 개설된다. 물리학 전공 대학원과정을 수료함에 있어 기본적으로 수강해야 할 과목이다.
- 심화과목:
  최신 연구 주제와 밀접하게 연계된 심화 지식을 강의하는 과목으로서 바로 연구를 시작할 수 있도록

최신 연구주제와 밀접하게 연계된 내용을 강의한다. 또한 창의적 연구 수행을 위한 연구 역량 강화가 목적인 과목이며 최신 논문 및 연구 발표를 통해 발표 능력을 향상할 수 있도록 구성되어 있다.

- 실험연계과목
  실험 및 실습과목의 강화를 통해 실용인재를 양성할 수 있도록 교과 과정을 수립하였으며, 실습위주 강의와 실험이 병행되는 과목으로서 창의형 IC-PBL (industry coupled problem based learning) 방식을 도입하여 운영한다. 특정 주제를 설정하고 그에 맞는 실습위주로 진행되는바, 표면경계현상과에너지저장 과목이 2019-2학기에 개설되었고, 극한물성분석, 광학설계 등이 차년도에 개설될 예정이다.
- 학생들이 학기당 기본적으로 기초, 핵심, 심화 혹은 실험연계과목을 각 1과목씩 수강함으로써 매 학기당 9학점을 기본으로 하고 조교업무와 개인연구를 병행하도록 설계하였다.
- 26 학점을 수료하면 석사학위를 신청할 수 있고, 석박통합과정 경우 58 학점을 수강하면 박사학위를 신청할 수 있다.
- 본 학과의 최근 5년간 (2015.3.1.-2020.2.29.) 교육과정 개설현황은 첨부 1에 표기하였다.

이러한 교육과정을 표로 정리하면 다음과 같다.

[표 II.1. 양자물질 극한물성 연구에 수행에 필요한 정규과목 개설 현황]

구분	과목명	개설학기	학점 수	담당교수
기초과목	고전역학	짝수년도 1학기	3	X
	양자물리학	홀수년도 1학기	3	
	전자기학	홀수년도 2학기	3	
	통계역학	짝수년도 2학기	3	
핵심과목	고급양자물리학1	짝수년도 1학기	3	신상진
	고급양자물리학2	짝수년도 2학기	3	신상진
	고체물리학1	짝수년도 1학기	3	X
	고체물리학2	짝수년도 2학기	3	
	전자구조계산	짝수년도 1학기	3	조준형
	반도체물리	홀수년도 1학기	3	김은규
	분광학	짝수년도 2학기	3	문순재
심화과목	응집물질분광학	홀수년도 1학기	3	문순재
	반도체소재및물성	짝수년도 2학기	3	김은규
	다체계및위상물리	짝수년도 2학기	3	천상모
	다체계및응집물질물리	홀수년도 2학기	3	천상모
	고체장론	홀수년도 1학기	3	신상진
	표면경계현상과에너지저장	홀수년도 2학기	3	김재용
	초끈이론과강상관계	홀수년도 2학기	3	신상진
특성화과목	고압물성분석	짝수년도 2학기	3	김재용
	양자물질강상관계분광학	홀수년도 1학기	3	문순재
	극저차원반도체물성연구	짝수년도 2학기	3	김은규
	양자스핀트로닉스	홀수년도 1학기	3	홍진표
	양자물질전자구조계산	짝수년도 1학기	3	조준형
	초고압상변이와수송현상	짝수년도 2학기	3	김재용
	광학실험실습	홀수년도 1학기	3	송석호
	광학설계실습	짝수년도 1학기	3	송석호
공통연구과목	첨단물리특론	매년 1학기	3	학과장
	물리학연구및논문작성	짝수년도 1학기	3	공통

비정규과목

최신 연구동향을 파악하고, 연구자와 학생간의 폭 넓은 교류를 통해서 교육의 수준을 높이고자 다음과 같이 비정규과목을 운영한다.

- 논문작성법 강의: 영어논문 및 저널작성 방법을 개설하여 연구를 처음으로 수행하는 학생들에게 영어논문을 효과적으로 작성하는 방법을 강의한다. 논문의 논지를 명확히 하고, 과학적 근거를 제시할 줄 알며, 논리적인 결론에 도달할 수 있도록 서론, 본론, 결론 작성법을 강조할 예정이다. 또한 본교 writing center를 통해 의사소통, 학술적 글쓰기 등의 교육을 병행할 예정이다.
- 현장실습 교과목: 본 과목은 학생들이 졸업 후 진출할 분야에서 경험을 쌓게 함으로써 진로와 연구주제 선택에 도움을 주는 것을 주요 목적으로 한다. 현장실습 교과목 운영에 있어 어려운 점은 학생들이 실습을 수행할 연구기관 또는 기업을 탐색하는 것이다. 본 교육연구팀은 이를 위하여 교육위원회가 주축이 되어 기업체와 연계하여 연구를 진행하는 교수들 중심으로 다수의 기업과 기관을 확보하여 현장실습과목을 운영할 것이다.
- 교내・외, 학과 간 공동 교과목 개발 등 교과과정 다양화: 대학원 학생들의 전공에 대한 관심을 심화시키고 관련된 공학 분야의 전문지식을 함양시키기 위해서 교내 공과대학과의 연계과목개설을 추진할 예정이다. 나노융합학과, 신소재공학과, 에너지공학과, 나노반도체공학과와의 연계교과목을 개발하고 이를 대학원 학생들이 수강할 수 있도록 유도한다. 이를 위해 우선적으로 공과대학의 수업 중 물리학과 대학원생이 수강하기에 적합한 과목을 선별하여 대학원 학생들이 수강할 수 있도록 했다. 이후 연계 교과목을 적극적으로 개발하여 위 열거된 공과대학에서 2개 이상의 연계과목을 개설할 계획이다.
- 안전 및 윤리교육: 연구안전과 과학자로서의 윤리에 대한 내용을 강의한다. 특히 연구윤리는 논문작성 시 표절과 인용의 차이를 명확히 인식하게 하고, 실험 데이터와 계산 결과의 임의조작에 대한 경고 메시지를 엄중히 전달하는데 목적을 둔다. 또한 실험실에서 발생할 수 있는 화재, 폭발 등 안전사고를 방지하기 위한 교육을 실시하고 있다 (온라인 안전교육: http://safetyedu.hanyang.ac.kr). 이를 위하여 본 학과는 각 실험실마다 보유한 시약의 프로필을 CIS에 입력하여 최소 1년에 한 번씩 정보를 갱신하도록하여 폐시약을 중앙에서 관리하고 매주 자연대 공용으로 모아서 처리하고 있는 등 세계적 수준의 안전관리 시스템을 구축하고 있다. 고압환경에서 실험하는 경우, 특히 가스 안전에 주의를 요하는 바, 수소의 경우 유효기간이 지난 용기를 반드시 갱신하도록 정기점검을 통하여 집중 관리하고 있다.
- 특별강좌 확대 운영: 1) 방학기간을 이용하여 극한물성분야 여름/겨울학교를 개설하고 (실습위주 운영), 2) 매년 해외공동연구기관과 공동으로 교육연구팀 워크샵을 개최하고, 3) 졸업시험을 연계한 대학원생 졸업 발표회를 매 학기 실시하고, 4) 교육연구팀 차원의 저널클럽을 매 격주로 운영할 계획이다. 또한 2016년부터 HYU-노벨렉쳐 시리즈를 운영하여 XXX 교수 (하버드대 물리학과)와 XXXXXXX 소장 (북경고압연구센터)을 초빙하였던 바, 지속적으로 해외 저명학자들을 초빙할 계획이다.

교육연구팀 참여교수가 맡은 현 교과과정 장단점 분석

지난 5년 동안 고체물리 이론 (신상진 교수, 조준형 교수)과 실험 (김은규 교수, 김재용 교수, 문순재 교수, 홍진표 교수), 그리고 광과학 (송석호 교수) 분야에서 참여교수들은 다양한 전공으로 응집물질과 반도체를 대상으로 전자구조, 수송현상, 그리고 시간과 공간조절 물리현상분야에서 전문화된 교육과정을 제공해 왔다. 과목별 개요와 장단점을 정리하면 다음과 같다.

- 반도체소재및물성 (김은규 교수): 반도체 소자특성의 기본이 되는 반도체소재의 결정구조, 에너지밴드, 운반자수송, 평형분포 등을 배우며 Schottky 접합, pn 접합, MOS 구조 등을 기반으로 한 반도체소자 및 소재들의 물성평가 기법을 다룬다.
  - 장점: 다양한 반도체 소재/소자에 대한 전기적/광학적 물성 평가 기법 및 풍부한 실험예시로서 간접경험을 제공한다.

- 단점: 반도체소재 및 소자제조 성장공정에 대해서는 다루지 않는다.

- 표면경계현상과에너지저장 (김재용 교수): 양자역학적 에너지 스케일에서 일어나는 물리현상 탐구를 주제로 하는 고체/기체/액체 등 상이한 상관계 표면에서 일어나는 물리·화학적 변화를 익힌다. 초고압 상변이와 물리·화학적 성질을 저차원에서 이해하고 물질의 구조를 원자단위에서 이해하여 궁극적으로는 초전도 현상과 산업체에 연관된 초에너지저장 메커니즘을 이해한다.
  - 장점: 표면 XRD 분석 등 데이터 측정과 분석을 포함한 실습과 최근 연구논문 분석 위주로 운영함으로써 학생들이 실험과 연구논문 작성에 직접적으로 참여한다. 최근 보고된 연구결과를 외국인 겸임교수와의 팀티칭 혹은 저자와의 온라인 세미나를 통해 직접 전달한다.
  - 단점: 과목 내용이 제한적이다 보니 수강생이 학교에서 요구하는 최저수강인원을 넘기지 못할 경우가 발생한다.

- 응집물질분광학 (문순재 교수): 응집물질이 보이는 고온 초전도, 금속-비금속 전이, 거대자기저항, 스핀·오비탈 정렬 등 흥미로운 현상은 학문적인 중요성뿐만 아니라 응용 가능성도 매우 높다. 응집물질이 보이는 다양한 발현 현상의 원인을 규명하기 위해서는 이들의 전자 구조 및 전자 동역학에 대한 정보가 필수적이며 이는 분광학 실험법을 통해서 얻을 수 있다. 본 강의에서는 응집물질의 물성 연구에 활용되는 다양한 분광 실험 방법과 그 원리를 소개한다. 또한 다양한 분광 실험법을 이용한 응집물질 물성 연구의 실례를 공부할 것이다.
  - 장점: 응집물질물리 연구에 광범위하게 활용되는 다양한 분광 실험법의 원리와 적용 사례를 소개함으로써 수강생들이 연구를 진행하면서 읽게 되는 논문에 보고된 실험 결과에 대한 이해 수준을 향상시킬 수 있다.
  - 단점: 최신 연구 내용에 대한 소개가 부족하여 학생들이 최신 연구 동향을 파악하는데 어려움이 있다. 최근 주목을 받고 있는 극한 환경에서의 물성에 대한 내용을 포함하여 최신 연구 결과 소개를 추가하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

- 전자구조계산 (조준형 교수): 본 강의에서는 고체의 구조, 전기 및 자기적 물성을 해석하는 제일원리 전자구조 계산에 대한 이론 및 방법을 소개한다. 고체의 성질을 이해하기 위해서는 (많은 원자핵)+(많은 전자)로 구성된 고체 시스템의 양자역학적 문제를 풀어야 하는데 이를 위해 최근 물리, 화학, 재료과학 분야에서 광범위하게 사용되고 있는 밀도범함수 이론을 공부한다. 본 강의에서는 밀도범함수 이론을 사용하여 개발된 컴퓨터 프로그램 코드의 사용법도 소개하고, 이를 통해 최근 활발히 연구되고 있는 그래핀의 구조와 전자구조를 계산해 보는 실습도 병행한다.
  - 장점: 본 강의의 장점은 수업 특성상 비전공자라 할지라도 비교적 원활이 수강할 수 있다는 점이다. 강의 초반 밀도범함수 이론 부분에서 약간 복잡한 수식이 나올 수 있지만 이론의 근간이 헤밀토니안을 설계하여 슈뢰딩거 방정식의 해를 구하는 문제들로 구성되어있기 때문에 물리학과 학생들이라면 어려움 없이 수강할 수 있다. 또한 학기 중간에 시행되는 프레젠테이션 발표를 통해 학생들의 발표능력 향상 및 연구소양 능력 향상에도 도움을 줄 수 있다.
  - 단점: 본 강의의 목표는 밀도범함수 및 코드 사용 방법에 대한 이론 숙지와 컴퓨터를 사용하여 실제 계산을 수행해보는 실습의 병행이다. 하지만 실습의 경우 강의를 듣는 학생 수가 많아질 경우 본 그룹이 소유하고 있는 서버의 자원이 한정되어 있어 모든 학생들에게 원활히 실습의 기회를 제공하기 어렵다는 단점이 있다. 그리하여 실습은 필요한 경우에 한하여 제한적으로 행하고 있으며 주된 수업 내용은 밀도범함수 이론과 계산과학 분야의 유망한 연구분야들을 살펴보는 것으로 구성되어 있다.

- 양자스핀트로닉스 (홍진표 교수): 본 교과과정에서는 차세대 메모리 개발에 적용가능성을 염두에 두고 물질의 저항변화 메커니즘에 따른 특성과 물성의 제어방법을 교육하고자 한다. 본 교과과정은 저항변화 메모리 외에도 나아가서 차세대 반도체 분야의 연구방향을 제시한다.
  - 장점: 미래 반도체 소자인 스핀트로닉스에 대한 소개를 물리학적인 이론을 기반으로 설명하는 수

업은 자연대에만 존재한다. 학부 양자역학에서부터 배우는 전자의 스핀에 대한 지식이 반도체 산업에서 어떻게 활용되는지 그리고 발전할 것인지에 대해 공부한다.
  - 단점: 미래 반도체 소자는 스핀트로닉스만을 이용하는 것이 아닌 이온 동역학, 위상 변이를 통한 저항 변화 소자, 강유전체 메모리 등 다양한 분야로의 발전이 이뤄지고 있으며, 각각의 발전에 따라 기업에서, 학문에서 연구되어 지는 분야가 다르기 때문에 스핀트로닉스 뿐만 아니라 다양한 차세대 소자의 물성파악이 필요하다.

- 광학설계실습 (송석호 교수): 이론과목을 통하여 습득한 지식을 실제 응용에 적용하기 위한 실습 위주의 수업을 진행함으로써, 첨단 물리학적 지식의 활용성에 대한 안목을 넓히고, 새로운 가치를 창출할 수 있는 경험을 하도록 한다. 파장보다 작은 극한광학계에서 일어나는 다양한 공명 현상들을 깊이 있게 이해하기 위해, 파동광학 (wave-optics) 및 회절광학 (diffractive optics) 위주로 광학 시뮬레이션에 대한 지식을 실습을 통하여 습득한다. 세부적으로는 기존 ray-tracing 방식이 아닌, electromagnetic field-tracing 방식을 집중적으로 실습하고, 수치해석적인 resonance-mode solving 및 spatio-temporal mode evolution 방식에 대해 습득한다.
  - 장점: 이론과목을 통하여 습득한 지식을 실제 응용에 적용하기 위한 실습 위주의 수업을 진행함으로써, 첨단 물리학적 지식의 활용성에 대한 안목을 넓히고, 새로운 가치를 창출할 수 있는 경험을 하도록 한다.
  - 단점: 현재에는 실습환경의 여건 상, 수강생 개인이 실습할 수 있는 software 수가 부족하나, 추후 추가 확보가 되면 보다 충실한 실습과정이 될 것으로 기대된다.

- 초끈이론과강상관계 (신상진 교수): 끈이론의 열린 끈과 닫힌 끈 사이의 상대성을 이용하면 강한 상호작용 하는 물질계의 동역학을 고전적 리만 기하학 이론으로 기술할 수 있다. 이러한 원리를 전자계에 적용하여 풀리지 않는 다체 물리학에 획기적인 발전을 가져오고자 하는 것이 최근 끈이론의 중요한 이슈이다. 본 과목에서는 학생들의 발표와 박사후 연구원 및 외부초청연사의 강의를 통해 이 분야의 가장 중요한 아이디어를 습득하고 최신동향을 파악하는 것이 주된 목적이다.
  - 장점: 새로운 이론을 소개하는 과목으로 학생들을 첨단의 물리학에 쉽게 접할 수 있게 해준다.
  - 단점: 한국 물리학과들이 기본적인 이론과목에 소홀하고 있어 학생들이 본 과목을 위한 배경적 지식을 쌓기 어렵다.

이렇듯 현재의 교과과정은 전자와 스핀, 구조, 표면현상, 그리고 분광법 등 이론과 실험이 잘 어우러진 정통 응집물질물리학 관련 교과목들이다. 매년 1, 2 학기 단위로 개설하는 고체물리학 I, II 의 경우 대학원에서 가장 많은 학생들이 수강하고 있으며 학생들에게 인기 있는 과목이다. 또한 반도체물리, 반도체소재 및물성 과목들은 공과대학의 반도체학과에서 개설하는 과목들과는 차별화된 내용으로 진행하고 있을 뿐 아니라, 학생들이 졸업 후 관련 기업체 취직에 필요한 지식을 제공하여 실용물리인재 양성에도 부합하는 본 학과만이 가진 강점 과목이다. 나아가, 최근 응집계의 강상관계를 설명하려는 노력의 일환으로 입자물리학의 초끈이론을 다체물리학 응집계에 접목하는 시도가 이루어지고 있는 바, 본 학과에서는 ‘초끈이론과강상관계’ 교과목을 개설하였다.

하지만 최근 대학원에 입학하는 학생들 수가 점진적으로 줄어듦에 따라 심도 있는 사고를 요구하거나 수강생들이 어렵게 느끼는 이론과목들은 학교에서 정하는 수강인원 기준을 만족하지 못하여 폐강되는 경우가 발생한다. 따라서 응집물질물리 전범위에 걸친 내용보다 연구목적과 방향을 가진 교과목을 개설할 필요성을 느끼게 되었다. 이러한 추세에 맞추어 응집물질물리 분야 교수들은 양자물질 극한물성 분야를 공동연구 주제로 정하고 이에 맞는 교과목을 개설하고자 한다.

극한물성 연구에 특화된 교과목 신설

양자물질을 대상으로 온도와 압력 그리고 시간을 매개로하는 극한영역에서 발현되는 물리현상을 이해하고 현대과학 난제 해결에 도전할 수 있는 세계적 수준의 젊은 연구인력을 양성하기 위해 교과내용을 새롭게 구성하였다. 예를 들어 표면에너지의 흡착을 고에너지 밀도인 흡수 개념으로 바꾸고, 전자구조계산과목의 경우 극한 온도와 압력하에서 초전도를 비롯한 전자 수송현상에 대한 내용을 추가하였고 강상관양자물질분광학 과목에서는 전하, 스핀, 격자상호 작용이 강한 강상관 양자물질의 특성을 이해하는데 중점을 두었다. 또한 고체장론과 전자구조계산 과목들을 신설하였다. 본 교육연구팀에서 추구하는 극한물성이라 함은 시료제작과 분석을 포함한 온도와 압력, 그리고 시간을 물리변수로 하는 측정 가능한 한계 영역에서 발생하는 물리 현상이니 만큼, 극저차원 시료 제작과 분석에 필요한 실험기법, 최근 연구 동향 세미나, 논문작성 등 실제 연구 수행에 직접적으로 필요한 실무적 내용으로 구성하였다. 신설된 교육과정은 운영 및 관리를 담당할 교육위원회를 상설기구로 설치하여 온라인 강의평가를 실시하고 오프라인 대학원생간담회를 운영하여 강의 질을 개선할 것이다. 극한물성양자물질 연구에 특화된 내용을 매년 정규 과목으로 개설할 것이며 과목명과 내용은 다음과 같다.

- 극저차원반도체물성연구 (김은규 교수): 이차원 구조의 그래핀 및 전이금속 칼코젠 반도체를 이용한 다양한 양자구조 형성기법을 익히고, 양자역학적 현상을 기반으로 한 반도체이종접합구조의 에너지밴드, 양자터널링 현상을 포함한 운반자수송, 평형분포 등을 배움으로써, 새로운 기능의 양자구조 소자에 대한 창의력을 배양한다.

- 극한물성분석 (김재용 교수): 온도와 압력은 물성을 결정하는 중요한 물리변수이다. 두 변수를 동시에 적용하였을 경우 발현하는 현상에 대하여 공부한다. 특히 초고압-초고온 혹은 초고압-초저온 등 극한 물리변수 상황에서 발생하는 물질의 구조와 상전이, 전기 광학적 특성 그리고 물리・화학적 새로운 현상에 기반한 신물질 개발에 필요한 지식과 극미량시료의 물성 분석에 필요한 지식을 함양하고자 한다. 기존 실험실에서의 극한환경 재현과 소재의 물리・화학적 성질을 규명할 수 있는 실험적 방법을 탐구함으로써, 극한환경 분야 최근 연구경향을 이해할 수 있는 지식을 갖춘다. 창의형 IC-PBL방식으로 운영하여 본 분야에서 세계적인 결과가 발표되었을 때 저자를 원격강의에 초대함으로써 연구와 직접 연계된 현장감 있는 경험을 쌓도록 할 것이다.

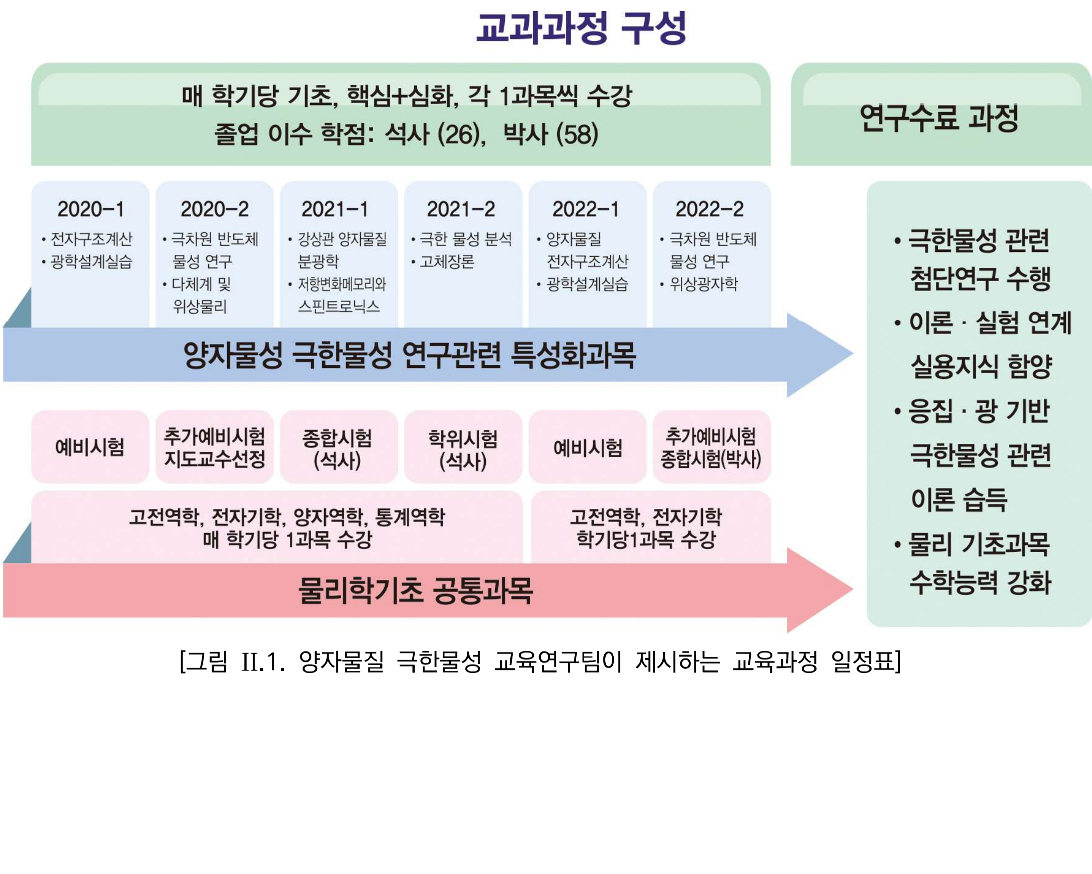
- 강상관양자물질분광학 (문순재 교수): 분광 실험법은 물리, 화학, 생물, 지구과학 등 과학 분야 전반에 걸쳐 널리 사용되는 기술이다. 분광 실험은 물질의 전자 구조와 전도 전하들의 동역학 특성, 분자 진동 모드 등에 대한 정밀하고 정량적인 정보를 제공한다. 본 강의에서는 광분광 실험법, 광전자 분광법, x-선 흡수 분광법, 중성자 산란, 시간 분해 분광법 등에 대한 기본 원리에 대해 강의한다. 다양한 분광법들의 적용 사례를 최신 연구 논문 리뷰를 통해 소개한다. 특히 양자물질의 극한물성에 대한 깊이 있는 소개를 위해 전하/스핀/격자/오비탈 상호 작용이 강한 양자물질의 특성에 대해 소개하고, 극한 환경에서 이들 물질의 특성을 조사한 최신 연구 결과들을 리뷰한다.

- 위상광자학 (송석호 교수): 최근 20여 년 동안 세계적 관심을 끌었던 나노광학 기술은 기존의 전통적 광과학에 나노기술과 고체결정/반도체 이론을 도입함으로써, 메타물질 광학이라는 새로운 연구분야를 개척하며 발전해 왔다. 본 수업은 이러한 종래의 광과학 분야에 열린 양자역학 이론 및 위상기하학적 대칭성 또는 특이성을 도입하여 다양한 기존의 물리적 한계를 극복하려는 시도와 함께, 열린 양자역학이라는 이론을 실험적으로 검증하고 발전시키기 위한 새로운 광과학 영역을 학습하고자 한다.

- 고체장론 (신상진 교수): 고체장론은 정량적 계산을 통해 응집계를 이해하려는 가장 높은 수준의 대학원 강의중 하나이다. 기존의 장론을 통해 스펙트럼과 수송계수를 구하는 방법을 논하고 새로운 끈이론을 통한 방법론의 결과와 비교함으로써 기존 고체장론의 업그레이드를 시도한다.

- 양자물질전자구조계산 (조준형 교수): 극한양자물질 초전도체와 같이 극한상태에서 물성이 발현되는 물질에 대한 연구가 오랜 기간 동안 물리학계의 연구 과제로 여겨져 왔다. 상온 초전도체는 오랫동안 해결되지 않은 응집물질물리학의 난제이지만, 최근 고압에서 수소화물이 상온 초전도체가 될 수 있다는 가능성이 제시되어, 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이에 상온초전도체 물질 구현은 현 시점에 적절한 교육주제이다. 상온에서 발생하는 초전도 현상의 BCS기반 초전도메커니즘을 전자에너지띠 이론으로 이해하고, 제일원리 밀도범함수이론(DFT) 기반의 물질 설계 방법을 통해 압력 하에서 형성된 금속 수소화물 물질군을 예측하여 백만기압 단위에서 가능한 상온 초전도체를 구현하는 수업을 진행할 것이다.
- 저항변화메모리와스핀트로닉스 (홍진표 교수): 저항변화메모리는 저항이 높은 산화물 내에서 전기적인 스트레스를 인가하여 전도성 필라멘트 또는 계면을 활성화시켜 산화물의 저항을 낮춰 정보를 저장하는 소자로서 DRAM을 대체할 주메모리, storage-class memory, 인공지능 구현을 위한 뉴로모픽 메모리 등 여러 반도체 분야에서 주목을 받고 있다. 본 교과과정에서는 차세대 메모리 개발에 적용가능성을 염두에 두고 물질의 저항변화 메커니즘에 따른 특성과 물성의 제어방법을 교육하고자 한다. 또한 미래 반도체 소자인 스핀트로닉스에 대한 내용은 양자역학에서 배우는 전자의 스핀에 대한 지식을 기반으로 강의할 것이며 이는 자연대에서만 접할 수 있는 고급 내용이다.
- 초고압상변이와수송현상 (김재용 교수): 압력을 변수로 하여 초전도 및 전자의 수송현상을 탐색하는 과목이다. 온도-압력 상변이에 연관된 초전도 이론과 이를 측정하는 기법이 융합된 과목으로서, 이론과 실습을 연계하여 창의형 IC-PBL 과목으로 운영한다. 이론중심 수업에서는 해외공동연구를 수행하고 있는 해외 유명 학자들의 원격강의를 포함하고, 실습중심에서는 실험을 취득한 실험결과를 학생들로 하여금 직접 분석하도록 할 것이다.
- 다체계및위상물리 (미정): 최근 양자위상물질에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. 다체계 물리, 위상 절연체 및 초전도 물리에 대해 소개하여 이론을 전공하는 학생 뿐 아니라 실험을 전공하는 학생도 수강할 수 있다. 선수 과정으로는 1) 고체 물리 (블로흐 정리, 브릴루앙 존, 에너지 밴드, 기본 반도체 물리)와 2) 양자역학 (고유상태, 고유치, 해밀토니안) 등이다.

이러한 내용을 학기별로 정리하면 다음과 같다.



[그림 II.1. 양자물질 극한물성 교육연구팀이 제시하는 교육과정 일정표]

교육의 국제화

- 교육분야의 벤치마킹 대상은 중국의 길림대학교와 미국의 Rice대학이다. 길림대학교의 경우 전체 대학원생이 2만 여명으로써 단일 규모로는 중국에서 가장 큰 대학이며 1940년대부터 고압연구를 시작한 중국 고압연구의 발원지이다. 특히 물리학과에는 State Key Laboratory of Superhard Materials (소장: XXXXXX 교수)가 있어 초고압-초고온 초강도물질 연구분야에서 세계 최고수준이다.

- Rice 대학 물리학과의 경우 응집물질물리와 광과학 중심의 우리 학과와 비슷한 교원 분포로 구성되어 있으며 특히 QS 물리학과 평가에서 2018년에 비해 2019년 순위가 150위권에서 100위권으로 1년 만에 수직 상승하여 본 학과의 관심 대상이었다. 부속연구센터로 Rice Center for Quantum Materials (https://rcqm.rice.edu)와 Smally-Curl Institute (https://sci.rice.edu)가 있다.

- 공동 학위제: MoU 7건 (첨부자료 2 참조)
  - 우수한 해외 유학생을 학부 때부터 수급하기 위하여 인적자원이 풍부한 중국과 베트남을 방문하여 현지에서 학과설명회를 하였고, 학생들을 현지에서 선발하였다. 그 예로 2015년부터 베트남 국립대학교와 SCI-X 프로그램을 맺어 학부 2학년을 마친 학생들이 공동학위제를 활용하여 본교로 옮겨와 졸업 후 대학원 석박과정 전액 장학생으로 진학을 유도하였다.
  - 중국 상해에 위치한 북경고압연구소와 MoU를 체결하여 고압 전반에 걸친 연구뿐 아니라 현지 연구원들이 본 학과의 학위과정에 진학하고 있다. 실제로 XXXXXXXXXXXXXXX 학생들은 북경고압연구소에서 2년간의 연구 활동을 마친 후 본 학과 석박통합과정으로 진학하였다.
  - 중국 허난사범대학교 (2018년 5월), 린이대학교 (2019년 5월)와 MoU를 체결하여 공동학위제를 추진 중에 있다.
  - 길림대학교 State Key Laboratory of Superhard Materials 연구센터와 MoU를 체결하였고, 물리학과와 공동학위제를 추진 중이다.
  - 캐나다에 위치한 오타와대학교 (University of Ottawa) 물리학과와 MoU를 체결하여 광과학 분야에 특화된 교육과 연구시설을 공동으로 활용하기로 하였다.
  - 영국 옥스퍼드대학교 (University of Oxford) 전기공학과 소속 연구실 (Prof. XXXXXXX)과 2015년 MoU를 체결하여 신소재분야 공동 연구를 추진하고 있다.

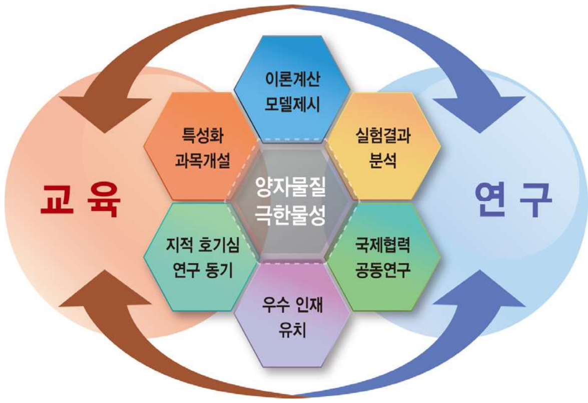
- 온라인 화상강의:
  최근 들어 고체원자수소, 상온초전도체 등 현대과학의 난제로 분류되었던 현상들이 초고압환경에서 보고되는 등 새로운 연구결과가 시시각각 발표되는 본 연구분야 특성상 새로운 결과가 발표되면 수시로 저자를 교과목 강사로 초빙하여 온라인기반 특별강의를 진행할 계획이다.

- 공동지도교수제:
  현재 본 학과에는 고압연구분야에서 1명의 특훈교수 (XXXXXXXXX 소장)과 2명의 겸임교수 (XXX XXXXXX 교수, XXXXXXXX 교수)가 있다. 이들과 공동으로 학생연구를 지도하고 필요시 겸임교수들의 현지 연구실에 학생들을 파견하여 실험을 진행함으로써 공동으로 학생들을 지도할 것이다. 박사학위논문심사는 직접 대면이 불가할 경우 온라인으로 진행할 것이다.

- 외국인 학생:
  해외 유학생들은 본 사업에 참여 대학원생의 25%를 차지하고 있다. 활발한 국제교류 덕분에 외국인 학생의 수급은 증가하는 추세이지만, 국내학생 대비 외국인 학생비율은 30% 이내를 유지하여 학생들끼리 선의의 자극을 통한 조화가 이루어지도록 할 계획이다.

교육과 연구의 선순환 구조 구축 및 연구역량의 교육적 활용 방안

극한물성 연구에 특화된 과목들이 연구내용에 직접 적용되고 연구에서 얻은 결과들이 교과과정에 반영되는 등 교육과 연구가 선순환구조를 유지하는 것은 첨단연구를 수행하는데 있어 매우 중요하다. 아래 그림 II.2는 극한물성연구를 수행함에 있어 교육과 연구가 얼마나 직접적으로 연관되어 있는지를 보여주는 개념도이다. 예를 들어, 이론계산으로 모델을 제시하면 이를 실험결과에 적용할 수 있고 국제공동연구를 통하여 연구결과를 검증하고 이를 반영하여 새로운 특성화 과목을 개설한다. 우수한 논문을 발표하여 우수 인재를 유치하고 이들의 지적 호기심이 다시 연구 동기를 유발하여 새로운 교과목을 개발할 수 있다. 물론 이와 반대의 경우도 고려할 수 있다. 이렇듯 양자물질 극한물성을 연구함에 있어 개설하는 모든 교과목들은 연구결과에 직접 연결되어 선순환 구조를 이루도록 할 것이다.



[그림 II.2. 교육과 연구의 선순환 구조를 나타내는 개념도]

- 연구와 교육이 선순환 구조를 이루기 위해 학교정책으로 시행하는 대학원생 중심의 연구지원 체계를 도입하고자 한다. 학생들이 연구에서 좋은 결과를 얻어야 학습할 의욕도 생기고 다시 긍정적인 의욕이 연구 동기를 유발하듯, 연구의 주역인 대학원생의 독립된 연구를 독려할 계획이다.
- 연구와 교육이 선순환을 이루고 다양한 특성화과목을 개설하기 위하여 1단계 기간 동안 응집물질물리 실험분야 전공자 1명을 신임교원으로 초빙하고자 한다.
- 2단계에서 응집물질물리 실험분야 교원을 추가 충원하여 연구력과 교육과정을 보강할 계획이다.

학사관리 운영 및 계획

학과 내규 중 본 교육연구팀에게 적용할 학사운영 및 제도 내용을 골라 요약하면 다음과 같다.

- 지도교수 및 세부전공 선택: 1학기말 예비시험을 통과한 후 지도교수를 선임하여 세부전공을 선택한다. 세부전공을 선택하기 전까지는 임시지도교수를 선정한다.
- 학·석 통합과정: 학부 5~6학기 재학생 중 총 90학점 이상 취득 예정자 (총평점평균 3.5/4.5 이상)를 대상으로 한다. 본교 대학원 석사/석박통합 과정 입학을 조건으로 학부생에게 장학금을 지급한다. 본 과정을 통하여 대학원 기초/핵심과목을 선수강할 수 있다.
- 자격시험: 학위에 필요한 자격시험은 예비시험과 논문자격시험으로 구분되며, 예비시험을 통과한 후 지도교수를 선정한다.
  - 예비시험과목은 고전역학, 양자역학, 전자기학 등 기초에 해당하는 3과목으로 한다.
  - 예비시험은 매 학기 1회 실시한다.
  - 출제, 채점, 사정을 위하여 각 과목별로 2인의 관리위원을 학과장이 선임한다.
  - 각 과목별로 핵심내용들을 담은 문제은행을 운영한다.
  - 석사과정에서 예비시험을 통과한 학생이 박사과정에 진학할 경우 예비시험을 면제한다.

- 박사학위 자격요건 (신설):
  - 연구수행에 필요한 지식, 방법론 및 소양을 평가하기 위하여 매 학기 1회 구두시험을 실시한다.
  - 논문자격시험을 통과하고 학점 평균 3.75 이상인 경우 박사연구제안서를 제출하여 예비심사 위원회의 승인을 거쳐 학위연구를 시작한다.
  - 해외 학회 구두 발표 1회 이상, 해외 학자와의 공동연구를 통한 논문 발표, 박사 주저자 논문 IF 3.0 이상 논문으로 박사학위 기간 동안 총 IF 합 10 이상 또는 그에 준하는 우수 논문을 게재하였을 경우 박사학위 시험을 신청할 수 있다.
  - 박사학위심사는 공개로 진행되며 심사위원으로 관련분야 해외학자 1인 이상을 포함한다.

각종 위원회 운영 현황 및 계획

- 교육위원회: 입학생선발, 교과목 개설 및 운영관리, 종합시험, 지도교수선정, 학위논문심사 등 대학원 학사 및 교육과정 전반에 관한 업무를 관할한다.
- 외국인학생지원 위원회: 외국인 학생들의 원활한 학과 적응을 도와주기 위해 3 명의 교수로 구성한다.
- 장학위원회: 장학생 선발에 관한 전반적인 사항을 관할한다. (장학제도 안내 표 II.3 참조)
- 운영위원회: 연구교육팀 참여교수 3인, 비참여교수 2인 등으로 구성하여 본 팀의 교육과 운영 전반에 걸친 자문을 수행한다.
- 자문위원회: 국내 2인 국외석학 1인 등으로 구성하여 최소 연 1회 교육연구팀의 연구진행 관련 자문을 수행한다.

기타

정규교육과정이 제대로 수행되기 위해서는 충분한 대학원생이 확보되어야 한다. 최근 5년간 대학원에 입학생 숫자가 (특히 본교생 숫자가) 급격히 감소하여 (표 II.2 참조) 교과목개설에 대학에서 제시하는 설강기준을 충족하지 못하여 폐강되거나 개설하여도 담당교수가 교육시수를 인정받지 못하는 경우가 종종 발생하였다. 충분한 대학원생이 확보되면 다양한 교과목을 개설할 수 있고 대학원생의 질을 향상시킬 수 있기에 본 교육연구팀은 대학원생 확보에 많은 노력을 쏟을 것이다. 그리하여 원래 계획한 바대로 정규 심화과목들 외에 본 양자물질 극한특성 연구에 특화되어 개설한 과목들이 성공적으로 개설, 운영될 수 있도록 할 것이다.

마무리

양자물질의 극한물성을 연구하고 이에 필요한 신진인력을 교육하기 위해서는 기초, 핵심과목을 보강하고 새로운 교과목개발과 엄격한 학사관리 및 운영이 필요하다. 교육과정을 개편함에 있어 학문간 연계와 융합을 통한 다양하고 새로운 정규과목을 개설할 뿐 아니라 연구활동에 직접 연관이 있는 비교과과정도 개설할 예정이다. 위상기하학과 광과학을 연계 (위상광자학), 입자 끈이론을 응집계에 적용 (고체장론), 압력 하에서 초전도메커니즘을 전자에너지띠 이론으로 이해하고, 제일원리 밀도범함수이론 기반의 물질 설계 (양자물질전자구조계산), 강상관 양자물질의 전하-스핀-격자-오비탈 상호작용 (강상관양자물질분광학), 초고압과 온도를 연계한 특이 상전이 (고압물성분석), 극저차원에서의 반도체와 스핀 (저차원반도체물성, 양자스핀트로닉스) 등에 관련된 교과목들을 순차적으로 신설할 계획이다. 또한 해외기관을 대상으로 벤치마킹한 결과를 바탕으로, 교육과 연구의 선순환구조를 유지하고 강화된 학사관리 및 제도를 운영함으로써 극한물성분야를 선도할 수 있는 세계적 수준의 연구인력을 양성할 것이다.

1. 교육과정 구성 및 운영

1.2 과학기술산업사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획

1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획

물리학은 기본원리 탐구를 통해 현대 기술문명의 토대를 만든 학문이며 미래의 성장동력이 될 원천지식과 기술을 창출하는 학문이다. 4차 산업혁명 시대로 대변되는 현대 사회는 초연결, 초융합, 초지능이라는 키워드로 기술할 수 있으며, 이러한 상황은 물리학이 타 과학기술 분야나, 산업 및 사회 문제의 해결에 기여할 것을 요구하고 있다. 이 흐름에 보조를 맞추고 선도할 수 있는 기업과 국가만이 21세기를 헤쳐나갈 수 있을 것이다. 빛과 원자와 물성의 근본적인 이해로부터 컴퓨터와 통신 등 20세기 기술문명을 이루는데 눈부신 기여를 했던 물리학은 21세기 사회에서도 새로운 지식과 정보의 창출을 위한 주요 축으로서의 역할을 수행할 것이다.

물리학과 같이 유서 깊은 학문에서 과학기술 및 산업·사회 문제를 해결할 수 있는 새로운 지식을 얼마나 더 창출해 낼 수 있을지에 회의적인 시각을 보이는 사람들도 있지만 역사적으로 중요한 과학 발전을 이루기 위해서는 연구자들이 지금까지 시도하지 않았거나 이제 막 태동 단계에 있는 새로운 분야를 개척하는 것이 필요하다. 또한 서로 다른 물리학 분야, 물리학 분야와 타 학문 분야, 물리학 분야와 산업체 분야와의 융합을 통해 새로운 지식과 기술을 창출할 수 있을 것이다. 빠르게 변화하는 4차 산업혁명 시대와 미래의 N차 산업혁명 시대에서 물리학이 추진해야할 전략은 새로운 분야 개척을 통한 첨단 융합이다.

본 교육연구팀은 이런 시대의 흐름에 따른 새로운 분야 개척과 공동연구/융합연구가 절실함을 인식하고, 그 동안 학과가 중점적으로 육성해 왔던 응집물질물리학 분야의 성과를 토대로 시너지 효과를 극대화 할 수 있는 첨단 연구분야를 발굴하였다. 또한 첨단 실용 인재 양성 및 국제화에 중점을 두어 교육체계를 재구성 하여 첨단 실용 물리 인재 양성을 통해 4차 산업혁명 시대에서 개인, 기업, 국가의 경쟁력 제고에 이바지하고자 한다. 첨단 실용 물리인재는 과학기술 뿐 아니라 산업 및 사회 문제 해결을 위한 새로운 지식과 기술을 창출해 냄으로써 21세기의 기업과 국가의 경쟁력을 유지시켜 줄 지식기반 사회의 필수적인 핵심인력이다.

최근 IC-PBL은 학문 분야 우수 인재 양성을 위한 교육과정으로 전 세계에서 많은 관심을 받고 있다. IC-PBL은 산업체와 학교의 상호 연계를 통해 지식 공유의 차원을 넘어 연구자가 사회 및 현장에서 발생하는 실제적인 문제를 도출하고 이를 해결하는 교육, 연구, 산학협력이 상호 융합된 교육 모델이다. 해외에서는 산업·사회 문제를 해결하는 사회 연계 문제 해결 교육과정을 광범위하게 운영 중이다. 본 교육연구팀은 양자물질 극한물성에 관한 다수의 IC-PBL 강좌를 개설하여 운영하고자 한다 ([1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획] 참조). 본 교육연구팀이 운영하고자 하는 과학기술 분야 문제 해결과 연관된 교육 프로그램과 산업·사회 문제 해결과 연관된 교육 프로그램의 구체적인 내용을 아래에 기술하였다.

과학기술 문제 해결에 관련된 교육 프로그램 현황과 구성

양자물질 극한물성 관련 IC-PBL 강좌 운영
기업체와의 협력을 통한 연구 환경 조성 – 항온항습 청정 실험실 구축

- 양자물질 극한물성 탐색 IC-PBL 강좌 운영
  본 교육연구팀의 핵심 주제인 양자물질 극한물성 분야의 문제 해결을 위한 IC-PBL 강좌를 운영하였고 앞으로 확대 운영할 계획이다. 해당 강좌의 구체적인 내용은 아래와 같다.
  - 표면경계현상과에너지저장 (2019학년도 2학기): 김재용 교수는 각종 실험 장비들을 활용하여 양자물질의 표면 또는 경계에서 일어나는 극저차원 물리 현상을 측정하고 분석하는 내용에 대한 IC-PBL 강의를 진행하였다. 본 강의에서는 양자물질의 표면과 경계면에서 일어나는 물리·화학적 성질을 저차원에서 이해하고 분석하는 기법을 익힘으로써 물질의 구조 현상을 원자단위의 극한 차원에서 이해하는 것을 목표로 하였다. 표면 현상은 박막흡착, 자기조립, 층상구조형성 등 2차원 물질이 3차

원 구조체로 발전해가는 과정을 심도 있게 다루었다. 분석 방법으로 방사광, 중성자등 대형 연구 시설뿐만 아니라, X-ray, 투과전자현미경, 원자힘현미경 등 여러 분석 장비의 원리와 사용법에 관한 지식을 습득하도록 하였다. 심화 내용으로 극한 환경에서 나타나는 초전도 현상에 대한 최신 연구 주제를 소개하고 극한 환경에서 나타나는 새로운 물성을 설명하였다.

- 전자구조계산 (2020학년도 1학기): 조준형 교수는 밀도범함수 이론을 이용하여 양자 물질의 극한 상황에서의 전자구조를 계산하는 내용에 대한 IC-PBL 강좌를 운영한다. 본 강의에서는 고체의 구조, 전기 및 자기 물성을 해석하는 제일원리 전자구조 계산에 대한 이론 및 사용 방법을 소개한다. 많은 원자핵과 전자로 구성된 양자물질의 성질을 이해하기 위해 광범위하게 사용되고 있는 밀도범함수 이론을 공부하고 이를 사용하여 개발된 최신 프로그램 코드의 사용법을 익힌다. 배경 이론과 사용법을 익힌 후에는 물질 내 전자가 가질 수 있는 에너지 준위 (밴드) 및 파동함수를 얻어 양자물질의 다양한 물성들을 정량적으로 계산하는 실습을 진행한다. 최종적으로 현재 자연계에 존재하지 않는 새롭고 유용한 물성을 가질 수 있는 물질을 예측하는 과제를 수행한다.

• 기업체와 협력을 통한 교육 환경 조성
  - ㈜탑엔지니어링과의 협력을 통해 자연과학관 지하 2층에 대규모 청정 항온항습 실험실을 구축하였다 (그림 II.3 참조). 이 실험실에 광학 특성 연구에 사용하는 다양한 장비를 집적하여 장비 활용도 및 효율성을 향상시켰다. 또한 청정 항온항습 환경에서 정밀한 실험이 가능하여 대학원생들의 실험 실습 교육에 많은 도움이 되고 있다.

[그림 II.3. 자연과학관 지하 2층에 위치한 광학실험실]

과학기술 문제 해결에 관련된 교육 계획

[그림 II.4. 과학기술 문제 해결을 위한 교육 계획]

• 양자물질 극한물성 분야에 특화된 교과목 개설
  - 극한물성분석 (2021학년도 2학기): 극한 환경에서 양자물질의 물성과 그 측정방법에 대해 다루는 강의를 2021학년도 2학기에 개설하기로 한다. 극한환경을 조성하는데 필요한 기본 지식과 실험적인 방법 등을 소개하고 이에 대한 실습을 진행한다. 특히 물성을 결정하는 중요 변수인 온도 및 압력의 영향에 대해 집중적으로 다룬다. 특히 초고압-초고온 혹은 초저온 등 극한 상황에서 발생하는 물질의 구조와 상전이, 전기 광학적 특성 그리고 물리·화학적 새로운 현상에 기반한 신물질 개발에 필요한 지식과 극미량시료의 물성 분석에 필요한 지식을 함양하는 것을 목표로 한다. 기존

실험실에서의 극한환경 재현과 초미량 소재의 물리·화학적 성질을 규명할 수 있는 실험적 방법을 탐구함으로써, 대학원생들이 최근 연구경향을 이해할 수 있는 지식을 갖출 수 있을 것이다.

- 초고압상변이와수송현상

  압력을 변수로 하여 초전도 및 전자의 수송현상을 탐색하는 과목이다. 온도-압력 상변이에 연관된 초전도 이론과 이를 측정하는 기법이 융합된 과목이다. 이론중심 수업에서는 해외공동연구를 수행하고 있는 해외 유명 학자들의 원격강의를 포함하고, 실습중심에서는 실험을 통해 취득한 결과를 학생들로 하여금 직접 분석하도록 할 것이다. 이론과 실습이 융합된 연구중심형 과목이며 창의형 IC-PBL 과목으로 운영할 것이다.

- 양자물질전자구조계산

  초전도체와 같이 극한상태에서 물성이 발현되는 물질에 대한 연구가 오랜 기간 동안 물리학계의 연구 과제로 여겨져 왔다. 상온 초전도체는 오랫동안 해결되지 않은 응집물질물리학의 난제이다. 상온 초전도체가 실현된다면 전력산업뿐만 아니라, 초정밀 전자소자, 초고속 전자소자 등 다양한 분야에 초전도체가 본격적으로 사용될 것이다. 불행히도 상온에서 작동하는 초전도물질은 아직 발견되지 않았으나, 최근 고압에서 수소화물이 상온 초전도체가 될 수 있다는 가능성이 제안되어, 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이에 상온초전도체 물질 구현은 현시점에 적절한 주제라 판단된다. 상온에서 발생하는 초전도 현상의 BCS 기반 초전도메커니즘을 전자에너지띠 이론으로 이해하고, 제일원리 밀도범함수이론 기반의 물질 설계 방법을 통해 초고압 하에서 형성된 금속 수소화물 물질군을 예측하여 백만기압 단위에서 가능한 상온 초전도체를 구현하는 수업을 진행할 것이다.

- 강상관양자물질분광학

  분광 실험법은 물리, 화학, 생물, 지구과학 등 과학 분야 전반에 걸쳐 널리 사용되는 기술이다. 분광 실험은 물질의 전자 구조와 전도 전하들의 동역학 특성, 분자 진동 모드 등에 대한 정밀하고 정량적인 정보를 제공한다. 본 강의에서는 광분광 실험법, 광전자 분광법, X-선 흡수 분광법, 중성자 산란, 시간 분해 분광법 등에 대한 기본 원리에 대해 강의한다. 그리고 다양한 분광법들의 적용 사례를 최신 연구 논문 리뷰를 통해 소개한다. 특히 본 교육연구팀의 주제인 양자물질의 극한물성에 대한 깊이 있는 소개를 위해 전하/스핀/격자/오비탈 상호 작용이 강한 양자물질의 특성에 대해 소개하고, 극한 환경에서 이들 물질의 특성을 조사한 최신 연구 결과들을 리뷰한다.

• 과학기술 국제 계절학교 개최

대학원생들을 우수한 연구자로 양성하기 위해서는 정규교과 과정 교육 뿐 아니라 해당 분야의 문제 해결에 직접적으로 도움이 되는 실험실습 교육이 필수적이다. 특히 본 교육연구팀의 교육 및 연구의 주제인 양자물질의 극한물성 연구에는 일반적으로 잘 사용되지 않는 특별한 실험 환경과 물성 측정법이 사용된다. 국제공동연구 활동의 일환으로 김재용 교수는 중국 북경고압연구센터, 미국 카네기연구소와 함께 다이아몬드 앤빌셀 정렬 관련 현재 세계 최고의 기술과 노하우를 보유하고 있는XXXX 박사를 초청하여 2017년 7월에는 일주일 동안 본교에서 국제여름학교를 개최하였고 고압연구관련 이론부터 실습까지 연구원들을 대상으로 교육·훈련하였다.


[그림 II.5. HYU-HPSTAR-CIS 국제 여름학교, 한양대학교]

본 교육연구팀이 추진해왔던 극한실험 환경 조성 및 극한상황에서의 물성측정 실험법에 대한 이론 및 실험실습 과정을 포함하는 국제 여름학교를 정기적으로 개최할 것이다. 이 국제 여름학교는 대학원생들의 연구 능력 향상에 기여할 것이다. 또한 대학원생들이 국내 많은 대학원생들과의 교류를 통해 인적 네트워크를 확장시킬 수 있는 기회가 될 것이다.

- 국제 석학 초청 강좌
  최근 양자물질의 극한물성 연구분야에서 널리 주목을 받고 있는 국내외 석학들을 초청하여 단기강좌를 개설한다. 주로 방학 기간을 활용하여 진행하며 대학원생들의 연구에 실질적인 도움이 되는 주제를 선정하여 강좌를 개설한다.

- 국제 학회 개최
  - 매년 또는 격년으로 양자물질 극한물성 분야의 국제 학술대회를 조직하고 운영한다. 양자물질 극한물성 연구는 현재 새롭게 태동하고 있는 분야이다. 해당 분야에 대한 질 높은 교육 및 연구를 수행하기 위해서는 국내외 연구자들과의 연구 성과 및 노하우 교류가 절대적으로 필요하다. 이를 위해 본 교육연구팀은 양자물질 극한물성 분야의 국제 학술대회를 지속적으로 개최하고자 한다.
  - 이미 본 교육연구팀 참여교수들은 2020년 11월 22일부터 11월 26일까지 5일간 10th Asian Conference on High Pressure Research를 제주에서 개최할 준비를 하고 있다. 본 국제학술대회는 19th International Conference on High Pressure Semiconductor Physics와 3rd International Workshop on High Pressure Study on Superconductors와 연계하여 진행된다. 김재용 교수가 조직위원장을 맡고 있으며, 조준형 교수와 문순재 교수가 조직위원으로 활동 중이다. 본 국제학술대회에서는 대학원생들의 연구 결과를 발표하는 기회를 부여하여 해외 저명학자들과의 교류와 영어발표의 기회를 제공한다.

산업 또는 사회 문제 해결에 관련된 교육 프로그램 현황과 구성

대학원 교육과정에 실습 교과목 운영
공과대학과의 연계 프로그램 운영

- 대학원 실습 교과목 운영
  - 광학설계실습: 대부분의 대학에서 실험실습 교과목은 학부 교육과정에만 개설되어 있다. 본 교육연구팀은 과학기술 분야 뿐 아니라 산업・사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는데 의견을 모으고, 해당 교과목을 교과과정에 포함시켰으며, 현재 운영 중이다. “광학설계실습” 강좌에서는 Virtual Lab. 이라는 전산모사 프로그램을 활용하여 고집적 고효율 광소자 및 반도체 소자를 설계하는 실습을 진행한다. 강의에서는 광학설계에 필요한 기본 부품들의 특성, Virtual Lab. 프로그램 사용법을 소개한다. 기본적인 이론을 익힌 후에는 실제 광소자 및 반도체 소자에 활용되는 새로운 부품을 설계하거나 기존 부품을 개선하여 집적도 및 효율성이 향상된 부품을 설계하는 실습을 진행한다.
- 나노반도체학과와의 연계 프로그램 운영
  홍진표 교수는 2007년 6월부터 본교 나노반도체 공학과 겸임교수로서 “차세대 반도체 핵심 인력 맞춤형 교육사업”의 일환으로 SK하이닉스와 산학연계 프로그램에 참여하고 있다. 또한 나노반도체학과의 효율적인 운영과 산학협력의 원활한 진행을 위하여 설립된 운영위원회에도 참여하고 있다. 산업과 직접적으로 연계된 본 학과의 교육목표는 나노미터단위 극한 크기로 집적도가 높아진 반도체 소자의 동작원리를 양자역학적인 측면에서 규명하는 것이며, 이에 필요한 물리학분야기반 산업계 연관 젊은 인재를 교육하는 것이다. 본 연계프로그램은 융합과목 이수를 통하여 국내의 반도체 산업 및 전자소자

산업계는 물론이고 관련 과학기술계 및 학계에 이바지할 수 있는 나노반도체소자, 회로 및 재료분야의 우수한 전문 인력을 양성해오고 있다. 전공분야는 양자물성을 기반으로 나노반도체소자, 나노공정, 고집적회로설계, 시스템 운영, 패키지의 분야가 있으며, 참여하는 대학원생에 대한 혜택으로는 대학원 합격과 동시에 SK하이닉스 취업, 대학원생 전원 등록금 수혜 (학비 전액 및 학비보조금), SCI급 논문 인센티브 지급, 방학 중 SK하이닉스 인턴십 참여, SK하이닉스 사업장 견학 (중국사업장), 개인 노트북 지급, 영어 합숙 프로그램 지원 등이 있다. 이렇게 산학 공동연구를 통해 선발-교육된 물리기반 반도체 분야의 우수인력들은 졸업 전 우선적으로 SK하이닉스에 채용되고 있다. 이렇듯 나노반도체공학과와의 연계 프로그램은 산업분야 인력 향성에 큰 기여를 하고 있다.

산업 또는 사회 문제 해결에 관련된 교육 계획

- 기업체 CEO, CTO를 겸임교수로 발령하여 IC-PBL 강좌의 세미나 진행
  - ㈜필옵틱스 XXX 회장은 본교 물리학과를 졸업한 동문 기업인이다. ㈜필옵틱스는 초정밀 광학계를 설계하고 생산하는 회사이다. 극한 환경에서 광학계의 정밀성을 유지하는 연구를 수행중이며, 이에 대한 내용을 IC-PBL 강좌에서 세미나로 진행할 것이다.
  - ㈜탑엔지니어링 XXX 대표이사는 본교 물리학과를 졸업하고 창업하여 ㈜탑엔지니어링을 운영하고 있다. 지난 2013년에는 정밀 광학 실험을 위한 청정 항온항습 실험실을 위해 물리학과에 기부하였다. XXXX 대표이사를 IC-PBL 강의에 초청하여 산학협력 연구의 기반을 다지고자 한다.
  - ㈜용원이엔씨 XXX 박사는 현재 물리학과 겸임교수로서 추후 대학원 IC-PBL 관련 강의를 담당할 예정이다.

- 기업체 협력기반 IC-PBL 실험실습 교과목 운영

  광학실험실습 (2021학년도 1학기): 본 교육연구팀이 소속된 물리학과는 ㈜탑엔지니어링의 지원으로 자연과학관에 대규모 청정 항온항습 실험실을 구축하였다. 본 교육연구팀은 이를 적극 활용할 수 있는 IC-PBL 교과목 “광학실험실습”을 2021학년도 1학기에 개설하기로 하였으며 현재 해당 교과목의 운영을 준비하고 있다. 대부분의 대학에서 실험실습 교과목은 학부 교육과정에만 개설되어 있다. 하지만 본 교육연구팀은 과학기술 분야 뿐 아니라 산업·사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는데 의견을 모으고, 해당 교과목을 교과과정에 포함시켰다. 본 강의에서는 실제 연구에 사용되는 장비들을 활용함으로써 실제 대학원 과정의 연구에 도움이 되도록 하였다. 수강생이 직접 광학시료제작/측정/분석 과정을 수행한다.

- 학과 콜로퀴움 산업체 연사 확대 및 주제 다양화

  학과에서 운영하는 콜로퀴움 연사의 대부분이 학교 및 연구소에 속한 연구자들이다. 이 때문에 학생들이 산업 및 사회 분야의 문제에 대한 정보를 습득할 기회가 매우 제한적이다. 본 교육연구팀은 학계 뿐 아니라 산업체 연사의 섭외를 적극 추진하고 지원하여 학과 콜로퀴움에 산업체 소속 연사들의 강연을 확대시킬 것이다. 이를 통해 학생들이 산업현장에서 진행되는 연구에 대한 최신 정보를 얻을 수 있는 기회를 제공할 것이다.

- 나노반도체공학과와의 연계 프로그램 운영

  본 교육연구팀은 “차세대 반도체 핵심 인력 맞춤형 교육사업”의 일환으로 SK하이닉스와 산학연계 프로그램을 나노반도체공학과와 공동으로 운영하고 있다. 반도체 소재 및 소자에서의 물리 현상에 대한 깊은 이해를 위해 물리학과 소속인 참여교수들이 양자역학, 통계역학 등의 핵심 강의를 진행하고자 한다. 또한 공과대학 교수들과 물리학과 대학원생을 대상으로 하는 나노공정, 회로설계, 시스템 운영, 패키지 분야의 강의를 개설하고자 한다.

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 3년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구팀 참여교수의 지도학생 확보 및 배출 실적 (단위: 명)

대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2017년	13.00	6.00	14.50	33.50
	2018년	10.00	5.50	17.50	33.00
	2019년	6.00	7.50	21.00	34.50
	계	29.00	19.00	53.00	101.00
배출 (졸업생)	2017년	5	5		10
	2018년	6	1		7
	2019년	4	3		7
	계	15	9		24

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

대학원생 현황

- 최근 전반적으로 물리학과 대학원 진학률이 감소되는 추세에서, 특히 본교 대학원 입학생 수 감소는 (표 II.2 참조) 정상적인 학사관리를 포함한 교육과 연구뿐 아니라 전반적인 대학원 수준의 질적 저하로 이어지고, 이는 다시금 대학원 학생 수 저하로 환원되는 악순환 조짐이 보이고 있다.
- 본교 대학원생들을 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 대학원 진학 시 재정지원을 우선적으로 고려하는 바, 본 BK사업 선정은 이러한 문제점을 개선하는데 많은 도움이 될 수 있으리라 기대한다.
- 충분한 대학원생이 확보되면 다양한 교과목을 개설할 수 있고 대학원생의 질을 향상시킬 수 있다.

[표 II.2. 본 학과 최근 5년 대학원생 입학생 추이] (단위: 명)

	2016	2017	2018	2019	2020
교수	22	21	20	19	20
석사 과정	15	9	4	4	8
박사(석사통합포함) 과정	8	10	11	7	4
합	23	19	15	11	12

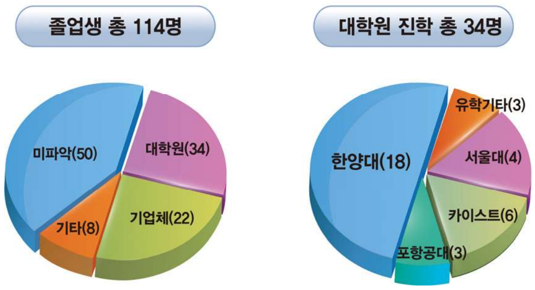
우수 대학원생 확보 계획

- 우수 대학원생 확보 계획을 2단계로 나누어 1단계에서는 양적, 2단계에서는 질적 향상을 추구한다.
- 즉 1단계기간 동안 대학원 지원 학생 수를 선별입학이 가능할 수준으로 늘리고, 2단계에서는 엄정한 학사관리를 통해 졸업에 필요한 자격미달 시 탈락시켜 대학원생 질적 향상을 도모할 것이다.
- 우수 대학원생 확보 계획을 정리하면 다음과 같다.

- **본교 졸업생 대학원 유치**
- **대학원 미개설 타학교 졸업생 유치**
- **해외 우수 유학생 선별 유치**
- **다양한 장학금 지원**
- **기타 학업, 연구, 인센티브 지원**

본교 졸업생 대학원 유치

본 학부생 입학 수준은 교과부 내신 상위 2등급 이내, 수능정시 1.34등급 (자료출처: EDUJIN, http://www.edujin.co.kr/news/articleView.html?idxno=8979)으로 매우 높은 편이다. 하지만 우수한 학부생들이 최근 3년 본교 대학원 진학의 47%에 해당하는 16명 (상위권 학생)이 타 학교로 전출하는 현실에서 (그림 II.6 참조) 이들을 본교로 유도하는 방안이 매우 필요하며, BK사업 선정 여부가 많은 영향을 미칠 것으로 판단한다. BK사업 선정 시 기업체 혹은 유학을 계획하는 졸업생도 본교 대학원으로 진학하리라 기대한다. 본교 졸업생을 대학원으로 유치하기 위한 노력과 계획은 다음과 같다.



[그림 II.6. (왼쪽) 최근 3년간 본교 학부 졸업생 진로현황. (오른쪽) 학교별 대학원 진학현황]

- 학부논문 연계 지도
  본 물리학과는 2010년부터 학부논문 작성을 졸업의 필수요건으로서 도입하였다. 학부 3학년 2학기부터 졸업논문연구를 실시하며, 매년 졸업논문 발표회를 개최하여 우수자에게 시상하고 있다. 교육연구팀 소속 교수들은 심층적인 학부논문지도를 통해 대학원 진학을 유도할 것이다.
- 대학생 학술활동 프로그램을 통한 연구 기회 부여 및 대학원 진학유도
  본인이 관심있는 분야의 대학원 연구실에서 진행되는 프로젝트에 연구보조원으로 직접 참여하여 대학원 생활을 미리 체험하게 하고, 지도교수는 우수한 학생을 조기에 발굴하여 본교 대학원으로 진학하도록 지도하고 있다.
- 대학원 박람회 개최
  매년 4월과 9월 대학원 박람회를 개최하여 학과와 연구실을 소개하고 Lab Tour를 통해 직접 연구실을 탐방할 수 있는 제도를 운영하고 있다.
- 학부생 자치 활동 지원
  본교 물리학과에는 학부생들로 구성된 하바액션과 이너시아라는 두 개의 자율학술 동아리가 있다. 소그룹 단위로 구성하여 지도교수와 함께 연구주제를 선정하고 관련 주제를 탐구하는 기회를 통해 교수와 소통하려는 프로그램의 취지를 살리고 우수한 학부생들이 대학원에 진학할 수 있도록 진로지도도 겸하여 하고 있다. 연구프로젝트를 발표하는 11월 학술제 기간에는 지도교수와 대학원생들도 함께 참여하여 학부생들과의 소통을 더욱 원활히 할 예정이다.
- 심포지엄 및 학술세미나 개최를 통한 동기부여
  참여교수, 외부연사, 대학원생, 학부생들이 함께 참여하는 심포지엄을 매년 개최하여 학부생들에게는 대학원생활 및 학과 교수들이 수행하는 연구의 내용을 간접적으로 접할 수 있는 기회를 제공하고, 대학원생들은 연구실적을 증진할 수 있는 동기부여 기회로 활용하고 있다. 대학원수업으로 운영되는 콜로퀴움 과목 (첨단물리특론)은 학부 3학년생들도 청강할 수 있게 하여 최근 연구동향을 접할 수 있는 기회를 제공할 것이다.
- 석사과정 학생의 석박사통합과정 전환 추천
  석사과정 첫 두 학기를 평점평균 3.5 이상으로 마친 학생은 지도교수와 학과승인을 거쳐 석박사통합과정으로 전환할 수 있도록 추천한다.

대학원 미개설 학과 졸업생 유치

- 대학원과정이 개설되어 있지 않은 타대학 학과 혹은 교내외 물리학 연계 학과들 (특히 공대) 졸업생의 본교 진학을 유도할 계획이다. 이를 위해 홈페이지를 상시 업데이트하고 홍보물과 소책자 등을 통해 대학원 프로그램을 홍보할 것이다.

해외 우수 유학생 선별 유치

- 본 팀 참여대학원생의 25%를 차지하는 해외 유학생들은 본 교육연구팀의 연구경쟁력을 향상함에 있어 큰 자산이다. 특히 이들은 100% 석박통합 과정생에 등록되어 우수한 연구력 유지에 큰 기여를 하고 있다.
- 현재 7개 기관과 체결한 MoU (첨부자료 2 참조)와 학점교류 프로그램, 현지방문 설명회를 활용하여 현재 외국인학생 수급은 충분한 편이다. 해외 유학생 수는 증가시키도록 노력하겠지만 본 교육연구팀에 참여하는 외국인 학생비율은 국내 학생 대비 30% 이내를 유지하도록 할 계획이다.
- 제도적으로는, SCI-X 프로그램을 확장하여 우수한 외국학생이 학부 때부터 지원할 수 있도록 한다.
- International Students Advisory Committee를 구성하여 외국학생들의 애로사항을 상시로 상담하고 관련제도를 정비할 계획이다. 참고로 현 위원으로는 김재용 교수, 문순재 교수, 조준형 교수 등이 참여하고 있다.
- 현재 시행하고 있는 대학원 입학 후 첫 1년 교내 기숙사 우선 입주권을 해외 유학생이 원할 시 연장할 수 있도록 학교 측과 논의 할 예정이다.

다양한 장학금 지원

한양대학교에서 제공하는 교내외 장학금은 다음과 같다.

- 성적우수 장학금
  - 성적우수 석박통합과정 학생들에게 전액 장학금 지급하고 있는 바 이를 확대 실시하여 우수한 본교 학부생들을 석박통합과정으로 유도하고자 한다.
- 교육조교와 장학조교: 일반물리 실험 및 채점을 담당
- XXX 장학금: 물리학과 동문 (80학번)이 기부한 장학금을 매년 성적이 우수한 대학원 입학생 5명을 선발하여 300만원씩을 지원하고 있다.
- 성적우수자 교육봉사 장학금
  - 학부 3,4학년 학부생이 자원하여 전공코어과목의 채점조교업무를 하고 소정의 장학금과 표창장을 받을 수 있는 교육봉사제도를 실시하고 있다. 참여학생의 전공에 대한 이해도와 물리학에 대한 관심을 높여서 대학원으로 진학할 수 있도록 지도하고 있다.
- 한양국제 장학금: 입학성적이 우수한 외국인학생을 대상으로 등록금의 50%를 지원한다.

이러한 장학금 내용을 정리하면 다음 표 II.3과 같다.

[표 II.3. 한양대학교에서 제공하는 장학금 종류와 내용]

명칭	내용	수혜 조건
석사 장학금	수업료 70%	학부성정 3.75/4.5 이상
학석사연계 장학금	수업료 50%	학사석사 연계과정 입학자
이공계 석박통합 장학금	학비 전액 면제	학부 졸업 GPA 3.75/4.5 이상
이공계활성화 장학금 (RA, TA)	입학금 및 수업료 50% 면제	입학성적 우수
한양국제 장학금	등록금 50 ~ 100%	외국인 입학생 대상 GPA> 3.5/4.5
Teaching Fellow	학기당 66만원	박사수료생 강사조건 구비
재직교수 장학금	연 240만원 (4명)	성적우수
XXXX 장학금	입학시 300만원 1회 (5명)	입학성적 우수

기타 학업, 연구, 인센티브 지원

- 학업 지원
  대학원 학생들이 자신의 연구와 연관성이 높은 수업을 선택하는데 도움이 되고자 지도 교수와의 면담을 통해 학업을 지원한다. 참여교수는 학생상담을 통해서 대학원과정동안 수강해야할 과목들의 로드맵을 제시하고 학생과의 상담을 매학기 수강 신청 전에 실시하는 것을 의무화한다.
- 연구 지원
  해외 학회 및 여름/겨울 학교 참가, 그리고 장기파견 해외공동연구를 지원한다.
- 우수논문 인센티브 지원
  대학원생들에게 동기부여 및 격려를 하고자 인센티브 제도를 실시하고, 매년 교육위원회의 심사를 거쳐 우수논문상을 선정, 시상한다.

2.3 대학원생의 취(창)업 현황

① 취(창)업률 및 취(창)업의 질적 우수성

<표 2-2> 2019.2/2019.8 졸업한 교육연구팀 참여교수의 지도학생 취(창)업률 실적

(단위: 명, %)

구분		졸업 및 취(창)업현황						취(창)업률 (%) (D/C)×100
		졸업자 (G)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)	
			진학자		입대자			
			국내	국외				
2019년 2월 졸업자	석사	2	1	0	0	1.0000	1	100.0000%
	박사	3			0	3.0000	3	
2019년 8월 졸업자	석사	2	0	0	0	2.0000	2	100.0000%
	박사	0			0	0.0000	0	
계	석사	4	1	0	0	3.0000	3	100.0000%
	박사	3			0	3.0000	3	100.0000%

2.3 대학원생의 취(창)업 현황

① 취(창)업률 및 취(창)업의 질적 우수성

2019년 졸업생 석사 4명, 박사 3명 전원 취업 (취업율 100%)
LG디스플레이, SK하이닉스, 한국과학기술연구원, 한국표준과학연구원, 한국세라믹 기술원 등 취업

- 2019년 2월과 8월에 석사 4명, 박사 3명이 졸업하였으며, 졸업생 전원이 각자의 전공에 맞춰 취업하였다. 각 졸업생들의 취업 우수성 및 전공적합성을 아래에 기술하였다.

XXX (2019년 2월 박사졸업) - LG디스플레이 책임연구원

2013년 석박사통합과정 등록금 전액면제 장학생으로 입학하여, "2차원 층상 반도체 및 차세대 비휘발성 메모리소자" 및 "저차원 나노융합구조의 에너지변조와 기능제어 연구"의 두 과제에 연구보조원으로 참여하였다. 학위과정 동안 Nano Research, Scientific Reports, Science Advances 등 저명 학술지에 주저자로 8편의 논문을 게재하였다. 연구과제 참여 기간 동안 2차원 층상구조 반도체 소재 및 소자구성을 위한 CVD 장치 및 CVD 석영관 세정장치, 2차원 층상구조 기반의 비휘발성 메모리 소자 제조방법, 기계적 박리와 정밀제어 전사가 가능한 장치를 직접 구성하는 등 6건의 특허를 출원하였다. 이들 장치를 이용하여 2차원 층상 반도체 전이금속 칼코젠화합물 (TMDC)인 MoS_2, WSe_2, SnS_2 등의 박막 및 양자점 성장, 그래핀과 TMDC의 적층구조 형성하고, 새로운 형태의 전계효과 트랜지스터의 제작 및 나노구조 하이브리드 메모리 소자 제작, 2차원 소자 기반 전하 저장 메모리, 그리고 2차원 층상 반도체 박막을 이용한 나노구조 양자소자 제작 및 양자물성을 연구하였다. 또한 2차원 소재의 다층구조 형성이 용이한 장점을 이용하여, 양자터널 기능을 가진 운반자 선택성이 가능한 혁신적인 신개념의 나노 전자소자인 carristor (Science Advances, 2017)를 제안하여 2차원 소자 기반 저전력 소자의 가능성을 제시했다.

이와 같은 뛰어난 연구 경험과 우수한 연구업적으로 석박사통합과정 중에 LG 디스플레이사의 산학장학생 프로그램인 LGenius 장학생으로 선발되어 학위과정 동안 등록금 보조를 받았으며, 2019년 졸업과 동시에 LG 디스플레이 입사하여 현재 OLED TFT 연구부분에서 근무하고 있다. 전공적합성이 아주 우수한 취업사례라고 할 수 있다.

XXX (2019년 2월 석사졸업) - SK하이닉스 정규직 연구원

위 학생은 석사과정 동안 SK하이닉스와 공동연구로 진행되는 실리콘 사이리스터 메모리연구를 수행하여, 관련 결과물을 Nanotechnology 학술지에 지도교수와 함께 출간하였다. 사이리스터는 SCR (semiconductor controlled resistor)이라고도 명하는 p-n-p-n 접합구조의 스위칭 소자로서, 스위칭 현상 즉 latch-up 이 일어나는 순간을 MOSFET소자가 turn-on 되는 현상과 비교하면, subthreshold swing parameter (SS)가 거의 0에 가까운 값이 된다. 따라서, 이 현상을 이용하여 현행 DRAM 소자의 SS가 최소 60 mV/decade 인 점을 고려하면 아주 빠른 on/off 소자 동작을 가질 수 있으므로 저전력으로 구동이 가능하다. 사이리스터는 DRAM과는 다르게 정보저장용 capacitor가 없는 메모리 소자가 가능하게 된다. 또한 저전력-고집적 2단자형 메모리 소자의 가능성을 가짐으로써 차세대 DRAM 대체용으로 기대되는 중요한 소자이다.

위 학생은 사이리스터 소자개발에 중요한 wet etching 기술을 개발하였는데, 이는 사이리스터 소자의 경제적인 대면적화를 가능하게 하는 중요한 업적이다. 특허출원 1건 및 연구논문을 발표함으로써 졸업 후 관련기업인 SK하이닉스에 쉽게 취업하였다. 현재 반도체메모리 사업부 Etch기술 혁신팀의 연구원으로 근무 중이며, 학위과정 연구와 직접 연관성 있는 소자공정 개발 업무 담당하고 있다. 전공적합성을 보여주는 대표적인 취업사례이다.

XXX 2019년 8월 석사졸업) - 우신보석감정원 정규직 연구원

XXXXX 학생은 석사 학위 기간 동안 푸리에 변환 적외선 분광기와 타원 분광기를 이용하여 응집물질의 전자 구조와 전하 동역학 특성을 연구하였다. 이를 통해 응집물질의 전자 구조를 연구하는 데에 유용한 실험법인 푸리에 변환 적외선 분광 실험법과 타원 분광 실험법의 기본 원리와 실사용법을 익혔다. 또한, 응집물질의 결정 구조에 의해 기본적인 틀이 정해지는 전자 구조에 대한 폭 넓은 지식과 광학 측정을 통해 얻은 데이터를 분석하는 방법을 습득하였다.

석사 과정 졸업 후 XXXX 학생은 우신보석감정원에 취업하였다. 우신보석감정원은 XXXX 학생이 석사 학위 과정 동안 배운 전공 지식과 직접적으로 연관된 업무를 수행하는 연구소이다. 우신보석감정원은 푸리에 변환 적외선 분광기, 근적외선-가시광선-자외선 분광기, 라만 분광기 등의 다양한 분광기를 이용하여 보석 감별, 보석학 전문 연구, 천연 및 처리/합성 보석 감별 및 감별법에 대한 연구를 수행하는 곳이다. 이러한 업무를 수행하기 위해서는 분광기의 원리와 실제 사용법에 대한 전문적인 지식과 경험이 필수적으로 요구되며, 이는 XXXX 학생이 석사 학위 과정 동안의 연구 수행을 통해 습득한 전문 지식 및 기술과 100% 일치한다.

XXX (2019년 2월 박사졸업) - 한국과학기술연구원 박사후연구원

석박사통합 과정에서 차세대 메모리인 저항변화 메모리와 선택소자에 관한 연구를 수행하였다. 크로스바 구조에 쓰이는 저항변화 메모리와 선택소자는 4차 산업혁명으로 막대한 주목을 받고 있는 인공지능을 구현할 수 있는 소자로 주목받고 있다. 본 학생은 인공지능 소자를 제작하기 위하여 SK하이닉스와 공동연구를 수행하여 전이금속 산화물과 탄소 산화물 개발하였으며, 삼성전자로부터 지원받은 연구과제를 통해 산화물 기반 저항변화 메모리 및 응용 가능한 선택소자 연구를 지도교수와 함께 진행하여 국내외 특허 16건을 출원하였다. 다년간의 과제 참여를 통해 소재탐색, 물성분석, 소자 공정, 반도체 특성평가와 인공지능 소자 개발 및 특성 분석에 관한 전반적인 경험과 전문성을 쌓을 수 있었다.

졸업 후 한국과학기술연구원에 박사후 연구원으로 취업하여 저항변화 메모리와 자기 메모리 등의 차세대 메모리의 분석, 시뮬레이션을 수행하는 팀에서 저항변화메모리 기반 인공지능 소자 연구를 진행하고 있다. 특히 학위과정에서 배운 실험장비 유지보수와 문제해결 경험을 살려 연구원에서 장비 전문가의 역할을 수행하고 있다. 해당 연구실은 인공지능 소자 제작 연구는 미진하였으나, 본 학생이 스퍼터 시스템 조정, 증착 공정 평가 등의 실험 연구를 주도함으로써 인공지능 소자의 특성을 평가하는 시뮬레이션 분야도 연구할 수 있게 되었다. 본 취업사례는 산학연 협력을 통한 우수한 인재를 선발한 성과이며, 소프트웨어 개발에 집중되어온 기존 인공지능 및 머신러닝 연구의 한계를 극복하기 위해서는 하드웨어-소프트웨어 융합 인재가 필요함을 보여주고 있다.

XXX (2019년 2월 박사졸업) - 한국표준과학연구원 박사후연구원

위 학생은 석박사통합 과정동안 자기메모리의 domain wall motion, spin-transfer torque, spin-orbit torque 등에 대한 이론적 메커니즘과 스퍼터링, 이온 임플란트, 열처리 등을 이용한 소자제작 및 hall measurement, VSM 측정, MOKE 측정 방식을 연구하였다. 졸업전 연구실에서 MOKE 측정장비를 도입할 당시, 장비의 사용 목적을 정확히 파악하여, 장비 설치와 운영을 주도하였다. 다수의 연구 결과를 국제학술지와 학회에서 발표하였다. 학위과정 동안의 우수한 실적과 연구계획을 인정받아 글로벌 닥터 펠로우십을 수여받았다. 글로벌 닥터 펠로우십은 연구력이 뛰어난 박사 및 석박사통합 과정생을 선발하여 연간 2천만원의 생활비와 등록금을 지원함으로써 이들이 학업에 몰입할 수 있도록 연구재단에서 주관하는 사업이다. 학위기간동안 서울대학교 및 포항공과대학교와 연계하여 인공지능 구현을 위한 스핀 기반 뉴런 시냅스소자를 개발하였으며, 현대자동차와의 과제를 통해 상용화 가능한 자기센서 소자 설계 및 제작 연구를 수행하였

다. 또한 자기주도적인 연구를 통해 스핀트로닉스 최신 이론을 접목한 스커미온 기반의 자기 메모리 가능성을 지도교수인 홍진표 교수와 함께 제시하여 2017년 SK하이닉스 제1회 반도체 혁신 아이디어 공모전에서 장려상을 수상하였다. 박사학위 취득 후 해당분야의 심화된 연구를 희망하여 한국표준과학연구소에 박사후 연구원으로 취직하였다. 상기 연구팀은 스핀트로닉스를 기반으로 한 양자물성 및 자기 메모리를 연구하는 그룹으로서 해외 연구그룹과의 교류, 가속기와 같은 기반시설 사용, 최신 이론의 제시 등이 활발히 이루어지는 곳이다. 본 학생은 대학원 기간 동안 익힌 스핀트로닉스 및 자기 메모리에 관한 지식을 바탕으로 심화된 소자 제작, 물성 측정, 이론 계산 연구를 수행하고 있다. 위와 같이 본 학생은 학위과정동안 산학연계 연구, 공모전과 펠로우십 등의 자기 개발, 학연 진학을 통한 심화연구 등 다방면에서 왕성한 활동을 보였다.

XXX (2019년 8월 석사졸업) - 한국세라믹기술원 연구원

석사학위동안 범밀도함수이론을 이용하여 저차원 응집물질계의 물성을 연구하였으며 주요 연구분야는 전하밀도파, 자성 및 위상학적 특성이다. 졸업논문으로 안티모니와 비스무스 나노리본의 가장자리 구조와 위상학적 상태에 대한 연구를 수행하여 미국 물리학회지 Physical Review B 저널에 게재하였다. 석사과정 동안의 이러한 훌륭한 연구 내용과 질적 우수성을 인정받아 한국세라믹 기술원 가상공학센터에 입사하여 현재 연구원 신분으로 세라믹 기반 신물질 개발 연구를 활발히 수행하고 있다. 세라믹기술원의 가상공학센터는 일반 세라믹과 첨단 세라믹소재 등에 대한 데이터기반 시뮬레이션 및 신뢰성 분석, 머신러닝, 전산모사 기술을 이용한 소재 공정최적화 등을 수행하고 있는 기관이다. XXX 학생은 석사과정 동안 수행하였던 많은 실리콘(Si) 기반 물질의 독특한 물성을 계산하고 분석한 경험을 토대로 전통 세라믹, 첨단 세라믹 소재의 물성 계산 및 시뮬레이션 작업을 수행하고 있다. 특히 학위 기간 동안 습득한 Python, C와 같은 프로그래밍 언어는 세라믹 기술원에서 수행하는 세라믹스 전산모사 프로그램 개발에 큰 도움이 되고 있으며 머신러닝 기법을 이용한 시뮬레이션 작업 또한 수행할 예정이라고 한다.

XX (2019년 2월 석사졸업) - 한양대학교 나노반도체공학과 박사과정

본 학생은 물리학과 석사과정으로 입학하여 자기 메모리의 공정과 측정방식에 대하여 연구하였다. 스핀트로닉스 기반 뉴로모픽 소자의 개발을 목표로 하는 과정에서 spin-transfer-torque 및 spin-orbit torque 등의 메커니즘과 이를 구현하기 위한 물성의 선택, 소자의 구조, 스핀 기반 메모리 소자의 전자기적 및 광학적 측정방식을 연구하였다. 석사과정동안 연구만족도 및 성취도가 높아 졸업 이후 학업 연장을 희망하였다. 이에 SK하이닉스와 계약학과를 체결한 본교의 나노반도체공학과의 박사과정으로 진학하였다. 나노반도체공학과는 학비 전액과 생활비, 노트북, 통신비 등의 경제적 지원과 중국공장 견학, 인턴활동 경험 등 여러 혜택을 제공하며 졸업 후 즉시 SK하이닉스에 입사하기로 계약되어있다. 좋은 혜택이 주어지는 만큼 희망 인원도 많으며 SK하이닉스의 인적성 검사와 면접, 나노반도체공학과 교수진의 면접 등 양측의 엄격한 검사를 거쳐 선발된다. 특히 박사의 경우 정원이 4명 이하이며 지망생의 수준이 미달된 것으로 판단되면 선발 자체를 하지 않을 정도로 우수한 인재만이 입학할 수 있다. 본 학생은 SK하이닉스와 나노반도체공학과 교수진 양쪽 모두에서 연구능력을 인정받아 나노반도체공학과에 입학하였으며 5년간의 박사과정 이후 SK하이닉스에서 근무하기로 예정되어있다. 본 학생은 나노반도체공학과에서 자기 메모리 연구를 지속하고 있으며 그 성과를 2019년 미국에서 실시한 Magnetism and Magnetic Materials (MMM) 학회에서 포스터로 발표하는 등 활발한 연구 활동을 하였다. 이는 계약학과 입학으로 연구에 집중할 수 있는 환경과 산업계와의 활발한 교류를 제공받을 수 있었기 때문이며 우수인재 양성과 취업이라는 두 가지 목표를 동시에 달성하였음을 보여준다.

② 졸업자의 대표적 취(창)업 사례 (최근 10년)

<표 2-3> 최근 10년간 교육연구팀 참여교수 지도학생 중 졸업생 대표적 취(창)업 사례

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>성명</th><th>졸업연월</th><th>수여
학위
(박사/석사)</th><th>학위취득 시
학과(부)명</th><th>재학 시
BK21사업 참여
여부 (Y/N)</th><th>최종학위
(박사/석사) 및
수여 대학/학과</th><th>현 직장 및
직위</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표 취(창)업 사례의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td></td><td>2019.02</td><td>박사</td><td>물리학과</td><td>N</td><td>박사/물리학과</td><td>LG디스플레이 책임연구원</td></tr>
<tr><td colspan="7">2013년 석박사통합과정 등록금전액면제 장학생으로 입학하여 2차원 층상 반도체 및 차세대 비휘발성 메모리소자 및 저차원 나노융합구조의 에너지변조와 기능제어 연구 과제 연구보조원으로 참여, Nano Research, Scientific Reports, Science Advances 등 저명 학술지에 8편의 논문 발표하고 6건의 특허를 출원하였다. LGenius 프로그램 장학생으로 선발되어 졸업과 동시에 LG 디스플레이에 입사하였다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td></td><td>2017.2</td><td>박사</td><td>물리학과</td><td>N</td><td>박사/물리학과</td><td>한국원자력연구원 박사후연구원</td></tr>
<tr><td colspan="7">수소에너지저장매체, 수소 동위원소 차폐 재질에 관한 연구를 수행하여 박사학위기간동안 총 16편의 논문을 지도교수와 함께 출간하였는바, 양적 질적으로 타의 추종을 불허하는 우수한 연구결과물로 인하여 면접당시 16:1의 블라인드 면접을 통하여 박사후연구원 모집에 최종선발되었다. 취업 후 수소에너지 저장, 방사선 차폐막 개발 연구를 계속 수행하고 있어 박사학위연구에 연관성 있는 기초연구분야의 대표적인 취업사례라고 판단한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td></td><td>2011.08</td><td>박사</td><td>물리학과</td><td>Y</td><td>박사/물리학과</td><td>Soochow University, 교수</td></tr>
<tr><td colspan="7">박사는 조준형 그룹에서 2011.08월 박사학위를 취득 후 중국과학기술대학교(USTC)에서 박사후연구원 과정 기간 동안 박막 태양전지 물질인 구리칼코겐화합물의 새로운 적층 구조 연구 분야에서 우수한 연구 성과를 이루어냈다. 그 성과를 인정받아 2017. 09월 중국 수조대학교 (Soochow University)의 정년 트랙교수로 임명되어 현재 계산과학분야 그룹 연구 책임자로 교육과 연구를 수행 중에 있다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>성명</th><th>졸업연월</th><th>수여
학위
(박사/석사)</th><th>학위취득 시
학과(부)명</th><th>재학 시
BK21사업 참여
여부 (Y/N)</th><th>최종학위
(박사/석사) 및
수여 대학/학과</th><th>현 직장 및
직위</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표 취(창)업 사례의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td></td><td>2018.02</td><td>석사</td><td>물리학과</td><td>N</td><td>석사/물리학과</td><td>삼성전자 책임연구원</td></tr>
<tr><td colspan="7">석사과정동안“저차원 나노융합구조의 에너지변조와 기능제어 연구”과제 연구보조원으로 참여하여 2D 물질의 광반응에 대해 연구하였다. Nanotechnology, Solar Energy Materials and Solar Cells 등의 학술지에 논문게재 4편을 하였으며, 졸업과 동시에 삼성전자 반도체연구소 메모리공정개발팀에 취업하여 현재 책임연구원으로 근무 중이다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td></td><td>2015.08</td><td>박사</td><td>물리학과</td><td>N</td><td>박사/물리학과</td><td>Peter Grünberg Institute and the Institute of Advanced Simulation of the Forschungszentrum Jülich, 직위: Postdoctoral research fellow</td></tr>
<tr><td colspan="7">박사는 2015년 한양대학교에서 고체물성 이론 연구로 박사학위를 받고 이듬해부터 고등과학원(KIAS)과 독일 율리히 연구소에서 박사후 연구원 과정을 거쳐 뛰어난 연구업적과 논문 실적을 쌓았다. 특히 고등과학원에 재직해 있는 동안 전자구조계산 코드에 대한 많은 논문들을 훌륭한 국외 저널에 투고하였고, 그 업적을 인정받아 2020년 독일 훔볼트 재단으로부터 펠로우십에 선정되는 영예를 안았다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td></td><td>2017.02</td><td>박사</td><td>물리학과</td><td>N</td><td>박사/물리학과</td><td>삼성전자 반도체연구소 책임연구원</td></tr>
<tr><td colspan="7">박사학위동안 차세대 비휘발성 저항변화메모리의 제조공정 및 측정을 연구하였으며 특히 전이금속 산화물과 p, n형 반도체 물성을 연구하였다. 삼성 반도체연구소에서 모집한 장학생 선발과정에 차세대 메모리소자 분야로 박사장학생에 선발되었다. 박사장학생은 장학금 수혜와 함께, 박사학위 취득과 동시에 삼성전자로 입사하는 우수인재 선발사업이다. 위 학생은 현재 해당 분야인 삼성전자의 차세대 로직소자 직군에서 근무하고 있다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>성명</th><th>졸업연월</th><th>수여
학위
(박사/석사)</th><th>학위취득 시
학과(부)명</th><th>재학 시
BK21사업 참여
여부 (Y/N)</th><th>최종학위
(박사/석사) 및
수여 대학/학과</th><th>현 직장 및
직위</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표 취(창)업 사례의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td></td><td>2012.02</td><td>박사</td><td>물리학과</td><td>N</td><td>박사/물리학과</td><td>삼성 디스플레이 책임연구원</td></tr>
<tr><td colspan="7">위 학생은 차세대 디스플레이 핵심소자인 TFT 소자에서 요구되는 산화물 반도체 중 기존 연구가 드물었던 CoOx, ZnO, IGZO 등의 산화물 물성 및 박막형 트랜지스터 소자의 특성 연구를 박사학위 과정동안 중점적으로 진행하였다. 학위과정동안 산화물 TFT 연구관련 추진력과 적극성으로 삼성 디스플레이에 입사하였다. 현재 수행하고 있는 TFT 연구는 학위과정에서 수행하였던 물질 및 방법론과 정확히 일치한다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">최근 10년간 졸업생 수</td><td>석사</td><td>38</td><td rowspan="2">7</td></tr>
<tr><td>박사</td><td>31</td></tr>
</table>

3. 대학원생 연구역량

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

① 대학원생(졸업생) 대표연구업적물의 우수성

<표 2-4> 최근3년간 참여교수 지도학생(졸업생) 대표연구업적물

<table>
<tr><th>연번</th><th>최종 학위 (박사 /석사)</th><th>졸업생 성명</th><th>세부 전공 분야</th><th>졸업 연월</th><th>실적구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th></tr>
<tr><td rowspan="7">1</td><td rowspan="7">박사</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">광자기술</td><td rowspan="7">2017.2</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td></tr>
<tr><td>Time-asymmetric loop around an exceptional point over the full optical communications band</td></tr>
<tr><td>Nature</td></tr>
<tr><td>562 (7725), 86</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>2018</td></tr>
<tr><td>10.1038/s41586-018-0523-2</td></tr>
<tr><td rowspan="7">2</td><td rowspan="7">박사</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">반도체물리</td><td rowspan="7">2017.2</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td></tr>
<tr><td>Hierarchically nanostructured 1D conductive bundle yarn-based triboelectric nanogenerators</td></tr>
<tr><td>Advances Materials</td></tr>
<tr><td>29 (47), 1704434</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>2017</td></tr>
<tr><td>10.1002/adma.201704434</td></tr>
</table>

연번	최종 학위 (박사 /석사)	졸업생 성명	세부 전공 분야	졸업 연월	실적구분	대표연구업적물 상세내용
3	박사		반도체물리	2019.2	저널논문	
						Selective control of electron and hole tunneling in 2D assembly
						SCIENCE ADVANCES
						3, e1602726
						2017
						10.1126/sciadv.1602726

최근 3년간 졸업생 수	석사	15	3
	박사	9	

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

① 대학원생(졸업생) 대표연구업적물의 우수성

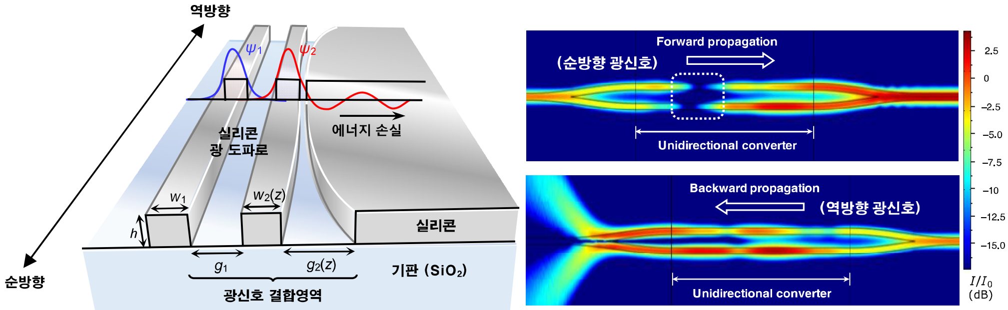
XXX

광신호 시간 대칭성 붕괴를 이용한 신개념 나노광학 소자 개발 - Nature

최근 20여 년 동안 세계적 관심을 끌었던 나노광학 기술은 기존의 전통적 광 과학에 나노기술과 고체결정/반도체 이론을 도입함으로써, 고집적 광학회로 구성이 가능한 메타물질 광학이라는 새로운 연구분야를 개척하며 발전해 왔다. 하지만, 빛을 나노미터 크기로 국소화하게 되면 물질에서의 에너지 흡수가 급격히 증가하는 물리적 한계에 의해, 나노광학 기술이 상용화 되는데 큰 어려움이 있었다. 이러한 에너지 손실 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 손실을 보상하고 증폭할 수 있는 이득물질을 첨가할 수밖에 없는데, 손실과 이득이 있는 물질이 나노미터 크기로 결합된 미세구조는 복잡한 비선형적인 특성을 보이게 되어 기존 나노광학 방식으로는 설계 및 구현이 매우 어려운 문제로 남아있었다.

극한영역인 나노광학 기술의 에너지 손실문제를 극복하고, 광신호 흐름의 공간적 및 시간적 대칭성을 붕괴시킬 수 있는 새로운 개념의 광통신용 집적회로 소자를 개발하였다. 종래의 광과학 분야에 열린 양자역학 이론 및 수학적 대칭성 또는 특이성을 도입하여 다양한 기존의 물리적 한계를 극복하려는 시도와 함께, 열린 양자역학이라는 이론을 실험적으로 검증하고 발전시키기 위한 새로운 광과학 영역을 개척하는데 기여할 것이다. 기술적으로 보면, 손실-이득 물질을 나노미터 정밀도로 집적화하여 협성된 나노광학 구조를 선형적인 문제로 단순화 하여 해석할 수 있게 되어, 나노광소자의 설계 및 구현 기술을 실용화 단계까지 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다.

(IF: 41.577, 피인용수: 39; 출처 Google Scholar)



[그림 II.7. (왼쪽) 실리콘 광도파로에서 설계된 비가역 나노 광소자.
(오른쪽) 순방향 및 역방향으로 입사된 광신호에 대한 FEM 시뮬레이션 결과]

XXX

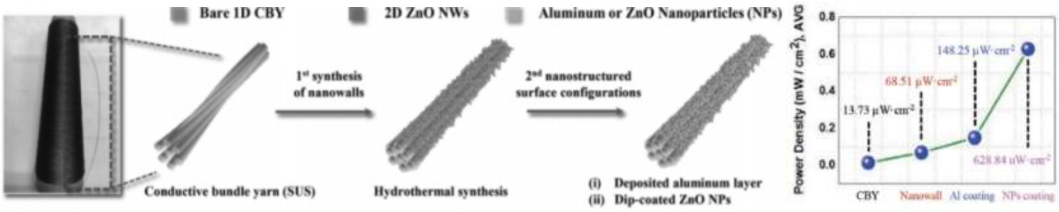
Wearable energy harvesting 나노소자 구현 - Advanced Materials

기존의 웨어러블 에너지 하베스팅 소자는 의류 원단 위에 제작하여 넓은 면적에서 전기를 발생시키는데 집중되어왔다. 그러나 원단 위에 발전소자를 제작하는 방식은 소자와 의류와의 접촉력 문제 및 탈착 가능성, 원단 가공의 난이도 등으로 인하여 의류 제작에 어려움이 있었다. 본 논문은 2차원 웨어러블 에너지 하베스팅에 대한 기존 연구의 한계를 넘어서 1차원 섬유 기반의 웨어러블 에너지 하베스팅 구현을 최초로 시도한 연구이다. 1차원 시료위에 마찰전기 특성을 나타내는 PDMS (polydimethylsiloxane) 도포 및 ZnO nano-structure 형성을 통하여 triboelectic nanogenerator를 제작하고 발전능력을 확인하였다. 우선 공정 시간, 농도, 성장속도를 최적화시켜 전도성 실에 hydrothermal synthesis 방법으로 ZnO nano flake의 표면적을 극대화하여 단위면적당 마찰전기 생산량을 상승시켰다. 이렇게 처리된 실을 상호 수평하게 배열하여 전기가 생성되는 양을 측정하기 쉽도록 세팅하였다. 또한 정량적인 마찰전기 생산량 측정을 위하여 자동화된 bending machine과 오실로스코프를 사용하였으며 그 결과 nanogenerator로서의 충분한 출력 (output voltage는 160V, output current는 15uA)을 보였다.

본 연구를 통해 1차원 형태의 기판에서도 나노발전소자가 가능함을 보였으며, 나노구조물을 통한 접촉면

적 극대화로 나노발전소자의 효율을 증가시켰다. 또한 의류 자체가 아닌 의류 재료인 직물위에 발전 소자를 균일하게 도포하는 신개념 공정을 도입 하였다. 이는 나노와이어를 기반으로 하는 극대화된 거시적소자의 발전용량을 획기적으로 향상시켰다고 판단한다. 본 논문은 마찰전기를 통한 nanogenerator의 제작 가능성을 증명하였으며 이러한 결과가 산업계에 웨어러블 의류 개발에 적용될 수 있는 가능성을 보였다. 이는 의류직물을 포함한 마찰전기소자에 나노와이어를 적용한 최초의 결과이다.

(IF: 18.96, 피인용수: 14; 출처 Google Scholar)



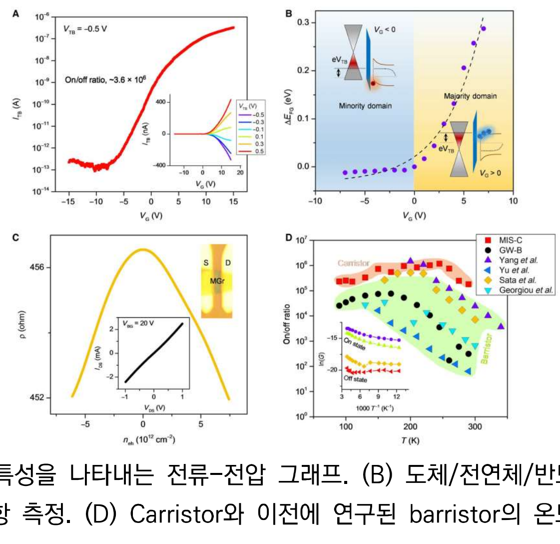
[그림 II.8. (왼쪽) 전도성 직물의 공정(나노구조물 성장, 알루미늄 코팅, 나노플레이크 형성)에 따른 발전성능 향상도, (오른쪽) 공정 과정에 따른 출력 향상]

XXXX

2차원 층상구조 물질을 이용한 캐리스터(carristor) 소자 개발 및 특성 연구 – Science Advances

그래핀을 포함한 이차원 층상구조 물질의 특이한 전기적 특성이 많이 연구되고 있다. 층상구조 물질은 전기적 소자로서 매우 높은 활용 가능성을 보유하고 있지만, 금속/반도체 장벽을 통한 열적으로 활성화된 전기적 이동이 물리적으로 소자의 성능을 제한시킨다. 또한 저전력 소자로서의 성능의 부족함도 존재한다. 이러한 기술적 문제를 해결하기 위한 새로운 트랜지스터인 금속/반도체 접합을 이용한 barristor라는 소자에 대해 많은 연구가 수행되고 있지만, off-current가 높아 저전력 소자로서의 활용 가능성은 아직 부족하다.

본 연구에서는 저전력 소자 응용에 적합한 금속/절연체/반도체의 구조를 가진 혁신적인 이차원 물질 소자 carristor를 개발하였다. Carristor는 금속/반도체 접합을 사용한 barristor 사이에 절연체를 삽입하여 제작한다. 절연체는 전류가 흐르지 않지만, 얇은 두께의 절연체를 이용하여 반도체에 있는 다수 캐리어와 소수 캐리어가 양자 터널링 효과로 절연체 배리어를 통과하여 금속으로 흐름으로써 작동하게 된다. 상온에서 정류 특성 비율은 400,000, 스위칭 비율은 10^6 이상, off current는 10^{-13}A 라는 뛰어난 성능을 보였다. 이 결과는 carristor가 저전력 소자의 기본 구성 요소로 활용될 수 있는 가능성을 제시하였다.



[그림 II.9. (A) Carristor의 동작특성을 나타내는 전류-전압 그래프. (B) 도체/전연체/반도체 접합의 Fermi-level shift. (C) 그래핀 FET의 비저항 측정. (D) Carristor와 이전에 연구된 barristor의 온도에 따른 스위칭 비율]

② 대학원생(졸업생) 저명학술지 대표논문의 우수성 (별도 제출/ 평가)

<표 2-5> 최근 3년간 참여교수 지도학생(졸업생)의 대표논문 환산 편수,
환산보정 피인용수(FWCI), 환산보정 IF, 환산보정 ES

구 분		최근 3년간 실적			전체기간 실적
		2017년 졸업생	2018년 졸업생	2019년 졸업생	
논문 편수	대표논문 총 편수	3	10	4	17
	대표논문 환산 편수의 합	1.2000	4.1000	1.5857	6.8857
	평가 대상 1인당 대표논문 환산 편수				0.405
피인용수	보정 피인용수(FWCI) 값이 있는 논문의 총 편수	3	10	4	17
	보정 피인용수(FWCI) 의 합	7.1592	5.7762	7.8807	20.8161
	환산 보정 피인용수(FWCI) 합	2.8637	2.3105	3.3021	8.4762
	대표논문 1편당 환산보정 피인용수(FWCI)				0.4986
	평가 대상 1인당 환산보정 피인용수(FWCI) 합				0.4986
Impact Factor	IF=0이 아닌 논문 총 편수	3	10	4	17
	IF의 합	16.2620	83.1640	27.3290	126.7550
	환산보정 IF의 합	1.0452	2.8397	0.9072	4.7921
	대표논문 1편당 환산보정 IF				0.2818
	평가 대상 1인당 환산보정 IF 합				0.2818
Eigenfactor Score	ES=0이 아닌 논문 총 편수	3	10	4	17
	ES의 합	0.3058	4.7117	1.5203	6.5378
	환산보정 ES의 합	2.0387	7.9207	2.4430	12.4024
	대표논문 1편당 환산보정 ES				0.7295
	평가 대상 1인당 환산보정 ES 합				0.7295
지도학생 최근 3년간 환산졸업생 수		17			

② 대학원생(졸업생) 연구업적물의 우수성 (별도 제출/ 평가)

<표 2-5-1> 최근 3년간 참여교수 지도학생 중 대학원생(졸업생) 연구업적물 환산 편수
(건축 분야의 건축학만 해당)

구분	실적			전체기간 실적
	2017년 2/8월 졸업자	2018년 2/8월 졸업자	2019년 2/8월 졸업자	
연구재단 등재(후보)지 논문 환산편수	0	0	0	0
국제저명 학술지 논문 환산편수	0	0	0	0
기타국제 학술지 논문 환산편수	0	0	0	0
국어 학술저서 환산편수	0	0	0	0
외국어 학술저서 환산편수	0	0	0	0
저서 또는 논문 총 환산편수	0	0	0	0
평가대상 1인당 연구업적물 환산편수				0
지도학생 최근 3년간 환산졸업생 수				

③ 대학원생(졸업생) 학술대회 대표실적의 우수성

<표 2-6> 교육연구팀 참여교수 지도학생 중 대학원생(졸업생) 학술대회 발표실적

<table>
<tr><th>연번</th><th>최종학위
(박사/석사)</th><th>졸업생
성명</th><th>졸업
연월</th><th>발표
형식(구두,
포스터)</th><th>학술대회 발표실적 상세내용</th></tr>
<tr><td rowspan="6">1</td><td rowspan="6">박사</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">2017.2</td><td rowspan="6">구두</td><td></td></tr>
<tr><td>Structure Analysis of Potassium Hydride under High Pressure</td></tr>
<tr><td>제20차 중한고압과학학술대회</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>2018년 8월 22-26 (장춘, 중국)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2</td><td rowspan="6">박사</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">2018.2</td><td rowspan="6">구두</td><td></td></tr>
<tr><td>Intermediate-band solar cell based on ZnTe:Cr thin films grown by pulsed laser deposition</td></tr>
<tr><td>26th Inter. Conf. on Composites or Nano Engineering (ICCE-26)</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>2018, Paris, France</td></tr>
<tr><td rowspan="6">3</td><td rowspan="6">석사</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">2019.8</td><td rowspan="6">포스터</td><td></td></tr>
<tr><td>Infrared Spectroscopic Study on the Electronic Structure of (LaCo03)n/(SrCo03)n Superlattices</td></tr>
<tr><td>한국물리학회 봄학술논문발표회</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>2018 (대전, 한국)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">최근 3년간 졸업생 수</td><td>석사</td><td>15</td><td rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>박사</td><td>9</td></tr>
</table>

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

③ 대학원생(졸업생) 학술대회 대표실적의 우수성

XXX

수소화물 고압 합성 및 방사광을 이용한 구조 분석 결과 구두 발표

2017년, 500 GPa에서 고체원자수소 형성 가능성이 제기되면서 최근 고압수소관련 연구가 급속히 빠른 속도로 진행되고 있다. 참고로 200 GPa 수소압력에서 260 K 초전도 현상이 보고된 LaH_{10}의 경우는 전자와 포논 간 강한 상호 작용이 초전도 전이 온도 상승에 중요한 역할을 한다는 이론적 예측을 실험으로 증명한 결과이다. 이러한 연구의 일환으로 Li, Na, K 등 알칼리금속의 수소압력에 따른 초전도현상 연구가 주목받고 있다. 왜냐하면 알칼리 금속에서 수소는 전자가 donor 혹은 acceptor로 작용할 수 있기 때문이다. 이미 많은 연구가 진행된 Li, Na에 비해 K은 이론적으로 초전도 전이온도가 160 K으로 예측되지만, 실험적 연구 결과는 아직 보고되지 않고 있다. 그 이유는 K의 경우 초전도 전이에 필요한 수소압력이 매우 높기 때문이고 (~ 150 GPa), 동시에 시료 자체가 가지는 수분과의 높은 반응성으로 인해 순수한 K-H시료를 합성하기가 매우 어렵기 때문이다.

본 연구에서는XXX 학생은 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 수소압력 분위기에서 직접 K-H가 형성됨을 미국 Argonne National Laboratory에 위치한 Advanced Photon Source (APS) 방사광원을 이용하여 측정 분석하였다. 이는 미국 시카고대학팀 (XXXXXXXXX 박사, APS-GSECARS 빔라인)과 카네기연구소 (XXXXXXXXXX 박사팀)와의 국제공동연구를 통해 얻어진 결과이다. GSAS (General Structure Analysis System) 프로그램을 이용하여 구조를 분석한 결과 K의 경우 상온 4.5 GPa에서 mono potassium에 해당하는 KH-FCC로 상전이가 일어나며 아직 분석되지 않은 약간의 불순물 (Cmcm 구조로 예측됨)을 포함하고 있다고 예견되는 바, 추가 실험을 진행 중이다. K-H의 수십 GPa 압력에서 구조변화를 실시간으로 측정한 경우는 세계 최초이며, XXXX 학생은 이러한 결과를 한-중 공동심포지엄과 연계하여 2018년 8월 중국 장춘에서 개최된 제 20회 중국고압학회에 구두 발표하였다.

본 연구의 의미로는 1) 초고압 수소화물의 구조를 실시간으로 측정할 수 있는 기술을 확보하였고, 2) 공기에 민감한 알칼리금속 시료를 초고압 상태에서 로딩할 수 있었기에 후배 대학원생들이 수소-초고압 실험을 potassium뿐 아니라 rubidium까지 확대할 수 있는 자신감을 가지게 되었다. 또한, 3) 본 학회발표를 통하여, 한국에서도 세계적으로 난제에 해당하는 알칼리금속의 수소반응 구조분석 연구를 성공적으로 수행하고 있음을 알리는 계기가 되었다.

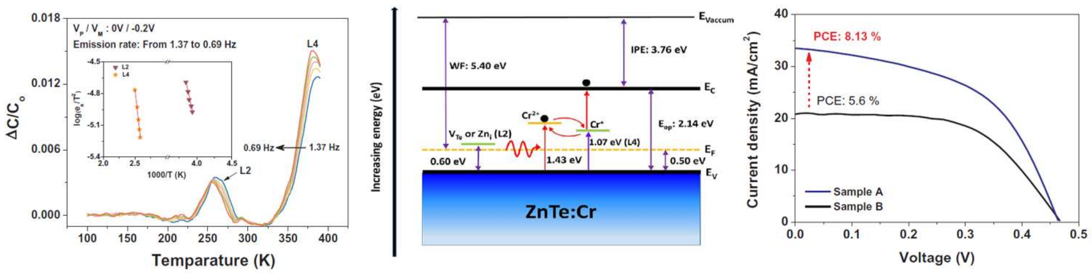
XXX

ZnTe:Cr 박막 전자구조 연구 구두 발표

최근 대체 에너지 연구가 증가하면서, 태양전지에 대한 연구 또한 함께 중요시되고 있다. 현재 상용화된 태양전지는 실리콘 기반의 태양전지이지만, 페로브스카이트 기반의 태양전지 또는 산화물반도체 기반의 태양전지 등의 연구가 진행되고 있는데 이는 가격이 싸고, 태양전지의 효율을 증가시킬 가능성이 높기 때문이다. 여기서 태양전지의 가장 중요한 요소는 태양전지 효율이기 때문에 효율을 높이기 위한 연구가 집중적으로 증가하는 추세이다. 하지만 이론적인 결과와는 다르게, 태양전지 내의 반도체 박막의 성능은 제조 방법, 제조 조건 등에 따라 크게 변하기 때문에 실제 태양전지 효율을 높이는 것은 매우 난이도가 높은 과제이다.

본 연구에서XXX 학생은 중간밴드태양전지(IBSC)를 제작하여 성능이 향상됨을 확인하였고, deep-level transient spectroscopy (DLTS) 및 자외선 광 방출 분광학 (UPS)를 이용하여 ZnTe:Cr 박막의 결함과 Fermi 준위를 조사하여 효율 향상의 원인을 분석했다. ZnTe 박막에 Cr을 결함으로 추가함으로써, 밴드갭 사이에 결함 레벨이 나타나게 되어 3밴드 전이흡수가 일어나게 된다. DLTS 및 UPS 분석을 통해 페르미 에너지 준위는 E_V+0.50eV 에 있고, L4 결함준위 (E_V+1.07 eV)는 ZnTe:Cr 흡수층에서 중간밴드 역할을 하는 것으로 확인되었다. IBSC는 한 개의 에너지 밴드구조에서 3밴드 전이흡수가 일어나도록 하는 창의적인 개념의 태양전지이다. 반도체 내의 결함에 의한 에너지 레벨을 직접적으로 측정할 수 있는 DLTS 분석을 활용하여 태양전지의 효율을 나타내는 지수인 광전변환효율 (power conversion efficiency)이 8.13%로 확

연히 증가하는 물리적 원인을 규명하였다. 보통 반도체 내의 결함은 반도체의 성능을 저하시키지만, 본 연구는 결함을 직접 추가하여 반도체의 성능이 증가될 수 있음을, 태양전지의 성능 개선에 DLTS 분석법을 적용할 수 있음을 증명하였다. 이러한 결과를 2018년에 프랑스 파리에서 개최된 국제학회에서 구두 발표하였으며, SCI 저널에 논문을 게재하였다 (Solar Energy, **164**, 262-266, 2018).



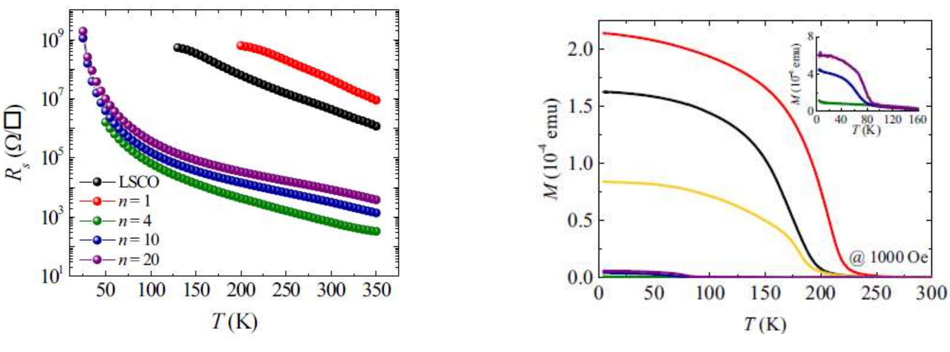
[그림 II.10. (왼쪽) ZnTe:Cr 박막의 DLTS spectra (가운데) DLTS 결과의 defect에 대한 에너지밴드 모습. (오른쪽) ZnTe:Cr IBSC의 전류밀도-전압 특성]

XXX

산화물 인공 초격자의 새로운 물성 발견 결과 포스터 발표

강자성 절연체는 스핀트로닉스 소자에서 스핀여과장벽으로서의 활용 가치가 높다. 하지만 강자성은 금속성과 공존하고 반강자성은 절연성과 공존하는 일반적인 경향으로 인해 자연계에는 강자성 절연체가 많이 존재하지 않는다.

XXX 학생은 원자 단위 두께의 $LaCoO_3$와 $SrCoO_{2.5}$로 이루어진 초격자 시료의 전기, 자기, 광학 특성을 연구하였다. 덩치시료 $LaCoO_3$와 $SrCoO_{2.5}$는 각각 강자성 절연체와 반강자성 절연체이다. 저항 및 자화 특성 측정을 통해 $LaCoO_3$와 $SrCoO_{2.5}$를 층층이 쌓은 인공 초격자 시료가 덩치 시료에 비해 매우 향상된 강자성 절연체 특성을 가짐을 발견하였다. 또한 초격자 시료의 주기 조절을 통해, 강자성 전이온도, 자화값, 저항을 인위적으로 제어할 수 있음을 보였다. 분광 실험을 이용한 전자 구조 연구를 통해 인공 초격자가 보이는 강한 강자성 절연체상이 스핀과 오비탈의 재배열에 기인함을 밝혔다. XXX 학생은 석사 과정 동안 수행한 연구를 종합하여 2018년 한국물리학회 봄학술논문발표회에서 포스터 발표를 하였다. 추후 해당 내용을 논문으로 작성하여 응집물질물리학 대표 학술지인 Physical Review B에 제1저자로 논문을 게재하였다.



[그림 II.11. $(LaCoO_3)_n/(SrCoO_{2.5})_n$ 시료의 (왼쪽) 저항과 (오른쪽) 자화도]

④ 대학원생(졸업생) 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

<표 2-7> 교육연구팀 참여교수 지도학생 중 대학원생(졸업생) 특허, 기술이전, 창업 실적 등

<table>
<tr><th>연번</th><th>최종학위
(박사/석사)</th><th>졸업생
성명</th><th>졸업
연월</th><th>실적구분</th><th>특허, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용</th></tr>
<tr><td rowspan="5">1</td><td rowspan="5">박사</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">2017.02</td><td rowspan="5">특허</td><td></td></tr>
<tr><td>p-MTJ 소자 개발을 위한 Boron-free 강자성체용 nitrogen-based seed layer 소재</td></tr>
<tr><td>미국</td></tr>
<tr><td>US 10,559,745 B2</td></tr>
<tr><td>2018</td></tr>
<tr><td rowspan="5">2</td><td rowspan="5">박사</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">2019.02</td><td rowspan="5">특허</td><td></td></tr>
<tr><td>층상 구조 물질의 전사 방법, 및 전사 장치</td></tr>
<tr><td>대한민국</td></tr>
<tr><td>1017407860000</td></tr>
<tr><td>2017</td></tr>
<tr><td rowspan="5">3</td><td rowspan="5">박사</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">2018.02</td><td rowspan="5">특허</td><td></td></tr>
<tr><td>태양전지 및 이의 제조방법</td></tr>
<tr><td>대한민국</td></tr>
<tr><td>1018352210000</td></tr>
<tr><td>2018</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">최근 3년간 졸업생 수</td><td>석사</td><td>16</td><td rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>박사</td><td>9</td></tr>
</table>

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

④ 대학원생(졸업생) 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성

XXX

p-MTJ 소자 개발을 위한 Boron-free 강자성체용 nitrogen-based seed layer 소재-미국 특허

본 발명은 수직자기이방성 물질을 이용한 자기터널접합 (MTJ: magnetic tunnel junction) 구조에서 고정층의 보자력을 확보하기 위하여 반강자성층으로부터의 수직적 자기상호작용을 유도하기 위한 구조에 대한 내용이다.

MTJ를 STT-MRAM등에 응용하기 위해서는 고정층의 충분한 보자력이 확보되어야 한다. 기존의 수평자기이방성을 사용하는 MTJ의 경우 충분한 보자력을 확보하기 위하여 반강자성물질과 자성물질의 접합에서의 상호작용을 이용하였다. 수직자기이방성을 사용하는 MTJ에서는 아직까지 수직적 상호작용을 줄 수 있는 반강자성층이 없어 이를 강자성층 간의 인위적인 상호작용을 이용하여 고정층의 충분한 보자력을 확보하려 했지만 아직까지 성공하지 못했다. 특히 기존 수직자기이방성 강자성체를 이용한 자성메모리는 수직적 상호작용을 위한 인위적 반강자성층을 형성시키기 위하여 주로 강한 수직자성특성을 띄는 두 개 또는 그 이상의 Co/Pd 혹은 Co/Pt 다층구조 사이에 Ru 등의 space layer를 삽입하였다. 따라서 이러한 synthetic antiferromagnetic coupling 구조는 제작하기 복잡할 뿐 아니라 기본적으로 Co/Pd 혹은 Co/Pt 다층구조가 갖고 있는 열처리 안정성 등의 문제를 품고 있었다.

이에 본 특허에서는 Fe 및 Co와 oxide 물질의 계면에서 유도되는 수직자기이방성을 기존에 알려진 반강자성체 물질인 FeMn 등에 적용하여 반강자성층과의 수직적 상호작용방법을 도출하였다. 특히 반강자성층과 강자성층의 상호작용은 두 물질이 접합된 계면에서 발생하므로 반강자성층의 한쪽 접합은 강자성층이 되어야 하며, 반대쪽 반강자성층과의 접합은 수직자기이방성을 유도하기 위한 산화물 물질이 되어야 한다. 본 특허에서는 반강자성층의 두께를 얇게 하여 bulk의 특성을 최소로 억제하였다.

이전까지 논의되어 온 수직적 상호작용을 위한 인위적 반강자성층의 형성은 구조적으로 다소 복잡하고 제작하기 힘든 다층구조가 사용되었으며 이러한 다층구조는 소자를 두껍게 하고 열처리공정에 취약하여 MTJ의 응용에 어려움을 주었다. 반면 본 발명은 응집물질물리학 및 양자역학에 기반하여 설계된 구조를 실제로 구현하였다. 이 발명은 반강자성층-강자성층 접합에 수직적 상호작용을 발생하게 함으로써 MTJ 소자양산에 큰 도움을 줄 것이다.

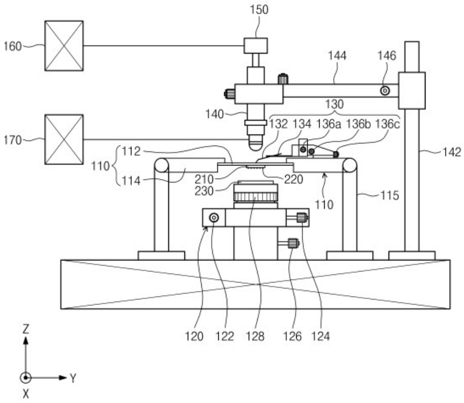
XXX

층상구조 물질의 전사 방법 및 전사 장치 - 대한민국 특허

본 발명은 층상 구조 물질 (layered structure material)을 이용한 소자 제작 시 기판의 원하는 부분에 층상 구조 물질을 전사를 용이하게 하는 구조에 대한 내용이다.

테이프를 이용한 기계적 박리법을 통해 그래핀을 쉽게 얻을 수 있게 된 이후, 그래핀을 포함한 층상 구조 물질에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이는 2차원 재료인 층상 구조 물질이 특이한 전기적, 기계적, 물리적 특성을 갖고 있기 때문이다. 일반적으로 테이프를 기판에 붙여서 얇은 층상 구조 물질을 얻을 수 있는데, 이러한 방법은 얇은 층상 구조 물질을 기판의 오염 없이 원하는 부분에 정확하게 전사할 수 없기 때문에 층상 구조 물질의 접합구조를 제작하는데 있어 어려움이 있었다.

본 발명은 이러한 단점을 보완하기 위해 열을 국소적으로 가하여 층상 구조 물질을 전사하는 장치로서, 박리된 얇은 층상 구조 물질을 육안으로 제어하며 원하는 부분에 정확하게 전사할 수 있게 한다. 본 장치에 의한 전사과정은 기계적 박리법을 이용한 층상 구조 물질의 준비단계, 투명한 소재에 박리된 층상 구조 물질을 부착, 현미경을 통하여 육안으로 기판의 위치를 조절, 소재로 열을 가하여 층상 구조 물질을 기판상에 전사하는 단계로 나누어진다. 본 전사 장치를 이용하면 층상 구조 물질을 고신뢰성으로 기판에 전사를 하고, 오염을 최소화하고, 접합을 쉽게 제작을 가능하게 하여, 층상 구조 물질 연구에 큰 도움이 될 것으로 예상된다.



110: 캐리어
112: 소재 부착부
114: 평판부
115: 캐리어 지지부
120: 기판 지지부
130: 열 제공부
132: 탐침
134: 히터
136a, 136b, 136c: 탐침 이동부
140: 현미경
150: 카메라
160: 제어부
170: 램프부
200: 층상 구조 물질
205: 제1 소재
210: 제2 소재
212: 접착층
214: 지지층
216: 열가소성 고분자층
218: 보호층
220: 피스

[그림 II.12. (왼쪽) 층상 구조 물질 전사 장치의 도면. (오른쪽) 장치 도면에 대한 설명]

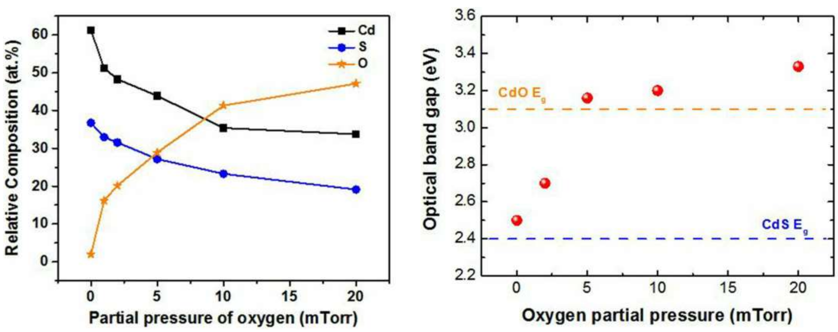
XXX

태양전지 제조 방법 - 대한민국 특허

본 발명은 광학적 특성 및 전기적 특성이 우수한 광투과층을 가지면서 저비용으로 태양전지를 제작하는 방법을 제공한다.

태양전지는 다이오드와 비슷하게, p형 반도체와 n형 반도체가 접합된 구조를 가지며, pn 접합 구조에서 태양광에 의해 광기전력 효과가 발생하게 된다. 이러한 태양전지의 한 종류인 II-VI 계열 태양전지는 n형 반도체층과 투명 전극 간에 격자 불일치를 갖기 때문에 이를 감소시키기 위해 황화카드뮴(CdS) 층이 사용되고 있다. 이 CdS 박막은 기상 에피택시법 (vapor phase epitaxy), 스퍼터링법 (sputtering), 또는 화학용액 성장법 (chemical bath deposition) 방법으로 형성시킬 수 있는데, 기상 에피택시법 및 스퍼터링법은 제조 비용이 비싸고, 화학용액 성장법은 고온을 유지해야 하는 단점들이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 산소를 포함하는 n형 황화카드뮴 (CdS:O) 박막을 산소 분압을 조절하여 펄스 레이저 증착법으로 제작하였다. 이는 광 투과율을 향상시키면서 광투과층의 비저항을 감소시켜 태양전지 효율을 증가시킬 수 있었다. 여기서 CdS:O 의 형성 시 산소 분압이 2 mTorr인 경우 Cd:S:O의 함량비가 48:32:20이며, 이 경우 광투과층의 광 투과도 및 전기적 특성이 향상되었다. 산소분압이 더 낮은 경우와 높은 경우는 비저항이 커서 반절연 (semi-insulating) 특성을 갖는 반면, 2 mTorr에서는 적절한 비저항과 이동도를 갖는다. 또한 이 방법은 반도체층을 상온에서 성장시킬 수 있어 제조 비용을 감소시킬 수 있다. 즉, 본 발명으로 제작된 태양전지는 투명 산화물 전극층/산소를 포함하는 n형 황화카드뮴(CdS:O) 반도체층/p형 텔루르화카드뮴(CdTe)/금속전극층 구조를 가진다. 이 발명은 II-VI 계열 태양전지의 양산에 큰 도움이 될 것이다.



[그림 II.13. (왼쪽) 펄스 레이저 증착 과정에서 산소 분압에 따른 Cd, S, O의 함량비.
(오른쪽) 산소 분압에 따른 광학적 밴드갭]

3. 대학원생 연구역량

3.2 대학원생 연구 수월성 증진계획

3.2 대학원생 연구 수월성 증진계획

대학원생 연구 역량 현황 및 계획

- **최근 3년 졸업생 28명의 주저자 논문 48편, IF 합 245.9**
- **주저자 대표 논문: Nature (1편), Science (1편), Nature Communications (3편)**
- **환산보정 IF 합 4.79, 환산보정 ES 합 12.40 → 매년 10% 증가**
- **환산보정 피인용수 합 8.47 → 매년 5% 증가**

[표 II.4. 최근 3년 졸업생 연구 역량]

	2017-19	1단계 (~ 2023)	2단계 (~ 2027)
IF > Phys. Rev. Lett. 논문수	5	6	8
환산보정 IF 합	4.79	6.22	8.14
환산보정 ES 합	12.40	16.12	21.08
환산보정 피인용수 합	8.47	9.74	11.43

대학원생 연구 수월성 증진 방안

- **해외 우수 연구 기관과의 공동 연구 및 인적 교류 활성화**
- **극한물성 연구분야 국제 계절학교 개최**
- **정기 세미나 및 저널클럽 운영**
- **산학협력을 통한 응용연구 활성화**
- **국제 학술대회 발표 독려와 우수 논문 성과급 지급**
- **해외 석학 공동지도 교수를 활용한 국제 수준의 논문 지도**

- 해외 우수 연구 기관과의 공동 연구 및 인적 교류 활성화
  첨단 연구를 선도하고 있는 미국, 유럽, 일본과 현재 선도 국가로 부상하고 있는 중국 대학 및 연구기관과의 공동 연구를 통하여 세계 수준의 연구 결과를 발표할 것이다. 해외 우수 연구진과의 공동 연구 및 교류를 통해 새로운 연구 주제 개척, 국내에서 접근이 불가능한 연구시설 이용, 최신 연구 정보의 교환 등을 도모하여 연구의 질 향상을 달성할 것이다. 이를 통해 참여 대학원생들이 수준 높은 논문을 발표할 수 있을 것으로 기대한다. 세계 우수 연구 기관과의 지속적이고 폭넓은 교류를 위해 아래와 같은 구체적인 방안을 실행할 것이다. 또한, 교육연구팀에 참여하는 모든 연구실이 해외 연구진과의 1:1 공동연구를 실시할 것이다.
- 극한물성 연구분야 국제 계절학교 개최
  대학원생들을 우수한 연구자로 양성하기 위해서는 정규교과 과정 교육 뿐 아니라 국내외 저명 학자들의 강연을 통한 최신 연구 동향 파악이 필수적이다. 특히 본 교육연구팀의 교육 및 연구의 주제인 양자물질의 극한물성 연구는 최근 새롭게 태동되고 있는 분야로서 최신 정보에 빠르게 접근하는 것이 연구 수월성 증진에 중요하다. 본 교육연구팀은 북경고압연구센터와 카네기연구소와의 국제 공동연구를 수행하고 있으며 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 초고압 발생관련 현재 최고의 기술과 노하우를 보유하고 있는XXXX 박사를 초정하여 대학원생에게 무료로 교육하였다. 또한 2017년 7월 1주일 동안

본교에서 국제 여름학교를 개설하여 고압연구관련 이론부터 실습까지 연구원들을 대상으로 교육/훈련하였다.

본 교육연구팀이 추진해왔던 극한 실험 환경 조성 및 극한 상황에서의 물성 측정 실험법에 대한 이론 및 실험실습 과정을 포함하는 국제 여름/겨울학교를 정기적으로 개최할 것이다. 이 국제 계절학교는 대학원생들의 연구 능력 향상에 기여할 것이다. 또한 대학원생들이 국내외 많은 대학원생들과의 교류를 통해 연구 네트워크를 확장시킬 수 있는 기회가 될 것이다.

- 정기 세미나 및 저널클럽 운영
  - 교육연구팀 정기 세미나 개최: 극한물성분야 국내외 전문가를 세미나와 학과 콜로키움에 지속적으로 초빙하여 최신 연구 동향을 파악한다.
  - 주요 학회의 정기학술대회 특별세션 개최: 권위 있는 학술단체(예: 물리학회, 초전도학회, 진공학회 등)의 정기학술대회에서 특별 세션을 마련하여 노벨상급 전문가를 초빙한다.
  - 저널클럽: 학생들로 하여금 전문 지식 관련 저널 클럽을 자발적으로 운영하도록 한다.
- 산학협력을 통한 응용연구 활성화

  대학에서 발생한 연구 성과를 산업체 응용 연구나 기술 개발에 적용함으로써 새로운 연구 주제를 개척할 수 있고 참여 대학원생들에게는 향후 진로 모색을 위한 중요한 기회를 제공할 수 있을 것이다. 본 교육연구팀은 대학원생 연구 역량 제고와 취업의 질 향상을 위해 산업체와의 교류 기회를 마련하고자 한다. 산학협력 활성화를 위해 본 교육연구팀은 아래와 같은 구체적인 방안을 추진할 것이다.
  - 산학 공동 워크숍 개최 및 참석: 본 교육 연구팀 참여교수는 삼성전자, 삼성디스플레이, LG디스플레이 등의 산업체와 공동 연구를 수행중이다. 산학 공동 연구 수행 결과를 공유하고 활용하기 위해 산업체와의 공동 워크샵을 진행할 것이다.
  - 졸업생 네트워크 활용: 산업체 현장에서 연구 인력으로 종사하는 졸업생을 초청하여 학생들이 관심있는 분야를 소개함으로써 참여 대학원생의 안목을 넓히는 계기를 마련한다.
  - 정기 세미나 및 콜로퀴움 연사에 산업체 연사 초빙: 기존의 세미나와 콜로퀴움의 경우 교수와 연구원을 연사로 모신 경우가 대부분이다. 본 교육연구팀은 세미나와 콜로퀴움에 산업체 연사 섭외를 적극적으로 진행하여 산업체 연사 초빙을 확대할 것이다. 이를 통해 대학원생들은 최신 연구분야와 이를 활용한 응용 연구에 대한 다양한 정보 습득 기회를 가질 수 있을 것이다.
- 국제 학술대회 발표 독려와 우수 논문 성과급 지급
  - 대학원생이 국제적인 네트워크를 갖춘 실력있는 독립 연구자로 성장하기 위해서는 해외 연구자들과의 상호 교류가 필수적이다. 학생들의 국제화 수준을 제고하는 방안으로 교육연구팀은 박사학위 취득 조건에 국제학술대회 1회 이상 발표를 포함했고 교육연구팀은 이에 대한 경비를 지원할 것이다. 또한 연구업적이 우수한 대학원생에 대해서는 평가를 통하여 추가로 국제학술대회 발표에 대한 경비지원을 할 것이다. 최대한 많은 학생들이 국제학술대회 발표를 경험하게 하기 위해 교육연구팀은 국제학술대회 참가 경비를 교육연구팀과 지도교수가 분담한다는 원칙을 수립하였다.
  - 국제학술대회 우수 논문 선정 시 성과급 지급: 참여 대학원생들의 학술 활동을 장려하기 위해 학술활동 실적을 자체 평가에 반영하고 국제학술대회에서 우수 논문으로 선정 시에 교육연구팀에서 성과급을 지급한다.
- 해외 석학 공동지도 교수를 활용한 국제 수준의 논문 지도
  - 3명의 해외석학을 공동지도 교수로 활용하여 대학원생들의 연구를 지도할 것이다.
  - 공동지도 교수가 참여하는 사업단 연구발표회를 개최하여 학생들의 연구진행과정을 발표한다. 모든 발표는 영어로 진행한다.

4. 신진연구인력 운용

4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 계획

4 신진연구인력 운용

4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 계획

신진연구인력 확보 실적

박사후 연구원은 수준 높은 연구를 독립적으로 수행함으로써 교육연구팀의 연구 수월성 증진에 큰 기여를 할 수 있다. 본 교육연구팀 참여교수들은 최근 3년간 박사후연구원과 함께 연구를 수행하여 13편의 SCI 논문을 발표하였다. 아래에 지난 3년간 신진연구인력 실적을 요약하였다.

[표 II.5. 최근 3년간 신진연구인력 활용 실적]

이름	채용 기간	연구실	연구 성과
X	2017. 3 - 현재	나노광학연구실	2017년 6월 Presidential Postdoctor 선정. Nature, Nature Communications, Nanotechnology 주저자 논문 출간
	2019. 3. - 2019. 9.	끈이론적 다체 물리 연구실	주저자 논문 2편 출간
	2017. 6. - 2019. 5.	끈이론적 다체 물리 연구실	주저자 논문 2편 출간
	2018. 9. - 2019. 8.	끈이론적 다체 물리 연구실	공동저자 논문 1편 출간
	2014. 3. - 2018. 9.	끈이론적 다체 물리 연구실	주저자 논문 4편 출간

• XXX 박사

채용기간: 2017년 3월 - 현재

연구주제: Next generation optical devices enabled by the optical analogy of quantum singularities

연구실: 나노광학연구실 (송석호 교수)

연구성과: 2017년 6월에 Presidential Postdoctor로 선정되어 현재까지 연구를 수행하고 있다. 이를 통해 아래와 같이 Nature, Nature Communications, Nanotechnology에 주저자로 논문을 발표하였다.

[1] XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Seok Ho Song, xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx, Nanotechnology 30, 054003 (2019)

[2] xxxxxxxxxxxxxx, XXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX , Seok Ho Song, XXXXXXXX xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx XXX . Nature 562, 86-90 (2018)

[3] XXXX XXXXXXXXXXXX and Seok Ho Song, Nat.e Comm. 9:2182 (2018).

[4] Seok Ho Song, and XXXXXXXXX , Nat. Comm. 8:14154 (2017).

• XXXX 박사

채용기간: 2019년 3월 - 2019년 9월

연구주제: Heun 방정식의 QCD에의 응용

연구실: 끈이론적 다체물리 연구실 (신상진 교수)

연구성과: 강상관계 물질 연구에 관한 주제로 두 편의 주저자 논문을 발표하였다.

[1] XXXX Sang-Jin Sin, Int. J.l .Mod. Phys. A, **35**, 2050038 (2020).

[2] Sang-Jin Sin, Phys. Lett. B, 2020, 135433 (2020).

• XX 박사
채용기간: 2017년 6년 - 2019년 5월
연구주제: SYK 모델에서의 density of states 계산
연구실: 끈이론적 다체물리 연구실 (신상진 교수)
연구성과: 강상관 물질의 특성에 대한 연구로 두 편의 주저자 논문을 발표하였다.
[1] XXX Sang-Jin Sin, XXXXXXX , J. High Energy Phys. **11**, 035 (2019).
[2] XXXXXXXX , Sang-Jin Sin, Phys. Rev. D **99**, 6 (2019).

• XXX 박사
채용기간: 2018년 9월 - 2019년 8월
연구주제: 강상관 topological insulator의 topology 문제
연구실: 끈이론적 다체물리 연구실 (신상진 교수)
연구성과: 강상관 위상 물질에 대한 연구로 한 편의 논문을 발표하였다.
[1]XXXXXXXXX XXXXXXX Sang-Jin Sin, J. High Energy Phys. **10**, 209 (2019).

• XXX 박사
채용기간: 2014년 3월 - 2018년 9월
연구주제: 홀로그래피와 강상관계
연구실: 끈이론적 다체물리 연구실 (신상진 교수)
연구성과: 강상관 위상물질에 대한 연구로 다수의 (Phys. Rev. Lett. 1편)의 주저자 논문을 발표하였다. 현재 GIST 기초교육학부 물리실험교육강사(정규직)로 근무중이다.
[1] XXXXXXX xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx, and Sang-Jin Sin, Phys. Rev. Lett. **118**, 036601 (2017).
[2] XX XXXXXXX , and Sang-Jin Sin, Phys. Rev. B **96**, 041104 (2017).
[3] xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx, Sang-Jin Sin, J. High Energy Phys. **10**, 204 (2017).
[4] xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx, Sang-Jin Sin, J. High Energy Phys. **8**, 077 (2018).

신진연구인력 확보 계획

- **교육연구팀과 개별 연구실이 분담하여 실험 분야 신진연구인력 2명 추가 확보**
- **국제 공동연구 수행중인 연구기관과의 교류를 통한 우수 해외 신진연구인력 확보**
- **본 교육연구팀 졸업생의 신진연구인력 채용**
- **우수 신진연구인력 초빙 위원회 구성**
- **적극적 리크루팅 - 자체 국제 심포지움, 해외 인력 채용 사이트 활용**

• 실험 분야 신진연구인력 2명 추가 확보 - 교육연구팀과 개별 연구실 분담
- 현재 본 교육연구팀은 이론 분야 박사후연구원 3명, 실험 분야 박사후연구원 1명을 활용하고 있으며, 양자물질 극한물성 연구에 특화된 응집물질물리 실험 분야 신진연구인력 2명을 추가 확보하고자 한다.
- BK 사업비로 활용할 수 있는 신진연구인력의 수는 연간 1명 (3,000,000 x 1 x 12 = 36,000,000원)에 불과하다. 우수 신진연구인력을 추가로 확보하기 위해 본 교육연구팀은 신진연구인력의 인건비를 교육연구팀과 개별 연구실이 분담한다는 원칙을 세웠다. 이를 통해 매년 꾸준한 수의 신진연구인력의 확보가 가능하다.
- 또한 한양대학교는 우수 신진연구인력에게 연간 3,000만원을 지원하는 “Research Fellow” 제도를 시행하고

있다. 우수 신진연구인력 확보를 위해 교육연구팀 지원, 개별 연구실 지원과 더불어 대학 차원의 "Research Fellow" 지원을 통해 박사후연구원이 안정적으로 연구에 전념할 수 있는 환경을 제공할 것이다.
- 사업단의 연구력 강화를 위해 개인 연구비 부담을 점차 늘려가는 방식으로 사업기간 동안 신진연구인력의 수를 연평균 6명으로 유지할 계획이다. 이를 통해 다양한 연구 경험을 신진연구인력에게 제공하여 연구 경력의 우수성을 향상시킬 수 있을 것이며, 교육연구팀의 연구 성과 또한 향상시킬 수 있을 것이다.

• 현재 국제 공동연구를 수행하고 있는 연구기관과의 교류를 통한 우수 신진연구인력 확보
- 국제 수준의 첨단 기초 및 실용 물리 연구를 위해서는 우수한 신진연구인력 확보가 필수적이다.
- 본 교육연구팀은 국제 공동연구 네트워크를 적극 활용하여 공동 연구를 수행하고 있는 해외 연구실 출신의 박사학위 소지자를 교육연구팀의 신진연구인력으로 유치하여 우수 신진연구인력을 확보하고 공동연구의 연속성을 유지할 것이다.
- 현재 MoU를 체결한 기관들로부터 우수한 인적자원을 선발할 계획이다. 허난사범대학교, 린이대학교, 길림대학교, 북경고압연구센터들이 그 대상이다.
- 본 교육연구팀 참여교수들은 미국, 중국, 일본 등 해외 연구기관과의 적극적인 공동연구를 수행하고 있다. 특히 교육연구팀장인 김재용 교수는 중국 및 미국 연구진과 극한 물성에 대한 주제로 Global Research and Development Center 사업을 진행 중이며 국제 공동 연구에 참여하는 상대국 연구진으로부터 우수 연구원들을 추천받아 본 교육연구팀 대학원생으로 확보하여 연구를 수행중이다.
- 김재용 교수는 현재 MoU를 체결한 기관을 통하여 신진연구인력을 확보할 계획이다. 중국의 경우 우수한 인적 자원이 풍부하고 한국에 대학원 과정 혹은 박사후 연구원 과정으로 오고 싶어 하는 젊은 연구인력이 많이 있다. 적극적인 국제교류를 통하여 국내에서 연구하기를 희망하는 연구인력을 현지에서 면접을 통해서 확보할 계획이다. 실제로 중국 허난사범대학교, 정저우대학교, 중국과학기술대학에서 학생들이 본 대학원에 지원하여 김재용 교수와 조준형 교수 연구실에서 박사과정에 재학 중이다.
- 베트남으로부터 우수한 인적자원을 확보할 계획이다. 현재 SCI-X 프로그램을 통하여 선별된 대학원생들이 박사과정에 재학 중이며, 이들은 우수한 연구성과를 도출하고 있다. 앞으로도 본 프로그램을 계속 활용하여 베트남으로부터 숙련된 연구인력을 현지 채용할 계획이다.
- 또한 정부의 신남방정책에 따라 태국, 말레이시아, 인도네시아 등과의 교류를 확대하여 신진연구인력을 확보할 예정이다.

• 본교 대학원 졸업생의 신진연구인력 채용
- 박사과정을 졸업한 신진연구인력이 새로운 곳에서 우수한 연구를 수행하기 위해서는 새로운 환경과 연구 주제에 적응하는 기간이 필요하다. 이 적응 기간을 최소화하고 신속하게 연구를 수행하기 위해서 본교 대학원 졸업생을 신진연구인력으로 적극 활용하고자 한다.
- 실제로 본교 물리학과 대학원을 졸업하고 동연구실에서 신진연구인력으로 연구를 수행하였던XXX 박사와 XXX 박사는 Nature지, Nature Communications지, Nature Electronics지 등의 저명학술지에 주저자로 논문을 게재한 바 있다.

• 우수 신진연구인력 초빙 및 심사 위원회 구성
- 교육연구팀장과 이론 분야 참여교수 1인, 실험 분야 참여교수 1인으로 구성된 우수 신진연구인력 초빙 및 심사 위원회를 구성한다.
- 교육연구팀 참여 교수들의 학문적 네트워크를 적극 활용하여 신진연구인력 풀을 만들고 상시 업데이트 한다.
- 위원회에서는 우수 신진연구인력을 심사하고 추천하여 신진연구인력과 가장 근접한 분야의 참여교수가 직접 연락하여 해당 인력을 확보한다.
- 우수 신진연구인력을 확보해 우수한 연구 실적을 쌓게 하고 광범위한 국내외 학문적 네트워크를 구축하게 함으로써 국내외 연구기관 및 대학교에 취업을 돕는다.

• 적극적 리크루팅

- 보다 적극적이고 능동적인 유치를 위해 해외 유수 전문인력 채용 공고 사이트를 활용하여 공개 경쟁을 유도하고 이를 통해 우수 신진연구인력 유치할 것이다.

신진연구인력 지원 계획

- **대학 차원의 Research Fellow 제도를 통한 인건비 추가 지원**
- **연구/학술 활동 지원–국제학회 참여경비, 국제학회 연사추천, 논문교열료/게재료 지원**
- **독립적 연구과제 수주 지원**
- **연구에 전념할 수 있는 환경 조성**
- **연구 성과급 지원**
- **신진연구인력과 교육연구팀 참여교수와의 연계 활동**
- **외국인 신진연구인력 숙소 지원**

• 대학 차원의 Research Fellow (박사후 연구원 임용) 제도를 통한 인건비 추가 지원

- Research Fellow 제도는 신진연구인력 연구 환경 개선과 박사과정 졸업생 커리어 개발 지원을 위해 2017년부터 운영되고 있다. 박사후연구원에게 연간 최대 3천만원 (1년)까지 지원하며, 필요시 최대 2년까지 지원한다. 4대보험 기관부담금은 산학협력단에서 지원한다.
- 본 교육연구팀은 신진연구인력 인건비를 교육연구팀과 신진연구인력을 활용하는 개별 연구실이 분담한다는 원칙을 세웠다. 우수 신진연구인력의 경우에는 대학의 Research Fellow 제도를 통한 추가 인건비를 지원한다.
- Research Fellow 제도를 활용하여 신진연구인력의 취업 안정성을 높여 우수한 인재를 채용하는데 활용할 것이다. 이를 통해 Research Fellow 기간 후에는 연구책임자로 성장할 수 있도록 지원할 것이다.

• 연구, 학술활동지원

- 주요 국제학술대회의 논문발표 경비를 지원하여 연구 성과를 발표토록 한다.
- 본 교육연구팀 참여교수들이 조직하여 개최하는 국제학회에서 학술 발표 기회를 부여하고, 좌장 및 프로그램위원회 활동에도 참여하게 하여 신진연구인력이 독립적인 연구자로 성장하는데 필요한 소양을 함양할 수 있는 기회를 제공한다.
- 신진연구인력이 교수 및 연구원으로 취업할 때까지 참여교수의 학술 네트워크를 적극 활용하여 교수 및 연구원 채용에 추천을 하거나 국제학술대회 강연자로 추천한다.
- 신진연구인력의 논문 투고시 논문 교열료 및 게재료를 100% 지원한다.

• 연구에 전념할 수 있는 환경 조성

- 신진연구인력이 연구에 전념할 수 있도록 이들에게 강의를 맡기지 않는다.
- 본 교육연구팀 소속의 신진연구인력은 BK 사업과 관련된 자료 정리, 자료 분석, 보고서 작성 등의 업무에 일절 관여하지 않는다.

• 독립적 연구과제 수주 지원

- 신진연구인력이 연구 책임자로 성장하기 위해서는 독자적인 연구 과제를 수주하여 수행하는 것이 매우 필요하다. 교육연구팀 참여교수들은 신진연구인력이 독립적 연구과제를 수주할 수 있도록 연구 목표 및 추진체계 설정에 지속적인 도움을 줄 것이다.
- 신진연구인력 연구과제 수주실적

XXX 박사

주관: 교육부 (Presidential Postdoctor Fellowship)

과제명: Next generation optical devices enabled by the optical analogy of quantum singularities
연구기간: 2017. 6. 1. ~ 2022. 2. 28.
연구비 총액 617,500,000원 (평균 123,500,000원/년)

- 연구 성과급 지원
  - 신진연구인력의 적극적인 활용을 위하여 활용 교수 및 학생들과의 공동연구 수행을 장려하고, 이를 통해 우수한 성과를 낸 경우 사업단 인센티브를 활용하여 성과급을 지급할 것이다.
  - IF 10 이상의 논문을 주저자로 발표할 경우 100만원 지급
  - Nature나 Science에 주저자로 논문 발표시에는 교육연구팀에서 200만원 지급
  - 매년 신진연구인력의 우수 논문을 발굴하고 자연과학대학장 명의로 시상

- 신진연구인력과 교육연구팀 참여교수와의 연계 활동
  - 본 교육연구팀 참여 교수들은 미국, 중국, 일본 등에 있는 대학 및 연구기관과 공동 연구를 꾸준히 진행해오고 있다. 해외 연구기관의 우수한 연구시설 사용과 연구 노하우 습득을 위해서는 방문연구가 필수적이다. 해외 연구기관과의 협력 연구에 관심이 있는 신진연구인력을 확보하여 장기해외 파견 연구를 수행할 수 있도록 지원할 것이다. 이는 신진연구인력이 해외 우수 연구자들과의 공동 연구를 통해 수준 높은 연구 결과를 도출하는데 도움이 될 것이고, 궁극적으로 교육연구팀의 연구 역량 향상에 기여할 것이다. 또한 신진연구인력은 해외 연구자들과의 공동 연구를 통해 국제적인 인적 네트워크를 갖출 수 있을 것이며, 이는 향후 진로 탐색에 폭넓은 가능성을 제공할 수 있을 것이다.
  - 교육연구팀 정기 세미나를 운영하여 신진연구인력이 수행하고 있는 연구 경과 및 결과 발표 기회를 제공한다. 세미나에서의 의견 교환을 통해 연구의 효율성을 증대시키고 발전적인 연구 진행을 모색한다. 교육연구팀 정기 세미나에서는 연구 내용에 대한 발표 뿐 아니라 신진연구인력 연구 주제와 연관된 최신 연구논문을 소개하는 시간을 갖는다. 이를 통해 신진연구인력, 참여교수, 대학원생들은 해당 분야 연구에 대한 폭 넓은 지식을 습득할 수 있을 것이다. 또한 연구 결과 발표 능력 및 학술적 대화 능력을 개발할 수 있을 것이다.
  - 우수 신진연구인력에 대해 지속적인 CV 관리 및 업데이트를 시행하고 이를 통해 신진연구인력의 세부전공과 상황에 맞는 대학교, 연구소, 산업체 채용 정보를 지원한다.

- 외국인 우수 신진연구인력에 대한 숙소 지원

  외국인 신진연구인력의 경우 숙소가 큰 부담이 된다. 한양대는 외국인 교수 및 연구원을 위한 숙소를 일정 수 확보하고 있으며, 이를 교육연구팀에서 적극 활용할 것이다.

5. 참여교수의 교육역량

5.1 참여교수의 교육역량 대표실적

<표 2-8> 교육연구팀 참여교수의 교육역량 대표실적

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자등록번호</th><th>세부전공분야</th><th>대학원 교육관련 대표실적물</th><th>DOI번호/ISBN/ 인터넷 주소 등</th></tr>
<tr><th colspan="5">참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td>김재용</td><td></td><td>표면/경계면물리</td><td>초고압 여름학교 개설</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">극한연구를 수행함에 있어 실제로 백만 기압 단위의 초고압을 가하기 위해서는 많은 기술적인 어려움이 있다. 당시 우리나라에서는 백만 기압 단위까지 압력을 가해본 경험과 기록이 없어 초고압 영역에 접근을 하지 못하고 있었다. 이러한 국내의 열악한 현실을 극복하기 위하여 김재용 교수는 2017년 7월 1주일 동안 초고압 발생관련 현재 세계 최고의 기술과 노하우를 보유하고 있는 중국고압연구센터의 XXXXX 박사를 초정하여 본교와, 연세대, 서울대 소속 대학원생과 신진연구원들을 대상으로 국제여름학교를 개설하였다. 본 여름학교에서는 고압발생 기술과 일반적인 연구관련 이론부터 실습까지 연구원들을 대상으로 교육/훈련하였고, 이를 계기로 우리도 아직 도달해보지 못한 영역을 시도할 수 있는 자신감을 가짐으로써 그 동안 수십 GPa 이하에 머물렀던 고압영역 연구를 국내에서도 초고압상태에서 다룰 수 있는 시발점이 되었다. 즉 국내 초고압연구의 기원을 세운 기념비적인 집중코스였다고 평가한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>문순재</td><td></td><td>에너지띠/전자구조</td><td>대학원교과목 개발</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">본인은 [응집물질 분광학]이라는 대학원 과목을 개발하여 2017학년도 1학기와 2019학년도 1학기에 강의하였다. 위 강의를 모두 영어전용으로 진행하였다.
물리학 분야에서 응집물질물리가 차지하는 비중은 매우 크다. 본 교육연구팀의 주제도 응집물질의 물성에 관한 것이다. 분광 실험법은 응집물질의 전자기 특성을 이해하는데 매우 중요한 실험 방법이다. 분광 실험법의 기본 원리와 그 적용 사례를 소개하여 대학원생들의 응집물질 물성 전반에 대한 이해도를 향상시킴으로써 분광법을 전공하는 대학원생뿐만 아니라 다른 실험법을 사용하여 응집물질의 특성을 연구하는 대학원생의 연구에 도움을 주는 것을 목표로 강의를 개발하였다.
본 강의에서는 응집물질의 특성 연구에 쓰이는 다양한 분광 실험법의 원리와 그 적용 사례에 대해 소개하였다. 본격적인 분광 실험법 강의에 앞서 응집물질의 전자 구조 및 전하 동역학에 대한 내용을 소개하였고, 이들 특성을 분광 실험법을 이용하여 연구하는 방법에 대해 강의하였다. 강의에서 다룬 실험법은 광분광법, 광전자 분광법, x선 흡수 분광법, 시간 분해 광분광법, 라만 분광법, 중성자 산란 실험이었다. 해당 강의를 통해 다양한 응집물질물리학을 연구하는 학생들의 응집물질 특성에 대한 이해도를 높일 수 있었다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td>신상진</td><td></td><td>장물리이론</td><td>동영상강의/강연/교과목개발</td><td>1. https://www.youtube.com/playlist?list=PLSN_PltQe0yj8D9X90Hncu0rjyNdqp4wD
3. http://www.hanyang.ac.kr/surl/96EC</td></tr>
<tr><td colspan="5">1. OCW 동영상강의: 전국의 학생들에게 잘 알려져 있다는 양자역학, 전자기학, 수리물리학등 물리학 코어과목 강의 동영상을 YouTube에 공개하였으며, 현재 580,000 view를 기록중이다.
2. 자기학회 튜토리얼 강연 (2019년 11월 20일): 제주도에 있었던 자기학회에서 200명 이상의 학생 및 참가자들을 대상으로 강상물질과 위상 물질이 만났을 때라는 주제로 1시간 40분간 신상진 교수가</td></tr>
</table>

5. 참여교수의 교육역량

5.1 참여교수의 교육역량 대표실적

<표 2-8> 교육연구팀 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여교수명	연구자등록번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/ 인터넷 주소 등
	참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성				
	행했던 튜토리얼 강연이다. 3. 노벨렉처 (2016년 6월 28일): 신상진 교수는 하바드 대학의XXXX 교수를 초청하여 청소년과 대학원생을 대상으로 하는 일반강연과 "디랙유체에서의 유체역학적 수송"에 대해 교내외 대학원생과 교수들을 대상으로 전문강연을 주관하였다. 4. 고체장론 교과목 개발: 입자장론 및 끈이론의 관점에서 고체물리학을 기술하는 입자물리학과 응집물질물리학이 융합된 새로운 교과목을 국내 최초로 개설하였다. 이론고체물리학의 난점을 홀로그래피 이론이 어떻게 해결할 수 있을지에 대해 강의하였다.				
4	송석호		광자기술	대학원교과목 개발	
	송석호 교수는 2016년 2학기와 2018년 2학기에 [가상광학설계]라는 대학원 실습 교과목을 개설하고 운영하였다. 대부분의 대학에서 실험실습 교과목은 학부 교육 과정에만 개설되어 있다. 송석호 교수를 포함한 본 교육연구팀은 과학기술 분야 뿐 아니라 산업/사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는 데 의견을 모으고, 교육과 실험실습을 연계한 교육을 위해 [가상광학설계]라는 실습 교과목을 2016년 2학기, 2018년 2학기에 운영하였다. 본 강의에서는 Virtual Lab. 이라는 전산모사 프로그램을 활용하여 고집적 고효율 광소자 및 반도체 소자를 설계하는 실습을 진행하였다. 본 강의에서는 광학설계에 대한 기본적인 이론 가르치고 실제 광소자 활용되는 부품을 설계하거나 기존 부품을 개선하여 집적도 및 효율성이 향상된 부품을 설계하는 실습을 진행하였다. 송석호 교수는 2021학년도 1학기에 [광학실험실습]이라는 실험 교과목을 대학원에 개설하기로 하였다. 이는 본교 물리학과 대학원 2020-2021 교육과정에 이미 포함되어 있다.				

6. 교육의 국제화 전략

6.1 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

6 교육의 국제화 전략

6.1 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

국제화는 본 교육연구팀이 발전하기 위한 3대 핵심전략 가운데 하나이다. 특히 요즘처럼 국내에서 물리학과 대학원 진학률이 저조하고 젊은 과학자가 부족한 현실에서, 인적자원이 풍부한 중국과의 교류가 매우 중요하다. 최근 중국의 기초과학, 특히 극한물성연구에 대한 막대한 투자는 본 교육연구팀의 취지와 정확히 일치한다. 따라서 본 교육연구팀은 극한물성 연구를 세계에서 가장 첨단으로 수행하는 중국북경고압연구소와 길림대학 등을 비롯한 여러 기관들과 연구와 교육면에서 전략적 파트너쉽을 수립하여 국제화를 추진하고 있다. 현황과 계획은 다음과 같다.

외국 기관과의 인적 교류 현황 및 계획

- 해외 MoU 체결: 4개국 7개 기관 (첨부자료 2 참조)
  - 북경고압연구센터, 중국 (고압연구관련 공동연구협약, 2017.02.24.)
  - 길림대학교, 중국 (초강도물질중심 공동연구 및 교육협약, 2020.03.20.)
  - 허난사범대학교, 중국 (물리학과 대학원생 수급방안 및 공동연구 협약, 2018.10.08.)
  - 린이대학교, 중국 (물리학과 대학원생 수급방안 및 공동연구 협약, 2019.08.14)
  - VNU-Ho Chi Minh City, 베트남 - University of Science (Vietnam National University): 물리학과 학부생연계 대학원진학 공동교육 및 연구 프로그램, 2015.09.21.부터 5+5년 프로그램)
  - 오타와대학교, 캐나다: 연구원 및 대학원생 교류와 공동 연구 (2019.12.19)
  - 옥스퍼드대학교, 영국: 연구원 및 대학원생 교류와 공동 연구 (2015.06.01)
- 외국 연구소 및 대학과의 인적 교류 추진
  - 해외 파견을 통한 연수: 국제학회 및 교육연수를 목적으로 박사후 연구원 2명, 학생 8명을 북경고압연구센터, 길림대학교, 정저우 대학교, 카네기 연구소 등 해외 기관에 파견하였다. 특히 길림대학 물리학과와는 교수 및 연구협력에 그치지 않고 학점 교류제를 추진할 것이다.
- 거대과학연구시설 활용 국제공동연구 수행:
  - 미국 Argonne National Laboratory APS 연구시설을 활용한 국제 공동실험을 수행하였다.
  - 독일 PETRA-III 가속기 연구소 (학생 2, 교수 1, 6일 방문)

해외학자 활용 현황 및 계획

- 특임교수 활용을 통한 자문: 2016년부터XXXXXXXXXX 북경고압연구센터 소장을 물리학과 특임교수로 초빙하여 압력 관련 연구방향 설정 및 컨설팅과 자문역할을 수행하고 있다.
- 겸임교수 활용을 통한 공동지도교수: XXXXXXXX 박사와 XXXXXXX 박사를 학과 겸임교수로 초빙하여 고압-초전도관련 공동연구수행 및 세미나, 콜로퀴움 발표, 대학원과목 팀티칭, 학위 공동지도교수 (XXXXXXXXXXXXXXXXXX)등 다양한 역할을 수행하고 있다.
- 학술강연을 통한 연구력 향상: 노벨렉쳐시리즈강연 2회 (XXXX 교수, XXXXXXXXXXX 소장), 학과 콜로퀴움 (XXXXXXXXXXXX 교수 외 4회), 세미나초청 (11회)
- 온라인을 통한 강의의 국제화: 이미 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 등 3명의 겸임교수들은 압력연구 관련 교과목 팀티칭에 참여하고 있다. 앞으로는 수시로 온라인 수업도 진행할 예정이다.

우수 외국인 학생 유치 현황 및 계획

- 그 동안 활발한 국제교류활동을 통하여 본 교육연구팀은 우수한 외국인 학생을 충분히 확보하였다고 판단한다. 현재 본 교육연구팀에 소속된 외국인 학생은 8명으로 25%를 차지하고 있으며 앞으로도 30% 이내에서 유지할 계획이다. 외국인 학생을 선발하기 위하여 김재용, 조준형 교수 등은 상대기관을 방문하여 현지에서 추천받은 학생들을 대상으로 인터뷰를 진행하여 선발하였던 바, 성과에 대해서 만족하고 있으며 이제는 유치하려는 학생 수 보다 우수성을 유지하도록 노력할 것이다. 지금까지의 현황과 계획은 다음과 같다.
- 공동 연구 과정에서 해외 참여 연구진으로부터 추천받은 우수 학생 선발:
  김재용, 조준형 교수는 중국과학기술대학, 북경고압연구소, 저장 대학교, 난징 대학교와의 공동 연구 과정에서 해외 참여 연구진으로부터 추천받은 학생 3명 (XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX)을 석박사 과정으로 유치하여 연구를 진행하고 있다. 특히 XXXX XXXXXXXXXXX 는 현지에서 연구원 경력이 있어 입학과 동시 연구에 직접 참여하고 있다.
- SCI-X 베트남 특화 유치: 한양대학교 국제협력처의 주도로 진행된 Hanyang Global SCI-X (이하 SCI-X) 프로그램을 통해 다수의 베트남 하노이 대학 학생들을 유치하였고 현재 2명 (XXXXXXXXXXXXX xx XXXXXXXXXX)이 석박과정생으로 본 교육연구팀에 소속되어 있다. 참고로 SCI-X 프로그램은 선도적인 연구를 하는 선진국 대학이 훌륭한 인적자원을 가진 개발도상국 대학의 우수 학부생을 유치하고 대학원으로 진학시키는 것을 목적으로 하는 국제 연구 및 인적 교류 프로그램이다. 학부 1, 2학년을 현지에서 마친 학부생들을 유치하여, 한양대학교에서 학부 3, 4학년 과정을 밟아서 졸업한 후 대학원으로 진학하게 하는 프로그램이다.
- 우수 외국인 학생 유치를 위한 장학금 지원:
  한양대학교는 우수 외국인 학생 유치를 위해 대학에서 우수 외국인 학생이 대학원에 입학할 경우 등록금의 50%를 지원하는 이공계 외국인 장학금 프로그램을 운영 중이다. 추후에는 본국에서 지원하는 해외장학금에 선발될 수 있도록 연구중심으로 지도할 계획이며 입학 후 2년 이내에 SCI논문을 제 1 저자로 출간 할 수 있도록 지도할 예정이다.
- 영어전용 강좌 운영
  영어전용 강의 운영을 통해 대학원생의 영어 논문 작성 및 영어 발표 능력을 제고한다. 지난 3년간 물리학과 대학원 과정에 개설된 교과목 가운데 교수가 직접 강의하는 과목의 영어전용 강의 비율은 약 42%이다. 본 교육연구팀은 참여교수들이 담당할 대학원 교과목을 100% 영어전용 강좌로 운영할 것이다. 특히 양자물질 극한물성 연구와 연계되어 현재 운영되고 있거나 개설할 과목에서는 학생들의 영어 발표 능력을 키우기 위해 연구결과 발표를 의무화하고 영어로 발표하도록 할 것이다.

기타: 제도 및 홍보

- 베트남 및 태국 대학 방문을 통한 대학원 홍보
  본 교육연구팀은 매해 베트남 하노이 대학과 태국의 치앙마이 대학, 그리고 중국을 방문하여 연구실의 연구 내용을 소개하고 학생들을 대상으로 진로 상담을 실시하고 있으며 이러한 활동은 꾸준히 지속될 것이다.
- 입학관련 홈페이지 구축 및 포스터 팜플렛 자료 제작 및 배포
  본 교육연구팀은 외국인 학생들이 본교 대학원의 연구에 관심을 가지고 지원할 수 있도록 본 교육연구팀 전용 홈페이지와 관련 내용이 담긴 소책자와 포스터를 제작하여 외국 대학 방문 시에 배포할 예정이다.
- 모든 참여 학생들의 박사과정 졸업 요건으로 국제 학회 구두 발표를 의무화하였고, 필요한 재원은 참여 교수들의 연구비와 교육연구팀 사업비에서 분담하여 지원하고자 한다.

② 대학원생 국제공동연구 현황과 계획

<표 2-9> 교육연구팀 참여교수 지도학생(재학생 및 졸업생) 국제공동연구 실적

연번	공동연구 참여자			상대국/소속기관	연구주제	연구기간 (YYYYMM-YYYYMM)
	교육연구팀		국외 공동연구자			
	대학원생	지도교수				
1		홍진표		영국/옥스퍼드 대학교	1-D copper sulfide for supercapacitor	201706-201805
2		김재용		중국/HPSTAR	압력변화에 따른 C60의 구조 및 수송 특성연구	201907-201912
3		조준형		중국/중국과학기술대학교(USTC)	카고메 격자를 가지는 Fe3Sn2에서 플랫밴드와 이로 인한 강자성 존재 입증에 관한 연구	201708-201807
4		조준형		중국/허난대학교 (Henan University)	압력하에서 LaH10이 가지는 초전도성에 관한 미시적 메커니즘에 관한 연구	201804-201903
5		조준형		중국/허난대학교 (Henan University)	Y2C 전자화물의 자성과 위상학적 성질에 관한 연구	201806-201905
6		김재용		미국/CIS, 중국 /HPSTAR	초고압 (100G Pa 이상, 세계 최고 수준)에서의 K-H system 초전도 및 구조분석 공동연구	202001-202002
7		김재용		중국/HPSTAR	압력을 이용한 FABbBr3 Perovskite 구조체의 합성 및 광 특성연구	201709- 201712

6.1 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

② 대학원생 국제공동연구 현황과 계획

국제공동연구 현황

1. XXX 학생은 옥스퍼드 대학 XXX 교수 연구팀과 황화금속의 합성법, 나노구조물의 측정법 개발과 물성 분석에 관한 공동연구를 수행하였고, 그 결과를 Journal of Materials Chemistry A에 게재하였다. 황화구리 전극의 성장시간을 기존 12시간에서 10분으로 대폭 단축하였고 고온의 열처리 없이도 단결정을 형성할 수 있는 공정법을 확립하여 슈퍼커패시터 상용화의 가능성을 열었다.

2. XXXXXXXXXXXXX 학생은 2019년 7월부터 중국 HPSTAR를 4회 방문하여 XXXXXXXXXXXX 그리고 XXXXXXXXXXX 교수들 연구실에서 압력을 주제로 하는 다양한 실험을 수행하였다. 대표적 결과들은 압력변화에 따른 (>50 GPa) C60 및 CNT를 포함한 카본계열과 Boron Nitride Nanotube (BNNT) 시료의 구조 및 전기전도도 측정 등 다양한 공동연구를 진행하였다. 특히 고압수소로딩장비를 이용한 고압 수소화물의 제작과 수송현상을 측정하고, 레이저를 이용한 초고온-초고압 실험 등 국내에서 시도하지 못하였던 실험들을 수행하였으며 이 결과들은 현재 논문으로 작성중이다.

3. XXXX 학생은 카고메 격자를 가지는 Fe_3Sn_2에서 플랫밴드와 이로 인한 강자성의 존재를 밝히기 위해 중국과학기술대학교 (USTC) XXXXXXXX 교수그룹의 STM, ARPES 실험 데이터와 수조대학교 XXXX 교수 그룹의 이론데이터를 교환하여 수시로 토의를 진행하였다. 협업을 통해서 600 K의 고온에서 장거리 강자성 배역이 만들어지는 강자성 메커니즘을 밝혔다. 이 결과를 Phys. Rev. Lett (PRL 121, 096401 (2018)에 출간하였다.

4. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 학생은 중국 허난대학교 XXXXXXXXX 박사와 함께 LaH_{10}에서 비교적 높은 초전도 임계온도 (T_c)를 보이는 초전도 메커니즘을 제일원리적계산으로 규명하였다. 두 학생은 XXXXXXXXX 박사와 초전도 임계온도를 계산하기 위한 새로운 코드를 학습하고 계산 데이터를 수시로 주고받으며 공동연구를 진행하고, 그 결과를 Phys. Rev. B (PRB 99, 140501; 2019)에 출간하였다.

5. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX 학생은 중국 허난대학교 XXXXXXXXX 박사와 함께 Y_2C 전자화물의 강자성 및 바일토폴로지 물성에 대한 메커니즘을 제일원리적계산으로 규명하였다. 위학생들은 DFT 분야 전문가인 XXXXXXXXX 박사와 계산 데이터를 수시로 주고받고 매주 회의를 진행하였으며 상호간 공동연구를 6개월간 진행하였다. 협업을 통해서 시간역전대칭이 깨진 강자성 상태는 페르미 에너지 근처에서 바일 마디 선을 만들어내는 것을 확인하였다. 그리고 2 K의 낮은 온도에서 실험적으로 관찰된 상자성은 작은 비등방성 에너지에 의해 설명될 수 있음을 공동으로 도출하여 Phys. Rev. B (PRB 99, 220401; 2019)에 출간하였다.

6. XXXXXXXXXX 학생은 potassium hydride의 압력에 따른 구조를 분석하기 위해, 미국 Advanced Photon Source의 GSECARS 빔라인 (APS-13)을 수차례 방문하여 수소압력 70 GPa 단위에서 방사광 XRD 데이터를 측정하고 결과를 분석하고 있다. 특히 고압구조분석 전문가인 빔라인 메니저 (XXXX XXXXXXXX 박사)와의 공동연구를 진행하고 있다. 본 시료는 준비과정이 너무 까다롭고 어려워, 아직까지 누구도 초고압-초고온 수소 분위기 상태의 구조분석 시도를 못하고 있는 바, 위 학생은 본 공동연구를 통하여 조만간 세계적인 결과를 도출할 수 있으리라 기대한다.

7. XXXXXXXXXXXXXXXXX 학생은 태양전지소자로 활용되는 페로브스카이트 구조체의 압력에 따른 구조와 발광현상을 규명하는데 있어 본 분야의 전문가인 HPSTAR의 XXXXXX 교수팀과의 공동연구를 통하여 시료를 제작하고 발광효율을 측정하였다. 일본 SPring-8 10XU 빔라인의 XXXXXXXX 박사와의 협업을 통하여 20 GPa 단위 압력에서 구조를 분석하고 이를 발광결과와 비교하여 논문으로 출간하였다. (Nanoscale 11, 5868, 2019)

국제공동연구 계획

- XXXXXXXXXXXXXX 학생은 중국 허난대학교 (Henan University) 의 XXXXX 교수 그룹에 2021년도 1~2월 1개월 정도 공동연구를 위하여 해외연수를 가질 계획이다. XXXX 교수 그룹은 여러 가지 2,3차원 물질의 물성계산을 수행하는 그룹으로써 주된 연구 주제는 다이아몬드 표면의 금속 성장과 확산연구, 금속 표면의 분자 흡착, 저차원 물질에서 구조 설계와 최적화 연구, 청정 에너지 설계 및 메커니즘 탐구, 새로운 고성능 계산 플랫폼 및 방법 탐구이다. XXXX 학생은 조준형 교수 그룹에서 수행하였던 저차원 물질의 제일원리 계산을 통하여 초전도 물성 메커니즘 연구 및 구조 설계 및 최적화연구를 수행한 바 있다. 이 경험을 바탕으로 XXXX 교수 그룹의 단기 연수 기간 동안 그룹에서 수행하는 메커니즘 연구와 구조 설계, 최적화 연구에 참여하여 기여를 할 수 있을 것이라 생각된다.
- XXXXXXXXXXXX 학생은 중국 허난 사범대학교 (Henan Normal University)의 XXXXX 교수 그룹에 2021년도 겨울방학을 이용하여 1개월 정도 방문하여 공동연구를 수행할 예정이다. XXXXXX 교수 그룹은 2차원 전이금속 황화물 박막의 광학, 전자, 자기적 특성연구를 수행 중에 있으며, 조준형 교수 그룹에서 학습한 2차원 물질의 제일원리 물성 계산 경험을 활용하여 XXXXX 교수 그룹의 연구에 참여할 계획이다.
- XXXXXXXXXXX 학생은 중국 수조대학교 (Soochow University)의 XXXXX 교수 그룹에 2021년도 7~8월 1개월 정도 공동연구를 위하여 해외연수를 가질 계획이다. XXXX. 교수 그룹의 연구 주제는 2차원 전자화물의 전자구조 계산, 2차원 물질 유기금속 나노구조의 스핀트로닉스 등이다. XXXX 학생은 석사과정 중 전자화물의 물성에 관한 논문을 출간한 경험이 있고, 본교에 박사과정으로 올해 9월 입학 예정이다. 그 사이 본 그룹 연구원 신분으로 수조 대학 XXXX 교수 그룹에 방문하여 저차원 전자화물 물질의 물성 계산을 집중적으로 수행할 계획이다.
- 해외 연구실과의 1:1 공동연구 진행을 목표로 대학원생들을 장기와 단기로 나누어 MoU 맺은 기관들에 파견할 예정이다.
- 단기파견은 주로 국제학회 발표와 해외 연구시설을 활동한 공동연구수행으로 이루어지고, 장기파견은 박사수료생위주로 상대연구자와 프로젝트를 설정하여 진행하도록 할 것이다.
- 장기파견 장소로는 중국의 북경고압연구센터와 정저우대학교, 길림대학교, Hefei에 위치한 중국과학기술대학교 등이지만 추후 미국과 유럽, 그리고 일본으로 해외 교류 지역을 다변화 할 예정이다.
- 석사과정생의 경우 학위졸업 요건으로서 국제 학회발표를 추가하여 최소 1회의 국제학회 발표 경험을 가질 수 있게 할 계획이다
- 박사과정생의 경우 학위졸업요건으로 국제학회에서의 구두발표를 의무화할 것이다.
- 장기파견 연수를 마친 후에는 학생이 주저자로서 최소 SCI 논문을 완성하도록 할 것이다.
- 현재 활발히 활용하고 있는 세계의 우수한 방사광가속기시설을 계속 사용하여 세계최고의 연구성과를 도출할 것이다. 지속적인 빔타임을 확보하기 위하여 꾸준히 빔타임 제안서를 제출할 것이다. 이 때 초안은 학생들로 하여금 작성하게 하고 지도교수와 함께 계속해서 수정작업을 거쳐 연구과제 제안에 대한 안목과 인식을 배우도록 할 예정이다.
- 종합적으로 기술하면, 국제 공동 연구를 통해 참여 대학원생 전원이 외국 대학 및 연구 기관의 교수와 함께 공동연구를 수행하여 참여 학생들이 국제 석학과 직접적으로 교류할 수 있도록 할 것이다. 이는 논문의 질적 우수성 향상에 큰 도움이 될 뿐만 아니라 학생들 스스로 국제적인 네트워크를 만들어내는 기회가 될 것이며, 박사학위 후 공동 연구를 수행한 해외 대학 연구실 박사후 연구원으로 취업할 수 있는 효율적인 방법이 될 것이다.

III. 연구역량 영역

1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적 (별도 제출/평가)

<표 3-1> 최근 3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항목	수주액(천원)			
	2017.1.1.-2017.12.31.	2018.1.1.-2018.12.31.	2019.1.1.-2019.12.31.	전체기간 실적
정부 연구비 수주 총 입금액	1,458,313	1,753,980	1,955,470	5,167,763
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	280,110	156,486	308,174	744,770
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	0	0	0	0
1인당 총 연구비 수주액				844,647
참여교수 수	7			

<표 3-1-1> 최근 3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 건축분야 건축학전공 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항목	수주액(천원)			
	2017.1.1.-2017.12.31.	2018.1.1.-2018.12.31.	2019.1.1.-2019.12.31.	전체기간 실적
정부 연구비 수주 총 입금액	0	0	0	0
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	0	0	0	0
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	0	0	0	0
1인당 총 연구비 수주액				
참여교수 수				

1.2연구업적물

① 참여교수 대표연구업적물의 우수성

<표 3-2> 최근 5년간 참여교수 대표연구업적물 실적

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/인문사회계열(간호/보건/체육/기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
1	김은규		이공계열	반도체물리	저널논문		
						Iodide management in formamidinium-lead-halide–based perovskite layers for efficient solar cells	
						Science	
						356 (6345), 1376	
							URL입력
						2017	https://doi.org/10.1126/science.aan2301
						10.1126/science.aan2301	
	Formamidinium을 포함하고 있는 고성능 페로브스카이트 태양전지의 성능을 향상시키기 위해서는 균일하고 밀도가 높은 시료를 제작해야 한다. 또한 박막 내 결함상태는 캐리어의 비생산적인 결합을 유도함으로써 open-circuit 전압과 short-circuit 전류밀도를 낮추어 태양전지의 성능을 저하시키기 때문에 결함을 최대한 줄이는 것이 매우 중요하다. 하지만 이러한 결함에 대한 이해는 매우 부족하였다. 본 연구에서는 최적화된 제조 방법을 사용하여 iodide vacancy를 최소화한 고품위 페로브스카이트 박막을 제작할 수 있었다. 여기서 최적화된 제조 방법이란, 유기물 용액에 추가적인 iodide 이온을 첨가하는 dripping solution법인데, 이를 응용한 태양전지 시료들은 one sun 조사인 상태에서 22.1 %라는 획기적으로 향상된 효율을 인정받았다. 이 제작 방법으로 페로브스카이트 박막의 iodide vacancy를 최소화할 수 있었는데, 이는 반도체 내의 결함에 대한 정량적인 분석이 가능한 DLTS 실험법을 적용했기 때문이다. 2017년 출판된 본 논문은 현재 web of science 기준 2,784회 인용되었다.						

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">2</td><td rowspan="7">김은규</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">반도체물리</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Selective control of electron and hole tunneling in 2D assembly</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Science Advances</td></tr>
<tr><td>3 (4), e1602726</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2017</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1126/sciadv.1602726</td></tr>
<tr><td>10.1126/sciadv.1602726</td></tr>
<tr><td colspan="7">최근 이차원 층상구조 물질에 관하여 특이한 물성을 보이는 결과가 많이 보고되고 있는데, 이는 해당 물질이 전기적 소자로써 매우 높은 가능성을 보유하고 있기 때문이다. 하지만 금속/반도체 장벽을 통해 일어날 수 있는 열적으로 활성화된 전기적인 이동이 소자의 성능을 감소시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 혁신적인 트랜지스터 구조를 실현해야하지만, 아직 해결되지 못하고 있다. 본 연구에서 이차원반도체 소재인 전이금속 칼코젠화합물과 그래핀 및 h-BN 소재를 활용하여 금속/절연체/반도체 구조를 가진 새로운 이차원 물질 소자인 carristor를 최초로 선보였다. 상온에서 정류 특성 비율이 400,000이며 스위칭 비율은 1,000,000배 이상으로 나타나는 뛰어난 성능을 보인다. 이는 전자와 정공들이 양자 터널링 효과로 장벽을 통과하기 때문이다. 더욱이 이 소자는 운반자 선택성을 가지기 때문에 단일소자구조에서 n-형 또는 p-형 채널의 양극성 소자 특성을 가진다. 이로 인해 carristor는 저전력 소자의 기본 구성 요소로 활용될 수 있다.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
3	김은규		이공계열	반도체물리	저널논문		
						Long-Term Chemical Aging of Hybrid Halide Perovskites	
						Nano Letters	
						19 (8), 5604	
							URL입력
						2019	https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b02142
						10.1021/acs.nanolett.9b02142	
	Hybrid halide perovskite 태양전지는 이온화된 iodide를 증가시키면 deep-level 결함이 줄어서 광전변환 효율이 향상될 수 있다. 페로브스카이트 물질에 대한 이해와 태양전지의 수명 증가를 위해서는 결함의 농도와 화학적 노화에 의한 효율 감소의 연관성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 formamidinium lead triiodide 기반의 control 소자와 결함이 적은 소자를 비교함으로써 태양전지 효율의 감소를 분석했다. 태양전지 제작 200일 후, control 소자는 2.6%의 저하를 보였지만, 결함이 적은 소자는 절반인 1.3%의 저하를 보였다. 이는 triiodide를 증가시키면 halide perovskite 내의 hydroxide와 산소의 양이 줄게 되어 구조적 변화와 더불어 결함의 이동에도 영향을 미치기 때문인 것으로 나타났다. 본 결과는 결함상태와 태양전지 안정성 및 수명의 직접적 연관성을 밝힘으로써 페로브스카이트 태양전지의 신뢰성 및 안정성을 향상시켜 상용화에 크게 도움을 줄 수 있을 것이다.						

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">4</td><td rowspan="7">김재용</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">표면/경계면물리</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Pressure-induced fluorescence enhancement of FAαPbBr2+α composite perovskites</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Nanoscale</td></tr>
<tr><td>11 (13), 5868</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2019</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1039/c8nr09780a</td></tr>
<tr><td>10.1039/c8nr09780a</td></tr>
<tr><td colspan="7">Formamidinium lead bromide perovskite (FAPbBr) 구조체는 높은 광전변환 효율과 전자이동도 등 우수한 특성으로 인해 대표적인 태양전지 소자로 최근 많은 각광을 받고 있다. 하지만 소자로 활용되기 위해 필요한 구조적 안정성이 아직 확보되지 않았는 바, 이를 해결하기 위해 노력이 시도되고 있다. 본 논문에서는 DAC 고압을 이용한 5 GPa 이내에서 시료 구조의 안정성이 확보되면서 흡수-발광특성이 증가되는 현상을 보고하였다. 시료에 자외선을 조사하면서 압력에 따른 구조 변화를 방사광을 이용한 XRD 데이터를 분석한 결과 증가된 발광특성의 이유는 시료의 구조가 0D와 3D 간의 가역적인 변화였음을 규명하였다. 태양전지소자로 각광을 받고 있는 페로브스카이트 분말시료의 구조변화와 안정성에 대한 정확한 해석이 부족한 현실에서 본 결과는 압력이라는 새로운 변수를 도입하여 발광특성과 구조를 연계하여 설명했다는데 의의가 있다. 본 결과는 한양대학교에서 상위 10 %이내 결과물을 소개하는 금주의 논문 대표성과에 선정되었다 (2019년 5월 8일자, 산학협력단 뉴스레터 참조). 북경고압연구센터 연구팀과 국제공동연구를 수행한 결과물이다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">5</td><td rowspan="7">김재용</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">표면/경계면물리</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Simultaneous Measurement of Humidity and Temperature with Cytop-reduced Graphene Oxide-overlaid Two-mode Optical Fiber Sensor</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Sensors and Actuators B: Chemical</td></tr>
<tr><td>298, 126841</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2019</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.126841</td></tr>
<tr><td>10.1016/j.snb.2019.126841</td></tr>
<tr><td colspan="7">폴리머기반 2가지 작동모드 공조가 가능한 광소자를 제작하였다. 본 논문의 중요성은 기존의 통신재료로 사용되는 광소자에 환원 그래핀 양자점을 도핑하여 양자점을 통과하는 빛 굴절률 차이에서 발생하는 빠른 모드와 느린 모드로 작동하는 공조환경을 만들었다. 특히 광소자의 직경을 10에서 4.2 um로 줄이고 광신호가 전달되는 과정에서 광소자의 매듭직경을 330 um로 하여 2가지 공조모드 환경을 만들었다. 이렇게 제작된 2모드-광소자는 온도와 상대습도 등 별도의 외부변수를 동시에 측정할 수 있었다. 본 소자를 이용하여 실제 환경에서 습도와 온도를 동시에 측정한 결과, 광신호의 파장 변화가 각각 0.603 nm/%과 0.79 nm/°C 발생하였고, 이 결과는 상용화에 충분히 적용 가능한 수준이다.
본 논문의 실용적 의미로는, 지금까지 외부의 두 변수를 동시에 측정할 수 있는 광학소자는 흔치 않았지만 본 메커니즘을 이용하여 분리된 외부 신호를 동시에 측정할 수 있는 광재료 소자를 제작하였다는 데 있다. 실제로 본 소자는 온도와 상대습도가 각각 80% 이내에서 실용적 응용이 가능함을 보여주었다. 본 연구결과는 응집-광연계 관련분야 상위 6.86% 논문에 실렸으며, 본교 2019년 9월 18일자 산단뉴스레터에 우수한 연구결과로 소개되기도 하였다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">6</td><td rowspan="7">김재용</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">표면/경계면물리</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Structure and hydrogen absorption properties of Ti53Zr27Ni20(Pd,V) quasicrystals</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>International Journal of Hydrogen Energy</td></tr>
<tr><td>43 (41), 19130</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2018</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.141</td></tr>
<tr><td>10.1016/j.ijhydene.2018.08.141</td></tr>
<tr><td colspan="7">TiZrNi 준결정체는 사면체로 이루어진 다격자 구조체로서 밀도면에서는 액체수소보다 많은 양의 수소를 저장할 수 있다. 수소가 흡수될 수 있는 사면체는 한 변의 길이가 0.3 nm이고 수소 친화적인 Ti과 Zr으로 구성되어있다. 하지만 본 구조체는 수소 방출에너지가 너무 작아서 수소에너지 저장매체로 활용하기에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여, 본 논문에서는 수소평형증기압이 상대적으로 높은 Pd와 V를 도핑 하였고, 그 결과 실제로 섭씨 350도 범위에서 시료의 구조변화 없이 수소평형증기압이 수 mTorr에서 10배 이상 획기적으로 증가되었음을 최초로 보고하였다. Pd의 경우 촉매작용도 있어 시료가 수소를 흡수하기 위해 필요한 문턱 온도를 저감시키는 효과도 있었다. 실제로 시료표면에 존재하는 자연산화막이 수소 흡수를 방해하기 때문에 그동안 별도의 표면 처리를 통해 이를 제거하였으나, 약간의 Pd 도핑으로 이러한 문제를 해결하였다. 본 논문은 TiZrNi 준결정체가 대용량 수소저장 매체로 활용되기에 필요한 산화막과 수소증기압관련 기술적인 난제를 해결할 수 있는 방안을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 고압-에너지 저장 연구의 시발점이 되었으며 초에너지 매체를 구현하고자 하는 본 교육연구팀의 주요 연구주제이다.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
7	문순재		이공계열	에너지띠/전자구조	저널논문		
						(LaCoO3)n/(SrCoO2.5)n superlattices: Tunable ferromagnetic insulator	
						Physical Review B	
						100 (6), 064415	
							URL입력
						2019	https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.064415
						10.1103/PhysRevB.100.064415	
	강자성 절연체는 스핀트로닉스 소자에서 스핀 여과 장벽 소재로 사용 가능한 물질로서 응용 가치가 높다. 하지만 기능성 전이금속산화물에서는 강자성은 금속성과 함께 나타나고 반강자성은 절연성과 함께 나타나기 때문에 강자성 절연체를 찾기가 매우 힘들다. 우리는 덩치시료 상태에서 자성이 없는 절연체인 LaCoO3와 반강자성 절연체인 SrCoO2.5를 층층이 쌓은 초격자 시료에서 새로운 강자성 절연상을 발견하였다. 원자 단위의 극한 두께 조절을 통해 초격자 내에서 물질의 반복 횟수를 제어함으로써 교대로 쌓인 두 물질이 한 unit cell씩 반복될 때, 덩치상태에서는 관측되지 않는 강자성 절연상이 가장 강하게 나타남을 발견하였다. 또한 반복 횟수가 증가하면서 강자성 전이 온도, 자화값, 저항값 등이 증가함을 확인하였다. 이러한 현상은 반복 횟수에 따른 오비탈과 스핀 정렬 상태 변화에 기인함을 적외선 분광 실험을 통해 밝혔다. 자연에 존재하지 않는 새로운 상을 원자 수준의 두께를 가지는 물질로 이루어진 초격자 물질에서 발견하고 그 원리를 규명한 이 연구는 양자물질의 차원을 극한의 두께인 원자 수준까지 줄였을 때 나오는 새로운 현상을 탐구한 것이다. 이 논문은 극한 환경에서 양자 물질의 새로운 특성을 연구하고자하는 본 교육연구팀의 주제와 부합하는 결과이다.						

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">8</td><td rowspan="7">문순재</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">응집물질물리학</td><td rowspan="7">에너지띠/전자구조</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Magnetically driven band shift and metal-insulator transition in spin-orbit-coupled Sr3(Ir1-xRux)2O7</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Physical Review B</td></tr>
<tr><td>98 (03), 035110</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2018</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.035110</td></tr>
<tr><td>10.1103/PhysRevB.98.035110</td></tr>
<tr><td colspan="7">5d 전이금속산화물은 전자 상호 작용이 약하여 금속 기저 상태를 가질 것으로 예측되었다. 하지만 5d 전이금속을 포함하는 이리듐 산화물은 강한 스핀-궤도 결합과 전자 상호 작용의 협동으로 인해 유도되는 모트 절연체가 됨이 알려져 있다. 하지만 최근의 몇몇 연구들은 이리듐 산화물의 전기적 기저 상태가 전자 상호 작용에 기인하는 모트 기작이 아닌 슬레이터 기작에 의해 설명됨을 주장하였다. 슬레이터 기작에서 절연상은 반강자성 상전이에 의한 띠겹침와 밴드갭 형성에 의해 유도된다. 본 연구는 적외선 분광 실험과 각분해 광전자 분광 실험을 이용하여 이 물질의 기저 상태가 모트 절연체이며, 반강자성 상전이에 의한 금속성의 출현은 띠들의 평행 이동에 의해 일어남을 밝혔다. 이 결과는 현재 응집물질물리학계에서 많은 관심을 받고 있는 이리듐 산화물이 보이는 기저 상태의 원인에 대한 논란을 해결하였다. 양자물질은 전하, 스핀, 오비탈, 격자 자유도 사이의 상호작용으로 인해 다양한 물리현상을 보인다는 점에서, 본 연구는 강한 스핀-궤도 결합을 가지는 물질에서 전하, 스핀, 오비탈 상호작용에 어떠한 형태로 물질의 특성을 변화시킬 수 있는지를 보여주는 중요한 사례이다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">9</td><td rowspan="7">문순재</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">에너지띠 /전자구조</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Infrared probe of pseudogap in electron-doped Sr2IrO4</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Scientific Reports</td></tr>
<tr><td>7,10494</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2017</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1038/s41598-017-10725-z</td></tr>
<tr><td>10.1038/s41598-017-10725-z</td></tr>
<tr><td colspan="7">전자 상호 작용과 강한 스핀-궤도 결합으로 인해 유도되는 모트 절연상을 보이는 것으로 알려진 이리듐 산화물은 고온 초전도체인 구리 산화물과 많은 면에서 유사하다. 두 물질 모두 2차원 층상 페로브스카이트 구조를 가지며 전하가 도핑되지 않은 경우에는 반강자성 상전이를 보이는 모트 절연체이다. 구리 산화물에 전하를 도핑하면 유사갭 상, 고온 초전도 상이 나타난다. 구리 산화물이 보이는 유사갭 상의 원인은 구리 산화물이 발견된 지 30여 년이 지난 지금까지도 응집물질물리학자들이 여전히 풀지 못하고 있는 어려운 문제이다. 이리듐 산화물과 구리 산화물의 유사성으로 인해 이리듐 산화물에 전하를 도핑하여 유사갭 상과 고온 초전도 상을 찾으려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이리듐 산화물에서 유사갭 상를 발견하고 그 원인을 규명할 수 있다면, 이는 구리 산화물의 유사갭 현상 원인 규명에 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 우리는 적외선 분광 실험법을 통해 전자가 도핑된 이리듐 산화물의 광전도도에서 유사갭 형성을 최초로 발견하였다. 온도와 전자 도핑 정도에 따른 유사갭 거동을 분석하여 이리듐 산화물이 보이는 유사갭이 반강자성 상호 작용과 관련이 있음을 제시하였다. 이 결과는 응집물질물리학 분야의 난제인 구리 산화물의 유사갭 현상의 원인을 규명하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
10	송석호		이공계열	광자기술	저널논문		
						Time-asymmetric loop around an exceptional point over the full optical communications band	
						Nature	
						562, 86	
							URL입력
						2018	https://doi.org/10.1038/s41586-018-0523-2
						10.1038/s41586-018-0523-2	
	최근 20여 년 동안 세계적 관심을 끌었던 나노광학 기술은 전통적 광과학에 나노기술과 고체물리 이론을 도입하여 메타물질 광학이라는 분야로 발전하고 있다. 빛을 나노미터 크기로 국소화하면 물질에서 에너지 흡수가 급격히 증가하기 때문에 나노광학 기술의 상용화에 큰 어려움이 있다. 에너지 손실문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 손실을 보상할 수 있는 이득물질을 첨가할 수밖에 없는데 손실과 이득이 있는 물질이 나노미터 크기로 결합된 미세구조는 복잡한 비선형적인 특성을 보이게 되어 기존 나노광학으로 구현하기가 어렵다. 우리는 열린-양자역학 이론을 나노광학 기술에 도입하여 국소영역에서 발생하는 에너지 손실문제를 극복하고 광신호 흐름의 공간 및 시간 대칭성을 붕괴시킬 수 있는 새로운 개념의 광통신용 집적회로 소자를 개발하였다. 본 결과는 종래의 광과학 분야에 열린-양자역학 이론 및 수학적 대칭성 /특이성을 도입하여 기존의 물리적 한계를 극복하려는 시도와 함께 열린-양자역학이라는 이론을 실험적으로 검증하고 발전시키기 위한 새로운 영역을 개척하는데 기여할 것이다. 또한 손실-이득 물질을 나노미터 정밀도로 집적화하여 형성된 나노광학 구조를 선형적인 문제로 단순화 하여 해석할 수 있게 되어, 나노광소자의 구현 기술을 실용화 단계까지 발전시킬 수 있을 것이다.						

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">11</td><td rowspan="7">송석호</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">광자기술</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Nanophotonic identification of defects buried in three-dimensional NAND flash memory devices</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Nature Electronics</td></tr>
<tr><td>1, 60</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2018</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1038/s41928-017-0007-7</td></tr>
<tr><td>10.1038/s41928-017-0007-7</td></tr>
<tr><td colspan="7">본 논문은 NAND (Negative-AND) 플래시 메모리 장치와 같은 반도체 구조에서 파장의 0.01 배 정도인 극한물성 및 내부결함을 식별하기 위한 새로운 광학 탐지법에 관한 것으로, Nature Electronics 2018년도 창간호에 게재되었다. NAND 논리 게이트에 기반한 플래시 메모리 장치는 USB드라이브, 솔리드 스테이트 드라이브, 스마트 폰, 컴퓨터, 서버 및 자동차의 중요한 데이터 스토리지로 활용되고 있다. 플래시 메모리는 비휘발성, 고밀도 및 저비용이지만, 생산량을 향상시키려면 내부결함에 대한 더 많은 세부 정보를 얻는 것이 필요하다. 내부결함을 탐색하기 위해 기존에 활용되고 있는 광학적 검사방식들은 메모리 장치의 내부에서 광학적 투과율이 낮기 때문에 깊은 곳에 위치한 결함과 하부 구조를 측정하지 못하였다. 본 논문에서는 쌍곡 블로호 모드로 존재하는 전파모드와 플라스모닉 표면모드를 활용하여, 금속/전기/반도체 복합 재료로 구성된 수직 스택 NAND 구조 내부를 검사할 수 있는 새로운 방식을 고안하였다. 수십 층으로 적층된 나노 반도체소자의 내부구조 탐구 및 결함조사에 많은 활용성이 있을 것으로 기대된다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">12</td><td rowspan="7">송석호</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">광자기술</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Extremely broadband, on-chip optical nonreciprocity enabled by mimicking nonlinear anti-adiabatic quantum jumps near exceptional points</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Nature Communications</td></tr>
<tr><td>8, 14154</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2017</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1038/ncomms14154</td></tr>
<tr><td>10.1038/ncomms14154</td></tr>
<tr><td colspan="7">특이점을 둘러싸는 경로를 따라 상태가 변화할 때의 상태-진화 특성에 대한 연구는 원자 및 광학 시스템 제어를 위한 새로운 원리를 제시한다. 본 논문에서는 특이점을 동적으로 감싸는 변화에 따라 나타나는 특성을 이용하여 초 광대역 특성을 지닌 on-chip 비가역 장치를 제안했다. 우리는 이득 포화 비선형 효과가 있을 때, 파라메트릭 공간상에서 특이점을 감싸는 동적 변화가 가능하도록 하는 실험적으로 구현 가능한 결합 도파로 구조를 제안하였다. 우리는 직관적인 시간 의존적-해밀토니안 모델과 엄격한 수치 계산을 적용하여, 100 THz에 육박하는 매우 넓은 대역에서 지속되며, 10 dB를 초과하는 후방 전송 비율과 높은 전방 전송 효율성 (~100%)을 가진 비가역적 광학 전송을 입증하였다. 이 결과는 초단 레이저 펄스 및 광대역 고밀도 광학 신호 처리를 위한 실용적인 on-chip 비가역 광학소자의 구현가능성을 보여준다. 본 논문은 구글 스칼라 기준 38회, web of science 기준 30회 인용되었다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">13</td><td rowspan="7">신상진</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">장물리이론</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Holography of the Dirac Fluid in Graphene with two currents</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Physical Review Letters</td></tr>
<tr><td>118 (3), 036601</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2017</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.036601</td></tr>
<tr><td>10.1103/PhysRevLett.118.036601</td></tr>
<tr><td colspan="7">강상관 물질의 스펙트럼과 수송계수 계산은 21세기 물리학의 큰 난제이다. 기존의 다체이론은 물질의 기본자유입자가 약상호작용 한다는 가정을 근간으로 하여 세워진 것이기 때문에 강한 상호작용을 하는 물질을 설명하는 데 한계가 있다. 특히 신소재로 각광받는 전이금속 및 희토류 화합물들은 강상호작용의 영역에 있기 때문에 스펙트럼이나 수송 계수를 계산하고 해석하는 데에 큰 난점이 있다. 하바드대의 김필립 교수는 매우 순수한 그래핀에서 비정상 수송계수를 발견함으로써 그래핀과 같은 간단한 물질도 특별한 환경에선 강상물질이 될 수 있다는 점을 관측하였다. 그러나 기존의 다체이론을 토대로 한 계산은 아무리 확장해도 실험 결과를 설명할 수 없다. 홀로그래피 이론에 의하면 강상관계물질의 양자상전이점 근방이 한차원 높은 휜 공간에서의 블랙홀과 유사하다는 것을 알 수 있는데, 본 연구에서는 이 이론을 그래핀에 적용하여, 특이 현상을 정량적으로 설명해 낼 수 있음을 보였다. 본 논문은 홀로그래피라는 끈이론의 새로운 방법론이 실제 물질에 대한 정량적인 설명을 제공한다는 것을 보였다. 이는 끈이론의 실험적 정당성을 입증한 최초의 사례라는 점에서 막대한 의의를 가진다. 본 논문은 PRL Editor 추천 논문으로 선정되었다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">14</td><td rowspan="7">신상진</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">장물리이론</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Strong Correlation Effects on Surfaces of Topological Insulators via Holography</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Physical Review B</td></tr>
<tr><td>96 (4), 041104(R)</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2017</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.96.041104</td></tr>
<tr><td>10.1103/PhysRevB.96.041104</td></tr>
<tr><td colspan="7">순수한 디랙물질들은 페르미 면의 크기가 매우 작기 때문에 스크리닝 효과가 잘 일어나지 않아 일반적인 금속과는 달리 전자간 쿨롱 상호작용이 매우 크다. 이는 불순물이 없는 디랙 물질을 이해하기 위해서는 강상호작용 물질을 설명하는 이론이 필요함을 의미한다. 이를 위하여 본 연구팀은 끈이론의 방법론인 홀로그래피를 도입하며 응집물질물리학의 난제인 강상호작용을 설명하였다. 본 논문은 디랙 물질 중 하나인 토폴로지 물질 표면에 자성 원소를 도핑 할 때 생기는 수송계수를 홀로그래피 방법론으로 계산한 결과이다. Bi2Se3와 Bi2Te3에 특정한 물질을 특정한 비율로 도핑을 할 경우 홀로그래피 방법론으로 계산한 수송계수가 실험 결과와 매우 잘 일치한다는 것을 밝혔다. 토폴로지 물질 표면에 도핑을 할 경우 밴드갭이 증가하게 되는데, 이때의 에너지 스펙트럼이 페르미 면에 접하게 될 때, 강상관계 현상이 발생하는 것을 확인함으로써 홀로그래피 이론을 적용한 계산이 유효함을 보였다. 본 연구는 임의의 디랙물질 위에 새로운 상호작용이 있을 경우 해당 물질이 강상물질로 변화한다는 것을 확정하였다는데 그 의의가 있으며 아직 밝혀지지 않은 강상물질의 성질을 해석하는데 강력한 도구를 제공한다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">15</td><td rowspan="7">신상진</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">장물리이론</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Mott transition with Holographic Spectral function</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Journal of High Energy Physics</td></tr>
<tr><td>2018 (08), 77</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2018</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1007/JHEP08(2018)077</td></tr>
<tr><td>10.1007/JHEP08(2018)077</td></tr>
<tr><td colspan="7">모트 절연체 연구에서 중요한 문제 중의 하나는 쿨롱상호작용이 페르미온의 갭을 형성하는 메커니즘을 규명하는 것이다. 기존에 제시된 가설은 게이지 장의 세기와 페르미온의 배타성질을 반영하는 파울리항을 고려하여 페르미온 갭형성을 설명한다. 하지만 이 모델은 게이지 장과 상호작용하지 않는 페르미온이 페르미 액체로 환원되지 않는다는 본질적인 문제가 있다. 본 논문은 홀로그래피 방법론을 통하여 페르미온 질량의 크기가 임계점에 가까울 때 페르미 액체처럼 행동한다는 것을 보였고 이를 이용하여 페르미 액체와 모트 절연체를 연결하는 모델을 제시하였다. 이 모델에서 새로운 커플링과 질량항 모두 중요한 역할을 수행함을 확인하였다. 나아가, 페르미온의 spectral function 계산 결과가 가장 유명한 강상관 물질 중 하나인 VO2 실험결과와 일치함을 보였다. 이 논문을 통하여 홀로그래피 이론을 이용한 계산법이 기존의 허바드 모델을 통한 계산법을 대체 할 수 있음을 보였다. 허바드 모델의 경우 분명한 물리적 직관으로 출발하여 적은 전제로 설명이 가능하지만 2차원 이상에서는 정확한 계산이 불가능하다는 한계를 가진다. 이에 반해 홀로그래피 기반 계산법은 간단한 수치계산으로 유한 온도, 임의의 커플링에서도 계산이 가능하다는 강점이 있다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">16</td><td rowspan="7">조준형</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">표면/경계면물리</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Nature of the Insulating Ground State of the 5d Postperovskite CaIrO3</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Physical Review Letters</td></tr>
<tr><td>115 (09), 096401</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2015</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.115.096401</td></tr>
<tr><td>10.1103/PhysRevLett.115.096401</td></tr>
<tr><td colspan="7">이리듐 산화물 중의 하나인 칼슘이리듐 산화물 (CaIrO3)은 낮은 온도에서 전기가 흐르지 않는 절연체 상을 보임이 실험적으로 관찰되었으며, 이 물질은 이리듐 원자의 강한 스핀-오비탈 결합으로 생기는 전자들의 국소화(localization)에 의해 유도되는 모트 절연체라고 받아들여져 왔다. 즉, 전자 사이의 척력으로 인해 전자의 움직임이 방해되어 전기가 흐르지 않는다는 것이다. 그러나 최근 이러한 해석에 대한 많은 논란이 실험 및 이론 연구에서 제기되고 있다. 본 논문은 이리듐 산화물에서 전기가 흐르지 않는 원인이 이웃한 전자가 갖는 스핀의 방향이 서로 어긋나게 정렬하면서 스핀-오비탈 결합으로 생기는 전자 오비탈들의 혼성 (hybridization)에 기인되는 것임을 발견 하였다. 즉, 절연체 상의 원인은 전자들 사이의 전기적 척력 때문이 아니라 전자가 갖는 스핀의 방향이 공간적으로 고정되기 때문이라는 것이다. 본 논문은 그 동안 많은 논란이 되었던 이리듐 산화물의 절연체 상의 원인을 새롭게 규명함으로써 현재 응집물질물리학 분야에서 활발하게 연구 되고 있는 이리듐 산화물의 기초 물성을 이해하는데 새로운 전기를 마련하게 하였다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="8">17</td><td rowspan="7">조준형</td><td rowspan="7"></td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">표면/경계면물리</td><td rowspan="7">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Comment on “Quasi-One-Dimensional Metal-Insulator Transitions in Compound Semiconductor Surfaces”</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Physical Review Letters</td></tr>
<tr><td>118 (23), 239601</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2017</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.239601</td></tr>
<tr><td>10.1103/PhysRevLett.118.239601</td></tr>
<tr><td colspan="7">저차원 구조는 전자의 공간적 가둠으로 인해 전하밀도파, 자성 및 비페르미 액체 바닥 상태와 같은 많은 흥미로운 양자상태를 보인다. 구체적으로 전하 밀도파는 Fermi surface nesting 또는 전자 밀도 변조와 주기적 격자 왜곡 사이의 강한 결합에 의해 나타난다. 한편 자성은 강한 전자-전자 자기 상호작용과 관련이 있다. 이 두 개의 거시적 양자 응축은 실제 1차원 전자시스템에서 빈번하게 발생할 수 있으며, 전자-포논 상호작용과 전자-전자 상호작용 사이의 경쟁으로 인해 1차원 전자 시스템의 바닥상태가 정해진다. 준 1차원 원자선인 수소가 부분적으로 흡착된 GaN, ZnO 표면의 바닥상태는 모두 전하밀도파 상태로 알려져 있었다. 본 연구에서는 정확한 전자구조 계산을 통해 GaN 표면원자선은 전자-전자상호작용이 강해 반강자성 바닥상태를 나타내고, ZnO 표면원자선은 전자-포논 상호작용이 강해 전하밀도파를 형성한다는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 그동안 이론 및 실험적으로 명확히 규명되지 않았던 일차원 원자선의 바닥상태에 대한 미시적인 메커니즘을 밝혔다는 데 의의가 있다.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
18	조준형		이공계열	표면/경계면물리	저널논문		
						Flatbands and Emergent Ferromagnetic Ordering in Fe3Sn2 Kagome Lattices	
						Physical Review Letters	
						121 (09), 096401	
							URL입력
						2018	https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.096401
						10.1103/PhysRevLett.121.096401	
	전자들의 국소화에 의해 매우 무거운 유효질량을 가지는 준입자는 밴드 폭이 작은 플랫밴드 상태를 가진다. 플랫밴드를 가지는 전자들의 쿨롱 반발력은 운동에너지에 비해 상당히 커지게 되어 강자성 현상, 고온 분수양자홀효과, 위그너 결정화, 보스-아인슈타인 응축 및 고온 초전도와 같은 다양한 양자 상태를 유도할 수 있음이 보고되었다. 카고메 격자는 각각의 격자점이 인접한 두 개의 육각형을 연결하는 얽힌 삼각형으로 구성되어, 각 육각형 내에서 파동함수의 상쇄간섭으로 인해 국소화된 전자가 플랫밴드를 형성한다. 이 연구에서는 2차원 층상구조이며 카고메 격자를 가지는 Fe3Sn2에서 플랫밴드와 이로 인한 강자성의 존재를 실험과 이론으로 밝혔다. 또한 매우 높은 온도인 600 K에서 장거리 강자성 배열이 유지된다는 것을 확인하였다. 이러한 두 가지 특성을 가지는 원인은 카고메 격자의 기하학적 특성인 철 원자를 통한 육각형 셀의 상호연결 네트워크에 기인되는 것으로 밝혔다. 본 연구는 Physical Review Letters 표지 논문 및 편집자 추천 논문으로 선정되었다. 본 연구논문은 구글스칼라 기준 42회, web of sciecne 기준 18회 인용되었다.						

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="9">19</td><td rowspan="8">홍진표</td><td rowspan="8"></td><td rowspan="8">이공계열</td><td rowspan="8">반도체물리</td><td rowspan="8">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Hierarchically Nanostructured 1D Conductive Bundle Yarn-Based Triboelectric Nanogenerators</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Advanced Materials</td></tr>
<tr><td>29 (47), 1704434</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2017</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1002/adma.201704434</td></tr>
<tr><td>10.1002/adma.201704434</td></tr>
<tr></tr>
<tr><td colspan="7">기존의 웨어러블 에너지 하베스팅 연구는 2차원 원단에서 제작된 소자를 이용하는 경우가 대부분이었다. 그러나 이러한 방식은 발전소자와 의류와의 접촉력 문제 및 탈착가능성 등으로 인해 실용화에 어려움이 있었다. 본 논문은 기존 2차원 웨어러블 에너지 하베스팅 연구의 한계를 1차원 섬유 기반이라는 창의적인 방법으로 돌파하였다. 우선 1차원 시료위에 마찰전기 특성을 나타내는 PDMS를 도포하고 ZnO 나노구조를 형성하여 마찰발전소자를 제작하였다. 특히 전도성 1차원 섬유에 ZnO nano flake의 수열합성 조건을 최적화하고 표면적을 극대화함으로써 단위면적당 마찰전기 생산량을 비약적으로 상승시켰다. 본 연구를 통해 1차원 형태의 나노 섬유에서도 발전소자 제작이 가능함을 보였으며, 나노구조물을 통한 접촉면적 극대화로 나노발전소자의 출력 개선 방안을 제시하였다. 또한 의류 자체가 아닌 의류의 재료인 직물 위에 직접 발전 소자를 균일하게 제작하는 신개념 공정을 도입하여 나노발전소자의 발전용량을 획기적으로 향상시켰다. 본 마찰발전소자의 제작법 확립으로 첨단 웨어러블 의류 개발에 새로운 아이디어를 제시하고 이를 적용한 최초의 결과이다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="7">대표연구업적물의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="9">20</td><td rowspan="8">홍진표</td><td rowspan="8"></td><td rowspan="8">이공계열</td><td rowspan="8">반도체물리</td><td rowspan="8">저널논문</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1D Stretchable Block Copolymer Yarn-Based Energy Harvesters via BaTiO3/Polydimethylsiloxane Composite-Carbon Conductive Ink</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Advanced Energy Materials</td></tr>
<tr><td>10 (6), 1903217</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>2019</td><td rowspan="2">https://doi.org/10.1002/aenm.201903217</td></tr>
<tr><td>10.1002/aenm.201903217</td></tr>
<tr></tr>
<tr><td colspan="7">기존 웨어러블 소재는 유연성 개선을 우선적인 목표로 연구되어왔다. 하지만 유연성 못지않게 신축성 또한 사용자 입장에서 중요한 요소이나 이에 대한 연구가 부족하였다. 본 논문에서는 신축성이 1200%으로 매우 우수한 1차원 직물 기반 마찰전기 소자를 개발하였다. 카본 전도성 윤활유를 탄성고분자 튜브 내부에 주입하여 튜브가 신축 운동을 해도 내부의 카본 전도성 윤활유를 따라 발생한 마찰 전기가 안정적으로 흐르도록 설계하였다. 전도도 측정시 탄성고분자 튜브가 250%까지 연신되는 동안에도 일정한 전기 전도도가 유지되었다. 또한, 신축성 전극을 바탕으로 마찰발전기의 전력생산을 향상시키기 위해, 기존 마찰발전소재인 폴리디메틸실록산(PDMS)에 BaTiO3 나노파티클을 첨가하여 복합재의 유전율을 높였다. 이 1차원 직물 기반 마찰전기 소자에 의류 텍스타일 기술을 접목하여 2차원 형태로 확장하였고, 세척, 꼬임, 접힘 같은 혹독한 환경에 노출되어도 안정적인 전력 생산 효율을 유지함을 보였다. 본 마찰발전기는 이전의 연구보다 뛰어난 실용성과 신축성을 갖추어 웨어러블 전자기기에 지속적인 전원공급이 가능하게 할 것으로 기대되고 Advanced Energy Materials (2019년 IF 24.88)에 출간되었다.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
21	홍진표		이공계열	반도체물리	저널논문		
						Triboelectric energy harvester based on wearable textile platforms employing various surface morphologies	
						Nano Energy	
						12, 410	
							URL입력
						2015	https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2015.01.009
						10.1016/j.nanoen.2015.01.009	
	지금까지 보고된 에너지 하베스팅 연구는 진동이나 열, 태양광 등 자연 에너지원에서 2차원 소재 기반으로 에너지를 수확하는 방향으로 연구되어 왔지만 이는 장소와 환경의 제약을 많이 받는 단점이 있다. 이러한 불안정성을 타파하기 위하여 인체를 에너지원으로 하는 새로운 개념의 1차원 나노 구조물 기반 에너지 하베스팅 기법을 발견한 것이 본 논문의 핵심이다. 발전용량을 극대화하기 위하여 발전소자의 표면적을 증가시켜야 한다. 본 연구팀은 PDMS에 Ar과 CF4로 reactive ion etching 처리를 통하여 표면적을 증대시켰고, 그 위에 불소층을 코팅하여 면전하밀도가 향상됨을 입증하였다. 또한 SEM 측정을 통해 각 과정을 이미지로 확인하였으며 XPS 측정을 통해 전력과 시간에 따라 불소층을 생성하기 위한 최적화 조건을 구하였다. 본 결과는 새로운 나노 구조물 표면 물성을 이용하여 기존의 유선 전원 공급이나 충전 방식을 대체하여 전선 없이 언제 어디서나 스마트 의류 및 휴대용 IT 기기에 보조전력을 안정적이고 간편하게 공급하는 방법을 제시하였다. 구글 스칼라 기준 14회, web of science 기준 10회 인용되었다.						

② 참여교수 국제저명학술지 논문의 우수성 (별도 제출/ 평가)

<표 3-3> 최근 5년간 전체 참여교수 논문 환산 편수, 환산보정 피인용수(FWCI), 환산보정 IF, 환산보정ES

구분		최근 5년간 실적					전체기간 실적
		2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	
논문 편수	논문 총 편수	45	37	43	32	29	186
	논문의 환산 편수의 합	14.8726	11.3805	11.6264	9.0778	9.0016	55.9589
	참여교수 1인당 논문 환산 편수						7.9941
피인용수	보정 피인용수(FWCI) 값이 있는 논문의 총 편수	45	35	43	32		155
	보정 피인용수(FWCI) 합	40.5577	26.566	267.8613	27.5783		362.5633
	환산보정 피인용수(FWCI) 합	13.266	7.1662	57.0437	7.529		85.0048
	논문 1편당 환산보정 피인용수(FWCI)						0.5484
	참여교수 1인당 환산보정 피인용수(FWCI) 합						12.1435
Impact Factor (IF)	IF=0이 아닌 논문 총 편수	45	37	43	32	29	186
	IF의 합	173.304	150.642	282.009	233.842	181.984	1021.781
	환산보정 IF의 합	5.8967	4.4574	6.2945	4.6641	5.2299	26.5425
	논문 1편당 환산보정 IF						0.1427
	참여교수 1인당 환산보정 IF 합						3.7917
Eigenfactor Score (ES)	ES=0이 아닌 논문 총 편수	45	37	43	32	29	186
	ES의 합	10.9208	12.8402	13.2978	13.2784	5.3386	55.6758
	환산 보정 ES의 합	25.2135	18.1718	21.9182	18.8577	16.0977	100.2589
	논문 1편당 환산보정 ES						0.539
	참여교수 1인당 환산보정 ES 합						14.3227
참여교수 수							참여교수 수 = 7명

<표 3-3-1> 최근 5년간 건축분야 건축학 전공 참여교수 논문 및 저서 환산 편수
(별도 제출/평가)

구분	최근 5년간 실적					전체기간 실적
	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	
연구재단 등재재(후보)지 논문 환산편수	0	0	0	0	0	0
국제저저명학술지 논문 환산편수	0	0	0	0	0	0
기타국제학술지 논문 환산편수	0	0	0	0	0	0
국어 학술저서 환산편수	0	0	0	0	0	0
외국어 학술저서 환산편수	0	0	0	0	0	0
저서 또는 논문 총 환산편수	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
참여교수 1인당 저서 또는 논문 환산 편수						
참여교수 수						

③ 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성

<표 3-4> 최근 5년간 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 실적 등

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>세부전공분야</th><th>실적 구분</th><th>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><th colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="7">1</td><td rowspan="6">김은규</td><td rowspan="6"></td><td rowspan="6">반도체물리</td><td rowspan="6">특허</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>METHOD OF MANUFACTURING RESISTANCE CHANGE LAYER USING IRRADIATION OF ELECTRON BEAM AND RESISTIVE RANDOM ACCESS MEMORY DEVICE USING THE SAME</td><td></td></tr>
<tr><td>미국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>US 9,337,425 B2</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>2016</td></tr>
<tr style="display:none"><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">본 발명은 전자빔 조사를 이용한 저항 변화층의 제조방법 및 저항 변화 메모리 소자의 제조방법에 관한 것이다. 1990년대 이후, 데이터를 저장하는 메모리는 각종 전자 기기에서 이용되어 왔는데, 현재 상용화된 DRAM은 물리적인 한계에 도달하고 있다. 따라서 DRAM보다 빠른 응답속도와 높은 집적도를 가지는 혁신적인 소자 중 하나인 저항 변화 메모리 소자의 필요성이 증가하고 있다. 본 특허는 저항 변화 메모리 소자 내의 산화물 반도체 물질을 포함하는 저항 변화층에 전자빔을 조사하여 메모리의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제시했다. 산화물 반도체 중 하나인 ZnO 박막에 전자빔을 0.01 MeV 내지 0.2 MeV의 에너지로 조사하여 Zn과 O의 조성비가 변화된 것을 확인하였다. 이 실험을 통해 전자빔 조사가 산화물 반도체 물질의 산소 공극 밀도를 증가시키고, 산화물 반도체 계면의 표면 거칠기 및 내부의 결함구조를 조절함으로써 성능이 향상됨을 발견하였다. 전자빔 조사 전과 후를 비교 시 메모리 소자로써 저항 변화 비율이 1,000,000 배 이상, 메모리 유지 시간이 10,000초로 향상되었다. 본 개발은 저항 변화 메모리의 성능 개선에 큰 도움이 될 것이다.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2</td><td rowspan="5">김은규</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">반도체물리</td><td rowspan="5">특허</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>THIN FILM, METHOD OF FABRICATING THE SAME, AND APPARATUS FOR FABRICATING THE SAME</td><td></td></tr>
<tr><td>미국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>US 10,510,534 B2</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2019</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 발명은 금속이 도핑된 그래핀 박막의 제조 장치와 제조 기술에 관한 것이다. 그래핀은 2차원 구조를 갖는 물질로서 반금속성을 띄는데, 화학적으로 매우 안정하다. 또한 양자역학적 특성으로 인해 단결정 실리콘에 비해 약 100배의 이동도를 갖고 구리에 비해 약 100배의 전류가 흐르는 특성을 갖고 있다. 따라서 그래핀은 기존 물질을 대체할 차세대 소재로 주목을 받고 있지만, 밴드갭을 열거나 자성을 부여하는 데 어려움을 겪고 있다.
본 특허는 금속의 도핑과 그래핀 박막의 합성을 동시에 수행할 수 있게 한다. 이는 히터가 포함된 튜브에 전이 금속을 추가하고 탄소를 포함하는 소스 가스를 이용하여 박막 성장이 진행되는데. 전이 금속을 증발시켜 도핑하는 방법으로 자기적 특성 발현과 밴드갭 생성을 동시에 구현할 수 있는 장점이 있다. 이에 따라, 제조 공정이 간소화되고 제조비용이 감소되어, 전기적, 자기적 특성 조절이 용이한 박막 제조 방법 및 제조 장치가 제공될 수 있다. 이 발명을 활용하여 구리기판 상에 망간이 도핑된 그래핀을 증착하였고 자화도 측정을 통해 상온에서 강자성을 가짐을 확인하였다. 밴드갭 에너지는 165 meV로 계산되며, p타입 반도체 특성이 확인되었다. 본 발명은 스핀 트랜지스터, 자기 메모리 등에 적용이 가능하다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">연번</td><td>참여교수명</td><td>연구자 등록번호</td><td>세부전공분야</td><td>실적 구분</td><td>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</td><td>증빙</td></tr>
<tr><td colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="6">3</td><td rowspan="5">김재용</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">표면/경계면물리</td><td rowspan="5">특허</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>GAS STORAGE MATERIAL AND METHOD FOR GAS STORAGE</td><td></td></tr>
<tr><td>미국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>US 9,051,181 B2</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2015</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 발명은 메조다공성 (MOF) 중합체를 이용하여 기체를 안정적으로 저장 및 탈착시킬 수 있는 저장재료와 이를 사용한 저장 방법에 관한 것이다. 최근 다양한 재료와 방법으로 수소 또는 메탄 등을 포집하는 연구가 활발히 진행되고 있지만 대부분의 경우 포집 효율이 낮다. 일부 우수한 기체 저장 효율을 나타내는 MOF 또는 합금수소화물 등의 경우에도, 기체를 안정적으로 저장하지 못하거나 흡착된 기체가 사용온도와 압력조건에서 제대로 방출되지 않아 기체저장재료로서 요건을 충족하지 못하는 경우가 많다. 본 특허는 아크릴아미드계 단량체를 라디칼 중합법으로 제조하여 별도의 화학 처리 없이도 수소와 메탄 등 에너지 기체를 상온에서 안정적으로 저장 및 방출할 수 있는 재료와 방법을 개발하였다. 상용화를 염두에 두고 본 특허를 미국과 중국에 등록하였다.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">4</td><td rowspan="5">송석호</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">광자기술</td><td rowspan="5">특허</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>광 변조 장치</td><td></td></tr>
<tr><td>대한민국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>특허등록 제 10-1965056호</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2019</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 발명은 광 도파로 시스템에서 도파모드의 손실을 제어하는 기술이다. 도파모드 근처에 클래딩보다 높은 굴절률을 갖는 매질을 근접시켜서 도파모드의 에너지가 외부로 유출될 수 있도록 유도한다. 광 손실제어는 복소 굴절률을 갖는 광학시스템을 구현하기 위해 반드시 필요한 기술이다. 일반적으로 광학 시스템에서의 손실 제어는 금속이나 기타 내부 손실을 갖는 흡수 매질에 의해 이루어진다. 하지만 이 경우 광에너지가 열에너지로 변환되므로 온도에 민감한 소자에는 적용할 수 없다. 또한 흡수 매질을 광 도파로에 도핑하는 공정상의 어려움도 있다. 반면 본 특허의 광 변조 장치를 이용하면 앞서 언급한 문제없이 광 도파로 상에서 발생하는 도파 모드의 손실을 용이하게 제어할 수 있다. 측면 패치에서 발생하는 손실은 광에너지의 형태를 유지하며 시스템 밖으로 빠져나가기 때문에, 손실 과정이 온도 변화를 일으키지 않는다. 따라서 측면 패치가 도파로에 가까이 있을수록 손실이 더욱 커지기 때문에 거리를 조절하여 손실을 제어할 수 있다. 또한 흡수 매질의 도핑 없이, 전체 구조를 표준 나노리소그래피를 이용하여 제작할 수 있고, 이를 통해 제작 공정이 간소해질 수 있다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">연번</td><td>참여교수명</td><td>연구자 등록번호</td><td>세부전공분야</td><td>실적 구분</td><td>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</td><td>증빙</td></tr>
<tr><td colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="6">5</td><td rowspan="5">송석호</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">광자기술</td><td rowspan="5">특허</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>간섭 리소그래피 장치</td><td></td></tr>
<tr><td>대한민국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>특허등록 제 10-1750209호</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2017</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 발명은 간섭무늬 패턴의 주기 및 방향을 고속으로 변경할 수 있는 간섭 리소그래피 장치에 관한 것이다. 간섭 리소그래피 기술은 반도체 공정 및 디스플레이 공정 등의 관련 분야에서 주기적인 패턴을 제작하는데 활용되는 공정 기술이다. 간섭 리소그래피 장치로 가장 많이 활용하는 것은 Lloyd 형 간섭 리소그래피 장치와 두 빔 간섭계 리소그래피 장치이며, 기존의 장치에서는 대부분 회전 테이블의 회전 또는 거울들의 회전에 의해 패턴의 주기와 방향을 결정하였다. 따라서 패턴의 주기와 방향을 변경하기 위해서는 이러한 기계적 운동을 변경해야 하며, 이에 따른 시간 지연으로 여러 가지 패턴을 고속으로 조정할 수 없는 문제점이 있었다. 반면 본 발명에서는 전기적인 컨트롤을 통한 패턴의 고속 변조가 가능하다. 편향 소자에 인가되는 RF 신호의 주파수 크기를 전기적으로 조절하여 대상물의 처리 면에 입사되는 두 개의 빔의 경사 방향을 조정하고, 이러한 두 빔의 경사 방향에 따라 간섭무늬 패턴의 주기 및 방향을 컨트롤할 수 있다. 본 발명의 편향 소자를 이용한 고속 간섭 리소그래피 장치는 회절 소자의 대량 생산을 가능하게 하며, 회절소자를 이용한 다양한 응용 기술 (3D image, Head-up mount display등)의 발전에 이바지할 수 있다.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">6</td><td rowspan="5">홍진표</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">반도체물리</td><td rowspan="5">특허</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>p-MTJ 소자 개발을 위한 Boron-free 강자성체용 nitrogen-based seed layer 소재</td><td></td></tr>
<tr><td>미국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>US 9,935,262 B2</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2018</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 발명은 CoFe 기반 강자성체 층을 형성하기 위해 질화물 금속을 삽입하는 방법에 관한 것이다. 자기메모리에 핵심인 수직자기터널접합 (p-MTJ)을 형성하려면 결정화된 CoFe 층이 필요하다. 순수한 비정질 CoFe의 결정화는 막대한 에너지를 필요로 하기 때문에 기존 자기메모리 연구에서는 붕소가 들어간 CoFeB을 대신 사용하여 CoFe 결정층을 형성하여왔다. 하지만 이러한 방법은 CoFe층에서 붕소를 제거하는 공정이 추가로 필요하고, 붕소가 반도체 회로에 불순물로 잔류한다는 단점이 있었다. 본 발명은 CoFe의 결정화를 쉽게 하는 seed layer 로서 질화물을 CoFe층 아래에 삽입하여 질화물 계면 근처에 적은 에너지로도 붕소를 사용하지 않고 CoFe 결정을 형성할 수 있음을 보였다. 본 발명은 불순물이 없는 p-MTJ층의 경제적인 제작을 가능하게 하였으며, 질화물 seed layer를 통해 자성체의 결정화에너지를 줄이는 방법을 보여 효율적인 자기메모리 소자 개발에 이바지하였다.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">연번</td><td>참여교수명</td><td>연구자 등록번호</td><td>세부전공분야</td><td>실적 구분</td><td>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</td><td>증빙</td></tr>
<tr><td colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="6">7</td><td rowspan="5">홍진표</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">반도체물리</td><td rowspan="5">특허</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>비휘발성 메모리용 선택 소자 및 이의 제조 방법</td><td></td></tr>
<tr><td>중국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>ZL201480016707.X</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2019</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 발명에서는 산화구리의 조성비를 변화시킨 p형 반도체 물질과 기존에 널리 알려진 산화물 기반의 n형 반도체를 접합시켜 2단자 선택소자를 제작하였다. 2단자 비휘발성 메모리 구조에 쓰이는 선택소자는 2단자로 구동해야 하며 메모리의 성능을 저하시키지 않아야 한다. 즉 대칭적인 정/역방향 전압-전류 특성, 큰 on/off ratio, 높은 내구성 등을 갖추어야 한다. pn접합 기반 선택소자는 단순한 구조와 저렴한 제작방식으로 산업계의 많은 관심을 받고 있다. 하지만 기존 연구되었던 실리콘 기반 pn 다이오드는 전압-전류 특성이 대칭적이지 않으며, 특히 reverse bias에서 낮은 전류를 보이기 때문에 비휘발성 메모리를 구동시키는 것이 어렵다는 단점이 있었다. 본 발명에서 보인 산화물 기반 선택소자는 pn접합에 의한 barrier를 통해 비선형적 전압-전류 특성을 가졌다. 또한 전압-전류 대칭성을 보이면서도 1μA 이상의 전류에서도 작동하기에 기존 pn접합 기반 선택소자의 단점을 해소하였다. 이 발명은 3D-stackable crossbar array에 사용되는 저항변화 메모리 및 상변화 메모리 기반 소자 등의 차세대 비휘발성 메모리에 직접 적용 가능하다.</td></tr>
</table>

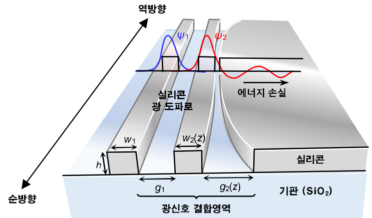
1.2 연구업적물

④ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 10년)

<표 3-5> 최근 10년간 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물

④ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 10년)

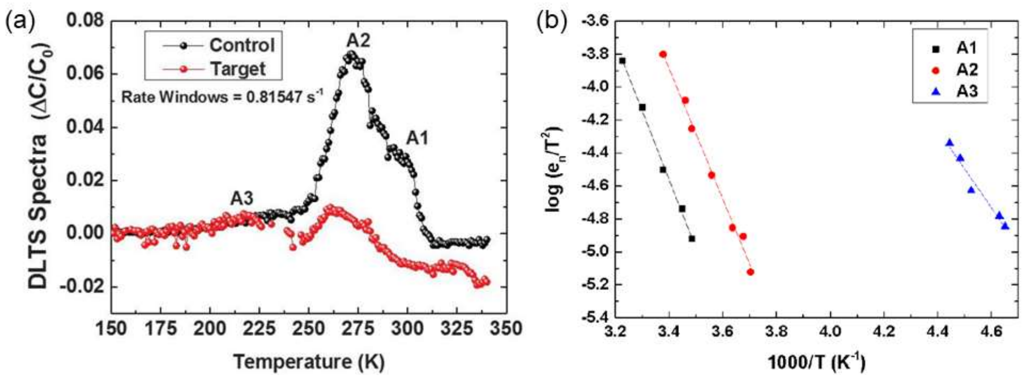
〈표 3-5〉 최근 10년간 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물

연번	대표연구업적물 설명
1	◉ 논문명: Time-asymmetric loop around an exceptional point over the full optical communications band • **Nature**, volume **562**, pages 86-90 (2018. 09) ◉ 저자정보: 송석호 교수 (단독교신저자) ◉ 논문내용 요약: 열린 양자역학 (open quantum mechanics) 시스템의 non-Hermitian Hamiltonian이 갖는 비대칭적 에너지 흐름원리를 나노광학 기술에 도입하여, 기존 나노광학 기술로는 실현이 어려운 국소영역에서 발생하는 에너지 손실문제를 극복하고 광신호 흐름의 공간적 및 시간적 대칭성을 붕괴시킬 수 있는 새로운 개념의 광 다이오드 (optical diode)를 Silicon waveguide 집적화 소자로 구현하였다.  [그림 III.1] 복소 굴절률 변조를 이용하여 설계한 단방향 모드 변환 광도파로 ◉ 논문의 우수성 최근 20여 년 동안 세계적 관심을 끌었던 나노광학 기술은 기존의 전통적 광과학에 나노기술과 고체결정/반도체 이론을 도입함으로써, 고집적 광학회로 구성이 가능한 메타물질 광학이라는 새로운 연구분야를 개척하며 발전해 왔다. 하지만, 빛을 나노미터 크기로 국소화시키면 물질에서의 에너지 흡수가 급격히 증가하는 물리적 한계 때문에 나노광학 기술이 상용화되는데 큰 어려움이 있었다. 이러한 에너지 손실문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 손실을 보상하고 증폭할 수 있는 이득물질을 첨가할 수밖에 없는데, 손실과 이득이 있는 물질이 나노미터 크기로 결합된 미세구조는 복잡한 비선형적인 특성을 보이게 된다. 따라서 기존 나노광학 방식으로는 설계 및 구현하는 것이 매우 어려운 문제로 남아있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 송석호 교수는 non-Hermitian system에서의 비대칭적 에너지 흐름 원리를 나노광학 영역에 도입하여, 기존 나노광학 기술로는 해결할 수 없는 국소영역에서 발생하는 에너지 손실문제를 극복하고, 광신호 흐름의 공간적 및 시간적 대칭성을 붕괴시킬 수 있는 새로운 개념을 실험적으로 검증하였으며, 광통신용 집적회로 소자로의 응용 가능성도 제안하였다. 학술적 의미로는, 종래의 광과학 분야에 열린 양자역학 이론 및 수학적 대칭성 또는 특이성을 도입하여 다양한 기존의 물리적 한계를 극복하려는 시도와 함께, 열린 양자역학이라는 이론을 실험적으로 검증하고 발전시키기 위한 새로운 광과학 영역을 개척하는데 기여하였다. 기술적 의미로는 손실-이득 물질을 나노미터 정밀도로 집적화하여 협성된 나노광학 구조를 선형적인 문제로 단순화 하여 해석할 수 있게 되어, 나노광소자의 설계 및 구현 기술을 실용화 단계까지 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다. 송석호 교수는 열린 양자역학 (open quantum mechanics)에 기반을 둔 non-Hermitian nanophotonics라는 새로운 학문 분야를 개척하였고, 이 결과는 세계적 학술지인 네이처 (Nature)지의 2018년 10월호에 게재하였다.

연번	대표연구업적물 설명
2	(아래 내용)

- 논문명: Iodide management in formamidinium-lead-halide-based perovskite layers for efficient solar cells
  - **Science**, volume **356**, pages 1376-1379 (2017. 06)
- 저자정보: 김은규 교수 (공동교신저자)
- 논문 내용 요약

여러 양이온과 halide 음이온으로 구성된 formamidinium을 포함하고 있는 페로브스카이트 태양전지의 성능을 향상시키기 위해서는 균일하고 밀도가 높은 박막 시료를 제작해야 한다. 또한 박막 내 결합상태는 캐리어의 비생산적인 재결합을 유도함으로써 open-circuit 전압과 short-circuit 전류밀도를 낮추어 태양전지의 성능을 저하시키기 때문에 결함을 최대한 줄이는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 고품위 페로브스카이트 박막을 제조하기 위해 최적화된 dripping solution을 활용함과 동시에 유기물 용액에 추가적인 iodide 이온을 첨가하는 two-step 증착 기법을 사용하여 iodide 결핍을 최대한 줄일 수 있었다. 그 결과 페로브스카이트 박막의 깊은 결함들의 농도가 줄어든 것을 확인하였다. 이러한 방법으로 제작된 응용한 태양전지 시료들은 태양광 표준 스펙트럼 조사 상태에서 22.1%라는 획기적인 효율을 보였다. DLTS (deep level transient spectroscopy)를 실험을 통해 시료내 결함들을 조사하여 태양전지 광전변환 효율 향상의 원리를 규명을 하였다.



[그림 III.2 (a) Control과 target 박막의 150 K부터 330 K까지 측정한 DLTS spectra.
(b) Deep-level states와 capture cross-section을 추출하기 위한 Arrhenius plots]

- 논문의 우수성

페로브스카이트 태양전지는 효율이 높고 제조비용이 저렴해 차세대 태양전지 기술로 최근 많은 주목을 받고 있다. 태양전지의 성능은 광전에너지 변환효율을 감소시키는 소재내부의 결함에 의해 크게 줄어든다. 따라서 고효율 태양전지 제작을 위해서는 시료의 결함을 줄이는 것이 매우 중요하다. 페로브스카이트 태양전지는 할로겐화물을 이용하는데 이 소재의 결함을 획기적으로 줄이는 방안이 도출되지 않고 있었다. 이번 연구에서는 요오드 이온의 형태를 제어함으로서 할로겐화물의 결함을 획기적으로 줄일 수 있음을 밝혀냈고 이 기술을 적용하여 페로브스카이트 태양전지의 세계 최고 효율을 구현할 수 있었다. 또한 이 결함제어 기술은 향후 광전소자로의 높은 잠재력을 갖은 할로겐화물의 물성을 제어할 수 있는 핵심기술로서 큰 의미가 있다. 2017년 출판된 본 논문은 **현재 web of science 기준 2,784회 인용되었으며, 본 논문의 보정피인용수는 223.65, 환산 보정피인용수는 63.90이다.**

연번	대표연구업적물 설명

3

- 논문명: Holography of the Dirac Fluid in Graphene with Two Currents
  - Phys. Rev. Lett. volume **118**, 036601 (2017. 01)
- 저자정보: 신상진 교수 (단독교신저자)
- 논문 내용 요약

기존의 다체이론이 물질을 구성하는 기본자유입자가 약상호작용을 한다는 가정을 근간으로 하여 세워진 것이다. 하지만 강상관계 물질에서 이 가정은 성립하지 않기 때문에 강상관계물질의 스펙트럼과 수송계수를 계산하는 것은 21세기 물리학의 중요한 난제로 남아 있다. 21세기의 신물질 거의 대부분에 해당하는 강상관계 물질인 전이금속과 희토류 화합물들인 사실을 고려하면 강상관계 물질의 전자구조나 수송계수를 계산하는 새로운 방법론의 개발이 절실히 필요하다.

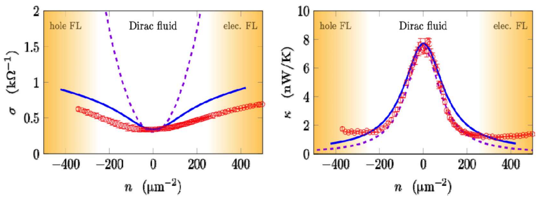
하버드대의 XXX 교수는 매우 순수한 그래핀에서의 비정상 수송계수를 발견함으로써 그래핀과 같은 간단한 물질도 특별한 환경에선 강상물질이 될 수 있다는 오랜 예측을 실험적으로 확증하였다. 그러나 기존의 이론으로는 아무리 확장해서 계산해도 실험과 이론사이의 없앨 수 없는 간극이 존재하였다 (그림III.3). 본 논문은 강상물질의 양자상전이점 근방에서 상태가 한 차원 높은 휜 공간에서의 블랙홀의 상태와 매우 유사하다는 아이디어를 그래핀에 적용하여, 문제의 간극을 메울 수 있음을 보여준다 (그림III.4). 양자상전이 이론으로 유명한 하버드대의 XXXX 교수와 XXX 교수와의 공동연구로 이루어 졌으며 계산에 필요한 두 개의 전류가 있는 모델과 계산은 교신저자인 신상진 교수가 수행한 결과이다.

- 논문의 우수성

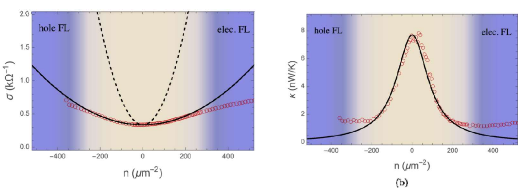
세계적 실험결과에 대한 정량적 설명이라는 그 자체로서의 의의 외에도 홀로그래피라는 끈이론의 새로운 방법론이 현실세계에 존재하는 물질에 대한 정량적 설명을 제공한다는 것을 보임으로써 끈이론에 대한 실험적 정당성을 마련해준 점에 있어서도 그 의의가 크다. **PRL의 editor의 추천 논문으로 하이라이트 되었으며 현재까지 30회 인용되었다 (GoogleScholar 기준).**

본 논문의 결과는 그래핀을 포함한 일반적인 디랙물질에 대해서도 성립한다. 이는 순수한 디랙물질들은 페르미면의 크기가 지극히 작아서 스크리닝이 잘 일어나지 않기 때문에 쿨롱상호작용이 매우 크다는 공통점을 가지기 때문이다. 이는 본 연구의 결과가 다양한 2차원 위상물질에도 적용될 수 있음을 의미한다.

또한 이러한 커플링의 튜닝은 디랙물질의 순도를 높임으로써도 얻어지지만 높은 압력을 가함으로써도 얻어지므로 고압물리학과의 여러 공통점을 지닌다. 즉 압력을 가하는 것이나 불순물의 농도를 조절하는 것은 커플링의 크기를 변화시킨다는 공통된 특징이 있다. 본 교육연구팀이 지향하는 것은 이렇게 여러 방향에서의 극한물질에 관한 주제를 유기적으로 묶어서 연구・교육하는 것인데, 이는 물리학이 지향하는 자연에 관한 통일적 이해라는 큰 방향에 잘 부합하는 것이라 사료된다.



[그림 III.3. 기존 이론으로 계산한 전기 및 열전도도 (solid line)와 실험결과 (red circles)]



[그림 III.4. 홀로그래피 이론으로 계산한 전기 및 열전도도 (solid line)와 실험결과 (red circles)]

Ⅲ. 연구역량 영역

1. 참여교수 연구역량

1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 계획

1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 계획

교육연구팀 참여교수의 연구역량 현황

- 지난 5년간 참여교수들의 발표논문 186편, IF 합 1018.866
- Nature 1편, Science 1편, Phys. Rev. Lett. 9편, Nat. Comm. 4편 포함 IF가 9.227 (Phys. Rev. Lett.) 이상인 논문 26편 발표

Journal	IF	논문수
Nature	43.070	1
Science	41.063	1
Advanced Materials	25.809	3
Advanced Energy Materials	24.884	1
Advanced Science	15.804	1
Nano Energy	15.548	2
Science Advances	12.804	1
Nano Letters	12.279	3
Nature Communications	11.878	4
Phys. Rev. Lett.	9.227	9
Nano Research	8.515	2
ACS Applied Materials and Interfaces	8.456	2
Wiley Interdisciplinary Reviews - Computational Molecular Science	8.127	1
Carbon	7.466	1
Acta Materialia	7.293	2
Nanoscale	6.970	2
Journal of Materials Chemistry C	6.641	3
Sensors and Actuators B-Chemical	6.393	1
Advanced Electronic Materials	6.312	2
Chemical Communications	6.164	1
Solar Energy Materials and Solar Cells	6.019	2
Macromolecules	5.997	1
Journal of High Energy Physics	5.833	8
Applied Surface Science	5.155	1

- 총 논문 수: 186편
- IF 합: 1021.781
- IF 평균: 5.493
- IF > 10.0 논문 수: 17편 (9.1%)
- IF > 5.0 논문 수: 55편 (29.6%)
- IF > 3.0 논문 수: 147편 (79.0%)

연구역량 향상 계획

- IF가 Phys. Rev. Lett. 이상인 논문 2년마다 한 편씩 증가
- IF 5이상 논문 비율을 40%로 증가
- 환산보정 IF와 환산보정 ES 매년 10% 증가
- 환산보정 피인용수 매년 5% 증가

	2015-19	1단계 (~ 2023)	2단계 (~ 2027)
IF > Phys. Rev. Lett. 논문 수	26	28	30
IF > 5 논문 비율 (%)	29	35	40
환산보정 IF 합	26.54	34.33	44.90
환산보정 ES 합	97.24	126.41	165.30
환산보정 피인용수 합	85.00	110.50	144.51

- 세계적으로 연구자의 평가 기준은 양적 평가에서 질적 평가로 전환되고 있다. 본 교육연구팀은 이러한 흐름에 발맞추어 본 교육연구팀의 BK 사업 기간 동안 달성 목표를 설정하였다.
- BK 사업 수주를 통한 대학원생 확충과 양자물질 극한물성 연구에 특화된 집중 교육 및 교육연구팀 내부 및 국제 공동 연구를 통해 설정한 목표를 달성하고자 한다.

교육연구팀 연구 추진 전략

본 교육연구팀이 설정한 목표를 달성하기 위해 우리는 다음과 같은 전략을 추진할 것이다.

- **교육연구팀 참여교수들간의 적극적인 공동 연구 추진**
- **국제 공동 연구 활성화**
- **양자물질 극한물성 연구분야 정부 대형과제 수주 (SRC, BRL, 중점연구소)**
- **해외 기간 대형과제 수주 (DOE, DOD, DARPA)**
- **참여교수 연구 점검 및 우수 결과 인센티브 부여**
- **질적으로 우수한 논문 발표를 위한 교원업적평가 제도 개편**

- **교육연구팀 참여교수들간의 적극적인 공동 연구 추진**
본 교육연구팀이 설정한 양자물질의 극한물성 분야는 선도 연구를 수행할 수 있는 장이 될 뿐 아니라 본 교육연구팀 참여교수의 연구분야와 매우 긴밀하게 연관되어 있어 참여교수들 사이의 시너지 효과를 극대화할 수 있는 주제이다. 교육연구팀 참여교수 연구분야는 다음과 같다 (그림 III.5 (왼쪽)).
  - 김은규 교수: 저차원 양자 물질 합성 및 수송 특성 연구
  2차원 층상 반도체 칼코젠화합물을 기계적 박리, 화학적 기상 증착법 (chemical vapor deposition)을 이용하여 합성하고 수송 특성을 연구한다. 2차원 칼코젠화합물에 자성 물질을 치환하여 전하와 스핀 자유도들의 상호 작용을 탐색하고, 자성을 갖는 반도체의 수송 및 자기 특성을 연구한다.
  - 김재용 교수: 고압 상태에서의 구조 및 수송 특성 연구
  다이아몬드 앤빌셀 (DAC)을 이용하여 고압 상태에서의 구조 특성 및 초전도 수송 특성을 연구한다. 방사광 기반 X-ray 회절법 이용한 초고압 상태에서의 시료 구조를 측정하고 라만 및 자체 제작한 초고압-저온 장비를 이용하여 전기적 특성을 측정한다. 백만기압 단위 극한상황에서 형성되는 수소화합물의 구조와 전기적 특성을 분석한다.
  - 문순재 교수: 강상관 양자물질의 광학 특성 연구
  광분광 실험법을 활용하여 전자 상호 작용이 강한 양자물질의 전자 구조 및 전하 동역학 특성을 연구한다. 저온에서의 초전도 현상, 자기 정렬, 오비탈 정렬 현상들을 탐색하고 그 메커니즘을 규명하는 연구를 수행한다.
  - 송석호 교수: 광격자에서의 위상 물리 연구를 통한 나노 광자 소자 개발
  가설적 비보존계의 양자이론, 양자특이점 근방의 대칭 및 위상학적 성질을 종래의 메타물질 등 광소자 시스템에 적용하여 나노 메타-광자 소자와 비가역적 나노 광자 소자 플랫폼을 구현하는 연구를 수행한다.

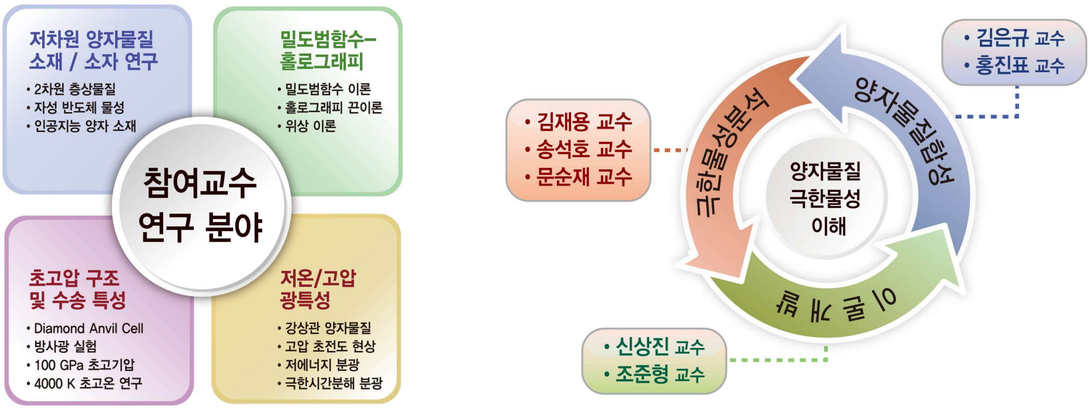
- 신상진 교수: 홀로그래피 이론을 이용한 강상관 양자물질 특성 이론 연구
  끈이론의 홀로그래피 이론을 이용하여 강상관 양자물질이 보이는 물성을 계산하고 예측하는 연구를 수행한다. 연구의 방법론은 양자상전이점과 블랙홀사이의 수학적 유사성에 기초한다. 초대칭 게이지이론과 AdS 공간의 초중력 이론사이의 대응성에 존재하는 수학적 전개도의 확장을 이용하여 양자물질의 모든 수송계수와 angle-resolved photoemission spectroscopy, optical spectroscopy data의 해석을 가능하게 하는 spectral function을 계산한다.
- 조준형 교수: 밀도범함수 이론을 이용한 양자물질 전자구조 연구
  전산 물질 설계 방법으로 다양한 수소화물을 탐색하여, 전자구조 계산과 Eliashberg이론의 접목을 통해 각 수소화물의 전자-포논 상호작용과 초전도상전이온도를 계산, 100 GPa 압력 이하에서 상온초전도상이 존재하는 수소화물을 발견하는 연구를 수행한다.
- 홍진표 교수: 양자물질 기반 차세대 자성 메모리 및 인공지능 소자 개발
  스핀-궤도 결합, 스핀 토크 전달 현상을 활용한 차세대 자성 메모리 소재를 합성하고 구조 및 수송 특성을 연구한다. 스핀・전하・격자・오비탈 상호 작용을 활용하여 인공지능 소자에 활용 가능한 양자물질을 합성하고 구조 및 수송 특성을 측정한다.

- **교육연구팀 참여교수 공동연구 추진체계 (그림 Ⅲ.5 (오른쪽))**

본 교육연구팀의 참여교수 연구분야는 크게 시료합성, 물성 측정, 이론 계산으로 분류할 수 있으며, 각 분야에 참여교수가 고르게 분포되어 있다: 시료 합성 2명 (김은규, 홍진표), 극한 물성 측정 3명 (김재용, 송석호, 문순재), 이론 계산 2명 (신상진, 조준형).

시료합성, 물성측정, 이론 계산은 물리학 연구를 구성하는 세 개의 중심축이라고 할 수 있으며, 세 분야 전문가들의 공동 연구는 우수 연구 결과 도출에 필수적인 요소이다. 세 분야의 전문가가 조화롭게 구성되어 있는 본 교육연구팀의 장점을 활용하여 참여교수들 간의 공동 연구를 적극적으로 추진할 것이다. 본 교육연구팀의 참여교수들은 양자물질 합성팀 (김은규, 홍진표), 극한물성 측정팀 (김재용, 송석호, 문순재), 이론 개발팀 (신상진, 조준형)으로 나뉘어 상호 피드백을 통한 협력 연구를 수행함으로써 교육연구팀의 연구 역량 제고를 도모할 것이다.

양자물질 합성팀은 이론 개발팀과의 협력을 통해 극한환경에서 새로운 특성을 보일 것으로 예측되는 새로운 물질 합성 연구를 수행하고 상온-상압의 보통 환경에서 수송 특성, 자기 특성, 구조 특성 등을 측정한다. 극한물성 측정팀은 양자물질 합성팀에서 합성한 시료의 극저온, 초고압 상태에서의 광특성, 수송특성, 구조 특성, 자기 특성을 측정하여 새로운 상태를 탐색한다. 이론 개발팀은 극한물성 측정팀의 물성 측정 결과를 이해하기 위해 밀도범함수 이론, 끈이론에 기반한 홀로그래피 이론 계산법을 사용하여 이 물질의 전자 구조, 광특성, 수송 계수들을 계산한다. 이러한 유기적인 공동 연구 체제를 통해 우리는 기존에 알려지지 않은 새로운 상태를 발견하고 그 원인을 규명하는 선도적인 연구를 수행할 것이다.



[그림 III.5. (왼쪽) 교육연구팀 참여교수 연구분야와 (오른쪽) 연구 추진 체계]

- 본 교육연구팀 참여교수 공동 연구 실적: 참여교수들은 이미 공동 연구를 수행하여 우수 연구 결과를 발표한 바 있다.
  - 김재용 교수와 조준형 교수는 고압 상태에서 약 260 K의 초전도 전이 온도를 보이는 수소화물인 LaH_{10}의 전자 구조에 대한 연구를 공동으로 수행하여 이 물질의 초전도 메커니즘을 규명하였다. 이 결과는 Physical Review B에 게재되었다 [Phys. Rev. B 99, 140501(R) (2019)].
  - 김은규 교수, 신상진 교수, 문순재 교수는 전자가 도핑된 반도체 물질의 극저온 물성에 대한 공동 연구를 수행하였다. 이를 통해 기존에 알려지지 않은 새로운 상태를 발견하였으며, 끈이론에 기반한 홀로그래피 계산을 통해 새로운 상태의 물리적 원인을 제시하였다. 해당 결과는 현재 논문 작성이 완료되었으며 Nature지에 투고할 예정이다.

- **국제 공동 연구 활성화**
  - 해외 우수 대학 및 연구 기관과 네트워크 구축 및 MoU 체결
  - 교육연구팀 참여교수 연구실과 해외 우수 연구실의 개별적인 1대1 공동 연구 네트워크를 구성한다.
  - 본 교육연구팀은 지난 5년간 국제 공동 연구를 통해 Physical Review Letters급 이상 우수 논문을 13편 발표하였다. 이는 국제 공동 연구가 질적으로 우수한 연구 결과를 내는데 효율적인 방법임을 제시한다. 교육연구팀의 연구역량 향상을 위해 사업 기간 내에 모든 참여교수가 해외 연구실과의 공동연구를 수행하고 이를 통해 질적으로 우수한 논문 건수를 증가시키고자 한다.
  - 본 교육연구팀의 김재용 교수는 현재 MoU를 체결한 7개 기관 외에 카네기연구소, 북경고압연구소와 3개 기관 공동 연구 추진 의향서 (LoI)를 체결하였고 (2016년) 현재 해외우수연구기관 유치사업 (GRDC) 사업을 수행하고 있다. 초강도 물질 연구를 중심으로 수행하는 길림대학교 State Key Laboratory of Superhard Materials와 국제 공동 연구 협약을 체결하였다 (2020년 3월). 물리학과 대학원생 수급 및 공동 연구 수행을 위해 허난사범대학교 (2018년)와 린이대학교 (2019년)와 MoU를 체결하였다. Vietnam University of Science와는 2015년에 체결한 SCI-X 프로그램을 연장하여 학부생 연계 대학원 진학 프로그램을 확대 운영할 계획이다.

- **참여학생 해외 교수와 함께 1편 이상의 논문 발표**
  - 국제 공동 연구를 통해 참여 학생들이 국제 석학과 직접적으로 교류함으로써 외국 대학 및 연구 기관의 교수와 함께 논문을 출간할 수 있도록 할 것이다. 이는 논문의 질적 우수성 향상에 큰 도움이 될 뿐만 아니라 학생들 스스로 국제적인 네트워크를 만들어내는 기회가 될 것이며, 박사 학위 후 공동 연구를 수행한 해외 대학 연구실 박사후 연구원으로 취업할 수 있는 효율적인 방법이 될 것이다.

- **양자물질의 극한물성 연구분야 정부 대형과제 수주 (SRC, BRL, 중점연구소)**
  - 본 교육연구팀 참여교수들은 2015, 2016, 2017, 2018년에 SRC 사업에 그리고 2014년, 2019년에 BRL 사업에 지원한 바 있다. BK 사업을 통해 교육연구팀 참여교수들이 공동 연구를 적극적으로 수행할 것이다. 특히 양자물질 극한물성 분야의 정부 대형 과제 수주를 위해 본 교육연구팀 참여교수 일부는 이미 공동 연구를 수행하여 연구 성과를 발표했거나 발표를 준비하고 있다 (김재용・조준형 Physical Review B 논문 출판, 김은규・신상진・문순재 논문 투고 준비 중). 이러한 참여교수들의 공동 연구를 바탕으로 양자물질의 극한물성 연구라는 주제로 SRC, BRL, 중점연구소 등 정부 대형 공동 연구과제를 BK 사업 기간 내에 수주할 것이다.

- **해외 기관 대형과제 수주 (DOE, DOD, DARPA)**
  - 양자물질 극한물성 연구분야의 국내 기반을 확보하고 해외 공동 연구자들과의 연구 네트워크를 활용하여 해외 기관의 대형 연구 과제를 BK 사업 기간 내에 수주하고자 한다.

- **교육연구팀 자체 위원회 설치**
  - 운영 위원회: 교육연구팀 운영에 필요한 제반 행정과 연구기획 (교육연구팀의 세부 연구 주제 및 추진전략, 외부과제 수주 기획 수립), 국제협력 (해외 대학・기관과의 MoU, 해외 연구실과의 공동 연구 네트워크 관리), 업적평가 (참여교수의 질적 우수성을 증진) 등을 총괄한다.
  - 자문 위원회: 연구방향을 점검하고 연구력의 국제적 수준을 가늠하기 위하여 국내외 전문가 3인으로 구성하고 매년 자문을 받아 내용을 검토한다.

- **매년 참여교수 연구 점검 및 우수 결과 인센티브 부여**
  - 교육연구팀의 연구역량을 향상시키기 위해 참여교수의 연구 업적을 매년 점검한다. 점검 결과와 학교 차원의 평가 결과를 반영하여 최상위 교수에게는 1) 다음 점검 시 가산점 부여, 2) 국제화 경비 비율 상향 조정, 3) 학생 배정 우선권을 실시 할 것이다.

- **질적으로 우수한 논문 발표를 위한 교원업적평가 제도 개편**
  - 교내 교원업적평가 현행안: 저널의 보정 IF값에 주저자 여부 및 저자수를 고려한 환산보정IF로 논문 점수를 계산하고 일정 수준의 점수 취득 시 승진 및 승급 심사를 통과하게 된다.
  - 교내 교원업적평가 개편안

    ▶ 주저자로 발표한 Q1 논문만을 업적으로 인정

    주도적 연구 수행을 통한 질적 우수 논문 발표를 독려하기 위해 주저자로 출판한 Q1 논문만을 업적으로 인정한다. 주저자로 발표한 논문이라도 Q1에 속하지 않는 논문은 업적으로 인정하지 않는다. 참여저자로 발표한 논문은 업적으로 인정하지 않는다.

    ▶ 저널을 5단계로 구분하여 차등 점수 부여

    1등급: Nature, Science
    2등급: Nature Physics, Nature Materials, Nature Photonics
    3등급: Physical Review Letters, Physical Review X, Nature Communications, Advanced Materials
    4등급: Physical Review A, B, C, D, E 및 비슷한 수준의 저널
    5 등급: 그 외 Q1 저널들

    ▶ 정년 보장 심사 시 SCI 학술지 편집위원 5인의 External Peer Review 심사

    한양대학교는 정년보장 심사 시에 SCI 학술지 편집위원 5인을 심사위원으로 하는 External Peer Reivew 심사를 시행하고 있다. 피심사자의 대표 논문 실적, 대표 저서 실적, 연구 및 교육 영역에 대한 Personal Statement를 평가하여 정년 보장 적격 여부를 결정한다.

2. 산업사회에 대한 기여도

2.1 산업사회 문제 해결 기여 실적

2 산업·사회에 대한 기여도

2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적

친환경 에너지 분야 문제 해결

- 태양전지

태양광 발전은 무한한 청정 태양에너지를 인류가 사용할 수 있는 유용한 에너지원으로 변환할 수 있는 가장 효율적인 방법이다. 그러나 현재 약 90% 이상 사용되고 있는 결정질 실리콘 태양전지는 효율이 높지만 고도의 기술이 필요하고 가격이 고가인 문제점이 있다. 낮은 가격으로 제작 가능하여 많은 연구가 진행되었던 유기 및 염료감응 태양전지와 같은 기존의 차세대 태양전지들은 여전히 효율이 낮아 대규모 상용화에 어려움을 가지고 있다. 2012년부터 본격적으로 연구되기 시작한 무/유기 하이브리드 페로브스카이트 태양전지는 짧은 연구 역사에도 불구하고 기존의 유기 및 염료감응 태양전지의 효율을 넘어섰으며 현재 상용화된 실리콘 태양전지, 박막형 태양전지의 효율에 근접하고 있다. 이러한 페로브스카이트 태양전지의 효율을 더 개선시키기 위해서는 박막 내의 결함 상태를 최대한 줄이는 것이 매우 중요한데, 이는 결함에 의해 캐리어의 효율적이지 않은 재결합이 나타나기 때문이다. 이에 따라 페로브스카이트 태양전지의 고효율화를 위하여 페로브스카이트 할로겐화물 박막의 내부 결함을 획기적으로 줄일 수 있는 합성 방안을 도출하고, 이를 실제로 구현하여 소자를 제작함으로써 세계 최고 효율의 페로브스카이트 태양전지 소자 및 소재 기술을 확보하게 되었다. 이는 2017 Science지에 발표되었으며, 이를 통해 태양전지의 결함 최적화 기술을 마련하게 되었다.

그 연구내용을 좀 더 구체적으로 설명하면, 결정구조가 안정하면서 동시에 고효율을 달성할 수 있는 페로브스카이트 소재인 $CH(NH_2)_2PbI_3$ (Formamidinium lead iodide, $FAPbI_3$) 기반에 $CH_3NH_3PbBr_3$ (Methylammonium lead bromide, $MAPbBr_3$)를 부분 치환한 조성을 설계하고, 화학분자상호교환법으로 균일한 박막을 제조하였다. 한편, 페로브스카이트 할로겐화물의 내부 결함에 대한 연구는 아직 완벽하지 못하여 지속적인 연구 중에 있다. 태양전지에 사용되는 광활성층 소재 내부의 결함은 태양광에 의해 생성된 전자와 정공의 재결합(recombination) 사이트로 작용하여 광전에너지 변환 시 변환효율을 낮추는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 따라서 할로겐화물 박막 내부의 결함을 제어하는 방안 도출은 산업・사회의 중요한 과제라고 할 수 있다. 현재까지 보고된 연구결과에 따르면 $FAPbI_3$ 박막 형성시 요오드(I) 이온이 결함을 잘 형성하는 것으로 나타났다. 이 문제를 해결하기 위하여 화학분자상호교환 공정시 요오드 이온의 형태를 제어하여 페로브스카이트 할로겐화물 박막을 제조하였다. 이렇게 형성된 박막으로 제조된 태양전지 효율과 박막 내부의 깊은 준위 결함상태와의 관계를 DLTS (deep level transient spectroscopy) 방법을 통해 분석하였다. 그 결과 페로브스카이트 할로겐화물 에너지 밴드갭 안에 에너지 준위를 갖는 결함의 농도가 획기적으로 감소함을 알 수 있었다. 이 내부 결함은 재결합을 통해 에너지 변환 손실을 유도할 수 있기 때문에 결함의 감소는 태양전지의 효율을 높인다. 내부 결함을 줄인 페로브스카이트 할로겐화물 박막 기반의 태양전지는 높은 효율 재현성을 보였을 뿐만 아니라 22.1%의 효율을 공인받을 수 있었다. 뿐만 아니라 이 기술을 적용하여 만든 $1cm^2$ 면적 소자의 경우 19.7%의 공인효율을 얻을 수 있었다.

결과적으로 무/유기 하이브리드 페로브스카이트 태양전지의 고효율화를 위하여 페로브스카이트 할로겐화물 박막의 내부 결함을 획기적으로 줄일 수 있는 방안을 도출하고 소자를 제작함으로써, 고효율의 페로브스카이트 태양전지 소자 및 소재 기술을 확보하게 되었다. 할로겐화물의 내부 결함 제어 방법은 고품질 할로겐화물 박막의 제조에 활용되어 물질의 광전기적 특성이 중요한 관련 분야의 학문 발전에도 큰 활용이 기대되고 있다. 더 나아가 기존 상용화된 단결정 실리콘 태양전지나 박막형 태양전지의 광전 변환 효율과 유사한 결과로서 차세대 태양전지의 상용화 기술 도출을 통해 산업사회에 기여할 것으로 기대된다.

- 웨어러블 전자기기 활용을 위한 에너지 하베스팅

IT 기술의 발전에 따라 전자기기의 휴대성이 증가하고 있으며 특히 의복과 결합된 전자제품인 웨어러블 기기는 휴대성의 정점이라고 할 수 있다. 웨어러블 기기의 초기 연구는 플렉서블 디스플레이처럼 단순히 전자제품을 직물 위에 옮겨놓은 수준이었지만 자극반응이나 환경응답과 같이 신기능을 보이는 섬유가 발명되며 IoT나 헬스케어 같이 다양한 분야에서 무궁무진한 활용가능성을 보인다. 하지만 웨어러블 기기의 작동에는 지속적인 전력공급이 필요한데 외부에서 전력을 공급받는 방식은 주기적인 충전이 필요하여 장기간의 연속사용이 힘들다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여, 일상에서 버려지는 에너지를 사용가능한 형태로 수집하는 기술인 에너지 하베스팅이 주목받고 있다. 특히 인체의 움직임에서 발생하게 되는 마찰을 통해 전기를 생산하는 마찰발전 방식은 압력을 통해 발전하는 방식보다 유효표면적을 늘리기 쉬워 발전량 증가에 이점이 있다.

기존 연구는 의류 원단에 제작된 마찰발전소자의 발전효율을 높이는 방식으로 진행되었지만, 제한된 표면적에서 발전효율을 높이기에는 기술적 한계가 있었다. 홍진표 교수는 원단이 아닌 직물에 무기/유기물질을 코팅하고 성장시켜 마찰발전소자를 제작하였다. 직물에 직접 마찰발전소자를 제작함으로써 원단의 단위면적당 발전효율을 크게 늘릴 수 있었다. 이 연구를 통해 1차원 직물을 기반으로 고출력 에너지 하베스팅 소자를 제작하는 길이 열리게 되었다.

기존 마찰발전소자 제작에는 원단과 소자의 접착을 위하여 고열을 수반한 공정이 필요하다. 이러한 방식은 고온에 취약한 직물에는 사용이 불가능하다는 단점이 있었다. 홍진표 교수 연구실은 이를 막기 위하여 저온 공정으로 진행하였다. 이러한 연구를 통해 발전소자의 효율성 증대라는 학술적 발견과 기존 직물과 호환가능하며 산업계의 빠른 적용을 기대할 수 있다.

- 고에너지 밀도 수소에너지 저장매체 발굴 연구 수행

친환경 에너지로서 수소에너지가 많은 각광을 받고 있다. 이는 수소가 석유와는 달리, 연소 효율이 높고 산소와 반응하였을 때 공해물질을 배출하지 않는 청정에너지원이라는 점 때문이다. 그러나 수소는 금속 표면에 침투성이 강해 기체나 액체 상태로 저장이 어렵고 안전상의 이유로 아직 상용화 단계에 이르지 못하고 있다. 따라서 수소를 안전하고 효과적으로 생산・저장・이동하기 위한 방안들이 많이 연구되어 왔는데, 수소를 금속 수소화물의 형태로 저장하는 수소저장법이 가장 안전하고 높은 에너지 밀도를 가지는 방법으로 대두되고 있다.

최근 고압 혹은 에너지 밀도가 높은 금속수소화물을 이용한 수소 에너지 저장에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 지금까지의 수소저장합금의 수소저장특성에 대한 연구는 200 bar 미만의 저압에서 진행되었지만, 김재용 교수는 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 TiZrNi 합금이 5.07 GPa 압력에서 4.5 wt.%의 수소를 저장하며, 시료가 구조적으로 상변이 없이 안정함을 증명하였다. 참고로, 이는 100 kg의 TiZrNi 시료를 탑재한 수소자동차에 적용시 한번 충전으로 서울에서 부산까지 갈 수 있는 양이다. 이러한 결과를 바탕으로 조만간 TiZrNi 합금외에도, AlH_4 (Alane), Zr/Co 합금과 BNNT (Boron Nitride Nano Tube)나 SBA-15 (Santa Barbara Amorphous-15)와 같은 다공성물질 등과 같은 고순도의 수소저장소재 개발을 추진 중이며 에너지 저장 기술 발전에 기여할 것으로 기대된다.

- 고온 초전도 현상 연구 수행

인류가 직면하고 있는 에너지 문제와 이와 연관된 기후 변화 문제를 해결하기 위해서는 신재생 에너지원 개발이나 에너지 손실이 적은 소재 개발 등이 필요하다. 고온 초전도체는 에너지 손실이 없는 소재로 사용할 수 있으나, 초전도가 나타나는 임계 온도가 낮아 실제 활용에는 제약이 있다. 상온에서 사용할 수 있는 고온 초전도체가 발견된다면, 인류의 에너지 및 환경 문제를 해결할 수 있을 것이다. 조준형 교수와 문순재 교수는 다음과 같이 고온 초전도체에 대한 연구를 수행하여 이 현상의 메커니즘에 대한 단서를 제시하였다.

- 금속 수소화물의 상온 초전도 현상 메커니즘 이해
  수소를 포함하고 있는 수소화물은 압력이 가해지면 상온에서 초전도 현상을 보이는 현상으로 최근 많은 주목을 받고 있다. 조준형 교수는 상온 초전도 현상을 보이는 LaH_{10}에 대한 연구를 수행하여 이 물질의 전자 구조와 결합 특성을 분석하였으며, 이를 통해 이 물질이 상온에서 초전도 현상을 보이는 원인을 밝혔다.
- 고온 초전도체 구리 산화물과 유사한 이리듐 산화물의 전자 구조 연구
  현재 초전도 전이 온도가 가장 높은 물질은 구리 산화물이다. 구리 산화물이 보이는 초전도 상태와 이와 인접한 유사갭 상태의 원인은 응집물질물리학 분야에서 풀리지 않는 문제로 남아 있다. 만약 구리 산화물이 보이는 초전도 상과 유사갭 상의 원인을 밝혀낸다면 초전도 임계 온도가 더 높은 새로운 초전도 물질 개발에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다. 문순재 교수는 구리 산화물과의 유사성으로 인해 초전도 상, 유사갭 상을 보일 것으로 기대되는 이리듐 산화물에 대한 연구를 수행하였다. 이를 통해 이리듐 산화물의 광전도도 스펙트럼에서 유사갭 현상을 발견하였다. 온도와 도핑된 전자의 농도를 조절하여 유사갭이 어떻게 변화하는지 관측함으로써 이리듐 산화물이 보이는 유사갭이 반강자성 상호 작용과 연관이 있음을 제안하였다. 이 결과는 고온 초전도체의 물성 이해를 위한 중요한 정보를 제공한다.

반도체 및 광소자 분야

- 인공지능 소자 개발

반도체 산업의 발전과 더불어 사람이 하는 감각과 인지, 상호작용 등을 따라할 수 있는 인공지능 (AI) 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만 현재 진행되고 있는 소프트웨어 기반의 인공지능 구현은 많은 연산이 필요하기 때문에 막대한 전력과 연산시간을 요구한다. 이에 반해 인간의 두뇌는 뉴런과 시냅스라는 세포가 적은 전력과 짧은 시간으로 감각, 인지, 상호작용을 수행한다. 뉴런은 앞단에서 받은 신호를 모았다가 발산하는 특성을 가지며, 시냅스는 뉴런사이에 위치하여 뉴런이 발산한 신호의 세기를 조절하는 웨이팅(weighting)을 부여한다. 뉴런과 시냅스의 이러한 전기적 특성을 모방하는 인공지능 소자의 개발이 화두로 떠오르고 있으며 해당 기술은 선점할 경우 국내 산업에 크게 이바지 할 뿐만 아니라 국제 표준화 제시 등 세계시장을 선도할 수 있어 반드시 연구가 이루어져야 하는 분야이다.

홍진표 교수는 다음과 같은 연구를 통하여 인공지능 소자 기술 개발에 이바지하였다.

- 멀티레벨 저항변화 메모리의 시냅스 거동 연구
  저항변화 메모리는 절연성 물질 내부에 국소적으로 전도성 필라멘트를 형성하여 거시적인 저항을 조절하는 메모리이다. 절연물질 내부에 생성된 필라멘트의 연결을 제어하여 저항의 크기를 조절할 수 있다. 탄탈럼 산화물에서 질화물전극을 사용함으로써 산화물 내부의 산소 공핍을 보존할 수 있어 필라멘트의 전기성 안정성을 증가시킬 수 있음을 보였다. 또한 비정질 탄소산화물을 물리적증착법을 통해 고속으로 작동하는 저항변화 메모리 제조법을 개발하였으며 관련 특허를 출원하였다.

- 스핀트로닉스 기반의 뉴런 및 시냅스 개발 연구
  일정 영역에 걸쳐 같은 스핀 방향을 지닌 영역을 도메인이라고 하며 스핀이 서로 다른 도메인간의 경계를 도메인 월이라고 한다. 도메인 월의 위치를 조정함으로써 소자의 저항을 변화시킬 수 있으며 이를 통해 시냅스를 모사할 수 있다. 특히 스핀트로닉스에서 제안된 스커미온을 이용하여 새로운 방식의 인공지능 소자를 제시하였으며 2017년 SK하이닉스가 개최한 반도체 혁신 아이디어 공모전에서 장려상을 수상하는 등 소자개발의 가능성을 인정받았다. 또한 스커미온의 생성과 제어를 위한 이론 및 소재연구를 통해 스커미온 기반의 스핀, 시냅스모방 인공지능 소자 개발을 추진 중이다.

• 신개념 나노광소자 개발

송석호 교수는 2017년 9월 5일자로 타이거닉스㈜ 회사를 (교내 실험실) 창업하였으며, 2018년 3월 5일자로 기술보증기금으로부터 벤처기업 인증을 획득하였다 (벤처기업명: 타이거닉스(주), 대표자: 송석호, 소재지: 한양대학교 자연과학대학, 평가기관: 기술보증기금, 유효기간: 2018.03.09-2020.03.08.). 반사형 및 반투과형의 반사판 표면에 micro-dot hologram (나노 회절 격자 패턴 및 computer-generated hologram 패턴)을 형성시켜 50% 이상 반사 효율을 갖는 차세대 플렉서블 디스플레이 구현과 플렉시블 LCD 디스플레이 및 고급조명기기, 감성조명의 수요를 충족하고 나아가 차세대 디스플레이로서의 응용성을 창출하고 사업화하기 위한 발판을 마련하였다. Flexible BLU (back light unit)기술은 기존의 BLU에서는 필수적인 부품이었던 prism sheet나 BEF (brightness enhancement film), 더 나아가 color filter 까지도 별도로 사용하지 않을 수 있는 가능성을 가지고 있어, 이 기술을 적용시키면 매출증대 및 세계선도형 신 시장 개척이 가능할 것으로 기대되며, 졸업생들의 취업 및 창업활동에 많은 지원 및 동기부여를 할 것으로 기대된다.

송석호 교수는 2019년 7월 2일부터 5일까지 일산 킨텍스에서 열린 제17회 국제나노기술 심포지엄 및 나노융합대전 (나노코리아 2019)에서 연구부문 최고상인 국무총리상을 수상했다 (상장번호: 7185호). 또, 나노광학 분야에서 세계적인 연구 성과를 창출하고 나노광소자의 설계 및 구현 기술을 실용화 단계까지 발전시키는 데에 크게 이바지한 점을 인정받았다.

송석호 교수 연구팀은 나노광소자기술 분야에서 탁월한 연구성과를 거두고 있다. 모든 광(光)통신 주파수 대역에서 작동이 가능한 광다이오드 소자를 세계 최초로 개발하는 등 나노기술(NT)과 정보통신기술(ICT)을 융합함으로써 차세대 광컴퓨터 및 신경회로망 구성에 핵심이 되는 나노광소자 구현 기술을 실용화 단계까지 발전시키고 있다.

특히, 지난 20여 년 동안 나노광학기술 발전의 매우 큰 장애 요인이었던 국소영역에서의 에너지 손실 문제를 해결할 수 있는 최근의 연구결과는, 세계 최고 권위지인 네이처(Nature) 및 관련 자매지 등에 다수의 연구 논문을 게재하는 등의 세계적인 연구성과로 인정받고 있다.

송석호 교수는 종래의 광과학 분야에 열린 양자역학 이론 및 수학적 대칭성 또는 특이성을 도입하여 다양한 기존의 물리적 한계를 극복하려는 시도와 함께, 열린 양자역학이라는 이론을 실험적으로 검증하고 발전시키기 위한 새로운 광과학 영역을 개척하는 창의적 연구를 수행하고 있다.

사회 ·환경 문제 해결 기여

• 에너지와 환경문제 해결에 활용하기 위해 아크릴아미드계 중합체를 사용하여 기존에 알려진 수소 저장 효율보다 향상된 수치를 가지는 기체 저장 재료를 합성하였다. 본 기술관련 제작법은 한국(10-1111133), 중국 (ZL201180052969.8), 그리고 미국 (9,051,181) 등 3개국에 특허 등록이 완료 되었다. 김재용 교수가 제작한 아크릴아미드계 중합체는 26532 Torr의 초기 압력으로 수소를 흡착시켰을 때, 1g 당 0.05~5.0 중량%에 이르는 흡착 효율을 나타내었다. 또한, 이러한 수소 기체 저장 효율은 -200℃~25℃ 온도 및 1~100 기압의 압력에서도 유지될 것으로 예측되어, 수소 에너지 저장 매체로 활용될 수 있다.

• 환경오염의 주된 요인으로 분류되는 CO_2, NO, NH_3 등 산화계열 가스분자들이 금속산화물 표면과 계면에서 물리・화학적으로 상호 작용하는 것을 분석하였다. MgO 분말의 경우 단위 그람 당 수백 m^2의 비표면적을 가짐으로써 높은 흡착성질을 보이는 바, 산화물 금속분말 시료 뿐 아니라 기공성물질로 범위를 넓혀 혼성가스의 선택적 흡착 메커니즘을 연구하였고, 미량의 가스를 선택적으로 검출하는 흡착제를 개발하였다. 또한 반응체를 이용한 극성가스 감퇴현상을 설명하여 독성가스 제거를 위한 모델링 및 산업화에 활용가능성을 타진하였다.

YouTube 강의 공개를 통한 과학교양 함양

현대 사회의 문제를 해결하기 위해서는 과학적 사고를 바탕으로 현상을 정확하게 분석하는 능력이 절실히 요구되는 바, 이는 물리학 교육의 핵심이다. 따라서 물리학은 전공자를 위한 학문으로서만이 아니라 비전공자들의 과학적 사고 함양을 위한 교양 학문으로서 사회 문제 해결에 도움을 줄 수 있다.

본 교육연구팀의 신상진 교수는 교양물리, 일반물리, 현대물리, 고전역학, 전자기학, 수리물리, 양자역학에 대한 140여 개의 강의 동영상을 open course ware를 통해 YouTube 에 공개하였다. 이 강의 동영상들은 전국 대학의 물리학 전공 대학생의 전공 교육뿐만 아니라 물리학에 관심이 있는 비전공자들 (과학교사, 고등학생, 일반인)의 교양 교육에 많은 도움을 주고 있다. 신상진 교수의 YouTube강의는 현재 580,000 view를 기록하고 있다.

[그림 III.6. 신상진 교수의 YouTube 강의 동영상]

• 고압과 초고온상태에서의 물성을 분석하는 극한환경연구 개념이 설정되어 있지 않을 당시, 김재용 교수는 초중고, 그리고 일반인을 대상으로 새로운 연구패러다임의 변화를 대중들에게 인식시킬 목적으로 압력과 극한상태의 물성에 관한 내용으로 2017년 6월, 2018년 10월 부산과 광주에서 ‘금요일에과학터치’ 강연을 하였다.

[http://sciencetouch.nrf.re.kr/schedule/scheduleBoardList.do?pdate=2018&menuId=17&searchCondition=PRESENTER&searchKeyword=&pageIndex=2&estation=busan&pageUnit=10#]

[그림 III.7 김재용 교수의 ‘금요일에과학터치’ 강연. (왼쪽) 부산, (오른쪽) 광주]

2. 산업사회에 대한 기여도

2.2 산업사회 문제 해결 기여 계획

2.2 산업·사회 문제 해결 기여 계획

양자물질 극한물성 연구를 통한 산업·사회 문제 해결

본 팀의 연구와 교육활동은 에너지 환경 전문가를 육성하고 관련 문제를 기술적으로 해결하는데 기여할 수 있다. 극한소재 연구 분야는 새로운 물질합성 및 관련 기술개발 가능성이 다른 어느 분야보다도 크다. 특히 극한물성 연구를 통해 기존에 존재하지 않았던 '슈퍼물성'을 가지는 신소재를 개발할 수 있는 단초를 제공할 수 있으며 기술적·학술적 파급효과가 큰 신소재 개발로 국제 원천 특허 확보가 가능하다. 또한 고압에서 발견된 신소재를 중압(medium pressure)에서 합성하는 기술로 확장함으로써, 상용화에 대한 기반을 제공한다면, 경제적·산업적인 파급효과가 매우 클 것이라 예상한다. 압력을 이용하여 창출한 연구결과를 활용하여 앞으로 극복해야 할 산업-사회문제 해결에 기여할 방안들을 기술하면 다음과 같다.

[그림 III.8 양자물질 극한물성 연구를 통한 산업 사회 문제 해결 계획도]

- **고압 하에서의 상온 초전도물질 개발**
  - 압력에 의한 자성 및 초전도 임계온도의 변화를 통해서 고온 초전도 현상의 원인을 규명할 수 있는바, 초전도 특성을 갖는 새로운 재료 개발 및 압력에 따른 물성 변화 연구를 통해서 새로운 초전도체 발견의 단초 제공 및 초전도 현상의 기본 원리 규명에 기여할 수 있다. 즉 현대과학의 난제로 취급되는 상온초전도 관련 연구는 상압의 경우 초전도 전이온도가 190 K를 마지막으로 답보상태이다. 현재 200 GPa 이상에서 구현된 수소화물의 고온초전도체 현상을 100 GPa이하에서 다양한 수소화물 및 전자화물 기반 금속수소격자에서 재현할 수 있다면, 실제 전자소자에 활용할 수 있는 상압 인근의 고온초전도체 개발 연구의 기술적 발전에 크게 이바지 할 것이다. 고온초전도체의 초전도상전이온도를 상온까지 끌어올릴 수 있는 수소화물 개발은 기존의 BCS 타입의 초전도 메커니즘을 새로운 각도에서 재조명하게 될 것이고 답보상태에 있는 고온초전도체 연구분야를 활성화 시켜서 국내외의 기초연구 발전에 크게 이바지 할 것으로 기대한다.
  - 실제로 김재용 교수와 조준형 교수는 공동연구를 통하여 100 GPa 이하에서 존재하는 수소화물의 고온 초전도상의 원인을 규명하였고, 이는 전자소자에 활용할 수 있는 상압 인근의 고온초전도체를 실현시키는 연구의 바탕이 될 것으로 기대한다.
  - 결과적으로 상온초전도체가 구현된다면 전력 수송뿐만 아니라, 초정밀 전자소자, 초고속 전자소자, 자기부상열차 등 다양한 분야에 본격적으로 응용될 것이라 여겨진다.
  - 상온초전도체의 실용화를 위해서 훨씬 낮은 압력에서 상온 인근의 초전도임계온도 (T_c)를 가지는 물질을 발견하는 연구와 상온 초전도현상을 이해하기위한 이론 연구 및 시뮬레이션 연구를 진행할 계획이다.
  - 상온 초전도현상을 다양한 물질에서 구현하고 그 미시적 원인을 규명하여 실제 전자소자에 활용할 수 있는 고온초전도체 개발 기술적 발전에 기여하고자 한다.

- **수소에너지 저장매체 발굴**
  - 수소에너지는 높은 효율의 연소에 의한 열에너지, 내연기관을 이용한 기계에너지, 연료전지분야 등 다양한 응용분야에서 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 누구나 잘 알다시피 수소는 고갈의 가능성이 거의 없는 무한한 청정자원으로 각종 수송수단이나 발전시스템에 활용될 수 있다.

- **정밀 초고강도 소재개발**
  - 정밀 초고강도 소재는 최첨단 공학 및 의공학 분야에서 기존 소재의 한계를 극복할 수 있는 새로운 가능성을 제시할 수 있으며 실제적으로 고강도 경량 부품제조, MEMS 적용을 통한 초소형 기어제조, 의학 및 치의학에서의 고강도 금속 임플란트 제조 등 최첨단 공학·의공학 분야 신산업을 창출할 수 있다. 고압 상전이 및 초소형 성형 기술을 통해 미래 초경량·고강도 자동차 개발 및 우주항공 등의 고부가가치 산업 분야로 확대할 수 있다.
  - 특히 중전차, 총신, 심해 잠수함동체에 사용되는 고강도재료 개발 뿐 아니라 정밀 고강도, 고에너지 집약 재료를 개발하는 등 무기와 국방산업에 활용될 수 있다.
  - 전기적 특성을 측정할 수 있는 초고압장비의 개발을 통해 다양한 물질의 기저상태 연구와 고압장비의 원천기술 확보가 가능하다.
  - 이외에도 압력을 이용한 연구는 지각 내 고준위 방사성 폐기물질의 비가역적 저장법으로, 온실 가스 및 자연오염 가스의 흡착법의 원천기술로 활용될 수 있으며 이에 필요한 전문가와 전문지식을 제공할 것이다.

- **고압 하에서 다공성 물질의 압력에 따른 특성 변화 분석 및 산업적 활용성 가능성**
  - 금속·유기 구조체와 같은 합성 다공성 물질은 21세기 들어 본격적으로 연구된 신소재로서, 고온 물성 연구에 비해 고압 연구는 진행이 미비하다.
  - 다공성 물질은 다른 종류의 물질에 비해 압력 변화에 독특하게 반응하기 때문에 외부 압력에 의한 구조 및 물성의 변화를 예측하는 것이 어렵다.
  - 이러한 다공성 물질에 대한 기존의 고압 연구는 제올라이트와 같은 무기물에 국한되었으며 금속·유기 구조체와 같은 합성 다공성 물질의 경우 보고된 고압 연구가 상대적으로 미비하다.
  - 그러나 제올라이트를 비롯한 합성 다공성 물질 역시 압력을 이용한 산업적 활용이 기대되고, 따라서 압력에 대한 구조 및 물성의 변화 연구가 중요하게 대두되고 있다.
  - 예를 들어, ZIF-8을 활용한 고압 기체 흡착 연구는 합성 다공성 물질을 대표하는 물질의 구조 및 물성의 변화가 기체의 종류와 무관하게, 압력의 함수로만 변화함을 보이며, 향후 다른 합성 다공성 물질을 이용한 고압 연구에의 기초 모델로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
  - 고압에서 발견된 소재의 3차원 기공구조에 대한 기하학적 해석을 통해, 소재의 기하구조와 물성간의 상관관계 규명에 기여하고, 신소재의 개발가능성을 높여, 기하학에 기반한 소재분야 원천기술에 활용할 예정이다.

- **광전 소재의 광특성 변화 분석을 통한 신기능성 나노소자 개발**
  - 물리학 및 재료과학의 기술 발전으로 광전자소자의 성능과 집적도가 지속적으로 높아지고 있지만 현재의 기술로는 소자의 성능과 집적도를 높일 수 있는 데에 분명한 한계점이 있어 새로운 대체 기술의 개발이 요구되고 있는 상황이다.
  - 이러한 기술의 한계에 도전하는 나노과학 기술은 나노미터 크기의 나노구조물을 합성하거나 조작하여 전기적, 기계적 성능이 좋은 소재를 개발하는 것이라 볼 수 있다.

- Fe_2Ge, Fe_2Sn에 대한 연구결과는 결정구조의 대칭, 스핀의 정렬방향 및 밴드위상이 2차원 전기 및 자기 성질을 제어하는데 중요하다는 것을 보여주고 있으며, Fe_2Ge 및 Fe_2Sn 단일층의 토폴로지 및 자기특성은 미래 스핀트로닉스의 응용으로 매우 유망할 것으로 예상된다.
- 3차원 형태로 제작된 InGaN/GaN micro-LED는 독특한 광특성을 보인다. 하지만, 이 구조체를 나노사이즈의 극미세 필름으로 제작하였을 경우 기존에 관측하지 못하였던 새로운 발광특성을 보이는 광전소자 개발이 가능할 것이라 기대된다.
- 예를 들어 ZnO는 널리 활용되는 반도체 산화물인데, 이 물질은 Zn, 산소, 및 외부 원자와 관련된 빈자리에 연계된 비화학량론적 결함을 가지는 것이 잘 알려져 있다.
- ZnO-R 및 ZnO-F 형태를 갖는 ZnO 미세구조에서의 고유결함 재분배는 공간 차원의 함수이다. 이것이 구조 상전이 및 광 전도성에 어떻게 영향을 미치는지 확인하고, 적절한 계면 불일치에 의해 생성될 수 있는 새로운 분야에 응용 가능할 것이다.
- 전이금속 칼코젠화합물과 같은 2차원 층상구조 물질은 3차원 물질과는 다른 물리현상을 보인다. 이러한 양자소재는 유연성과 투명성이 좋기 때문에 디스플레이, 우주항공산업 분야에 응용될 수 있는 충분한 잠재력을 갖고 있다. 따라서 2차원 층상구조 물질의 기본개념을 정립하고 메커니즘을 규명하면 광전압 소자, 광트랜지스터, 터널링 소자 등의 차세대 광・전 융합 소자에 응용이 가능할 것이다. 새로운 소자 기술의 선점으로 여러 산업 분야에 그 파급효과가 클 것으로 기대된다.

- **양자 광전자 소자 원천기술 확보**
  - 차세대 양자광전자 소자를 포함한 국내 기술 및 산업 발전을 위한 원천기술을 확보하는 동시에 양자-나노구조물질-광과학 분야 전반에 대한 지식을 섭렵한 우수한 전문가를 육성할 예정이다.
  - 본 교육연구팀은 우수한 연구역량과 연구결과를 기반으로 국가적으로 필요한 차세대 광전자 공학기술 개발을 주도하는 선도적 연구팀으로 발전할 수 있을 것이며, 개발된 원천 기술들이 실용화 및 상업화로 이어질 수 있도록, 구성원을 주축으로 기업체들과의 연구 컨소시엄을 구축하기 위해 최선을 다 할 것이다.
  - 2017년도에 설립한 타이거닉스(주) 회사 (교내 실험실 창업)를 통하여 양자 광전자 소자 연구결과를 실용적으로 응용할 방안을 모색할 예정이다.
  - 열린 양자역학적 광소자 및 집적 광학 시스템은 유전율과 투자율의 복소변조를 통해 파동-중첩 상태를 두 개의 매개변수인 시간과 공간 축에서 동시 제어하는 새로운 이론적 틀을 전개한다. 이를 확인하기 위해 실험적 접근법을 고안하고 실용적인 정보 소자의 가능성을 탐색할 예정이다.
  - 기존의 나노포토닉스 및 플라즈모닉스 기술의 일반화를 통해 광자 상태의 공간 및 시간 의존 특성을 포괄적으로 제어하기 위한 패러다임-전환형 창의적 기반학술 연구를 선도할 계획이며, 이를 통하여 빅데이터, 인공지능, 사물 인터넷 등 차세대 정보산업혁명을 견인할 수 있는 미래기술을 창출하고자 한다.

- **태양전지 소재 개발**

  최근 에너지 문제를 해결하기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있는데, 이 중에서 태양에너지는 인류가 이용할 수 있는 무한한 에너지 중 하나로써 태양전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 현재 상용화된 실리콘 태양전지는 효율이 높지만 가격이 고가인 문제점이 있다. 2012년부터 본격적으로 연구되기 시작한 무/유기 하이브리드 페로브스카이트 태양전지는 짧은 연구 역사에도 불구하고 기존의 유기 및 염료 감응태양전지의 효율을 넘어 기존 상용화된 실리콘 태양전지, 박막형 태양전지의 효율에 근접하고 있다. 이러한 페로브스카이트 하이브리드 태양전지의 효율을 더 개선시키기 위해서는 박막 내의 결함 상태를 최대한 줄이는 것이 매우 중요한데, 이는 캐리어의 효율적이지 않은 재결합이 나타나기 때문이다. 따라서 이러한 태양전지 박막의 결함을 측정하는 기술은 결함을 최적화 시켜

태양전지의 효율을 증가시키는 데 있어 매우 중요한 기술이다. 이 내부 결함 제어 방법은 박막의 제조와 분석에 활용되어 물질의 광전기적 특성 제어 및 소자의 특성을 제어를 통해 관련 산업 분야의 발전에 큰 기여를 할 것으로 기대되고 있다.

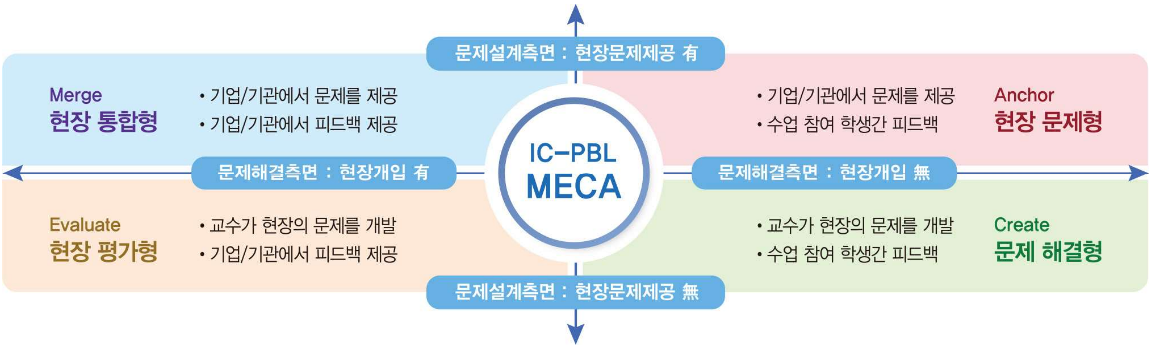
- **양자 스핀트로닉스 소자 개발**
  - 1900년대 중반에 개발된 DRAM과 플래시 메모리는 전하를 저장하여 정보를 표현하는 메모리이다. 이들 소자의 지속적인 소형화와 최적화로 정보량 처리가 상승하였으며 정보화 사회와 인공지능 시대를 열 수 있었다. 하지만 전하저장 기반 메모리는 수 nm 의 미시적 세계에서 근본적인 물리적 한계에 도달하고 있다. 이에 기존 반도체를 대체할 수 있는 우수한 성능을 가진 메모리 개발이 시급한 과제로 떠오르고 있으며 양자물성에 근거한 양자 스핀 기반 반도체와 저항변화 메모리 등이 주목받고 있다. 다국적 IT 및 반도체 기업들은 차세대 메모리의 성공적인 개발 여부가 향후 세계 반도체 산업의 주도권을 결정할 것임을 인지하고 극한물성 기반의 반도체 기술 연구를 지속적으로 진행하고 있다. 하지만 첨단 소자를 개발함에 있어 극저온, 외부방사선 조사 등 외부 환경 변화에 반응하는 특성은 앞으로 연구필요성이 있는 분야이다. 따라서 차세대 메모리 개발의 성패는 극한물성 분야의 뒷받침 의해 결정된다고 하여도 과언이 아니며 이는 국가 산업에도 핵심적인 요소이다.
  - 양자 스핀트로닉스는 스핀을 기초로 하는 전자공학이다. 작은 시공간 스케일에서 일어나는 전자-스핀-궤도-전자기장 상호작용은 아직 이론적 기틀을 쌓아나가는 단계이며, 이를 엄밀히 검증하는 데에도 엄청난 노력이 필요하다. 근본적으로 극한환경에서 동시에 존재하는 물리요소의 상호작용을 따로따로 분리하는 것은 현실적으로 불가능하고, 여러 현상의 중첩된 결과를 얻을 수밖에 없다. 따라서 스핀의 극한물성을 밝혀내기 위해서 정확한 이론 구축과 이를 검증하는 엄밀한 실험이 동시에 이루어져야 한다. 이렇게 밝혀진 극한물성을 기반으로 양자 스핀 기반 반도체 개발 및 최적화로 이어지는 연구에 적용된다.
  - 홍진표 교수는 한양대학교 나노반도체공학과 겸임 교수 및 운영위원으로서 물리학 및 스핀트로닉스의 통합적 교육과 연구를 보여주고 있다. 특히 많은 졸업생들이 기업 산하의 반도체 연구소 및 국가연구소로 취업 하는 등 전문 인력을 양성한 실적을 가지고 있어 우수한 리더십을 보여줄 것으로 기대한다.
  - 본 교육연구팀은 응집물질물리의 극한물성 연구를 통해 스핀트로닉스 소자 개발을 하고자 한다. 강상관계가 유도하는 디랙물질, 모트절연체, 위상부도체, 양자 홀 효과 등 극한물성의 이론적 연구와 spin-transfer torque, spin-orbit torque, domain wall motion, 스커미온 등 양자 스핀트로닉스에서 새로이 연구되는 주제들을 검증하고 실제 소자에 대한 적용 및 응용가능성을 지속하여 연구한다. 이론/실험의 유기적인 연구를 통해 본 연구팀은 극한물성 기반의 양자 스핀트로닉스를 선도하고 나아가 미래 반도체 산업을 주도하는 첨병이 될 것이다.

- **강상관 물질 이해**
  - 강상관 물질이란 강한 전자 상호 작용으로 인해 고온 초전도, 거대자기저항 등과 같은 흥미로운 물성을 보이는 양자물질을 통칭한다. 강상관 양자 물질의 특성을 정확히 기술하거나 예측할 수 있는 이론적 기반이 아직 확립되지 않았다. 본 교육연구팀의 참여교수들은 강상관 전자계 물질에 대한 이론 및 실험 연구를 꾸준히 수행해오고 있다. 특히, 전통적인 응집물질물리 이론에서 풀지 못하는 강상호 작용 문제를 홀로그래피 이론을 통하여 해결하는 연구를 성공적으로 수행하고 있다. 본 교육연구팀은 다양한 강상관 양자물질에 대한 이론 및 실험 연구를 수행하여 이들의 특성을 예측할 수 있는 이론 체계를 확립하고자 한다. 강상관 물질의 계산법이 완성된다면 강상물질에 대한 연구가 지금처럼 물질의 여러 조합이나 파라미터에 대한 변화에 대한 테이블의 작성뿐 아니라 실시간 변화하는

파라미터에 대한 코딩이 가능해져 값비싼 실험을 많이 절약할 수 있을 뿐 아니라 인력과 자원의 중복투자를 피할 수 있게 해 준다. 또한 대표적인 강상관 양자물질인 고온 초전도체의 물성에 대한 이해를 가능케 함으로써 더 높은 초전도 전이 온도를 가진 물질 개발에 큰 기여를 할 것이다.

IC-PBL 강의 확대를 통한 산업·사회 문제 해결

본 교육연구팀은 산업 및 사회 문제 해결을 위해 IC-PBL (industry coupled problem based learning) 프로그램을 적극 활용하고자 한다. IC-PBL는 산업체, 지역사회, 학교의 상호연계를 통해 지식 공유의 차원을 넘어 사회 및 현장에서 발생하는 실제적인 문제를 도출하고 이를 해결할 수 있는 창의 융합형 연구자 육성을 위한 교육 모델이며, 이를 통해 교수자가 학생과 함께 산학연계 성과물을 창출하는 전문적이고 심화된 협력연구를 양성할 수 있다. 본 교육연구팀 참여교수들은 2019년 2학기에 IC-PBL 강좌를 운영하였으며, 2020년 1학기에도 IC-PBL 강좌를 운영하고 있다. 대학원생은 학술적 연구경험을 바탕으로 새로운 지식을 창출하는 자기주도적 연구자로서의 역할 수행을 통해 고급인력으로 성장할 수 있을 것이다.
IC-PBL은 문제 설계 단계의 현장 개입 여부, 문제 해결 단계의 현장 개입 여부에 따라 4가지 유형으로 구분된다. 설계단계의 현장개입 여부는 현장에서 문제를 받거나 교수가 현장의 문제를 개발하는 것을 의미하며, 문제해결 단계의 현장개입 여부는 현장 전문가가 피드백을 실시하거나 참여 학생 간 피드백을 실시하는 것을 의미한다.



[그림 III.9. IC-PBL 강의 유형도]

- 산업 현장의 문제 제시 및 피드백을 위해 산업체에 재직 중인 인력을 겸임교수로 임용하여 IC-PBL 강좌에 활용할 것이다.
- ㈜필옵틱스 회장인 XXX 회장은 본교 물리학과를 졸업하고 창업하여 광학장비 회사를 운영하고 있다. XXX 회장의 IC-PBL 강의 참여를 통해 꾸준한 산학협력 연구의 기반을 다지고자 한다.
- ㈜탑엔지니어링 XXXX 대표이사는 본교 물리학과를 졸업하고 창업하여 ㈜탑엔지니어링을 운영하고 있다. 지난 2013년에는 정밀 광학 실험을 위한 청정 항온항습 실험실 구축을 위해 물리학과에 기부한 바가 있다. 김원남 대표이사를 IC-PBL 강의에 초청하여 산학협력 연구의 기반을 다지고자 한다.
- ㈜용원이엔씨의 XXXX 박사는 본교 물리학과의 겸임교수로 IC-PBL 관련 학부 강의를 담당하고 있다. 추후 대학원 IC-PBL 강의에서 산업체에서 진행하고 있는 양자물질의 극한 물성에 대한 주요 연구 주제와 문제점에 대한 세미나를 진행하고 해당 강의 담당 교수와 수강 학생과 함께 문제를 해결해 나가는 강의를 진행할 것이다.

3. 연구의 국제화 현황

3.1 참여교수의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

3 연구의 국제화 현황

3.1 참여교수의 국제화 현황

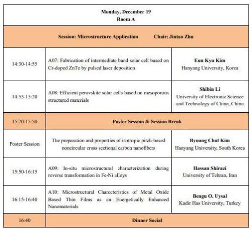
① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

김은규 교수

- 2016년 국제학술대회 조직위원장: Conference Chair of "9th International Conference on Semiconductor Quantum Dots (QD2016)", Jeju, Korea (2016. 5. 22-27)
- 2016년 국제학술대회 조직위원장: Organizing Committee Chair of "18th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2016)", Jeju, Korea (2016. 7. 3-7)
- 2016년 국제학회 초청강연: "High Performance of Nonvolatile Memory with Van Der Waals Heterostructures of WS_2 and Multi-Layered Graphene", Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2016 (PRiME 2016), Honolulu, Hawaii, USA (2016. 10. 2-7) (Invited).
- 2016년 국제학회 초청강연: "Fabrication of intermediate band solar cell based on Cr-doped ZnTe by pulsed laser deposition", 2016 Energy Materials and Nanotechnology (EMN) Meeting on Texture and Microstructure, Hong Kong, China (2016. 12. 18-22) (Invited).
- 2017년 국제학술대회 조직위원장: Conference Chair of "International Thin Films Conference (TACT 2017)", Hualien, Taiwan (2017. 10. 15-18)

[SAM, 2019]

[TACT, 2017]



[MNC, 2016]

- 2017년 국제학술대회 조직위원장: Organizing Committee Chair of "30th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2017)", Jeju, Korea (2017. 11. 6-9)
- 2018년 국제학회 기조강연: "Formation of intermediated band in Cr-doped ZnTe during pulsed laser deposition and its photovoltaic application", Taiwan Association for Coating and Thin Film Technology (TACT) 2018 Annual Meeting, Taipei, Taiwan (2018. 10. 12-13) (Plenary).
- 2019년 국제학회 초청강연: "Carrier transport of thin film transistor with Nb-doped WSe_2 channel", Energy Materials and Nanotechnology (EMN) Barcelona-ICAS 2019, Barcelona, Spain (2019. 8. 19-23) (Invited).
- 2019년 국제학술지 편집위원: Journal Editorial Member, "Science of Advanced Materials", American Scientific Publishers (2008. 10. 1 ~ 현재)

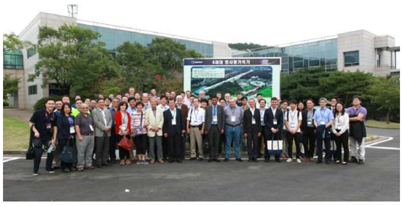
[TACT, 2018]

[TACT, 2018]

[PRiME, 2016]

김재용 교수

- IUCr 공동주최 (2016.09.20.-24, 포항)
  - International Union of Crystallography (IUCr) High-Pressure Workshop을 포항가속기연구소에서 공동으로 주최하였다. 12개국 약 80여명의 연구원이 참석하였다.

[IUCr 고압 워크샵, 포항가속기연구소 (2016)]

- 제1회 한중고압심포지엄 조직위원장 (2017.11.12.-16, 제주)
  - 압력기반연구 전문 심포지엄으로써 국내에서 최초로 조직하였다. 한국, 중국, 미국, 러시아 4개국에서 67명의 연구원이 43편의 백만기압 단위 압력연구 결과를 발표하였다. 한중고압연구 심포지엄을 양국에서 번갈아 개최하여 정례화하기로 하였다.


[제1회 한중고압심포지엄, 2017]

- 제2회 한중고압심포지움 공동위원장 (2018.08.20.~24, 장춘)
  - 한국과 중국간 초고압연구의 활성화와 정례화를 위하여 제 2차 한중고압심포지엄을 중국 장춘에 위치한 길림대학교에서 개최하였다. 참고로 본 심포지엄은 제 20차 중국고압학회와 공동으로 주최되어 한중 양국간 압력 기반 극한물성분석관련 전문 학회를 구성하는 계기가 되었다. 국내에서는 교수와 연구원, 그리고 대학원생 등 22명이 참석하였고 중국에서는 약 500여명이 참석하였다.

[제2회 한중고압심포지움, 길림대학교 (2018)]

- 제10회 아시아고압학회 (www.achprg10.org) 조직위원장 (2018.09.26.~현재)
  - 국내 고압연구의 현황을 세계에 소개하고 극한환경연구를 활성화하고자 아시아고압학회를 세계고압초전도학회, 세계고압반도체학회와 함께 유치하였다. 본 학회에서는 물리, 화학, 재료, 금속, 지구과학, 생명과학 등에서 초고압 관련된 거의 모든 분야의 융합연구 결과를 논의 할 것이다. (2020.11.22.-26, 제주 개최 예정)

- 국제학회 The 9th Asian Conference on High Pressure Research, Keynote Speaker (싱가폴, 2018.09.30.)
- 제3회 한중고압심포지움 공동위원장 (2019, 09.23-26, 한양대학교)

[제3회 한중고압심포지움, 2019]

- 북경고압과학연구센터 초청강연 (상해, 중국, 2017.01.10.)
- 양주대학교 물리학과 초청강연 (양주, 중국, 2019.06.07.)

[북경고압연구센터 초청강연, 2017] [양주대학교 물리학과 초청강연, 2017]

- 기타:
  - 한국물리학회에서 극한물성분야 Pioneer 세션 조직 (2017 봄, 가을)
  - Journal of Magnetics 편집위원 (2015.01.01 - 현재)
  - GRDC 협의회장 (2019.01.01-12.31)

  The 10th International Symposium of Global Research Development Centers 조직위원장 (2019.09.23) 과학기술정보통신부 사업의 국제협력 프로그램 중 가장 큰 사업인 Global Research and Development Center (GRDC)사업을 운영하는 각 센터협회기구의 2019년 회장으로서 22개국 국제공동연구센터들이 속해 있는 GRDC사업이 성공적으로 유지될 수 있도록 운영하였다.

[제10회 GRDC 심포지움, 2019]

문순재 교수

- 2016년 7월 3일에서 7월 6일까지 열린 제18회 International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications 학회의 재무를 담당하는 조직위원으로 활동하였다.
- 2017, 2018년: 한국물리학회 국제 학술지인 Journal of the Korean Physical Society (JKPS)의 편집부실무이사로 활동하였다.
- 2020년 개최될 10th Asian Conference on High Pressure Research의 조직위원으로 활동하고 있다.

송석호 교수

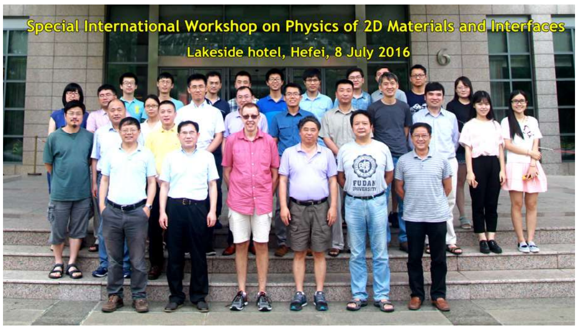
- Meta 2019년 국제학회 초청강연: "Active parity-time symmetric and exceptional point structures", Lisbon, Portugal (2019. 7. 23-26) (Invited).
- Meta 2018년 국제학회 초청강연: "Broadband time-asymmetric silicon-photonic architecture grounded on non-Hermitian wave dynamics near exceptional points", Marseille, France (2018. 6. 24-30) (Invited).
  - Meta 국제학회(International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics)는 메타 물질, 광결정 및 플라즈마에 관하여 2002년도부터 매년 열리는 학술학회로서, 1,000여명에 가까운 참석자들이 총회 강연, 기조 강연, 초청 강연 특별 세션, 일반 세션에 참가하는 학회이다. 일반적으로 메타 물질 및 음수 굴절률, 메타트로닉스 및 그래핀 메타물질, 플라즈몬 및 나노 광자, 플라즈몬 강화 광전지, 광자 및 플라즈몬 결정, 광자 재료 (Graphene, MoS_2, WS_2), 양자 광자, 나노 바이오 광자, 구조 광, 근거리 광학 및 나노 광학, 클로킹, 음향 메타 물질, 광 역학, 나노 제작 기술 등이 주된 주제로 다루어진 대규모 국제학회이다.
- 2019 Nano Korea 제17회 국제나노기술 심포지엄 및 나노융합대전 (2019.7.2-7.5)에서 연구부문 최우수상 (국무총리상) 수상
  - 나노코리아 심포지엄은 2003년부터 매년 개최되는 국제학술대회로서 나노기술분야의 최신정보와 연구동향을 다루는 국내 최대 규모의 나노기술 학술대회이다. 심포지엄에는 20여개국에서 2,000여명의 산학연 연구자가 참여하고 있으며, 심포지엄과 동시 개최되는 나노코리아 전시회에는 18개국 400개 기관(기업)에서 첨단 나노융합기술 응용제품을 출품하고 있다. 2019년에는 세계적인 석학들의 기조 및 주제 강연은 물론 "Nanomaterials, the building block for the future"을 심포지엄의 주요 테마로 선정하여 12개의 Technical Session과 Tutorial Session, 다양한 Satellite Session 등이 있었다.

신상진 교수

- 2014.01-2015.12 and 2017.01-2018.12, 4년간 JKPS 편집위원장.
- 2015.07.11. Holographic duality for condensed matter physics, (Beijing) 국제학술대회 초청강연.
- 2017.08.18. Geometry and Holography for Quantum Criticality, (apctp, postech) 국제학술대회 초청강연, "Small Fermi surfaces and strong correlation effects in Dirac materials"
- 2017.09.19. KIAS-YITP joint workshop 2017 "Strings, Gravity and Cosmology", (Kyoto), 국제학술대회 초청강연, "Holography and Dirac material"
- 2017.11.16. East Asian Joint Workshop on Fields and Strings 2017 (KEK, Tokyo), 국제학술대회 초청강연.
- 2018.06.20. International workshop for String theory, Gravitation and Cosmology (KIAS, Seoul), 국제학술대회 초청강연, "Hubbard model and Mott transitions in holography"
- 2018.08.03. Gauge/Gravity duality 2018, (Wüsberg) 국제학술대회 초청강연.
- 2019.08. Quantum Matter from the Entanglement and Holography (APCTP, Postech), 국제학술대회 조직위원장.

조준형 교수

- Nature 자매지 “Scientific Reports” 편집위원 (2014-2016)
- 국제학회 The 1st Asia-Pacific Symposium on Solid Surfaces 초청강연 (러시아, 블라디보스토크, 2014.09.30.)
- Special International Workshop on Physics of 2D Materials and Interfaces Lakeside hotel, Hefei, 8 July 2016 (중국, 허페이, 2016.07.08.)
- 국제학회 2016 IBS conference on Surface Atomic Wires 초청강연 (대한민국, 포항, 2016.08.19.)
- 국제학회 The 6th International Workshop on Quantum Energy 초청강연 (중국, Xiangtan, 2016.09.22.)
- 국제학회 The 1st Central China Workshop on Computational Materials & Quantum Transport 초청강연 (중국, Zhengzhou, 2017.04.21.)
- 중국 정저우대학 격물치리 학술강좌 초청세미나 “Nature of insulating states in low-dimensional electron systems” (중국, 정저우, 2018.07.06.)
- 제2회 한중고압심포지움 초청강연 The 20th China High Pressure Conference & the 2nd China-Korea (HYU) High Pressure Symposium “Mechanism of Pressure-Induced Melting of Charge Density Wave and Mott States in 1T-TaS_2” (중국, 장춘, 2018.08.24.)



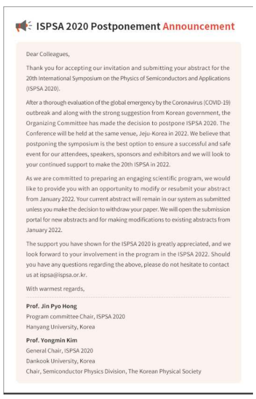
[중국 정저우, 2018]

[제2회 한중고압심포지움, 중국 장춘, 2018]

홍진표 교수

- 2015.05.27. Bellarus Minsk, FANEM 국제학술대회 초청강연 “Current approaches of spin torque transfer magnetic random access memory devices”
- 2020년 7월 제주도에 예정된 “ The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications” 프로그램 위원장을 하고 있다 (2019.7.~현재).

[FANEM, 2015]



[ISPSA, 2020]

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 최근 5년간(2015.1.1.-20019.12.31.) 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국/소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
1	김재용		중국/Center for High Pressure Science & Technology Advanced Research, 일본/Japan Synchrotron Radiation Research Institute 미국/University of Hawaii at Manoa	Jaeyong Kim, and "Pressure-induced fluorescence enhancement of FAαPbBr2+α composite perovskites" Nanoscale, (2019)	10.1039/c8nr09780a, https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/nr/c8nr09780a
2	문순재		미국/University of California, Santa Barbara	and S. J. Moon, Magnetically driven band shift and metal-insulator transition in spin-orbit-coupled Sr3(Ir1-xRux)2O7, Phys. Rev. B, Vol. 98, 035110 (2018).	10.1103/PhysRevB.98.035110, https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.035110
3	문순재		미국/ University of California, Santa Barbara	and S. J. Moon, Infrared Spectroscopic Evidences of Strong Electronic Correlations in (Sr1-xLax)3Ir2O7, Sci. Rep. 6, 32632 (2016).	10.1038/srep32632, https://www.nature.com/articles/srep32632
4	송석호		캐나다/University of Ottawa, Ottawa, Ontario	Seok Ho Song, "Time-asymmetric loop around an exceptional point over the full optical communications band," Nature 562, 86 (2018).	10.1038/s41586-018-0523-2, https://www.nature.com/articles/s41586-018-0523-2
5	신상진		미국/Harvard University	and Sang-Jin Sin (2017), Holography of the Dirac Fluid in Graphene with Two Currents. Phys. Rev. Lett. 118, 036601	10.1103/PhysRevLett.118.036601, https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.036601
6	조준형		미국/아이오와 주립대학교	J.-H. Cho (2015) Nature of the insulating ground state of the 5d postperovskite CaIrO3. Phys. Rev. Lett. 115, 096401.	10.1103/PhysRevLett.115.096401, https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.115.096401

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 최근 5년간(2015.1.1.-20019.12.31.) 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국/ 소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
7	조준형		중국/중국과학기술대학	J.-H. Cho, , Flatbands and emergent ferromagnetic ordering in Fe3Sn2 kagome lattice. Phys. Rev. Lett. 121, 096401 (2018).	10.1103/PhysRevLett.121.096401, https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.096401

3.1 참여교수의 국제화 현황

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

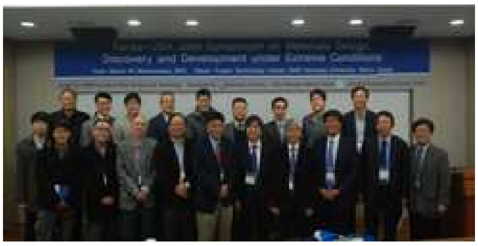
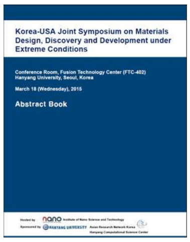
외국기관과의 연구자 교류를 통한 국제화는 본 학과가 발전하기 위한 3대 핵심전략 중 하나이다. 국제화를 통해 거의 고착화된 국내 대학/학과 서열을 극복하고 외국 연구자들과의 교류를 넓히고 우수인력을 확보하여 해외 우수연구기관들과의 국제공동연구를 통하여 세계적인 연구성과를 도출할 수 있다. 본 교육연구팀이 지난 5년간 발표한 논문 가운데 Physical Review Letters급 이상의 우수 논문의 50%가 국제공동 연구를 통한 결과물이다. 이는 국제 공동 연구가 질적으로 우수한 연구 결과를 내는데 효율적인 방법임을 시사한다. 특히 극한물성연구처럼 국내보다 해외, 특히 중국에 연구인력과 인프라가 많이 구축되어 있는 현실에서는 더욱 그렇다. 국내 물리학과 대학원 진학률이 저조하고 젊은 과학자가 부족한 현실에서, 인적자원이 풍부한 중국, 베트남과의 교류는 매우 중요하다. 이러한 배경에서 본 사업팀은 중국북경고압연구소와 길림대학 등을 비롯한 여러 기관들과 연구와 교육면에서 전략적 파트너십을 수립하였다. 최근의 국제교류활동 실적을 선별하여 정리하면 다음과 같다.

MoU (7건) 외 LOI 체결 및 인력교류 (증빙 1)

- Carnegie Institution for Science, 미국 (고압연구전반에 걸친 국제공동연구 의향서 체결, 2015.06.12.)
- Carnegie Institution for Science-HPSTAR-한양고압연구센터, 3개 기관 고압연구관련 상호협력 LoI 체결 후 학생과 연구원, 교수진 등 상호교류 진행하였다.



- 극한환경연구관련 한-미 심포지엄 개최 (2015.08): XXXX 교수 (미국), XXXXXXXXXXX 소장, XXXXX XXX 교수 (중국), XXXX 교수 (한국) 등 극한환경 수소저장 및 수송현상 국내외 전문가 워크샵 진행하였고 국내 고압연구센터가 태동하는 계기가 되었다.

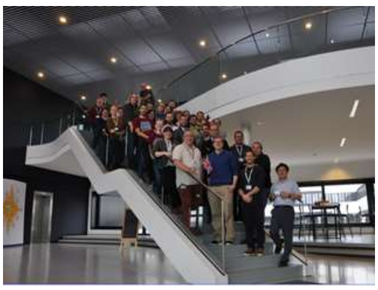
해외석학 교류를 통한 공동연구 수행

- 특임교수: XXXXXXXX (HPSTAR), 압력관련 연구방향설정 및 학과 연구방향 컨설팅 (증빙 2).
- 겸임교수: XXXXXXXXXXXXX (CIS), XXXXXXXXXX (HPSTAR): 고압-초전도관련 공동연구수행 및, 대학원과목 팀티칭과 학위공동 지도교수 병행한다 (증빙 3).
- XXXXXXXXXX 교수, XXXXXXXXX 교수 물리학과 겸임교수 발령: 고압-초전도관련 공동연구 수행, K-H 고압초전도 관련 논문 작성 중이다.
- XXXXXX 교수와 고압-고온 관련 연구수행: Nanoscale (2019), Nano Research (2019), J. Phys.: Condens. Matter. (2020) 등 논문 4편 출간하고 현재 압력연구 전반에서 공동연구 수행 중이다.
- HPSTAR의 XXXXXXXXXX 박사를 한양고압연구센터 연구원으로 발령하여 공동연구를 수행하였고, 결과를 Science Advance (2019) 논문으로 출간하였다 (증빙 4).

- HPSTAR에 있는 XXXXXXXXXX (2016년 5월 18일) 교수와 Havard 대학 XXXX 교수 (2016년 6월 28일)를 한양대에 초청하여 Hanyang Nobel Lecture 일반 강연 및 전문 강연 진행하였다.

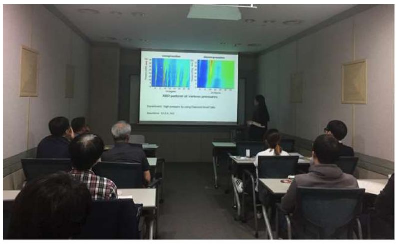


- 조준형 교수는 그동안 여러 편의 논문을 공동출간 하였던 XXXXX 교수 (중국 정저우대학) 그룹의 석사 졸업생 2인을 현재 한양대학교 대학원 박사과정에 입학시켜 공동연구 중이다 (증빙 5).
- 중국 수조대학의 XXX 교수 그룹의 학생들이 조준형 교수 그룹의 방문연구원으로 방문하여 공동연구를 진행 중에 있다. 조준형 교수는 XXXX 교수와 박사후 연구원, 대학원생을 본교에 초청하여 본교 대학원생이 수조대학에 방문하는 한-중 협력연구사업 과제를 제출, 현재 과제평가 중에 있다 (증빙 6).
- 허난대학의 조교수인 XXXXXXXXXX 박사는 조준형 교수 연구실에서 1년간 박사후 연구원으로 재직하여 세 편의 연구실적을 내었다 (증빙 7).
- 신상진 교수는 이미 여러 편의 논문을 함께 출간한 XXXXXXX 교수 (상해대학교)를 "Holography and Geometry of Quantum Entanglement" 포커스 워크샵 (2018년, 한양대)에 초청하여 공동연구를 지속하고 있으며 XX 교수 또한 신상진 교수를 방문석좌교수로 추진 중에 있다 (증빙 8).
- 송석호 교수는 캐나다의 University of Ottawa 물리학과 XXXXXXXX 교수와의 공동 연구를 통해 Nature 논문 1편, Nature Communications 2편을 발표하였다 (증빙 9).
- 문순재 교수는 2018년 2월부터 1년 동안 XXXX 교수 (University of California, San Diego) 연구팀을 방문하여 타이타늄 산화물에 대한 공동연구를 진행하였고, 결과물을 Phys. Rev. X에 투고하였다 (증빙 10).
- 홍진표 교수는 University of Oxford의 Nano Science and Technology Lab of Electrical Engineering과 새로운 물질과 소자 기술을 위한 긴밀한 협력 연구를 위해 MoU를 체결하였고, 옥스퍼드, 케임브리지의 영국 연구팀과 함께 전이금속 황화물 합성법에 관해 공동연구를 수행하였다 (증빙 11).
- XXXXXXX 교수 (양주대학교)는 2018.03.01.부터 고압연구소를 1년 동안 방문하여 고압관련 연구를 공동수행하고 산화물의 압력에 따른 구조 및 광특성 변화에 관한 논문을 투고하였다 (증빙 12).
- Eu-XFEL (김재용 교수의 8개국 유럽연합팀과 공동연구수행): 15 GPa, 섭씨 2000도 이상에서 텅스텐의 수소반응을 나노초 단위 극한시간 프레임에서 실시간으로 세계최초로 측정하였다. 본 결과는 8개국 공동으로 논문 작성 중이다 (아래 그림 참조).



기타 연구자 교류실적

- 해외 연구자 세미나초청: 11회
- 국제학회 주최: 한중고압심포지엄 3회 개최

계획

- 본 교육연구팀은 그동안 활발히 수행해 온 저차원시료 제작과 분석, 압력과 온도 그리고 시간 스케일에서의 국제공동연구 모멘텀을 더욱 가속화 할 예정이다.
- 국제교류의 핵심은 인력과 연구시설이니 만큼, 그동안 쌓아온 상호신뢰를 기반으로 해외 대형연구시설을 활용하여 국제교류를 지속할 예정이다.
- 본 교육연구팀의 강점은 양자물질 극한물성을 연구하기에 필요한 응집물질물리와 광과학 분야 최우수 교수들과 우수한 대학원생들이 단일팀을 이루어 시료를 자체적으로 제작하고 이론과 실험이 융합된 연구를 할 수 있는 있다는 점이다. 본 교육연구팀은 이러한 우리만의 장점을 바탕으로 중국 일본등 주변국들이 보유한 첨단 측정장비들을 공동으로 활용하고 아시아기반 국제협력 체제를 구축함으로써 양자물질 극한물성분야 교육과 연구의 메카가 될 것이다.
- 중국의 경우, 현재 본 교육연구팀이 MoU 기반 공동연구를 수행하고 있는 북경고압연구센터, 길림대학교들과의 교류를 더욱 활발히 하여, 압력과 온도 전반에 걸친 공동 연구를 지속할 것이다. 특히 서울에서 상해, 북경, 장춘에 이르는 시간은 웬만한 국내 이동시간보다 짧아 활발한 교류를 유지할 수 있다.
- 1950년대부터 시작하여 극한연구분야의 뿌리가 깊고 연구의 범위가 넓은 일본의 경우, J-PARC, SPring-8을 비롯한 대형연구시설들과 우수한 인적 자원을 보유하고 있다. 온도 · 압력 · 시간을 매개로 하는 극한물성 연구분야가 활성화되어 있는 동경대학, 나고야대학, 오사카대학, 도호쿠대학 등의 물리학과와의 공동연구 네트워크를 시급히 구축할 것이다.
- 미국 카네기연구소와의 연구협력을 더욱 증진할 것이고, 유럽과 미국 여러 곳의 가속기시설들을 이용한 실험에 학생들이 직접 참여하여 세계최고수준의 연구를 주도적으로 수행할 수 있도록 국제협력을 더욱 강화해 갈 것이다.
- 아직 극한연구가 활성화되어 있지 않은 베트남을 포함한 인도, 태국, 싱가폴, 말레이시아 기관들과의 국제공동연구를 개척하여 해외 유학생들을 다양화 할 것이다.
- 교육연구팀 모든 참여교수들은 최소 1개 해외기관 연구실과의 개별적인 1:1 공동연구 네트워크를 구성하여 학생들을 장기파견 시키고 이로부터 우수한 결과를 도출하도록 할 계획이다.
- 해외 우수연구기관 연구실과의 공동연구를 통하여 해외 현지국가에서 제공하는 국제협력 프로그램, 예를 들어 NSF, DARPA 등에 적극적으로 참여하여 해외연구비를 수주 할 계획이다.
- 국제적으로 연구업적이 훌륭한 연구자를 특임 혹은 학과 겸임교수로 발령하여 학생들에게 양질의 강의를 제공하고 첨단연구결과를 실시간으로 접할 수 있도록 할 계획이다.
- 결론적으로, 국제화를 통하여 본 교육연구팀은 중국과 일본 연구팀들과의 국제공동연구를 주도하고 베트남, 태국 대학들과의 관계를 포함하고, 미국과 유럽국 기관들과의 교류를 증진시켜 극한물성 연구분야에서 세계 최고 수준의 교육연구팀이 될 수 있도록 교수와 학생 모두 노력할 것이다.

[첨부 1] 2020년도 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 현황

기준일	소속대학원 학과(부)	성명		직급	연구자 등록번호	세부 전공분야	신임/기존	사범대/분교	임상/기초 건축공학/건축학 인문사회계열	외국인/내국인	사업 참여 여부	비고
		한글	영문									
2020.05.14	물리학과	송석호	SONG SEOK HO	교수		광자기술	기존			내국인	참여	
2020.05.14	물리학과	신상진	Sang-Jin Sin	교수		장물리이론	기존			내국인	참여	
2020.05.14	물리학과	홍진표	Jin Pyo Hong	교수		반도체물리	기존			내국인	참여	
2020.05.14	물리학과	김재용	Kim, Jae-yong	교수		표면/경계면 물리	기존			내국인	참여	
2020.05.14	물리학과	조준형	Cho Jun-Hyung	교수		표면/경계면 물리	기존			내국인	참여	
2020.05.14	물리학과	김은규	Eun Kyu Kim	교수		반도체물리	기존			내국인	참여	
2020.05.14	물리학과	문순재	Soonjae Moon	부교수		에너지띠/전자구조	기존			내국인	참여	

전체 교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	7	기존 교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	7	신임교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	0
전체 교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	7	기존 교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	7	신임교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	0

신임교수 실적 포함 여부	기타 업적물(저서, 특허, 기술이전, 창업 실적)/연구비/ 교육역량 대표실적	☐ 예	☐ 아니오

[첨부 2] 2020년도 교육연구팀 참여교수의 지도학생 현황

기준일	소속대학원 학과(부)	성명		학번	생년 (YYYY)	외국인/ 내국인	자교/ 타교	지도교수 성명		학위과정		사업 참여 여부	비고 (임상구분)
		한글	영문					성명	임상/기초	과정	재학 학기수		
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	김은규		박사	5	미참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	김은규		박사	9	미참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	김은규		박사	9	미참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	문순재		박사	9	미참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	신상진		박사	4	참여	
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	조준형		박사	2	참여	
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	조준형		박사	6	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	김은규		석박사통합	5	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	김은규		석박사통합	5	참여	
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	김은규		석박사통합	9	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	김은규		석박사통합	7	참여	
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	김재용		석박사통합	4	참여	
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	김재용		석박사통합	4	참여	

기준일	소속대학원 학과(부)	성명		학번	생년 (YYYY)	외국인/ 내국인	자교/ 타교	지도교수 성명		학위과정		사업 참여 여부	비고 (임상구분)
		한글	영문					성명	임상/기초	과정	재학 학기수		
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	김재용		석박사통합	3	참여	
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	김재용		석박사통합	10	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	송석호		석박사통합	6	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	송석호		석박사통합	3	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	송석호		석박사통합	14	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	송석호		석박사통합	7	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	송석호		석박사통합	6	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	조준형		석박사통합	5	참여	
2020.05.14	물리학과					외국인	타교	조준형		석박사통합	4	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	조준형		석박사통합	13	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	홍진표		석박사통합	6	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	홍진표		석박사통합	6	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	송석호		석박사통합	16	미참여	

기준일	소속대학원 학과(부)	성명		학번	생년 (YYYY)	외국인/ 내국인	자교/ 타교	지도교수 성명		학위과정		사업 참여 여부	비고 (임상구분)
		한글	영문					성명	임상/기초	과정	재학 학기수		
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	문순재		석박사통합	1	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	자교	김은규		석사	3	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	홍진표		석사	1	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	김은규		석사	1	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	송석호		석사	1	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	송석호		석사	1	참여	
2020.05.14	물리학과					내국인	타교	송석호		석사	1	참여	

전체 대학원생 수 (명)	석사	6	참여 대학원생 수 (명)	석사	6	참여비율(%)	석사	100.00
	박사	7		박사	3		박사	42.86
	석·박사통합	20		석·박사통합	19		석·박사통합	95.00
	계	33		계	28		전체	84.85
자교 학사 전체 대학원생 수(명)	석사	1	자교 학사 참여 대학원생 수(명)	석사	1	자교학사 참여비율(%)	석사	100.00
	박사	2		박사	1		박사	50.00
	석·박사통합	8		석·박사통합	7		석·박사통합	87.50
	계	11		계	9		전체	81.82
외국인 전체 대학원생 수(명)	석사	0	외국인 참여 대학원생 수 (명)	석사	0	외국인 참여비율(%)	석사	-
	박사	2		박사	2		박사	100.00
	석·박사통합	6		석·박사통합	6		석·박사통합	100.00
	계	8		계	8		전체	100.00

[첨부 3] 최근 3년간 참여교수의 지도학생 확보 실적

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	1				내국인		송석호	석사
2020.05.14	4월 1일	2				내국인		송석호	석사
2020.05.14	4월 1일	3				내국인		송석호	석사
2020.05.14	4월 1일	4				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	5				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	6				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	7				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	8				내국인		조준형	석사
2020.05.14	4월 1일	9				내국인		신상진	석사
2020.05.14	4월 1일	10				내국인		신상진	석사
2020.05.14	4월 1일	11				내국인		홍진표	석사
2020.05.14	4월 1일	12				내국인		홍진표	석사

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	13				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	14				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	15				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	16				내국인		문순재	박사
2020.05.14	4월 1일	17				내국인		홍진표	박사
2020.05.14	4월 1일	18				내국인		송석호	박사
2020.05.14	4월 1일	19				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	20				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	21				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	22				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	23				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	24				내국인		문순재	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	25				내국인		신상진	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	26				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	27				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	28				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	29				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	30				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	31				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	1				내국인		송석호	석사
2020.05.14	10월 1일	2				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	3				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	4				내국인		조준형	석사
2020.05.14	10월 1일	5				내국인		김은규	석사

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	6				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	7				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	8				내국인		김재용	석사
2020.05.14	10월 1일	9				내국인		문순재	석사
2020.05.14	10월 1일	10				내국인		신상진	석사
2020.05.14	10월 1일	11				내국인		신상진	석사
2020.05.14	10월 1일	12				내국인		홍진표	석사
2020.05.14	10월 1일	13				내국인		홍진표	석사
2020.05.14	10월 1일	14				내국인		홍진표	석사
2020.05.14	10월 1일	15				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	16				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	17				내국인		김은규	박사

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	18				내국인		문순재	박사
2020.05.14	10월 1일	19				내국인		홍진표	박사
2020.05.14	10월 1일	20				내국인		송석호	박사
2020.05.14	10월 1일	21				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	22				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	23				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	24				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	25				내국인		문순재	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	26				내국인		신상진	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	27				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	28				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	29				내국인		홍진표	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	30				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	31				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	32				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	33				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	34				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	35				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	36				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	1				내국인		송석호	석사
2020.05.14	4월 1일	2				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	3				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	4				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	5				내국인		조준형	석사

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	6				내국인		김재용	석사
2020.05.14	4월 1일	7				내국인		김재용	석사
2020.05.14	4월 1일	8				내국인		문순재	석사
2020.05.14	4월 1일	9				내국인		신상진	석사
2020.05.14	4월 1일	10				내국인		홍진표	석사
2020.05.14	4월 1일	11				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	12				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	13				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	14				내국인		문순재	박사
2020.05.14	4월 1일	15				내국인		송석호	박사
2020.05.14	4월 1일	16				외국인		조준형	박사
2020.05.14	4월 1일	17				외국인		김은규	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	18				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	19				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	20				내국인		문순재	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	21				내국인		신상진	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	22				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	23				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	24				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	25				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	26				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	27				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	28				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	29				내국인		송석호	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	30				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	31				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	1				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	2				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	3				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	4				내국인		문순재	박사
2020.05.14	10월 1일	5				외국인		조준형	박사
2020.05.14	10월 1일	6				내국인		송석호	석사
2020.05.14	10월 1일	7				내국인		송석호	석사
2020.05.14	10월 1일	8				내국인		조준형	석사
2020.05.14	10월 1일	9				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	10				내국인		김은규	석사

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	11				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	12				내국인		김재용	석사
2020.05.14	10월 1일	13				내국인		김재용	석사
2020.05.14	10월 1일	14				내국인		문순재	석사
2020.05.14	10월 1일	15				내국인		홍진표	석사
2020.05.14	10월 1일	16				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	17				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	18				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	19				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	20				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	21				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	22				외국인		김재용	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	23				내국인		신상진	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	24				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	25				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	26				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	27				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	28				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	29				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	30				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	31				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	32				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	33				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	34				내국인		조준형	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	35				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	1				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	2				내국인		김은규	석사
2020.05.14	4월 1일	3				내국인		김재용	석사
2020.05.14	4월 1일	4				내국인		문순재	석사
2020.05.14	4월 1일	5				내국인		송석호	석사
2020.05.14	4월 1일	6				내국인		조준형	석사
2020.05.14	4월 1일	7				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	8				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	9				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	10				내국인		김은규	박사
2020.05.14	4월 1일	11				내국인		김은규	박사

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	12				내국인		문순재	박사
2020.05.14	4월 1일	13				내국인		신상진	박사
2020.05.14	4월 1일	14				외국인		조준형	박사
2020.05.14	4월 1일	15				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	16				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	17				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	18				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	19				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	20				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	21				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	22				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	23				내국인		송석호	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	4월 1일	24				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	25				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	26				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	27				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	28				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	29				내국인		신상진	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	30				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	31				외국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	32				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	33				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	34				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	4월 1일	35				내국인		홍진표	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	1				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	2				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	3				내국인		김은규	석사
2020.05.14	10월 1일	4				내국인		김재용	석사
2020.05.14	10월 1일	5				내국인		송석호	석사
2020.05.14	10월 1일	6				내국인		송석호	석사
2020.05.14	10월 1일	7				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	8				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	9				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	10				내국인		김은규	박사
2020.05.14	10월 1일	11				내국인		문순재	박사
2020.05.14	10월 1일	12				내국인		신상진	박사

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	13				외국인		조준형	박사
2020.05.14	10월 1일	14				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	15				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	16				내국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	17				외국인		김은규	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	18				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	19				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	20				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	21				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	22				외국인		김재용	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	23				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	24				내국인		송석호	석박사통합

연도	기준일자	연번	성 명		학번	외국인/내국인	생년 (YYYY)	지도교수 성명	학위과정
			한글	영문					
2020.05.14	10월 1일	25				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	26				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	27				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	28				내국인		송석호	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	29				내국인		신상진	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	30				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	31				외국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	32				내국인		조준형	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	33				내국인		홍진표	석박사통합
2020.05.14	10월 1일	34				내국인		홍진표	석박사통합

대학원생 수(명)	석사	2017년	13.00	석박사통합	2017년	14.50	외국인 학생 수	2017년	3.00
		2018년	10.00		2018년	17.50		2018년	4.00
		2019년	6.00		2019년	21.00		2019년	7.50
		전체	29.00		전체	53.00		전체	14.50
	박사	2017년	6.00	총계	2017년	33.50			
		2018년	5.50		2018년	33.00			
		2019년	7.50		2019년	34.50			
		전체	19.00		전체	101.00			

[첨부 4] 최근 3년간 대학원생 배출 실적 (졸업 및 취(창)업 실적)

연도	기준월	연번	성 명		학번	생년 (YYYY)	지도교수 성명	임상/기초 건축학/건축공학 인문사회계열	취득 학위	입학 년월	취(창)업구분	취(창)업정보		
			한글	영문								회사명	취(창)업 구분	근무 지역
2017년	2월	1					홍진표	기초	박사					
2017년	2월	2					홍진표	기초	박사					
2017년	2월	3					홍진표	기초	석사					
2017년	2월	4					홍진표	기초	박사					
2017년	2월	5					김재용	기초	박사					
2017년	2월	6					송석호	기초	박사					
2017년	2월	7					김은규	기초	석사					
2017년	8월	1					김은규	기초	석사					
2017년	8월	2					송석호	기초	석사					
2017년	8월	3					송석호	기초	석사					
2018년	2월	1					김은규	기초	석사					
2018년	2월	2					김은규	기초	석사					

연도	기준월	연번	성 명		학번	생년 (YYYY)	지도교수 성명	임상/기초 건축학/건축공학 인문사회계열	취득 학위	입학 년월	취(창)업구분	취(창)업정보		
			한글	영문								회사명	취(창)업 구분	근무 지역
2018년	2월	3					김은규	기초	박사					
2018년	2월	4					김은규	기초	석사					
2018년	2월	5					홍진표	기초	석사					
2018년	2월	6					홍진표	기초	석사					
2018년	8월	1					신상진	기초	석사					
2019년	2월	1					홍진표	기초	박사		취업	한국과학기술연구원	비정규직	대전
2019년	2월	2					홍진표	기초	석사		국내진학			
2019년	2월	3					홍진표	기초	박사		취업	한국표준과학원	비정규직	대전
2019년	2월	4					김은규	기초	석사		취업	SK하이닉스	정규직	경기도 이천
2019년	2월	5					김은규	기초	박사		취업	LG디스플레이	정규직	서울
2019년	8월	1					문순재	기초	석사		취업	우신보석감정원	정규직	서울

연도	기준월	연번	성 명		학번	생년 (YYYY)	지도교수 성명	임상/기초 건축학/건축공학 인문사회계열	취득 학위	입학 년월	취(창)업구분	취(창)업정보		
			한글	영문								회사명	취(창)업 구분	근무 지역
2019년	8월	2					조준형	기초	석사		취업	한국세라믹기술원	비정규직	전주

졸업생	2017년	전체	석사	5	2018년	전체	석사	6	2019년	전체	석사	4	전체 기간	전체	석사	15
			박사	5			박사	1			박사	3			박사	9
			계	10			계	7			계	7			계	24
		임상 제외	석사	5		임상 제외	석사	6		임상 제외	석사	4		임상 제외	석사	15
			박사	5			박사	1			박사	3			박사	9
			계	10			계	7			계	7			계	24

취(창)업	2019년 2월 졸업자	석사	2	국내 진학자 소계	1	2019년 8월 졸업자	석사	2	국내 진학자 소계	0
				국외 진학자 소계	0				국외 진학자 소계	0
				입대자 소계	0				입대자 소계	0
				취(창)업자 소계	1				취(창)업자 소계	2
		박사	3	입대자 소계	0			박사	3	입대자 소계	0
				취(창)업자 소계	0				취(창)업자 소계	0

전체 환산 졸업생 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	석사	8	전체 환산 졸업생 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	석사	8
	박사	9		박사	9
	계	17		계	17

[첨부 5-1] 최근 3년간 참여교수의 지도학생(졸업생) 저명학술지 논문 게재 실적

졸업년도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수 지도학생: 졸업생 성명	저자 중 참여교수 지도학생: 저자구분	저자 중 참여교수 지도학생: 졸업생 학위 구분	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
2017	1	Highly stable perpendicular magnetic anisotropies of CoFeB/MgO frames employing W buffer and capping layers		ACTA MATERIALIA	SCI(E)	1359-6454	10.1016/j.actamat.2015.01.022		87		259	201504	2	4	6		주저자	박사	0.4000	5.362	2.1448	7.293	1.832	0.732800000000001	0.09092	2.9443	1.17772
2017	2	Highly stable solution-processed ZnO thin film transistors prepared via a simple Al evaporation process		Journal of Materials Chemistry C	SCI(E)	2050-7526	10.1039/c3tc32341b		2	8	1390	201401	2	3	5		주저자	박사	0.4000	1.56	0.624000000000001	6.641	0.578	0.2312	0.09744	1.04828	0.419312000000000001
2017	3	High photoresponsivity from multilayer MoS2/Si heterojunction diodes formed by vertically stacking		JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	SCI(E)	0021-8979	10.1063/1.4994740		122	12	124505	201709	2	3	5		주저자	석사	0.4000	0.2372	0.09488	2.328	0.203	0.0812000000000001	0.11746	1.10424	0.441696000000000001

졸업년도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수 지도학생			환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지 구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	졸업생 성명	저자구분	졸업생 학위 구분		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2018	1	Time-asymmetric loop around an exceptional point over the full optical communications band		NATURE	SCI(E)	0028-0836	10.1038/s41586-018-0523-2		562	7725	86	201809	2	10	12		주저자	박사	0.4000	1.94984816416674	0.77993926566696	43.07	3.212	1.28480000000001	1.28486	2.21503	0.886012
2018	2	Highly Surface-Embossed Polydimethylsiloxane-Based Triboelectric Nanogenerators with Hierarchically Nanostructured Conductive Ni-Cu Fabrics		ACS Applied Materials & Interfaces	SCI(E)	1944-8244	10.1021/acsami.8b10613		10	39	33221	201809	2	4	6		주저자	석사	0.4000	1.0935	0.4374	8.456	0.646	0.2584	0.36635	3.94128	1.5765120000000001
2018	3	Competing edge structures of Sb and Bi bilayers generated by trivial and nontrivial band topologies		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.98.075402		98	7	75402	201808	2	3	5		주저자	석사	0.4000	0.2404	0.0961600000000001	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256

졸업년도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수 지도학생			환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재 학술지명	학술지 구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	졸업생 성명	저자구분	졸업생 학위 구분		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2018	4	Complete Einstein equations from the generalized First Law of Entanglement		PHYSICAL REVIEW D	SCI(E)	2470-0010	10.1103/PhysRevD.98.026020		98	2	26020	201807	2	1	3		주저자	석사	0.4000	0.4431	0.17724	4.368	0.414	0.1656	0.21022	2.00343	0.801372
2018	5	Exploring oxygen-affinity-controlled TaN electrodes for thermally advanced TaOx bipolar resistive switching		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-018-26997-y		8	1	8532	201804	2	7	9		주저자	박사	0.4000	0.6521	0.26084	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2018	6	Effect of space layer doping on photoelectric conversion efficiency of InAs/GaAs quantum dot solar cells		APPLIED PHYSICS LETTERS	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.4935940		107	20	203503	201511	2	2	4		주저자	박사	0.4000	0.4048	0.16192	3.521	0.307	0.1228	0.2247	2.1124	0.84496
2018	7	In-plane direct current probing for spin orbit torque-driven effective fields in		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-018-29397		8	1	11065	201807	2	4	6		주저자	박사	0.4000	0	0	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896

졸업년도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수 지도학생			환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재 학술지명	학술지 구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	졸업생 성명	저자구분	졸업생 학위 구분		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		perpendicularly magnetized heavy metal/ferromagnet/oxide frames					-4																				
2018	8	Structure and hydrogen absorption properties of Ti53Zr27Ni20(Pd, V) quasicrystals		INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY	SCI(E)	0360-3199	10.1016/j.ijhydene.2018.08.141		43	41	19130	201810	2	0	2		주저자	박사	0.5000	0	0	4.084	0.453	0.2265	0.0857	0.96158	0.48079
2018	9	Formation of transition metal dichalcogenides thin films with liquid phase exfoliation technique and photovoltaic applications		SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS	SCI(E)	0927-0248	10.1016/j.solmat.2018.04.033		184		9	201809	2	2	4		주저자	석사	0.4000	0.5354	0.21416000000000002	6.019	0.524	0.2096	0.03182	0.35703	0.14281200000000002
2018	10	Photovoltaic property of n-ZnO/p-Si heterojunctions		THIN SOLID FILMS	SCI(E)	0040-6090	10.1016/j.tsf.2018.05.02		658		22	201807	2	1	3		주저자	석사	0.4000	0.4571	0.18284	1.888	0.507	0.2028	0.02204	0.40291	0.161164

졸업년도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수 지도학생			환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	졸업생성명	저자구분	졸업생 학위 구분		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		grown by pulsed laser deposition					3																				
2019	1	Chemically surface-engineered polydimethylsiloxane layer via plasma treatment for advancing textile-based triboelectric nanogenerators		Nano Energy	SCI(E)	2211-2855	10.1016/j.nanoen.2018.12.051		57		353	201903	2	4	6		주저자	석사	0.4000	6.383	2.553200000000003	15.548	1.354	0.541600000000001	0.08725	0.93866	0.375464
2019	2	Electrically Tunable and Negative Schottky Barriers in Multi-layered Graphene/MoS2 Heterostructured Transistors		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep13743		5		13743	201509	2	0	2		주저자	박사	0.5000	1.4977	0.74885	4.011	0.299	0.1495	1.06137	1.82974	0.91487
2019	3	(LaCo O3)n/(SrCo O2.5)n superlattices: Tunable		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.100.		100	6	64415	201908	3	4	7		주저자	석사	0.2857	0	0	3.736	0.325	0.0928525	0.36327	3.90814	1.116555598

졸업년도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수 지도학생			환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재 학술지명	학술지 구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	졸업생 성명	저자구분	졸업생 학위 구분		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		ferromagnetic insulator					064415																				
2019	4	Characteristics of p-Type Conduction in P-Doped MoS2 by Phosphorous Pentoxide during Chemical Vapor Deposition		Nanomaterials	SCI-E	2079-4991	10.3390/nano9091278		9	9	1278	201909	2	3	5		주저자	박사	0.4000	0	0	4.034	0.308	0.1232	0.00839	0.09026	0.03610400000000004

대표논문 총 편수	2017년	3	2018년	10	2019년	4	총계	17
대표논문 환산편수의 합	2017년	1.2000	2018년	4.1000	2019년	1.5857	총계	6.8857
보정피인용수(FWCI)값이있는논문의 총편수	2017년	3	2018년	10	2019년	4	총계	17
보정피인용수(FWCI)의합	2017년	7.1592	2018년	5.7762	2019년	7.8807	총계	20.8161
환산 보정 피인용수(FWCI) 합	2017년	2.8637	2018년	2.3105	2019년	3.3021	총계	8.4762
IF값이 영(zero)이 아닌 논문의총 편수	2017년	3	2018년	10	2019년	4	총계	17
IF의 합	2017년	16.2620	2018년	83.1640	2019년	27.3290	총계	126.7550
보정 IF의 합	2017년	2.6130	2018년	6.9860	2019년	2.2860	총계	11.8850
환산보정 IF의 합	2017년	1.0452	2018년	2.8397	2019년	0.9072	총계	4.7921
ES값이 영(zero)이 아닌 논문의 총 편수	2017년	3	2018년	10	2019년	4	총계	17
ES의 합	2017년	0.3058	2018년	4.7117	2019년	1.5203	총계	6.5378
보정 ES의 합	2017년	5.0968	2018년	19.5613	2019년	6.7668	총계	31.4249
환산보정 ES의 합	2017년	2.0387	2018년	7.9207	2019년	2.4430	총계	12.4024

[첨부 5-2] 최근 3년간 참여교수의 지도학생(졸업생) 연구업적물 (건축 분야의 건축학만 해당)

<table>
<tr><th rowspan="3">졸업년도</th><th rowspan="3">연번</th><th rowspan="3">구분</th><th rowspan="3">논문제목/저서명</th><th colspan="6">게재정보</th><th colspan="3">총 저자</th><th colspan="5">저자 중 교육연구단 학과(부) 대학원생(졸업생)</th><th rowspan="3">가중치(U)</th><th rowspan="3">환산편수</th></tr>
<tr><th rowspan="2">게재학술지명/출판사명</th><th rowspan="2">ISSN/ ISBN/ e-ISSN</th><th rowspan="2">권</th><th rowspan="2">호</th><th rowspan="2">쪽</th><th rowspan="2">연월 (YYYYMM)</th><th rowspan="2">주저자수 (m)</th><th rowspan="2">기타저자수 (n)</th><th rowspan="2">총 저자수 (T)</th><th colspan="2">주저자</th><th colspan="2">기타저자</th><th rowspan="2">총 저자수</th></tr>
<tr><th>성명</th><th>수(A)</th><th>성명</th><th>수(B)</th></tr>
<tr><td colspan="19">No data have been found.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>연구재단 등재(후보)지 논문 환산편수</td><td>2017년</td><td>0</td><td>2018년</td><td>0</td><td>2019년</td><td>0</td><td>총계</td><td>0</td></tr>
<tr><td>국제저명 학술지 논문 환산편수</td><td>2017년</td><td>0</td><td>2018년</td><td>0</td><td>2019년</td><td>0</td><td>총계</td><td>0</td></tr>
<tr><td>기타국제 학술지 논문 환산편수</td><td>2017년</td><td>0</td><td>2018년</td><td>0</td><td>2019년</td><td>0</td><td>총계</td><td>0</td></tr>
<tr><td>국어 학술저서 환산편수</td><td>2017년</td><td>0</td><td>2018년</td><td>0</td><td>2019년</td><td>0</td><td>총계</td><td>0</td></tr>
<tr><td>외국어 학술저서 환산편수</td><td>2017년</td><td>0</td><td>2018년</td><td>0</td><td>2019년</td><td>0</td><td>총계</td><td>0</td></tr>
<tr><td>저서 또는 논문 총 환산편수</td><td>2017년</td><td>0</td><td>2018년</td><td>0</td><td>2019년</td><td>0</td><td>총계</td><td>0</td></tr>
<tr><td>평가대상 1인당 저서 또는 논문 환산 편수</td><td colspan="6"></td><td>총계</td><td>0</td></tr>
<tr><td colspan="9"></td></tr>
</table>

[첨부 6-1] 최근 3년간 참여교수의 정부 연구비 수주실적

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
'17.1.1~'17.12.31	1	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 에너지기술개발사업 / 신재생에너지핵심기술사업(RCMS)	4중 접합 웨이퍼본딩 기술을 이용한 초고효율 플렉시블 III-V 태양전지 모듈 개발	김은규	김은규			20160501	20161231	단독	70000000	20752529	100	20,752,529	20170102,20170209
'17.1.1~'17.12.31	2	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(RCMS)	2단자 수직형 사이리스터 기반 1T-DRAM 원천 기술 개발	김은규	김은규			20161001	20161231	단독	25000000	5634000	100	5,634,000	20170106,20170113
'17.1.1~'17.12.31	3	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(RCMS)	Micro-dot 홀로그램을 이용한 고색재현 디스플레이 박막 개발	송석호	송석호			20160601	20170531	단독	900000000	70562610	100	70,562,610	20170120,20170712
'17.1.1~'17.12.31	4	미래창조과학부	국제화기반조성사업 / 글로벌 R&D 기반구축사업 / 해외우수연구기관	한양대-HPSTAR-카네기 글로벌 고압연구센터	김재용	김재용			20170110	20180109	공동	682000000	682000000	56.0117302	382,000,000	20170314,20170810,20170817,20171023

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			유치사업													
'17.1.1~'17.12.31	5	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 에너지기술개발사업 / 신재생에너지핵심기술사업(RCMS)	4중 접합 웨이퍼본딩 기술을 이용한 초고효율 플렉시블 III-V 태양전지 모듈 개발	김은규	김은규			20170101	20171231	단독	90000000	22286886	100	22,286,886	20170322,20171222
'17.1.1~'17.12.31	6	과학기술정보통신부	원천기술개발사업(나노소재 기술 개발사업)	스핀 기반뉴런소자 및 회로 개발	김재준	홍진표			20170301	20180228	공동	450000000	450000000	33.3333333	150,000,000	20170410
'17.1.1~'17.12.31	7	미래창조과학부	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구(총연구비 1.5억초과~3억이하)	스핀-궤도 결합 물질의 금속-비금속 전이에 대한 적외선 분광 연구	문순재	문순재			20170301	20180228	단독	100000000	100000000	100	100,000,000	20170419
'17.1.1~'17.12.31	8	산업통상자원부	산업핵심기술개발사업	Forming-free a-C:Ox 기반 ReRAM 원천 기술 개발	박재근	홍진표			20171001	20171231	공동	100000000	100000000	50	50,000,000	20170421
'17.1.1~'17.12.31	9	미래창조과학부	핵융합연구개발사업 / 핵융합기초연구사업 /	핵융합재료에서의 수소동위원소 잠입과 특성 분석	김재용	김재용			20170301	20180228	단독	66500000	66500000	100	66,500,000	20170427

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			공동연구													
'17.1.1~'17.12.31	10	한국연구재단	미래소재디스커버리사업	전자화물의 물리적/화학적 특성 고신뢰성 모사법 개발	박철홍	조준형			20170404	20180203	공동	125000000	125000000	46	57,500,000	20170504
'17.1.1~'17.12.31	11	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(RCMS)	2단자 수직형 사이리스터 기반 1T-DRAM 원천 기술 개발	김은규	김은규			20170101	20171231	단독	100000000	71803451	100	71,803,451	20170508,20171222
'17.1.1~'17.12.31	12	미래창조과학부	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 핵심연구	고체 표면에서 스핀-트랜스효과를 이용한 금속유기분자의 스핀스위칭 연구	조준형	조준형			20170501	20180430	단독	100000000	100000000	100	100,000,000	20170515
'17.1.1~'17.12.31	13	미래창조과학부	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 핵심연구	복소수 포텐셜-장벽에 갇힌 광신호의 특이한 거동 연구	송석호	송석호			20170501	20180430	단독	100000000	100000000	100	100,000,000	20170515
'17.1.1~'17.12.31	14	과학기술정보통신부(2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업	홀로그래피와 양자정보이론을 이용한 강상관 계 연구	신상진	신상진			20170601	20180331	단독	211715885	160525000	100	160,525,000	20170601

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			/ 중견연구 (총연구비 5억 초과)													
'17.1.1~'17.12.31	15	미래창조과학부	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구 (총연구비 1.5억초과 ~3억이하)	저차원 나노융합구조의 에너지변조와 기능 제어 연구	김은규	김은규			20170601	20180331	단독	83333000	83333000	100	83,333,000	20170601
'17.1.1~'17.12.31	16	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업 (RCMS)	Micro-dot 홀로그램을 이용한 고색재현 디스플레이 박막 개발	송석호	송석호			20170601	20180331	단독	72000000	17415600	100	17,415,600	20171011,20171213
'18.1.1~'18.12.31	1	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업 (RCMS)	2단자 수직형 사이리스터 기반 1T-DRAM 원천 기술 개발	김은규	김은규			20170101	20171231	단독	100000000	27280799	100	27,280,799	20180102,20180119

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD) 시작일	연구기간 (YYYYMMDD) 종료일	연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
'18.1.1~'18.12.31	2	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(RCMS)	Micro-dot 홀로그램을 이용한 고색재현 디스플레이 박막 개발	송석호	송석호			20170601	20180331	단독	72000000	54581950	100	54,581,950	20180105,20180521
'18.1.1~'18.12.31	3	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 에너지기술개발사업 / 신재생에너지기술개발사업(RCMS)	4중 접합 웨이퍼본딩 기술을 이용한 초고효율 플렉시블 III-V 태양전지 모듈 개발	김은규	김은규			20170101	20171231	단독	90000000	67713114	100	67,713,114	20180109,20180227
'18.1.1~'18.12.31	4	한국연구재단	미래소재디스커버리사업	전자화물의 물리적/화학적 특성 고신뢰성 모사법 개발	박철홍	조준형			20180204	20190203	공동	150000000	150000000	45.5	68,250,000	20180226
'18.1.1~'18.12.31	5	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구(총연구비 1.5억초과 ~3억이하)	스핀-궤도 결합 물질의 금속-비금속 전이에 대한 적외선 분광 연구	문순재	문순재			20180301	20190228	단독	100000000	100000000	100	100,000,000	20180315
'18.1.1~'18.12.31	6	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구	홀로그래피와 양자정보이론을 이용한 강	신상진	신상진			20180401	20190228	단독	231756413	176577000	100	176,577,000	20180330

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			자지원사업 / 중견연구 (총연구비 5억 초과)	상관 계 연구												
'18.1.1~'18.12.31	7	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구 (총연구비 1.5억초과 ~3억이하)	저차원 나노융합구조의 에너지변조와 기능제어 연구	김은규	김은규			20180401	20190228	단독	91666000	91666000	100	91,666,000	20180330
'18.1.1~'18.12.31	8	과학기술정보통신부 (2017Y)	과학기술국제화사업 / 글로벌 R&D 기반구축사업 / 해외우수연구기관 유치사업	한양대-HPSTAR-카네기 글로벌 고압연구센터	김재용	조준형			20180110	20190109	공동	680000000	680000000	4.4117647	30,000,000	20180406,20180809
'18.1.1~'18.12.31	9	미래창조과학부	국제화기반조성사업 / 글로벌 R&D 기반구축사업 / 해외우수연구기관 유치사업	한양대-HPSTAR-카네기 글로벌 고압연구센터	김재용	김재용			20180110	20190109	공동	680000000	680000000	57.3529412	390,000,000	20180406,20180809
'18.1.1~'18.12.31	10	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 에너지기술개발사업 / 신재생에너지	4중 접합 웨이퍼본딩 기술을 이용한 초고효율 플렉시블 III-V 태양전	김은규	김은규			20180101	20181231	단독	80000000	69975955	100	69,975,955	20180410,20181217

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			핵심기술사업(RCMS)	지 모듈 개발												
'18.1.1~'18.12.31	11	산업통상자원부	산업핵심기술개발사업	Forming-free a-C:Ox 기반 ReRAM 원천 기술 개발	박재근	홍진표			20180101	20181231	공동	100,000,000	100,000,000	50	50,000,000	20180413
'18.1.1~'18.12.31	12	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(RCMS)	2단자 수직형 사이리스터 기반 1T-DRAM 원천 기술 개발	김은규	김은규			20180101	20181231	단독	100,000,000	95,166,710	100	95,166,710	20180423,20181226
'18.1.1~'18.12.31	13	과학기술정보통신부	원천기술개발사업(나노소재 기술 개발사업)	스핀 기반뉴런소자 및 회로 개발	김재준	홍진표			20180301	20190228	공동	450,000,000	450,000,000	33.333333333	150,000,000	20180424
'18.1.1~'18.12.31	14	과학기술정보통신부(2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구(총연구비 5억 초과)	복소-나노구조로 이루어진 on-chip 메타 광소자복소-나노구조로 이루어진 on-chip 메타 광소자	송석호	송석호			20180301	20190228	단독	170,000,000	170,000,000	100	170,000,000	20180601

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
'18.1.1~'18.12.31	15	교육부 (2013Y)	이공분야기초연구사업 / 이공학 개인기초연구지원사업 / 기본연구 (1년~5년)	극한환경에서의 알칼리기반 수소다량체 제작 및 수송특성 분석	김재용	김재용			20180601	20190228	단독	37,500,000	37,500,000	100	37,500,000	20180604
'18.1.1~'18.12.31	16	산업통상자원부	기관고유사업 / 한국전력공사 / 전력산업 기초연구사업	웨어러블 1차원 Yarn 섬유소재 기반의 Piezo/Triboelectric 자가발전/super-capacitor 에너지 저장 일체형 소자 핵심기술 개발	홍진표	홍진표			20180501	20190430	단독	55,000,000	36,666,300	100	36,666,300	20180717
'18.1.1~'18.12.31	17	과학기술정보통신부 (2017Y)	국제화기반조성사업 / 해외협력기반조성-국가간협력기반조성사업 / 한-캐나다 협력기반조성사업	광대역 비가역 집적광학소자 개발	송석호	송석호			2018.07.01	2019.06.30	공동	100000000	75000000	100	75,000,000	20180803
'18.1.1~'18.12.31	18	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디	Micro-dot 홀로그램을 이용한 고색재현 디스플레이 박막 개발	송석호	송석호			20180401	20181231	단독	53,000,000	13,602,453	100	13,602,453	20180817,20181224

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			바이스산업 원천기술개 발사업 (RCMS)													
'18.1.1~'18.1 2.31	19	과학기술정보 통신부 (2017Y)	이공분야기 초연구사업 / 중견연구 자지원사업 / 중견연구 (보호·육성 분야)	실리콘 반도체 박막 결함제어 와 TFT 신뢰성 향상을 위한 in-situ 분석 기법	김은규	김은규			20180901	20190228	단독	50,000,000	50,000,000	100	50,000,000	20180831
'19.1.1~'19.1 2.31	1	산업통상자원 부	산업기술혁 신사업 / 에 너지기술개 발사업 / 신 재생에너지 핵심기술사 업(RCMS)	4중 접합 웨이 퍼본딩 기술을 이용한 초고효 율 플렉시블 III-V 태양전 지 모듈 개발	김은규	김은규			20180101	20181231	단독	80,000,000	10,016,400	100	10,016,400	20190102,201 90207
'19.1.1~'19.1 2.31	2	산업통상자원 부	산업기술혁 신사업 / 산 업핵심기술 개발사업 / 전자정보디 바이스산업 원천기술개 발사업 (RCMS)	2단자 수직형 사이리스터 기 반 1T-DRAM 원천 기술 개 발	김은규	김은규			20180101	20181231	단독	100,000,000	4,818,924	100	4,818,924	20190110,201 90122
'19.1.1~'19.1 2.31	3	산업통상자원 부	산업기술혁 신사업 / 산 업핵심기술 개발사업 /	Micro-dot 홀 로그램을 이용 한 고색재현 디스플레이 박	송석호	송석호			20180401	20181231	단독	53000000	39393990	100	39,393,990	20190115,201 90212

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			전자정보디바이스산업원천기술개발사업(RCMS)	막 개발												
'19.1.1~'19.12.31	4	산업통상자원부	기관고유사업 / 한국전력공사 / 전력산업 기초연구사업	웨어러블 1차원 Yarn 섬유소재 기반의 Piezo/Triboelectric 자가발전/super-capacitor 에너지 저장 일체형 소자 핵심기술 개발	홍진표	홍진표			20180501	20190430	단독	55,000,000	18,333,700	100	18,333,700	20190123
'19.1.1~'19.12.31	5	교육부 (2013Y)	이공분야기초연구사업 / 이공학 개인기초연구지원사업 / 기본연구(1년~5년)	극한환경에서의 알칼리기반 수소다량체 제작 및 수송특성 분석	김재용	김재용			20190301	20200229	단독	50,000,000	50,000,000	100	50,000,000	20190222
'19.1.1~'19.12.31	6	과학기술정보통신부 (2017Y)	국제화기반조성사업 / 해외협력기반조성-국가간협력기반조성사업 / 한-캐나다 협력기반조성사업	광대역 비가역 집적광학소자 개발	송석호	송석호			2018.07.01	2019.06.30	공동	100000000	25000000	100	25,000,000	20190222

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
'19.1.1~'19.12.31	7	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구(총연구비 1.5억초과 ~3억이하)	스핀-궤도 결합 물질의 금속-비금속 전이에 대한 적외선 분광 연구	문순재	문순재			20190301	20200229	단독	100,000,000	100,000,000	100	100,000,000	20190228
'19.1.1~'19.12.31	8	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구(총연구비 5억 초과)	홀로그래피와 양자정보이론을 이용한 강상관 계 연구	신상진	신상진			20190301	20200229	단독	253,404,951	192,630,000	100	192,630,000	20190228
'19.1.1~'19.12.31	9	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구(총연구비 1.5억초과 ~3억이하)	저차원 나노융합구조의 에너지변조와 기능제어 연구	김은규	김은규			20190301	20190531	단독	25,001,000	25,001,000	100	25,001,000	20190228
'19.1.1~'19.12.31	10	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구(보호·육성분야)	실리콘 반도체 박막 결함제어와 TFT 신뢰성 향상을 위한 in-situ 분석기법	김은규	김은규			20190301	20200229	단독	100,000,000	100,000,000	100	100,000,000	20190228

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
'19.1.1~'19.12.31	11	미래창조과학부	국제화기반 조성사업 / 글로벌 R&D 기반구축사업 / 해외우수연구기관 유치사업	한양대-HPSTAR-카네기 글로벌 고압연구센터	김재용	김재용			20190110	20200109	공동	607,414,000	607,414,000	62.1345574	377,414,000	20190228,20191023
'19.1.1~'19.12.31	12	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구 (총연구비 5억 초과)	복소-나노구조로 이루어진 on-chip 메타 광소자	송석호	송석호			2019.03.01	2020.02.29	단독	170,000,000	170,000,000	100	170,000,000	20190228
'19.1.1~'19.12.31	13	과학기술정보통신부 (2017Y)	과학기술국제화사업 / 글로벌 R&D 기반구축사업 / 해외우수연구기관 유치사업	한양대-HPSTAR-카네기 글로벌 고압연구센터	김재용	조준형			20190110	20200109	공동	607,000,000	607,000,000	4.9423394	30,000,000	20190228,20191023
'19.1.1~'19.12.31	14	과학기술정보통신부 (2017Y)	"이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / 중견연구 (연평균연구비1억원이내) "	전이금속칼코겐화합물의 전하밀도파와 초전도상 연구	조준형	조준형			20190301	20200229	단독	100,000,000	100,000,000	100	100,000,000	20190304

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
'19.1.1~'19.12.31	15	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 에너지기술개발사업 / 신재생에너지기술개발사업(RCMS)	4중 접합 웨이퍼본딩 기술을 이용한 초고효율 플렉시블 III-V 태양전지 모듈 개발	김은규	김은규			20190101	20190731	단독	25,000,000	25,000,000	100	25,000,000	20190312,20190830
'19.1.1~'19.12.31	16	한국연구재단	미래소재디스커버리사업	전자화물의 물리적/화학적 특성 고신뢰성 모사법 개발	박철홍	조준형			20190204	20200103	공동	137,500,000	137,500,000	45.5	62,562,500	20190314
'19.1.1~'19.12.31	17	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 전자정보디바이스산업원천기술개발사업(RCMS)	2단자 수직형 사이리스터 기반 1T-DRAM 원천 기술 개발	김은규	김은규			20190101	20191231	단독	85,000,000	83,079,540	100	83,079,540	20190328,20191230
'19.1.1~'19.12.31	18	산업통상자원부	산업핵심기술개발사업	Forming-free a-C:Ox 기반 ReRAM 원천 기술 개발	박재근	홍진표			20190101	20191231	공동	85,000,000	85,000,000	50	42,500,000	20190329
'19.1.1~'19.12.31	19	과학기술정보통신부	원천기술개발사업(나노소재 기술 개발사업)	스핀 기반뉴런소자 및 회로 개발	김재준	홍진표			20190301	20191231	공동	360,000,000	360,000,000	33.3333333333333	120,000,000	20190426

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
'19.1.1~'19.12.31	20	산업통상자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사업 / 미래디스플레이핵심기술개발사업(민간투자금)	Micro-dot 홀로그램을 이용한 고색재현 디스플레이 박막 개발	송석호	송석호			2019.01.01	2019.12.31	단독	62,000,000	57,794,150	100	57,794,150	20190514,20191227
'19.1.1~'19.12.31	21	산업통상자원부	기관고유사업 / 한국전력공사 / 전력산업 기초연구사업	웨어러블 1차원 Yarn 섬유 소재 기반의 Piezo/Triboelectric 자가발전/super-capacitor 에너지 저장 일체형 소자 핵심기술 개발	홍진표	홍진표			20190501	20200430	단독	55,000,000	36,666,300	100	36,666,300	20190528
'19.1.1~'19.12.31	22	과학기술정보통신부(2017Y)	국제화기반조성사업 / 해외협력기반조성-국가간협력기반조성사업 / 한-캐나다협력기반조성사업	광대역 비가역 집적광학소자 개발	송석호	송석호			2019.07.01	2020.06.30	공동	100,000,000	75,000,000	100	75,000,000	20190628
'19.1.1~'19.12.31	23	과학기술정보통신부(2017Y)	원천기술개발사업 / 지능형반도체	대면적/집적화 가능한 complemen	홍진표	홍진표			20190628	20200229	공동	200,000,000	200,000,000	50	100,000,000	20190710

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
									시작일	종료일						
			선도기술개발사업 / 미래반도체신소자원천기술개발사업(자유공모형 기술)	tary SOT-MTJ 구조기반 극 저 전력용 단위 셀 reconfigurable 스핀 로직 소자 원천기술												
'19.1.1~'19.12.31	24	과학기술정보통신부	거대과학연구개발사업 / 핵융합기초연구사업 / 거점센터	핵융합 재료-플라즈마 반응의 실험적 모사 및 재료 분석 연구	정규선	김재용			20190725	20191231	공동	150000000	150000000	33.3333333333	50,000,000	20190731
'19.1.1~'19.12.31	25	과학기술정보통신부 (2017Y)	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / (유형1-1)중견연구(연평균연구비 1억원 이내)	전자 상호 작용이 강한 물질의 이상한 금속 상태에 대한 적외선 분광 연구	문순재	문순재			20190901	20200229	단독	50,000,000	50,000,000	100	50,000,000	20190905
'19.1.1~'19.12.31	26	교육부	국제화 기반 조성 사업	극미세 X-선 회절 기반 기능성 소재 계면구조물성 연구	이현휘	김재용			20190521	20191231	공동	27000000	27000000	38	10,260,000	20190705

총 수주 건수	'17.1.1.-'17.12.31.	16	정부연구비수주 총입금액 (원) (건축학참여교수정부 연구비제외)	'17.1.1.-'17.12.31.	1,458,313,076	건축학 참여교수의 정부 연구비 총 입금액 (원)	'17.1.1.-'17.12.31.	0
	'18.1.1.-'18.12.31.	19		'18.1.1.-'18.12.31.	1,753,980,281		'18.1.1.-'18.12.31.	0
	'19.1.1.-'19.12.31.	26		'19.1.1.-'19.12.31.	1,955,470,504		'19.1.1.-'19.12.31.	0
	계	61		계	5,167,763,861		계	0

[첨부 6-2] 최근 3년간 참여교수의 산업체(국내) 연구비 수주실적

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축공학/건축학	연구기간 (YYYYMMDD) 시작일	종료일	연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
'17.1.1~'17.12.31	1	한국표준과학연구원	기타	대전	SWIR대역 영상감지 센서용 InP/InGaAs 접합구조의 결함 상태 연구	김은규	김은규			20170101	20171231	단독	60,000,001	60,000,000	100	60,000,000	20170215
'17.1.1~'17.12.31	2	삼성전자㈜	대기업	경기도	Photonics 소자/시스템 신규 Concept 제안	송석호	송석호			20161003	20170929	단독	104,500,000	31,350,000	100	31,350,000	20170407
'17.1.1~'17.12.31	3	삼성전자㈜	대기업	경기도	크로스 포인트 아키텍처 구현을 위한 저전력 (Low power) 멀티레벨 (MLC) ReRAM 소자 개발	홍진표	홍진표			20160701	20170630	단독	48,400,000	24,200,000	100	24,200,000	20170510
'17.1.1~'17.12.31	4	삼성디스플레이㈜	대기업	경기도	Micro Dot DOE Coherent LGP 기술	송석호	송석호			20170725	20180131	단독	55,000,000	44,000,000	100	44,000,000	20170810
'17.1.1~'17.12.31	5	삼성전자㈜	대기업	경기도	크로스 포인트 아키텍처 구현	홍진표	홍진표			20170701	20180630	단독	48,400,000	22,000,000	100	22,000,000	20170908

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
										시작일	종료일						
					을 위한 저전력 (Low power) 멀티레벨 (MLC) ReRAM 소자 개발												
'17.1.1~'17.12.31	6	삼성전자㈜	대기업	경기도	크로스 포인트 아키텍처 구현을 위한 저전력 (Low power) 멀티레벨 (MLC) ReRAM 소자 개발	홍진표	홍진표			20170701	20180630	단독	48,400,000	2,200,000	100	2,200,000	20170908
'17.1.1~'17.12.31	7	엘지디스플레이	대기업	서울	고 이동도 비 정질 비 산화물 기반 P 형 소재 및 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20170901	20180831	단독	55,000,000	27,500,000	100	27,500,000	20171026
'17.1.1~'17.12.31	8	삼성전자㈜	대기업	경기도	Photonics 소자/시스템 신규 Concept 제안	송석호	송석호			20161003	20170929	단독	104,500,000	41,800,000	100	41,800,000	20171106

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
										시작일	종료일						
'17.1.1~'17. 12.31	9	삼성전자㈜	대기업	경기도	광학 소자 /시스템 신 규 Concept 선행 검증	송석호	송석호			20171125	20181124	단독	54,120,000	27,060,000	100	27,060,000	20171212
'18.1.1~'18. 12.31	1	삼성전자㈜	대기업	경기도	크로스 포인트 아키텍처 구현을 위한 저전력 (Low power) 멀티레벨 (MLC) ReRAM 소자 개발	홍진표	홍진표			20170701	20180630	단독	48,400,000	24,200,000	100	24,200,000	20180410
'18.1.1~'18. 12.31	2	엘지디스플레이	대기업	서울	고 이동도 비 정질 비 산화물 기 반 P 형 소 재 및 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20170901	20180831	단독	55,000,000	16,500,000	100	16,500,000	20180510
'18.1.1~'18. 12.31	3	삼성전자㈜	대기업	경기도	광학 소자 /시스템 신 규 Concept 선행 검증	송석호	송석호			20171125	20181124	단독	54,120,000	16,236,000	100	16,236,000	20180704
'18.1.1~'18. 12.31	4	삼성디스플레이㈜	대기업	경기도	Micro Dot DOE Coherent LGP 기	송석호	송석호			20170725	20180131	단독	55,000,000	11,000,000	100	11,000,000	20180209

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
										시작일	종료일						
					술												
'18.1.1~'18. 12.31	5	엘지디스플레이	대기업	서울	고 이동도 비 정질 비 산화물 기 반 P 형 소 재 및 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20170901	20180831	단독	55,000,000	11,000,000	100	11,000,000	20181010
'18.1.1~'18. 12.31	6	삼성전자㈜	대기업	경기도	실리콘 반 도체박막 결함제어 와 소자신 뢰성 향상 을 위한 in-situ 분 석기법 개 발	김은규	김은규			20180701	20190630	단독	58,300,000	29,150,000	100	29,150,000	20181102
'18.1.1~'18. 12.31	7	삼성전자㈜	대기업	경기도	크로스 포 인트 아키 텍처 구현 을 위한 저 전력 (Low power) 멀티레벨 (MLC) ReRAM 소자 개발	홍진표	홍진표			20180701	20190630	단독	58,300,000	29,150,000	100	29,150,000	20181102

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
										시작일	종료일						
'18.1.1~'18. 12.31	8	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	고 이동도 비 정질 비 산화물 기반 P 형 소재 및 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20181101	20190430	단독	33,000,000	8,250,000	100	8,250,000	20181210
'18.1.1~'18. 12.31	9	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	고 이동도 비 정질 비 산화물 기반 P 형 소재 및 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20181101	20190430	단독	33,000,000	11,000,000	100	11,000,000	20181210
'19.1.1~'19. 12.31	1	삼성전자㈜	대기업	경기도	광학 소자 /시스템 신규 Concept 선행 검증	송석호	송석호			20171125	20181124	단독	54,120,000	10,824,000	100	10,824,000	20190111
'19.1.1~'19. 12.31	2	삼성전자㈜	대기업	경기도	크로스 포인트 아키텍처 구현을 위한 저전력 (Low power) 멀티레벨 (MLC) ReRAM 소자 개발	홍진표	홍진표			20180701	20190630	단독	58,300,000	29,150,000	100	29,150,000	20190311
'19.1.1~'19. 12.31	3	삼성전자㈜	대기업	경기도	실리콘 반도체박막 결함제어	김은규	김은규			20180701	20190630	단독	58,300,000	29,150,000	100	29,150,000	20190312

선정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
										시작일	종료일						
					와 소자신뢰성 향상을 위한 in-situ 분석기법 개발												
'19.1.1~'19.12.31	4	삼성전자㈜	대기업	경기도	신규 메타미러 구조 탐색	송석호	송석호			20190316	20200315	단독	82,500,000	41,250,000	100	41,250,000	20190411
'19.1.1~'19.12.31	5	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	고 이동도 비 정질 비산화물 기반 P 형 소재 및 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20181101	20190430	단독	33,000,000	13,750,000	100	13,750,000	20190510
'19.1.1~'19.12.31	6	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	비 정질 Doped-SeTe/NiWo4 P형 소재 개발 및 고이동도 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20190501	20191031	단독	33,000,000	16,500,000	100	16,500,000	20190510
'19.1.1~'19.12.31	7	한국표준과학연구원	기타	대전	자성다층 박막 소재 및 SOT 소자 제작	홍진표	홍진표			20190401	20200331	단독	50,000,001	35,000,000	100	35,000,000	20190531
'19.1.1~'19.12.31	8	삼성전자㈜	대기업	경기도	실리콘 반도체박막 결함제어와 소자신	김은규	김은규			20190701	20200630	단독	58,300,000	29,150,000	100	29,150,000	20190911

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/ 건축학	연구기간 (YYYYMMDD)		연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
										시작일	종료일						
					뢰성 향상을 위한 in-situ 분석기법 개발												
'19.1.1~'19.12.31	9	삼성전자㈜	대기업	경기도	크로스 포인트 아키텍처 구현을 위한 저전력 (Low power) 멀티레벨 (MLC) ReRAM 소자 개발	홍진표	홍진표			20190701	20200630	단독	58,300,000	29,150,000	100	29,150,000	20190911
'19.1.1~'19.12.31	10	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	비 정질 Doped-SeTe/NiWo4 P형 소재 개발 및 고이동도 TFT 소자 연구	홍진표	홍진표			20190501	20191031	단독	33,000,000	16,500,000	100	16,500,000	20191111
'19.1.1~'19.12.31	11	엘지디스플레이	대기업	서울	홀로그램 미세패턴 기술을 활용한 Metasurface Optics 기	송석호	송석호			20191101	20201031	단독	66,000,000	33,000,000	100	33,000,000	20191210

산정기간	연번	산업체명	산업체구분	지역구분	연구과제명	연구책임자성명	참여교수성명	연구자등록번호	건축공학/건축학	연구기간(YYYYMMDD) 시작일	연구기간(YYYYMMDD) 종료일	연구형태	총연구비(원)(A)	총연구비 중 입금액(원)(B)	사업참여교수지분(%)(C)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)(D=B*C)	연구비입금일(YYYYMMDD)
					술개발												
'19.1.1~'19.12.31	12	삼성전자㈜	대기업	경기도	신규 메타 미러 구조 탐색	송석호	송석호			20190316	20200315	단독	82,500,000	24,750,000	100	24,750,000	20191029

총 수주 건수	'17.1.1.-'17.12.31.	9	산업체(국내)연구비수주 총입금액 (원) (건축학참여교수정부연구비제외)	'17.1.1.-'17.12.31.	280,110,000	건축학 참여교수의 국내 산업체 연구비 총 입금액 (원)	'17.1.1.-'17.12.31.	0
	'18.1.1.-'18.12.31.	9		'18.1.1.-'18.12.31.	156,486,000		'18.1.1.-'18.12.31.	0
	'19.1.1.-'19.12.31.	12		'19.1.1.-'19.12.31.	308,174,000		'19.1.1.-'19.12.31.	0
	계	30		계	744,770,000		계	0

[첨부 6-3] 최근 3년간 참여교수의 해외기관 연구비 수주실적

산정 기간	연번	해외 기관명	국가명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축 공학/건축학	연구기간 (YYYYMMDD) 시작일	연구기간 (YYYYMMDD) 종료일	연구 형태	총연구비 (원) (A)	총연구비 중 입금액(원) (B)	사업 참여교수 지분(%) (C)	사업 참여교수 지분액 (원) (D=B*C)	환산 입금액 (원) (E=D*2)	연구비 입금일 (YYYYMMDD)
No data have been found.																	

총 수주 건수			해외기관 연구비 수주 총 입금액 (원) (건축학 참여교수 정부 연구비 제외)			건축학 참여교수의 해외기관 연구비 총 입금액 (원)		
	'17.1.1.-'17.12.31.	0		'17.1.1.-'17.12.31.	0		'17.1.1.-'17.12.31.	0
	'18.1.1.-'18.12.31.	0		'18.1.1.-'18.12.31.	0		'18.1.1.-'18.12.31.	0
	'19.1.1.-'19.12.31.	0		'19.1.1.-'19.12.31.	0		'19.1.1.-'19.12.31.	0
	계	0		계	0		계	0

[첨부 7-1] 최근 5년간 참여교수의 논문 게재 실적

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재 학술지명	학술지 구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회 발표 구분	권	호	쪽	연월 (YYYYMM)	총 저자: 주저자수 (m)	기타저자수 (n)	총저자수 (T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	주저자 연구자 등록번호	주저자 수 (A)	기타저자 성명	기타저자 연구자 등록번호	기타저자 수 (A)	총저자수	환산편수 (U)	피인용: 보정피인용수 [FWCI] (PP)	환산보정피인용수 (UXPP)	Impact Factor: IF (I)	보정IF (F)	환산보정 IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES (E)	보정ES (Y)	환산보정 ES(Z)=(U×Y)
2015	1	A deep subwavelength cavity formed by total external reflection of surface plasmon polariton		JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	SCI(E)	0021-8979	10.1063/1.4919757		117	17	173104	201505	2	1	3	송석호		1			0	1	0.4	0.0919	0.03676	2.328	0.203	0.0812000000000001	0.11746	1.10424	0.4416960000000001
2015	2	All oxide semiconductor-based bidirectional vertical p-n-p selectors for 3D stackable crossbar-array electronics		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep13362		5		13362	201508	2	5	7	홍진표		1			0	1	0.4	0.288	0.1152	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2015	3	Anomalous doping effect in black phosphorene using first-principles calculations		PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS	SCI(E)	1463-9076	10.1039/c5cp01732g		17	25	16351	201505	3	3	6	조준형		1			0	1	0.2857	3.6697	1.0484332900000001	3.567	0.491	0.1402787	0.19132	1.77904	0.508271728
2015	4	Catalytic activities of noble metal		Nanoscale Resear	SCI(E)	1931-7573	10.1186/s11671-		10		60	201502	3	3	6	조준형		1			0	1	0.2857	0.1952	0.05576864000	3.159	0.275	0.07856750000	0.02339	0.25164	0.071893548

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보 게재학술지명	게재정보 학술지구분	게재정보 ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보 DOI	게재정보 학술대회발표구분	게재정보 권	게재정보 호	게재정보 쪽	게재정보 연월(YYYYMM)	총 저자 주저자수(m)	총 저자 기타저자수(n)	총 저자 총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor IF(I)	Impact Factor 보정IF(F)	Impact Factor 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score ES(E)	Eigenfactor Score 보정ES(Y)	Eigenfactor Score 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		atoms on WO3 (001): nitric oxide adsorption		ch Letters			014-0713-2																		000001			000001			
2015	5	Clarification of difference for transition between photoluminescence and cathode-luminescence based on GaMnN		JOURNAL OF LUMINESCENCE	SCI(E)	0022-2313	10.1016/j.jlumin.2015.08.025		168		288	201512	2	10	12			0	김은규		1	1	0.02	0	0	2.961	0.388	0.00776	0.02037	0.43854	0.0087708
2015	6	Contrasting interedge superexchange interactions of graphene nanoribbons embedded in h -BN and graphane		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.92.035443		92	3	035443	201507	2	3	5	조준형		1			0	1	0.4	1.1758	0.47032	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256
2015	7	Correlation between Pd metal thickness and thermally stable perpendicular		AIP Advances	SCI(E)	2158-3226	10.1063/1.4913997		5	2	027237	201502	2	5	7	홍진표		1			0	1	0.4	0.5519	0.22075999999998	1.579	0.138	0.0552000000000006	0.02544	0.27369	0.109476

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		magnetic anisotropy features in [Co/Pd]n multilayers at annealing temperatures up to 500ッ-C																													
2015	8	Correlative analysis of conducting filament distribution at interfaces and bias-dependent noise sources in TiN/TiOx/Pt and Pt/TiOx/TiOy/Pt bipolar resistive switching frames		APPLIED PHYSICS LETTERS	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.4906532		106	3	033506	201501	2	3	5	홍진표		1			0	1	0.4	0.3036	0.121439999999999	3.521	0.307	0.1228	0.2247	2.1124	0.84496
2015	9	Critical field enhancement of asymptotic optical bound states in the continuum		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep18301		5		18301	201512	2	1	3	송석호		1			0	1	0.4	1.7857	0.71428	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2015	10	Effect of space layer doping on		APPLIED	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.		107	20	2035	201511	2	2	4	김은규		1			0	1	0.4	0.4048	0.16192	3.521	0.307	0.1228	0.2247	2.1124	0.84496

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
																주저자			기타저자												
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		photoelectric conversion efficiency of InAs/GaAs quantum dot solar cells		PHYSICS LETTERS			4935940				03																				
2015	11	Electrical and optical properties of Si-doped indium tin oxides as transparent electrode and anti-reflection coating for solar cells		CURRENT APPLIED PHYSICS	SCI(E)	1567-1739	10.1016/j.cap.2015.04.005		15	7	794	201507	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.2465	0.09860000000000001	2.01	0.175	0.06999999999999999	0.0077	0.08284	0.033136
2015	12	Electrically tunable and negative schottky barriers in multi-layered Graphene/MoS2 heterostructured transistors		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep13743		5		13743	201509	2	0	2	김은규		1			0	1	0.5	1.4977	0.74885	4.011	0.299	0.1495	1.06137	1.82974	0.91487
2015	13	Enhanced structural and electrical		CURRENT APPLIE	SCI(E)	1567-1739	10.1016/j.cap.20		15	8	910	201508	2	1	3	홍진표		1			0	1	0.4	0.2465	0.09860000000	2.01	0.175	0.06999999999	0.0077	0.08284	0.033136

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		features of amorphous InGaZnO thin film transistors via a heavy Kr gas process		D PHYSICS			15.04.004																		000001			999999			
2015	14	Enhancement of photoluminescence efficiency from semi-polar InGaN/GaN multiple quantum wells with silver metal		JOURNAL OF LUMINESCENCE	SCI(E)	0022-2313	10.1016/j.jlumin.2015.02.012		162		115	201506	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.2053	0.0821200000000001	2.961	0.388	0.1552	0.02037	0.43854	0.175416000000002
2015	15	Equivalence of electronic and mechanical stresses in structural phase stabilization: A case study of indium wires on Si(111)		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.91.174434		91	17	174434	201505	3	4	7	조준형		1			0	1	0.2857	0.3527	0.1007663900000001	3.736	0.325	0.0928525	0.36327	3.90814	1.11655598
2015	16	Ferroelectric behavior and reproducible Bi-		SOLID STATE COMM	SCI(E)	0038-1098	10.1016/j.ssc.20		209		11	201505	2	3	5			0	김은규		1	1	0.0666	0.2092	0.01393272000	1.433	0.085	0.00566100000	0.00612	0.04178	0.00278254

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	저자 중 참여교수: 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자 성명	저자 중 참여교수: 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		stable resistance switching property in K-doped ZnO thin films as candidate for application in non-volatile memories		UNICATIONS			15.02.019																		0000001			0000001			
2015	17	Gain-assisted critical coupling for high-performance coherent perfect absorbers		OPTICS LETTERS	SCI(E)	0146-9592	10.1364/OL.40.002309		40	10	2309	201505	2	1	3	송석호		1			0	1	0.4	0.3443	0.13772	3.866	0.506	0.20240000000000002	0.09297	2.00153	0.800612
2015	18	Gauge invariance and holographic renormalization		PHYSICS LETTERS B	SCI(E)	0370-2693	10.1016/j.physletb.2015.07.058		749		108	201510	2	2	4	신상진		1			0	1	0.4	0.7385	0.29540000000000005	4.162	0.503	0.20120000000000002	0.06535	1.37685	0.55074
2015	19	Giant spin-orbit-induced spin splitting in Bi zigzag chains on GaAs(110)		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.92.085303		92	8	085303	201508	2	0	2	조준형		1			0	1	0.5	0.2351	0.11755	3.736	0.325	0.1625	0.36327	3.90814	1.95407

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2015	20	Growth of p-type ZnTe thin films by using nitrogen doping during pulsed laser deposition		JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	SCI(E)	0374-4884	10.3938/jkps.67.672		67	4	672	201509	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.3679	0.14716	0.63	0.06	0.024	0.00378	0.05015	0.02006
2015	21	Highly stable perpendicular magnetic anisotropies of CoFeB/MgO frames employing W buffer and capping layers		ACTA MATERIALIA	SCI(E)	1359-6454	10.1016/j.actamat.2015.01.022		87		259	201504	2	4	6	홍진표		1			0	1	0.4	5.362	2.1448	7.293	1.832	0.7328000000000001	0.09092	2.9443	1.17772
2015	22	Impurity reduction in a plasma by using the deuterium and helium glow discharge method		JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	SCI(E)	0374-4884	10.3938/jkps.66.465		67	9	5	201502	2	0	2	김재용		1			0	1	0.5	0.0919	0.04595	0.63	0.06	0.03	0.00378	0.05015	0.025075
2015	23	Infrared probe of spin-phonon		JOURNAL OF	SCI(E)	0953-8984	10.1088/09		27	48	4856	201511	2	3	5	문순재		1			0	1	0.4	0	0	2.711	0.161	0.0644	0.04881	0.33323	0.1332920

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		coupling in antiferromagnetic honeycomb lattice compound Li2MnO3		PHYSICS-CONDENSED MATTER			53-8984/27/48/485604				04																				0000000002
2015	24	Magnetic evolution and anomalous Wilson transition in diagonal phosphorene nanoribbons driven by strain		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/0957-4484/26/29/295402		26	29	295402	201507	3	3	6			0	조준형		1	1	0.0476	0.3924	0.018678240000000002	3.399	0.296	0.0140896	0.04815	0.51801	0.024657276
2015	25	Nature of the Insulating Ground State of the 5d Postperovskite CaIrO3		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.115.096401		115	9	096401	201508	3	4	7	조준형		1			0	1	0.2857	0.8278	0.23650246	9.227	0.877	0.250558900000003	0.5787	7.67825	2.19367625000002
2015	26	Optical Spectroscopic Studies of the Metal-Insulator Transition Driven by All-In-All-Out		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.115.266402		115	26	266402	201512	2	10	12			0	문순재		1	1	0.02	1.0118	0.020236	9.227	0.877	0.01754	0.5787	7.67825	0.153565

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자: 성명	주저자: 연구자등록번호	주저자: 수(A)	기타저자: 성명	기타저자: 연구자등록번호	기타저자: 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Magnetic Ordering in 5d Pyrochlore Cd2Os2 O7																													
2015	27	Origins of Highly Stable Al-evaporated Solution-processed ZnO Thin Film Transistors: Insights from Low Frequency and Random Telegraph Signal Noise		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep16123		5		16123	201511	2	2	4	홍진표		1			0	1	0.4	0	0	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2015	28	Parity-time-symmetry breaking in double-slab surface-plasmon-polariton waveguides		OPTICS EXPRESS	SCI(E)	1094-4087	10.1364/OE.23.011783		23	9	11783	201505	2	4	6	송석호		1			0	1	0.4	0.9181	0.36724	3.561	0.466	0.1864	0.17334	3.7318	1.49272
2015	29	Plasmonic gain in long-range surface plasmon polariton		APPLIED PHYSICS LETTE	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.4931699		107	12	121107	201509	2	2	4			0	송석호		1	1	0.1	0.7084	0.07084	3.521	0.307	0.0307	0.2247	2.1124	0.21124

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
																주저자			기타저자												
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		waveguides bounded symmetrically by dye-doped polymer		RS																											
2015	30	Properties of room-temperature ferromagnetic semiconductor in manganese-doped bilayer graphene by chemical vapor deposition		Journal of Materials Chemistry C	SCI(E)	2050-7526	10.1039/c5tc00051c		3	3	4235	201505	3	5	8	김은규		1			0	1	0.2857	0.6688	0.19107616	6.641	0.578	0.1651346	0.09744	1.04828	0.299493596000003
2015	31	Relevant characteristics of undoped GaMnN grown by using molecular beam epitaxy		JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	SCI(E)	0374-4884	10.3938/jkps.67.541		67	3	541	201508	2	5	7			0	김은규		1	1	0.04	0	0	0.63	0.06	0.0024	0.00378	0.05015	0.002006
2015	32	Single-mode lasers and parity-Time symmetry broken gratings		OPTICS EXPRESS	SCI(E)	1094-4087	10.1364/OE.23.019922		23	15	19922	201507	2	2	4			0	송석호		1	1	0.1	1.2625	0.12625	3.561	0.466	0.0466	0.17334	3.7318	0.37318

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		based on active dielectric-loaded long-range surface plasmon polariton waveguides																													
2015	33	Stable p-type properties of single walled carbon nanotubes by electrochemical doping		PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS	SCI(E)	1463-9076	10.1039/c5cp01667c		17	25	16243	201507	3	0	3	김은규		1			0	1	0.3333	0.3763	0.12542079	3.567	0.491	0.1636503	0.19132	1.77904	0.592954032
2015	34	Structural and luminescence features of lithium-doped p-type film-like ZnO nanorods		JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	1533-4880	10.1166/jnn.2015.11481		15	11	8679	201511	2	1	3	홍진표		1			0	1	0.4	0	0	1.093	0.095	0.038000000000000006	0.01415	0.15223	0.060892
2015	35	Structural and optical properties of MoS2 layers grown by successive two-		THIN SOLID FILMS	SCI(E)	0040-6090	10.1016/j.tsf.2015.01.036		587		47	201507	2	2	4	김은규		1			0	1	0.4	0.9382	0.37528000000000006	1.888	0.507	0.2028	0.02204	0.40291	0.161164

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
																주저자			기타저자			총저자수									
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)			보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		step chemical vapor deposition method																													
2015	36	Structure and hydrogen adsorption properties of SBA-15 doped with Pd nanoparticles		JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	1533-4880	10.1166/jnn.2015.11526		15	11	8922	201511	2	2	4	김재용		1			0	1	0.4	0.0923	0.03692	1.093	0.095	0.038000000000000006	0.01415	0.15223	0.060892
2015	37	Temperature and gain tuning of plasmonic coherent perfect absorbers		OPTICS EXPRESS	SCI(E)	1094-4087	10.1364/OE.23.019837		23	15	19837	201507	2	2	4	송석호		1			0	1	0.4	0.3443	0.13772	3.561	0.466	0.1864	0.17334	3.7318	1.49272
2015	38	Temperature dependence of the electronic transitions in BiFeO3 thin film studied by spectroscopic ellipsometry		JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	SCI(E)	0021-8979	10.1063/1.4916722		117	13	134107	201504	2	1	3	문순재		1			0	1	0.4	0.1839	0.07356	2.328	0.203	0.0812000000000001	0.11746	1.10424	0.4416960000000001
2015	39	Thermally enhanced perpendicular		APPLIED PHYSIC	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.4921		106	22	222404	201506	2	4	6	홍진표		1			0	1	0.4	0.1012	0.04048	3.521	0.307	0.1228	0.2247	2.1124	0.84496

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		magnetic anisotropy behaviors of ultrathin [Co/Pd]n multilayers via NiOx capping layer		S LETTERS			885																								
2015	40	Thermoelectric conductivities at finite magnetic field and the Nernst effect		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP07(2015)027		2015	7	27	201507	1	3	4			0	신상진		1	1	0.1666	2.8618	0.4767758000000004	5.833	0.503	0.0837998	0.14307	1.36348	0.227155768
2015	41	Thermoelectric conductivities, shear viscosity, and stability in an anisotropic linear axion model		PHYSICAL REVIEW D	SCI(E)	2470-0010	10.1103/PhysRevD.92.106005		92	10	106005	201511	0	4	4			0	신상진		1	1	0.25	4.064	1.016	4.368	0.414	0.1035	0.21022	2.00343	0.5008575
2015	42	Transport properties of unrestricted carriers in bridge-channel MoS2 field-effect		Nanoscale	SCI(E)	2040-3364	10.1039/c5nr04397b		7	41	17556	201511	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	0.5792	0.23168000000000002	6.97	0.607	0.24280000000000001	0.20802	2.23793	0.8951720000000001

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		transistors																													
2015	43	Triboelectric energy harvester based on wearable textile platforms employing various surface morphologies		Nano Energy	SCI(E)	2211-2855	10.1016/j.nanoen.2015.01.009		12		410	201503	2	9	11	홍진표		1			0	1	0.4	4.7186	1.887440000000002	15.548	1.354	0.5416000000000001	0.08725	0.93866	0.375464
2015	44	Ultrathin W space layer-enabled thermal stability enhancement in a perpendicular MgO/CoFeB/W/CoFeB/MgO recording frame		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep16903		5		16903	201511	2	5	7	홍진표		1			0	1	0.4	1.4977	0.599080000000001	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2015	45	Variation of entanglement entropy in scattering process		PHYSICS LETTERS B	SCI(E)	0370-2693	10.1016/j.physletb.2015.02.028		743		147	201504	2	1	3	신상진		1			0	1	0.4	0.6462	0.25848	4.162	0.503	0.201200000000002	0.06535	1.37685	0.55074

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2016	1	Character of matter in holography: Spin-orbit interaction		PHYSICS LETTERS B	SCI(E)	0370-2693	10.1016/j.physletb.2016.05.059		759		104	201608	2	2	4	신상진		1			0	1	0.4	0.9174	0.36696	4.162	0.503	0.2012000000000002	0.06535	1.37685	0.55074
2016	2	Competing magnetic orderings and tunable topological states in two-dimensional hexagonal organometallic lattices		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.93.041404		93	4	041404	201601	3	2	5	조준형		1			0	1	0.2857	1.2308	0.35163955999999996	3.736	0.325	0.0928525	0.36327	3.90814	1.11655598
2016	3	Dilute Magnetic Semiconductor and Half-Metal Behaviors in 3d Transition-Metal Doped Black and Blue Phosphorenes: A First-Principles Study		Nanoscale Research Letters	SCI(E)	1931-7573	10.1186/s11671-016-1296-x		11		77	201602	3	3	6	조준형		1			0	1	0.2857	4.8905	1.39721585	3.159	0.275	0.07856750000000001	0.02339	0.25164	0.07189548
2016	4	Dimensionality and Valency Dependent		NANO LETTERS	SCI(E)	1530-6984	10.1021/acs.nan		16	10	6628	201609	3	5	8	조준형		1			0	1	0.2857	0.2794	0.07982457999	12.279	1.069	0.3054133	0.30059	3.23382	0.92390237400

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Quantum Growth of Metallic Nanostructures: A Unified Perspective					olett.6b03351																		999999						00001
2016	5	Effect of vanadium oxide interfacial layer for electrical contact on p-type silicon		CURRENT APPLIED PHYSICS	SCI(E)	1567-1739	10.1016/j.cap.2016.06.022		16	10	1315	201610	2	0	2	김은규		1			0	1	0.5	0	0	2.01	0.175	0.0875	0.0077	0.08284	0.04142
2016	6	Energetics and kinetics of Cu atoms and clusters on the Si(111)-7 × 7 surface: First-principles calculations		PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS	SCI(E)	1463-9076	10.1039/c6cp01919f		18	27	18549	201607	2	3	5			0	조준형		1	1	0.0666	0.1876	0.0124916	3.567	0.491	0.0327006	0.19132	1.77904	0.118484064000001
2016	7	First-principles study of the crystal structures and physical properties of H18-BN and Rh6-BN		PHYSICS LETTERS A	SCI(E)	0375-9601	10.1016/j.physleta.2016.09.053		380	46	3891	201612	2	4	6			0	조준형		1	1	0.05	0.4448	0.02224	2.087	0.198	0.0099	0.01944	0.25793	0.0128965

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
																주저자			기타저자												
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2016	8	H18Carbon: A New Metallic Phase with sp2-sp3 Hybridized Bonding Network		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep21879		6		21879	201602	2	5	7			0	조준형		1	1	0.04	1.4341	0.057364	4.011	0.299	0.01196	1.06137	1.82974	0.0731896
2016	9	Highly enhanced perpendicular magnetic anisotropic features in a CoFeB/MgO free layer via WN diffusion barrier		ACTA MATERIALIA	SCI(E)	1359-6454	10.1016/j.actamat.2016.03.044		110		217	201605	2	5	7	홍진표		1			0	1	0.4	0.3436	0.13744	7.293	1.832	0.732800000000001	0.09092	2.9443	1.17772
2016	10	Hydrogen-isotope transport in an ELBRODUR G CuCrZr alloy for nuclear applications in heat sinks		JOURNAL OF NUCLEAR MATERIALS	SCI(E)	0022-3115	10.1016/j.jnucmat.2016.01.035		473		112	201605	1	6	7			0	김재용		1	1	0.0833	0.3139	0.02614787	2.547	1.113	0.0927129	0.0317	1.58092	0.131690636
2016	11	Infrared Spectroscopic Evidences of Strong Electronic		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep32632		6		32632	201609	2	3	5	문순재		1			0	1	0.4	0.2494	0.0997600000000001	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	저자 중 참여교수: 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자 성명	저자 중 참여교수: 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Correlations in (Sr 1-x la x) 3 Ir 2 O 7																													
2016	12	Interplay between the spin-selection rule and frontier orbital theory in O2 activation and CO oxidation by single-atom-sized catalysts on TiO2(110)		PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS	SCI(E)	1463-9076	10.1039/c6cp03168d		18	36	24872	201609	3	5	8	조준형		1			0	1	0.2857	0.938	0.2679866	3.567	0.491	0.1402787	0.19132	1.77904	0.508271728
2016	13	Manipulation of electronic structure via alteration of local orbital environment in [(SrIr O3)m,(SrTi O3)](m= 1, 2,and) superlattices		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.94.245113		94	24	245113	201612	2	8	10	문순재		1			0	1	0.4	1.4546	0.58184	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256
2016	14	Memory window engineering of Ta2O5-x oxide-		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep30333		6		30333	201607	2	6	8	홍진표		1			0	1	0.4	0.2494	0.0997600000000	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	저자 중 참여교수: 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자 성명	저자 중 참여교수: 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		based resistive switches via incorporation of various insulating frames																							01						
2016	15	Multifunctional resistive switching behaviors employing various electroforming steps		Journal of Materials Chemistry C	SCI(E)	2050-7526	10.1039/c5tc03303a		4		823	201601	2	5	7	홍진표		1			0	1	0.4		0	6.641	0.578	0.2312	0.09744	1.04828	0.41931200000001
2016	16	Nature of the Insulating Ground State of the Two-Dimensional Sn Atom Lattice on SiC(0001)		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep30598		6		30598	201607	2	2	4	조준형		1			0	1	0.4	0.3741	0.14964	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2016	17	Observation of exceptional points in reconfigurable non-Hermitian vector-field holographic lattices		Nature Communications	SCI(E)	2041-1723	10.1038/ncomms12201		7		12201	201607	3	4	7	송석호		1			0	1	0.2857	1.9429	0.5550865300000001	11.878	0.886	0.2531302	1.10316	1.90179	0.54341403

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
2016	18	Optical and electrical properties of indium molybdenum oxide thin films by the co-sputtering method		JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	1533-4880	10.1166/jnn.2016.13272		16	10	10970	201610	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0	0	1.093	0.095	0.038000000000000006	0.01415	0.15223	0.060892
2016	19	Optimization of the p+-ZnTe layer for back contacts of ZnTe thin-film solar cells		JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	SCI(E)	0374-4884	10.3938/jkps.69.416		69	3	416	201608	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.1779	0.07116	0.63	0.06	0.024	0.00378	0.05015	0.02006
2016	20	Origin of symmetric dimer images of Si(001) observed by lowerature scanning tunneling microscopy		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep27868		6		27868	201606	3	2	5	조준형		1			0	1	0.2857	0.3117	0.08905268999999999	4.011	0.299	0.0854243	1.06137	1.82974	0.522756718
2016	21	Origin of the metal-insulator		PHYSICAL	SCI(E)	2469-9950	10.1103/P		93	24	2414	201606	2	0	2	조준형		1			0	1	0.5	1.1189	0.55945	3.736	0.325	0.1625	0.36327	3.90814	1.95407

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		transition of indium atom wires on Si(111)		REVIEW B			hysRevB.93.241408				08																				
2016	22	Oxide stoichiometry-controlled TaOx-based resistive switching behaviors		APPLIED PHYSICS LETTERS	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.4963884		109	14	143502	201610	2	3	5	홍진표		1			0	1	0.4	0.6554	0.26216	3.521	0.307	0.1228	0.2247	2.1124	0.84496
2016	23	Photoinduced reversible phase transition of azobenzene-containing polydiacetylene crystals		CHEMICAL COMMUNICATIONS	SCI(E)	1359-7345	10.1039/c6cc08606c		52	97	14059	201611	2	7	9			0	김재용		1	1	0.0285	1.326	0.03779100000000005	6.164	0.416	0.011856	0.29081	1.86282	0.05309037
2016	24	Physical and optical properties of SnO2/ZnO film prepared by an RF magnetron sputtering method		JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	1533-4880	10.1166/jnn.2016.11076		16	3	2983	201603	2	1	3	김재용		1			0	1	0.4	0.281	0.1124000000000001	1.093	0.095	0.0380000000000006	0.01415	0.15223	0.060892
2016	25	Quantum stability and		PHYSICAL	SCI(E)	2469-9950	10.1103/P		93	22	2241	201606	2	5	7			0	조준형		1	1	0.04	0.6713	0.026852	3.736	0.325	0.0130000	0.36327	3.90814	0.1563256

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
																주저자			기타저자												
				게재학술지명	학술지 구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회 발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	성명	연구자 등록번호	수(A)	성명	연구자 등록번호	수(A)	총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		magic lengths of metal atom wires		REVIEW B			hysRevB.93.224102				02																	0000000000001			
2016	26	Resistive switching memory device with metal-oxide quantum dots on a graphene layer		PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE	SCI(E)	1862-6300	10.1002/pssa.201532408		213	2	325	201602	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0	0	1.606	0.14	0.0560000000000001	0.0103	0.11081	0.044324
2016	27	Solution processed vertically stacked ZnO sheet-like nanorod p-n homojunctions and their application as UV photodetectors		Journal of Materials Chemistry C	SCI(E)	2050-7526	10.1039/c5tc02977e		4	1	142	201601	2	2	4	홍진표		1			0	1	0.4		0	6.641	0.578	0.2312	0.09744	1.04828	0.41931200000000001

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	주저자			기타저자			총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
																성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)										
2016	28	Spin-orbit coupling effects on the stability of two competing structures in Pb/Si(111) and Pb/Ge(111)		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.94.075436		94	7	075436	201608	3	2	5	조준형		1			0	1	0.2857	1.4546	0.4157922	3.736	0.325	0.0928525	0.36327	3.90814	1.116555598
2016	29	Stacking-sequence-independent band structure and shear exfoliation of two-dimensional electride materials		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.94.235428		94	23	235428	201612	2	4	6	조준형		1			0	1	0.4	0.5594	0.22376000000000001	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256
2016	30	Structure and electrical conductivity of Ag-doped TiZrNi quasicrystals		JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	1533-4880	10.1166/jnn.2016.13189		16	10	10532	201610	2	2	4	김재용		1			0	1	0.4	0.0936	0.03744	1.093	0.095	0.038000000000000006	0.01415	0.15223	0.060892
2016	31	Synthesis and hydrogen desorption		JOURNAL OF NANOS	SCI(E)	1533-4880	10.1166/jnn.201		16	3	2987	201603	2	1	3	김재용		1			0	1	0.4	0.1873	0.07492	1.093	0.095	0.0380000000000	0.01415	0.15223	0.060892

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	저자 중 참여교수: 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자 성명	저자 중 참여교수: 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		properties of aluminum hydrides		CIENCE AND NANOTECHNOLOGY			6.11077																					0000006			
2016	32	Thermally activated heavy states and anomalous optical properties in a multiband metal: The case of SrMnS b2		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.93.205122		93	20	205122	201605	2	9	11			0	문순재		1	1	0.022	1.3427	0.02980794	3.736	0.325	0.0072150000000001	0.36327	3.90814	0.08676070 8
2016	33	Thermally robust perpendicular Co/Pd-based synthetic antiferromagnetic coupling enabled by a W capping or buffer layer		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep21324		6		21324	201602	2	4	6	홍진표		1			0	1	0.4	0.6858	0.27432	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2016	34	Toward negligible charge loss in charge injection memories		Nano Research	SCI(E)	1998-0124	10.1007/s12274-016-1118-		9	8	2319	201606	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	1.2823	0.51292	8.515	0.742	0.2968	0.03181	0.34222	0.136888

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		based on vertically integrated 2D heterostructures					6																								
2016	35	Ultrathin Co-O oxide layer-driven perpendicular magnetic anisotropy in a CoO/[Co/Pd] m multilayer matrix upon annealing		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep37503		6		37503	201611	2	2	4	홍진표		1			0	1	0.4	0.1247	0.0498800000000001	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2016	36	Unidirectional bragg gratings using parity-time symmetry breaking in plasmonic systems		IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS	SCI(E)	1077-260X	10.1109/JSTQE.2016.2519825		22	5	4600712	201602	2	4	6			0	송석호		1	1	0.05	0.6682	0.03341	4.681	0.71	0.0355	0.01579	0.73699	0.0368495
2016	37	Work function modification of		JOURNAL OF	SCI(E)	1533-4880	10.1166/jn		16	5	5109	201605	2	2	4	김은규		1			0	1	0.4	0.3747	0.1498799	1.093	0.095	0.0380000	0.01415	0.15223	0.060892

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보 게재학술지명	게재정보 학술지구분	게재정보 ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보 DOI	게재정보 학술대회발표구분	게재정보 권	게재정보 호	게재정보 쪽	게재정보 연월(YYYYMM)	총 저자 주저자수(m)	총 저자 기타저자수(n)	총 저자 총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자 성명	저자 중 참여교수 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수 주저자 수(A)	저자 중 참여교수 기타저자 성명	저자 중 참여교수 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수 총저자수	환산편수(U)	피인용 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor IF(I)	Impact Factor 보정IF(F)	Impact Factor 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score ES(E)	Eigenfactor Score 보정ES(Y)	Eigenfactor Score 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		tungsten-doped indium oxides deposited by the co-sputtering method		NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY			n.2016.12189																		9999999998			0000000006			
2017	1	Abnormal volumetric thermal expansion in the hourglass fermion materials KHgAs and KHgSb		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.95.104101		95	10	104101	201703	3	3	6			0	조준형		1	1	0.0476	0.1455	0.0069258	3.736	0.325	0.0154700000000001	0.36327	3.90814	0.18602746 4
2017	2	Atomistic mechanisms of van der Waals epitaxy and property optimization of layered materials		Wiley Interdisciplinary Reviews-Computational Molecular Science	SCI(E)	1759-0876	10.1002/wcms.1300		7	3	e1300	201705	2	3	5			0	조준형		1	1	0.0666	1.1571	0.07706286000000001	8.127	1.817	0.12101220000000001	0.00899	0.2125	0.0141525

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재 학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회 발표 구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자 등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자 등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정 피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산 보정 피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정 IF(F)	Impact Factor: 환산 보정 IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정 ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산 보정 ES(Z)=(U×Y)
2017	3	Chromogenic Tubular Polydiacetylenes from Topochemical Polymerization of Self-Assembled Macrocyclic Diacetylenes		MACROMOLECULES	SCI(E)	0024-9297	10.1021/acs.macromol.6b02493		50	3	900	201701	3	10	13			0	김재용		1	1	0.0142	2.6711	0.0379296200000000004	5.997	1.017	0.0144414	0.08311	2.29146	0.032538732
2017	4	Comment on "Quasi-One-Dimensional Metal-Insulator Transitions in Compound Semiconductor Surfaces"		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.118.239601		118	23	239601	201706	2	2	4	조준형		1			0	1	0.4	0.3558	0.14232	9.227	0.877	0.3508	0.5787	7.67825	3.071300000000004
2017	5	Competing charge density wave and antiferromagnetism of metallic atom wires in GaN(10 1- 0) and ZnO(10 1- 0) COMPETING CHARGE DENSITY WAVE		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.96.235416		96	23	235416	201712	2	1	3	조준형		1			0	1	0.4	0.1455	0.0582	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
																주저자			기타저자			총저자수									
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)			보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2017	6	Competing Gap Opening Mechanisms of Monolayer Graphene and Graphene Nanoribbons on Strong Topological Insulators		NANO LETTERS	SCI(E)	1530-6984	10.1021/acs.nanolett.6b05354		17	7	4013	201705	3	5	8			0	조준형		1	1	0.0285	2.1717	0.06189345	12.279	1.069	0.0304665	0.30059	3.23382	0.0921638700000001
2017	7	Contrasting diffusion behaviors of O and F atoms on graphene and within bilayer graphene		PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS	SCI(E)	1463-9076	10.1039/c7cp00579b		19	13	9107	201704	3	2	5	조준형		1			0	1	0.2857	0.251	0.0717107	3.567	0.491	0.1402787	0.19132	1.77904	0.508271728
2017	8	Desorption dynamics of deuterium in CuCrZr alloy		JOURNAL OF NUCLEAR MATERIALS	SCI(E)	0022-3115	10.1016/j.jnucmat.2017.09.013		496		117	201712	2	8	10	김재용		1			0	1	0.4	0.2744	0.10976	2.547	1.113	0.445200000000004	0.0317	1.58092	0.632368
2017	9	Electrical and photovoltaic properties of residue-free		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/1361-6528/		28	19	195703	201704	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	1.0848	0.4339200000000000	3.399	0.296	0.1184	0.04815	0.51801	0.207204

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
																주저자			기타저자			총저자수									
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)			보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		MoS2 thin films by liquid exfoliation method					aa6740																		03						
2017	10	Electrical properties of thin film transistors with zinc tin oxide channel layer		JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	SCI(E)	0374-4884	10.3938/jkps.71.500		71	8	500	201710	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.1186	0.04744	0.63	0.06	0.024	0.00378	0.05015	0.02006
2017	11	Electrically tunable binary phase Fresnel lens based on a dielectric elastomer actuator		OPTICS EXPRESS	SCI(E)	1094-4087	10.1364/OE.25.023801		25	20	23801	201710	2	8	10			0	송석호		1	1	0.025	1.1687	0.02921750000000004	3.561	0.466	0.01165	0.17334	3.7318	0.093295
2017	12	Electrodynamic properties of the semimetallic Dirac material SrMnB i2: Two-carrier-model analysis		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.96.155139		96	15	155139	201710	3	10	13			0	문순재		1	1	0.0142	0.7279	0.01033618	3.736	0.325	0.004615	0.36327	3.90814	0.0554955880000000005

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2017	13	Enhancement of near-infrared detectability from InGaZnO thin film transistor with MoS2 light absorbing layer		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/1361-6528/aa9054		28	47	475206	201710	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	1.0848	0.43392000000000003	3.399	0.296	0.1184	0.04815	0.51801	0.207204
2017	14	Extremely broadband, on-chip optical nonreciprocity enabled by mimicking nonlinear anti-adiabatic quantum jumps near exceptional points		Nature Communications	SCI(E)	2041-1723	10.1038/ncomms14154		8		14154	201701	3	2	5	송석호		1			0	1	0.2857	2.7862	0.7960174	11.878	0.886	0.2531302	1.10316	1.90179	0.54341403
2017	15	Formation and magnetic properties of InFeP:Ag nanorods fabricated with noble metal Ag using an ion milling method		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/1361-6528/aa9832		28	50	505702	201712	2	12	14			0	김은규		1	1	0.0166	0	0	3.399	0.296	0.0049136	0.04815	0.51801	0.008598966

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
2017	16	Hierarchically Nanostructured 1D Conductive Bundle Yarn-Based Triboelectric Nanogenerators		ADVANCED MATERIALS	SCI(E)	0935-9648	10.1002/adma.201704434		29	47	1704434	201712	2	4	6	홍진표		1			0	1	0.4	1.239	0.49560000000000004	25.809	2.248	0.8992000000000001	0.40936	4.40399	1.7615960000000001
2017	17	High photoresponsivity from multilayer MoS2/Si heterojunction diodes formed by vertically stacking		JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	SCI(E)	0021-8979	10.1063/1.4994740		122	12	124505	201709	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	0.2372	0.09488	2.328	0.203	0.08120000000000001	0.11746	1.10424	0.4416960000000001
2017	18	High power conversion efficiency of intermediate band photovoltaic solar cell based on Cr-doped ZnTe		SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS	SCI(E)	0927-0248	10.1016/j.solmat.2017.05.020		170		27	201710	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	1.0937	0.43748	6.019	0.524	0.2096	0.03182	0.35703	0.14281200000000002
2017	19	High-Performance Amorphous		Advanced Electro	SCI(E)	2199-160X	10.1002/aelm.2		3	3	160045	201703	2	5	7	홍진표		1			0	1	0.4	0.7026	0.28104	6.312	0.55	0.22000000000	0.01193	0.12835	0.05134

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		InGaZnO Thin-Film Transistors via Staked Ultrathin High-k TaOx Buffer Layer Grown on Low-k SiO2 Gate Oxide		nic Materials			01600452				2																	000003			
2017	20	Holography of the Dirac Fluid in Graphene with Two Currents		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.118.036601		118	3	36601	201701	2	3	5	신상진		1			0	1	0.4	2.0166	0.80664	9.227	0.877	0.3508	0.5787	7.67825	3.0713000000000004
2017	21	Infrared probe of pseudogap in electron-doped Sr		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-017-10725-z		7		10494	201709	2	4	6	문순재		1			0	1	0.4	0.4364	0.17456000000000002	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2017	22	Iodide management in formamidinium-lead-halide-based perovskite layers for efficient solar		SCIENCE	SCI(E)	0036-8075	10.1126/science.aan2301		356	6345	1376	201706	4	7	11	김은규		1			0	1	0.2222	223.6462	49.69418564	41.063	3.063	0.6805986	1.06998	1.84459	0.40986798

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	주저자			기타저자			총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
																성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)										
		cells																													
2017	23	Magnetic property (Tcｯ・・ｼｯ300ｯK) originated from InZnP:Ag nano-rods fabricated with noble metal Ag using ion milling method		JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS	SCI(E)	0925-8388	10.1016/j.jallcom.2017.02.017		704		552	201705	2	10	12			0	김은규		1	1	0.02	0.1481	0.0029620000000002	4.175	1.049	0.02098	0.13177	4.26716	0.0853432
2017	24	Microscopic mechanism of the tunable band gap in potassium-doped few-layer black phosphorus		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.96.075416		96	7	075416	201708	3	3	6	조준형		1			0	1	0.2857	1.1646	0.3327262	3.736	0.325	0.0928525	0.36327	3.90814	1.11655598
2017	25	Multiple p-n junction subwavelength gratings for transmission-mode electro-optic modulators		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/srep46508		7		46508	201704	3	1	4	송석호		1			0	1	0.2857	0.611	0.17456270000000001	4.011	0.299	0.0854243	1.06137	1.82974	0.52275671 8

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	저자 중 참여교수: 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자 성명	저자 중 참여교수: 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
2017	26	Multivalency-Driven Formation of Te-Based Monolayer Materials: A Combined First-Principles and Experimental study		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.119.106101		119	10	106101	201709	3	9	12			0	조준형		1	1	0.0158	12.5743	0.19867394	9.227	0.877	0.0138566000000000002	0.5787	7.67825	0.12131635000000002
2017	27	Observation of giant magnetoresistance in CoFeN/AlOx/CoFeN magnetic tunneling junctions employing a nitrogen-doped amorphous CoFeN free layer electrode		APPLIED PHYSICS LETTERS	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.4973407		110	1	012402	201701	2	0	2	홍진표		1			0	1	0.5	0.2594	0.1297	3.521	0.307	0.1535	0.2247	2.1124	1.0562
2017	28	Physical properties of zinc-tin-oxide thin films deposited on sapphire		Science of Advanced Materials	SCI(E)	1947-2935	10.1166/sam.2017.2564		9	2	285	201702	2	1	3	김재용		1			0	1	0.4	0.0897	0.03588	1.158	0.101	0.0404000000000000005	0.00314	0.03378	0.013512

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		substrates by an rf-magnetron sputtering method																													
2017	29	Polymerizable Supramolecular Approach to Highly Conductive PEDOT:PSS Patterns		ACS Applied Materials & Interfaces	SCI(E)	1944-8244	10.1021/acsami.7b04284		9	22	19231	201705	4	6	10			0	김재용		1	1	0.0185	0.8977	0.01660745	8.456	0.646	0.011951	0.36635	3.94128	0.07291368
2017	30	Reduction of interface traps between poly-Si and SiO2 layers through the dielectric recovery effect during delayed pulse bias stress		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/1361-6528/aa6a9d		28	22	225702	201705	2	6	8	김은규		1			0	1	0.4	0	0	3.399	0.296	0.1184	0.04815	0.51801	0.207204
2017	31	Room temperature ferromagnetic and ambipolar behaviors of MoS2 doped by manganese		APPLIED PHYSICS LETTERS	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.4984951		110	22	222104	201705	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	0.5188	0.2075200000000004	3.521	0.307	0.1228	0.2247	2.1124	0.84496

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	주저자: 연구자등록번호	주저자: 수(A)	기타저자: 성명	기타저자: 연구자등록번호	기타저자: 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		oxide using an electrochemical method																													
2017	32	Room temperature ferromagnetic and semiconducting properties of graphene adsorbed with cobalt oxide using electrochemical method		JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS	SCI(E)	0304-8853	10.1016/j.jmmm.2017.08.056		444		361	201712	2	4	6	김은규		1			0	1	0.4	0	0	2.683	0.205	0.082	0.02983	0.32092	0.128368
2017	33	Room temperature transparent conducting magnetic oxide (TCMO) properties in heavy ion doped oxide semiconductor		AIP Advances	SCI(E)	2158-3226	10.1063/1.4994044		7	8	085114	201708	2	8	10			0	김은규		1	1	0.025	0.2372	0.00593	1.579	0.138	0.0034500000000000003	0.02544	0.27369	0.00684225
2017	34	Selective control of electron and hole tunneling		Science Advances	SCI(E)	2375-2548	10.1126/sciadv.1602		3	4	e16027	201704	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.7856	0.31424	12.804	0.955	0.382	0.10997	0.18958	0.0758320000000000

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		in 2D assembly					726				26																				01
2017	35	Semiconducting properties of perchlorate-doped graphene using an electrochemical method		RSC Advances	SCI(E)	2046-2069	10.1039/c7ra00332c		7	27	16823	201703	2	2	4	김은규		1			0	1	0.4	0.2301	0.0920400000000001	3.049	0.206	0.0824	0.32064	2.0539	0.8215600000000001
2017	36	Small Fermi surfaces and strong correlation effects in Dirac materials with holography		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP10(2017)204		2017	10	204	201710	1	3	4	신상진		1			0	1	0.5	0.4028	0.2014	5.833	0.503	0.2515	0.14307	1.36348	0.68174
2017	37	Spin-Orbit Coupling and Interband Transitions in the Optical Conductivity of Sr2RhO4		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.119.267402		119	26	267402	201712	2	8	10			0	문순재		1	1	0.025	0.1186	0.002965	9.227	0.877	0.021925	0.5787	7.67825	0.19195625000000002
2017	38	Strong correlation effects on surfaces of topological		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.96.041		96	4	041104	201707	2	1	3	신상진		1			0	1	0.4	0.5823	0.2329200000000001	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회 발표 구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	주저자 연구자 등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자 등록번호	기타저자 수(A)	총 저자수	환산 편수(U)	피인용: 보정 피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산 보정 피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정 IF(F)	Impact Factor: 환산 보정 IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정 ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산 보정 ES(Z)=(U×Y)
		insulators via holography					104																								
2017	39	Strong Spin-Phonon Coupling Mediated by Single Ion Anisotropy in the All-In-All-Out Pyrochlore Magnet Cd2Os2O7		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.118.117201		118	11	117201	201703	2	9	11			0	문순재		1	1	0.0222	2.2538	0.0500343 6	9.227	0.877	0.0194694	0.5787	7.67825	0.1704571 5
2017	40	Structural and optical characterization of MoS2 quantum dots defined by thermal annealing		JOURNAL OF LUMINESCENCE	SCI(E)	0022-2313	10.1016/j.jlumin.2016.11.014		183		62	201703	2	4	6	김은규		1			0	1	0.4	1.3086	0.52344	2.961	0.388	0.1552	0.02037	0.43854	0.1754160000000002
2017	41	Synthesis and physical properties of boron nitride nanotubes		Science of Advanced Materials	SCI(E)	1947-2935	10.1166/sam.2017.2562		9	2	276	201702	2	1	3	김재용		1			0	1	0.4	0.0897	0.03588	1.158	0.101	0.0404000000000005	0.00314	0.03378	0.013512
2017	42	Temperature-dependent anisotropic		JOURNAL OF MAGN	SCI(E)	0304-8853	10.1016/j.jmm		423		7	201702	2	0	2	홍진표		1			0	1	0.5	0.2911	0.14555	2.683	0.205	0.1025	0.02983	0.32092	0.16046

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		magnetoresistance inversion behaviors in Fe3O4 films		ETISM AND MAGNETIC MATERIALS			m.2016.09.067																								
2017	43	Two-magnon scattering in the 5d all-in-all-out pyrochlore magnet Cd2Os2O7		Nature Communications	SCI(E)	2041-1723	10.1038/s41467-017-00228-w		8		251	201708	2	9	11			0	문순재		1	1	0.0222	1.7831	0.03958482	11.878	0.886	0.0196692	1.10316	1.90179	0.042219738000001
2018	1	Analysis of local sites of deuterium in Ti53Zr27Ni20 alloys		PHYSICA B-CONDENSED MATTER	SCI(E)	0921-4526	10.1016/j.physb.2018.05.014		551		33	201812	2	2	4	김재용		1			0	1	0.4	0	0	1.874	0.111	0.0444	0.01062	0.0725	0.0289999999999998
2018	2	Asymmetric quantum confinement-induced energetically and spatially splitting Dirac rings in graphene/phosphorene/graphene		CARBON	SCI(E)	0008-6223	10.1016/j.carbon.2018.08.057		140		164	201812	2	5	7			0	조준형		1	1	0.04	1.4569	0.058276	7.466	0.59	0.0236	0.08522	0.91682	0.0366728

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표 구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	저자 중 참여교수: 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자 성명	저자 중 참여교수: 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		heterostructure																													
2018	3	Atomic and electronic structure of doped Si(111)(2 3 ×2 3)R30 -Sn interfaces		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.97.195402		97	19	195402	201805	2	9	11			0	조준형		1	1	0.0222	0.2404	0.005336880000000004	3.736	0.325	0.0072150000000001	0.36327	3.90814	0.086760708
2018	5	Charged BTZ-like black hole solutions and the diffusivity-butterfly velocity relation		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP01(2018)068		2018	1	68	201801	1	4	5			0	신상진		1	1	0.125	0.8806	0.110075	5.833	0.503	0.062875	0.14307	1.36348	0.170435
2018	4	Charge-Spin Correlation in van der Waals Antiferromagnet NiPS3		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.120.136402		120	13	136402	201803	4	12	16	문순재		1			0	1	0.2222	2.3182	0.51510404	9.227	0.877	0.1948694	0.5787	7.67825	1.70610715
2018	6	Competing edge structures of Sb and Bi bilayers generated by trivial and nontrivial band		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.98.075402		98	7	075402	201808	2	3	5	조준형		1			0	1	0.4	0.2404	0.0961600000000001	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보 게재학술지명	게재정보 학술지구분	게재정보 ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보 DOI	게재정보 학술대회발표구분	게재정보 권	게재정보 호	게재정보 쪽	게재정보 연월(YYYYMM)	총 저자 주저자수(m)	총 저자 기타저자수(n)	총 저자 총저자수(T)	주저자 성명	주저자 연구자등록번호	주저자 수(A)	기타저자 성명	기타저자 연구자등록번호	기타저자 수(A)	저자 중 참여교수 총저자수	환산편수(U)	피인용 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor IF(I)	Impact Factor 보정IF(F)	Impact Factor 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score ES(E)	Eigenfactor Score 보정ES(Y)	Eigenfactor Score 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		topologies																													
2018	7	Complete Einstein equations from the generalized First Law of Entanglement		PHYSICAL REVIEW D	SCI(E)	2470-0010	10.1103/PhysRevD.98.026020		98	2	026020	201807	0	3	3	신상진		1			0	1	0.3333	0.4431	0.1476852 3	4.368	0.414	0.13798619999999997	0.21022	2.00343	0.6677432189999999
2018	8	Coupling of charge, lattice, orbital, and spin degrees of freedom in charge density waves in 1 T-TaS 2		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.97.041413		97	4	041413	201801	2	1	3	조준형		1			0	1	0.4	1.9232	0.76928000000001	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256
2018	9	Electronic states of deep trap levels in a-plane GaN templates grown on r-plane sapphire by HVPE		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-018-26290-y		8		7814	201805	3	2	5	김은규		1			0	1	0.2857	0.163	0.0465691	4.011	0.299	0.0854243	1.06137	1.82974	0.522756718
2018	10	Electronic transport mechanism for schottky diodes formed by		Nanomaterials	SCI(E)	2079-4991	10.3390/nano8060397		8	6	397	201806	3	2	5	김은규		1			0	1	0.2857	0.7774	0.2221031 8	4.034	0.308	0.08799560000000001	0.00839	0.09026	0.0257872 82

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보 게재학술지명	게재정보 학술지구분	게재정보 ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보 DOI	게재정보 학술대회발표구분	게재정보 권	게재정보 호	게재정보 쪽	게재정보 연월(YYYYMM)	총 저자 주저자수(m)	총 저자 기타저자수(n)	총 저자 총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자 성명	저자 중 참여교수 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수 주저자 수(A)	저자 중 참여교수 기타저자 성명	저자 중 참여교수 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수 총저자수	환산편수(U)	피인용 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor IF(I)	Impact Factor 보정IF(F)	Impact Factor 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score ES(E)	Eigenfactor Score 보정ES(Y)	Eigenfactor Score 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		au/HVPE a-plane GaN templates grown via in situ GaN nanodot formation																													
2018	11	Exploring oxygen-affinity-controlled TaN electrodes for thermally advanced TaOx bipolar resistive switching		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-018-26997-y		8		8532	201806	2	7	9	홍진표		1			0	1	0.4	0.6521	0.26084	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2018	12	Fabry-Perot cavity resonance enabling highly polarization-sensitive double-layer gold grating		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-018-32158-y		8		14787	201810	4	8	12			0	김은규		1	1	0.0138	0.4891	0.0067498	4.011	0.299	0.0041262	1.06137	1.82974	0.025250412
2018	13	Flatbands and Emergent Ferromagnetic Ordering in Fe3Sn2 Kagome Lattices		PHYSICAL REVIEW LETTERS	SCI(E)	0031-9007	10.1103/PhysRevLett.121.0964		121	9	096401	201808	3	14	17	조준형		1			0	1	0.2857	3.372	0.9633804	9.227	0.877	0.250558900000003	0.5787	7.67825	2.193676025000002

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
							01																								
2018	14	Formation of transition metal dichalcogenides thin films with liquid phase exfoliation technique and photovoltaic applications		SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS	SCI(E)	0927-0248	10.1016/j.solmat.2018.04.033		184		9	201809	2	2	4	김은규		1			0	1	0.4	0.5354	0.21416000000002	6.019	0.524	0.2096	0.03182	0.35703	0.14281200000002
2018	15	High performance intermediate-band solar cells based on ZnTe:Cr with ZnO:Al electron transport layer		SOLAR ENERGY	SCI(E)	0038-092X	10.1016/j.solener.2018.02.074		164		262	201804	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.5573	0.22292	4.674	0.36	0.144	0.03119	0.34996	0.139984
2018	16	Highly Surface-Embossed Polydimethylsiloxane-Based Triboelectric Nanogenerators with Hierarchically Nanostructured Conductive Ni-		ACS Applied Materials & Interfaces	SCI(E)	1944-8244	10.1021/acsami.8b10613		10	39	33221	201809	2	4	6	홍진표		1			0	1	0.4	1.0935	0.4374	8.456	0.646	0.2584	0.36635	3.94128	1.57651200000001

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Cu Fabrics																													
2018	17	Hydrogen adsorption induced nanomagnetism at the Si(111)- (7×7) surface		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.98.195424		98	19	195424	201811	2	3	5	조준형		1			0	1	0.4	0.2404	0.0961600000000001	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256
2018	18	In-plane direct current probing for spin orbit torque-driven effective fields in perpendicularly magnetized heavy metal/ferromagnet/oxide frames		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-018-29397-4		8		11065	201807	2	4	6	홍진표		1			0	1	0.4	0	0	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2018	20	Locally Gated SnS2/hBN Thin film transistors with a broadband photoresponse		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-018-28765-4		8		10585	201807	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.6521	0.26084	4.011	0.299	0.1196	1.06137	1.82974	0.731896
2018	21	Magnetically driven band		PHYSICAL AL	SCI(E)	2469-9950	10.1103/P		98	3	0351	201807	4	5	9	문순재		1			0	1	0.2222	0.2404	0.0534168	3.736	0.325	0.072215	0.36327	3.90814	0.8683887

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	주저자			기타저자			총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
																성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)										
		shift and metal-insulator transition in spin-orbit-coupled S r3(I r1-x R ux)2 O7		REVIEW B			hysRevB.98.035110				10														8						08
2018	22	Mott transition with holographic spectral function		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP08(2018)077		2018	8	77	201808	1	3	4	신상진		1			0	1	0.5	0.6605	0.33025	5.833	0.503	0.2515	0.14307	1.36348	0.68174
2018	23	Observation of an anti-PT-symmetric exceptional point and energy-difference conserving dynamics in electrical circuit resonators		Nature Communications	SCI(E)	2041-1723	10.1038/s41467-018-04690-y		9		2182	201806	3	1	4	송석호		1			0	1	0.2857	3.4614	0.98892198	11.878	0.886	0.2531302	1.10316	1.90179	0.54334140 3
2018	24	Perovskite Nanoparticle Composite Films by Size Exclusion		ADVANCED MATERIALS	SCI(E)	0935-9648	10.1002/adma.20180255		30	39	1802555	201809	2	9	11			0	김재용		1	1	0.0222	0.8461	0.01878342	25.809	2.248	0.049905600000001	0.40936	4.40399	0.097768578000001

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Lithography					5																								
2018	25	Photovoltaic property of n-ZnO/p-Si heterojunctions grown by pulsed laser deposition		THIN SOLID FILMS	SCI(E)	0040-6090	10.1016/j.tsf.2018.05.023		658		22	201807	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	0.4571	0.18284	1.888	0.507	0.2028	0.02204	0.40291	0.161164
2018	26	Quantum plasmonic sensing using single photons		OPTICS EXPRESS	SCI(E)	1094-4087	10.1364/OE.26.029272		26	22	29272	201810	3	5	8			0	송석호		1	1	0.0285	0.7642	0.0217797	3.561	0.466	0.0132810000000001	0.17334	3.7318	0.1063563
2018	27	Recent Advances in Synthesis and Assembly of van der Waals Materials		JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	SCI(E)	0374-4884	10.3938/jkps.73.805		73	6	805	201809	2	0	2	김은규		1			0	1	0.5	0.1047	0.05235	0.63	0.06	0.03	0.00378	0.05015	0.025075
2018	28	Spectroscopic Studies on the Metal・・ Insulator Transition Mechanism in		ADVANCED MATERIALS	SCI(E)	0935-9648	10.1002/adma.201704777		30	42	1704777	201810	3	7	10			0	문순재		1	1	0.0204	0.1993	0.00406572	25.809	2.248	0.0458592000000001	0.40936	4.40399	0.0898413960000002

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	주저자: 연구자등록번호	주저자: 수(A)	기타저자: 성명	기타저자: 연구자등록번호	기타저자: 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Correlated Materials																													
2018	29	Sr3Ir2 O7 F2: Topochemical conversion of a relativistic Mott state into a spin-orbit driven band insulator		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.98.155128		98	15	155218	201810	4	8	12			0	문순재		1	1	0.0138	0	0	3.736	0.325	0.004485	0.36327	3.90814	0.053932332
2018	30	Structure and hydrogen absorption properties of Ti53Zr27Ni20(Pd,V) quasicrystals		INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY	SCI(E)	0360-3199	10.1016/j.ijhydene.2018.08.141		43	41	19130	201810	2	0	2	김재용		1			0	1	0.5	0	0	4.084	0.453	0.2265	0.0857	0.96158	0.48079
2018	31	The Nature of Bonding in Bulk Tellurium Composed of One-Dimensional Helical Chains		INORGANIC CHEMISTRY	SCI(E)	0020-1669	10.1021/acs.inorgchem.7b03244		57	9	5083	201804	3	2	5	조준형		1			0	1	0.2857	2.2518	0.64333926	4.85	0.881	0.25170170000000003	0.09292	2.87402	0.8211075139999999
2018	32	Time-asymmetric loop around an		NATURE	SCI(E)	0028-0836	10.1038/s41586-		562		86	201809	3	9	12	송석호		1			0	1	0.2857	1.94984816416	0.55707162050	43.07	3.212	0.9176684	1.28486	2.21503	0.63283471

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자: 성명	주저자: 연구자등록번호	주저자: 수(A)	기타저자: 성명	기타저자: 연구자등록번호	기타저자: 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		exceptional point over the full optical communications band					018-0523-2																	674	24376						
2018	33	X-ray absorption fine structure investigation of the local structure of SnO2-doped ZnO films		MATERIALS CHEMISTRY AND PHYSICS	SCI(E)	0254-0584	10.1016/j.matchemphys.2017.12.004		206		103	201802	2	2	4	김재용		1			0	1	0.4	0.6079	0.2431600000000001	2.781	0.213	0.0852	0.02007	0.21592	0.086368
2019	1	(LaCoO3)n/(SrCoO2.5)n superlattices: Tunable ferromagnetic insulator		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.100.064415		100	6	064415	201908	3	4	7	문순재		1			0	1	0.2857	0	0	3.736	0.325	0.0928525	0.36327	3.90814	1.116555598
2019	2	"1D Stretchable Block Copolymer Yarn-Based Energy Harvesters via BaTiO3/Polydimethylsiloxane Composite-		Advanced Energy Materials	SCI(E)	1614-6832	10.1002/aenm.201903217		10	6	1903217	201912	3	3	6	홍진표		1			0	1	0.2857	0	0	24.884	2.167	0.6191118999999999	0.1206	1.35317	0.386600669

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자: 성명	저자 중 참여교수: 주저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 주저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 기타저자: 성명	저자 중 참여교수: 기타저자: 연구자등록번호	저자 중 참여교수: 기타저자: 수(A)	저자 중 참여교수: 총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Carbon Conductive Ink"																													
2019	3	Acoustic black holes in curved spacetime and the emergence of analogue Minkowski spacetime		PHYSICAL REVIEW D	SCI(E)	2470-0010	10.1103/PhysRevD.99.104047		99	10	104047	201905	0	5	5			0	신상진		1	1	0.2	0	0	4.368	0.414	0.0828	0.21022	2.00343	0.400686
2019	4	Antireflection Coatings with Graded Refractive Index of Indium Tin Oxide for Si-based Solar Cells		JOURNAL OF THE KOREAN PHYSICAL SOCIETY	SCI(E)	0374-4884	10.3938/jkps.74.127		74	2	127	201901	2	0	2	김은규		1			0	1	0.5	0.8193	0.40965	0.63	0.06	0.03	0.00378	0.05015	0.025075
2019	5	Building magnetic hysteresis in holography		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP07(2019)158		2019	7	158	201907	1	3	4	신상진		1			0	1	0.5	0.7548	0.3774	5.833	0.503	0.2515	0.14307	1.36348	0.68174
2019	6	Characteristics of p-type conduction in P-doped MoS2		Nanomaterials	SCI(E)	2079-4991	10.3390/nano90912		9	9	1278	201909	2	3	5	김은규		1			0	1	0.4	0	0	4.034	0.308	0.1232	0.00839	0.09026	0.0361040000000

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자: 성명	주저자: 연구자등록번호	주저자: 수(A)	기타저자: 성명	기타저자: 연구자등록번호	기타저자: 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		by phosphorous pentoxide during chemical vapor deposition					78																								004
2019	7	Chemically surface-engineered polydimethylsiloxane layer via plasma treatment for advancing textile-based triboelectric nanogenerators		Nano Energy	SCI(E)	2211-2855	10.1016/j.nanoen.2018.12.051		57		353	201903	2	4	6	홍진표		1			0	1	0.4	6.383	2.55320000000003	15.548	1.354	0.54160000000001	0.08725	0.93866	0.375464
2019	8	CMOS-compatible Si metasurface at visible wavelengths prepared by low-temperature green laser annealing		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/1361-6528/aaecbd		30	4	045301	201901	2	7	9	송석호		1			0	1	0.4	0.7699	0.30796	3.399	0.296	0.1184	0.04815	0.51801	0.207204
2019	9	Correlation functions in		PHYSICAL	SCI(E)	2470-0010	10.1103/P		99	6	0660	201903	0	4	4	신상진		1			0	1	0.25	2.4632	0.6158	4.368	0.414	0.1035	0.21022	2.00343	0.5008575

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	게재정보: 학술지 구분	게재정보: ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보: DOI	게재정보: 학술대회발표구분	게재정보: 권	게재정보: 호	게재정보: 쪽	게재정보: 연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	총 저자: 기타저자수(n)	총 저자: 총저자수(T)	주저자: 성명	주저자: 연구자등록번호	주저자: 수(A)	기타저자: 성명	기타저자: 연구자등록번호	기타저자: 수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용: 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	Impact Factor: 보정IF(F)	Impact Factor: 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	Eigenfactor Score: 보정ES(Y)	Eigenfactor Score: 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Schwarzian liquid		REVIEW D			hysRevD.99.066001				01																				
2019	10	Defect states of organic lead halide single crystals grown by inverseerature crystallization		APPLIED PHYSICS LETTERS	SCI(E)	0003-6951	10.1063/1.5100952		115	15	153302	201910	3	3	6	김은규		1			0	1	0.2857	0	0	3.521	0.307	0.0877099000000001	0.2247	2.1124	0.60351268
2019	11	First observation of electronic trap levels in freestanding GaN crystals extracted from Si substrates by hydride vapour phase epitaxy		Scientific Reports	SCI(E)	2045-2322	10.1038/s41598-019-43583-y		9		7128	201905	3	3	6	김은규		1			0	1	0.2857	0	0	4.011	0.299	0.0854243	1.06137	1.82974	0.522756718
2019	12	High-efficiency blue organic light-emitting Diodes using emissive carbazole-triazine-based donor-acceptor		ORGANIC ELECTRONICS	SCI(E)	1566-1199	10.1016/j.orgel.2019.105399		75		105399	201912	3	7	10	홍진표		1			0	1	0.2857	0	0	3.495	0.304	0.0868528	0.01864	0.20053	0.0572914210000001

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		molecules with high reverse intersystem crossing rates																													
2019	13	High-pressure triggered quantum tunneling tuning through classical percolation in a single nanowire of a binary composite		Nano Research	SCI(E)	1998-0124	10.1007/s12274-019-2295-x		12	6	1333	201905	2	3	5			0	김재용		1	1	0.0666	0.8394	0.0559904000000001	8.515	0.742	0.0494172	0.03181	0.34222	0.0227918520000005
2019	14	Hole Conduction of Tungsten Diselenide Crystalline Transistors by Niobium Dopant		Advanced Electronic Materials	SCI(E)	2199-160X	10.1002/aelm.201800695		5	2	1800695	201902	2	0	2	김은규		1			0	1	0.5	0	0	6.312	0.55	0.275	0.01193	0.12835	0.064175
2019	15	Influence of surface charge density on ligand-metal bonding: A DFT study of NH 3 and HCOOH on		APPLIED SURFACE SCIENCE	SCI(E)	0169-4332	10.1016/j.apsusc.2018.10.108		470		893	201903	2	6	8			0	조준형		1	1	0.0333	4.3466	0.14474178	5.155	1.385	0.0461205	0.1089	1.99077	0.066292641

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야 여부	게재정보: 게재학술지명	학술지 구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		Mg (0・ゥ0・ゥ 0・ゥ1) surface																													
2019	16	Interaction induced quasi-particle spectrum in holography		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP11(2019)103		2019	11	103	201911	1	3	4	신상진		1			0	1	0.5	0	0	5.833	0.503	0.2515	0.14307	1.36348	0.68174
2019	17	Long-Term Chemical Aging of Hybrid Halide Perovskites		NANO LETTERS	SCI(E)	1530-6984	10.1021/acs.nanolett.9b02142		19	8	5604	201907	3	7	10	김은규		1			0	1	0.2857	0	0	12.279	1.069	0.3054133	0.30059	3.23382	0.9239023740000001
2019	18	Microscopic mechanism of roomerature superconductivity in compressed LaH10		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.99.140501		99	14	140501	201904	2	4	6	조준형		1	김재용		1	2	0.45	4.2488	1.91196	3.736	0.325	0.14625000000000002	0.36327	3.90814	1.758663
2019	19	Nanofabrication of plasmonic structures on insulating substrates by resist-on-metal		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/1361-6528/aaefd6		30	5	054003	201902	2	6	8			0	송석호		1	1	0.0333	0.7699	0.0256376700000000005	3.399	0.296	0.0098568	0.04815	0.51801	0.01724973 3

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보: 게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	총 저자: 주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	저자 중 참여교수: 주저자 성명	연구자등록번호	수(A)	기타저자 성명	연구자등록번호	수(A)	총저자수	환산편수(U)	피인용: 보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor: IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score: ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
		bilayer lift-off																													
2019	20	Performance of thyristor memory device formed by a wet etching process		NANOTECHNOLOGY	SCI(E)	0957-4484	10.1088/1361-6528/aaec5b		30	3	035205	201901	2	5	7	김은규		1			0	1	0.4	0	0	3.399	0.296	0.1184	0.04815	0.51801	0.207204
2019	21	Pressure dependence of the superconducting transition temperature of compressed LaH10		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.100.060502		100	6	06502	201908	2	1	3	조준형		1			0	1	0.4	0	0	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256
2019	22	Pressure-induced fluorescence enhancement of FAαPbBr2+α composite perovskites		Nanoscale	SCI(E)	2040-3364	10.1039/c8nr09780a		11	13	5868	201904	3	6	9	김재용		1			0	1	0.2857	1.3045	0.3726965	6.97	0.607	0.1734199	0.20802	2.23793	0.639376601
2019	23	Quantum correction to chaos in Schwarzian theory		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSIC	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP11(2019)035		2019	11	35	201911	2	1	3			0	신상진		1	1	0.2	0	0	5.833	0.503	0.1006000000001	0.14307	1.36348	0.272696

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보									총 저자			저자 중 참여교수							환산편수(U)	피인용		Impact Factor			Eigenfactor Score		
				게재학술지명	학술지구분	ISSN/ISBN/e-ISSN	DOI	학술대회발표구분	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	주저자			기타저자			총저자수		보정피인용수[FWCI](PP)	환산보정피인용수(UXPP)	IF(I)	보정IF(F)	환산보정IF(X)=(U×F)	ES(E)	보정ES(Y)	환산보정ES(Z)=(U×Y)
																성명	연구자등록번호	수(A)	성명	연구자등록번호	수(A)										
				S																											
2019	24	Redistribution of native defects and photoconductivity in ZnO under pressure		RSC Advances	SCI(E)	2046-2069	10.1039/C8RA10219H		9	8	4303	201903	2	5	7			0	김재용		1	1	0.04	1.364	0.0545600000000000004	3.049	0.206	0.0082399999999999999	0.32064	2.0539	0.082156
2019	25	Simultaneous Measurement of Humidity and Temperature with Cytop-reduced Graphene Oxide-overlaid Two-mode Optical Fiber Sensor		SENSORS AND ACTUATORS B-CHEMICAL	SCI(E)	0925-4005	10.1016/j.snb.2019.126841		298		126841	201911	2	4	6	김재용		1			0	1	0.4	0	0	6.393	1.393	0.5572	0.08897	2.31512	0.926048
2019	26	Stability of topology in interacting Weyl semi-metal and topological dipole in holography		JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	SCI(E)	1029-8479	10.1007/JHEP10(2019)109		2019	10	109	201910	1	2	3	신상진		1			0	1	0.5	0	0	5.833	0.503	0.2515	0.14307	1.36348	0.68174
2019	27	The effect of oxygen partial		JOURNAL OF	SCI(E)	0925-8388	10.1016/j.j		806		874	201910	2	1	3	김은규		1			0	1	0.4	1.6557	0.66228	4.175	1.049	0.4196	0.13177	4.26716	1.706864

연도	연번	논문제목	수학/거대과학실험분야여부	게재정보 게재학술지명	게재정보 학술지구분	게재정보 ISSN/ISBN/e-ISSN	게재정보 DOI	게재정보 학술대회발표구분	게재정보 권	게재정보 호	게재정보 쪽	게재정보 연월(YYYYMM)	총 저자 주저자수(m)	총 저자 기타저자수(n)	총 저자 총저자수(T)	저자 중 참여교수 주저자 성명	저자 중 참여교수 주저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수 주저자 수(A)	저자 중 참여교수 기타저자 성명	저자 중 참여교수 기타저자 연구자등록번호	저자 중 참여교수 기타저자 수(A)	저자 중 참여교수 총저자수	환산편수(U)	피인용 보정피인용수[FWCI](PP)	피인용 환산보정피인용수(UXPP)	Impact Factor IF(I)	Impact Factor 보정IF(F)	Impact Factor 환산보정IF(X)=(U×F)	Eigenfactor Score ES(E)	Eigenfactor Score 보정ES(Y)	Eigenfactor Score 환산보정ES(Z)=(U×Y)
		pressure on band gap modulation of Ga2O3 grown by pulsed laser deposition		ALLOYS AND COMPOUNDS			allcom.2019.07.326																								
2019	28	Theoretical prediction of Weyl fermions in the paramagnetic electride Y2 C		PHYSICAL REVIEW B	SCI(E)	2469-9950	10.1103/PhysRevB.99.220401		99	22	220401	201906	2	4	6	조준형		1			0	1	0.4	0	0	3.736	0.325	0.13	0.36327	3.90814	1.563256
2019	29	Tuning the Photoresponse of Nano-Heterojunction: Pressure-Induced Inverse Photoconductance in Functionalized WO3 Nanocuboids		Advanced Science	SCI(E)	2198-3844	10.1002/advs.201901132		6	19	1901132	201910	2	7	9			0	김재용		1	1	0.0285	2.0093	0.0572650500000005	15.804	1.208	0.034428	0.02103	0.22625	0.0064481250000000001

총 편수	2015년	45	2016년	37	2017년	43	2018년	32	2019년	29	총계	186
대표논문 환산편수의 합	2015년	14.8726	2016년	11.3805	2017년	11.6264	2018년	9.0778	2019년	9.0016	총계	55.9589
보정피인용수(FWCI)값이있는논문의 총편수	2015년	45	2016년	35	2017년	43	2018년	32	2019년		총계	155
보정피인용수(FWCI)의합	2015년	40.5577	2016년	26.5660	2017년	267.8613	2018년	27.5783	2019년		총계	362.5633
환산 보정 피인용수(FWCI) 합	2015년	13.2660	2016년	7.1662	2017년	57.0437	2018년	7.5290	2019년		총계	85.0048
IF값이 영(zero)이 아닌 논문의총 편수	2015년	45	2016년	37	2017년	43	2018년	32	2019년	29	총계	186
IF의 합	2015년	173.3040	2016년	150.6420	2017년	282.0090	2018년	233.8420	2019년	181.9840	총계	1021.7810
보정 IF의 합	2015년	17.9960	2016년	15.4070	2017년	27.2960	2018년	20.3320	2019년	18.0360	총계	99.0670
환산보정 IF의 합	2015년	5.8967	2016년	4.4574	2017년	6.2945	2018년	4.6641	2019년	5.2299	총계	26.5425
ES값이 영(zero)이 아닌 논문의 총 편수	2015년	45	2016년	37	2017년	43	2018년	32	2019년	29	총계	186
ES의 합	2015년	10.9208	2016년	12.8402	2017년	13.2978	2018년	13.2784	2019년	5.3386	총계	55.6758
보정 ES의 합	2015년	80.2514	2016년	63.4264	2017년	105.6468	2018년	79.5735	2019년	50.0178	총계	378.9159
환산보정 ES의 합	2015년	25.2135	2016년	18.1718	2017년	21.9182	2018년	18.8577	2019년	16.0977	총계	100.2589
7												

[첨부 7-2] 최근 5년간 참여교수 논문 및 저서 실적 (건축 분야의 건축학만 해당)

연도	연번	구분	논문제목/저서명	게재정보						총 저자			저자 중 교육연구단 참여교수					가중치(U)	환산편수
				게재학술지명/출판사명	ISSN/ISBN/e-ISSN	권	호	쪽	연월(YYYYMM)	주저자수(m)	기타저자수(n)	총저자수(T)	주저자		기타저자		총 저자 수		
													성명	수(A)	성명	수(B)			
No data have been found.																			

연구재단 등재(후보)지 논문 환산편수	2015년	0	2016년	0	2017년	0	2018년	0	2019년	0	총계	0
국제저명 학술지 논문 환산편수	2015년	0	2016년	0	2017년	0	2018년	0	2019년	0	총계	0
기타국제 학술지 논문 환산편수	2015년	0	2016년	0	2017년	0	2018년	0	2019년	0	총계	0
국어 학술저서 환산편수	2015년	0	2016년	0	2017년	0	2018년	0	2019년	0	총계	0
외국어 학술저서 환산편수	2015년	0	2016년	0	2017년	0	2018년	0	2019년	0	총계	0
저서 또는 논문 총 환산편수	2015년	0.0000	2016년	0.0000	2017년	0.0000	2018년	0.0000	2019년	0.0000	총계	0.0000
평가대상 1인당 저서 또는 논문 환산 편수											총계	0