

『4단계 BK21사업』미래인재 양성사업(기초과학 분야) 교육연구팀 성과평가 보고서

관리번호								
사업 분야	기초과학	신청분야	물리	단위	전국	구분	교육연구팀	
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야		
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류	
	분류명	물리학	응집물질물리	물리학	고체물리	물리학	광학및양자전자학	
	비중(%)	70%		20%		10%		
학과(학부)	한양대학교 물리학과							
교육연구 단명	국문) 양자물질 극한물성 교육연구팀							
	영문) Studies of Quantum Materials at Extreme Conditions							
교육연구 단장	소 속	한양대학교 자연과학대학 물리학과						
	직 위	교수						
	성명	국문	김재용		전화	02-2220-0917		
					팩스			
		영문	Kim, Jae-yong		이동전화			
E-mail					kimjy@hanyang.ac.kr			
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (‘20.9~’21.2)		2차년도 (‘21.3~’22.2)		3차년도 (‘22.3~’23.2)		
	국고지원금	160		321		328		
총 사업기간		2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)						
평가 대상 기간		2020.9.1.-2023.2.28.(30개월)						

본인은 『4단계 BK21』사업 성과평가 보고서를 제출합니다. 아울러, 보고서에는 사실과 다른 내용이 포함되지 아니하였으며 만약 허위 사실이나 중대한 오류가 발견될 경우에는 그에 상응하는 불이익을 감수하겠음을 서약합니다.

2023년 월 일

작성자	교육연구단장	
확인자	대학교 산학협력단장	
확인자	대학교 총장	

한국연구재단 이사장 귀하

〈신청서 요약문〉

중심어	양자물질	극한물성	온도 압력
	양자특이점	초전도성	슈퍼물성
	창의적인재	실용물리	융합적사고
교육연구팀의 비전과 목표	<p>❖ 비전: 극한물성분야의 창의적 연구인재 양성</p> <p>❖ 목표: 양자물질의 시간·공간·환경 물리변수기반 극한물성 탐구에 필요한 세계적인 연구인력 양성</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 		
교육역량 영역	<p>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.</p> <p>❖ 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.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 신입교수 2인을 초빙하여 교육의 질을 향상함. <p>❖ 국제적 수준의 교육</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>❖ 우수대학원생 확보 및 장학금 지원</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>❖ 제도 개선:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 예비시험제도를 실시하여 대학원 기초교육을 보강하였으며, 박사학위심사를 국제적 수준으로 강화하고 교육위원회, 외국인학생지도위원회 등을 구성하여 대학원생들의 교육연구 활동을 지원할 것임. 		

<p style="text-align: center;">연구역량 영역</p>	<p>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.</p> <p>❖ 참여교수의 연구 역량과 연구진 구성</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>❖ 연구의 국제화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 고압기반 극한환경 연구분야에서 명실공히 세계최고 연구기관인 중국 북경고압 연구센터 (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. <p>❖ 산업계 연관 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>❖ 연구 인력의 전문화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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.
<p style="text-align: center;">기대 효과</p>	<p>❖ 교육·학문적 효과</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>❖ 연구·기술적 효과</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>❖ 경제·산업·사회적 효과</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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.

〈보고서 요약문〉

중심어	양자물질	극한물성	온도압력
	양자특이점	초전도성	슈퍼물성
	창의적인재	실용물리	융합적사고
교육연구팀의 비전과 목표	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 비전: 극한물성분야의 창의적 연구인재 양성 ❖ 목표: 양자물질의 시간·공간·환경 물리변수기반 극한물성 탐구에 필요한 세계적인 연구인력 양성 <ul style="list-style-type: none"> • 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 		
교육역량 영역	<p>온도와 압력 그리고 시간을 변수로 하여 양자물질이 극한환경에서 보이는 물리현상을 이해하고 창의적이고 독립적인 연구능력과 사회적 소통능력을 갖춘 인재를 양성하고자 전문화된 대학원 교육과정, MOU 기반 국제화 프로그램, 우수한 대학원생 확보를 위한 다양한 장학금과 학사 제도를 설계하였으며 그동안 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ 교육과정: 양자물질 극한물성 연구 수행에 필요한 교과과목들을 개설하여 현대과학 난제해결에 도전할 인재를 양성할 목적으로 정규교과목을 기초, 핵심, 심화 및 특성화 과목으로 분류하였고 본 교육연구팀의 주제 부합하는 심화과목 12과목(36학점)을 개설 ❖ 국제적 수준의 교육 <ul style="list-style-type: none"> • MOU 기반 (14개 기관) 국제석학 공동 지도교수, 연구인력 교류, 국제 세미나와 공동강의, 해외대형시설활용 연구참여, 양자물질 분야 관련 국제학회 등 추진 ❖ 우수대학원생 확보 및 장학금 지원 <ul style="list-style-type: none"> • 참여대학원생 증가 (사업신청 시 대비 25% 증가) 및 대학원 경쟁률 향상 (1.83:1) • 본교 학부졸업생 대학원 진학을 향상: 선정당시 11%에서 25%로 증가 • 교내 BK장학생, 대학원 Teaching Fellow 등 51명의 장학생 선발 ❖ 제도 개선: <ul style="list-style-type: none"> • 예비시험제도 실시를 통한 대학원 기초교육 보강 • 교육과정개선위원회 등 다양한 위원회를 통한 대학원생들의 교육연구 활동 지원 • BK 세미나 시리즈를 신설하여 국내외 신진 우수연구자 중심으로 총 101회 진행 ❖ 신임교원 충원: <ul style="list-style-type: none"> • 응집물질물리학 분야로 신임교수 3인을 초빙하여 교육의 질 향상 		
연구역량 영역	<ol style="list-style-type: none"> 1. 대학원생 연구 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 대학원생 총 논문 출간 54편 (IF > 5.0 논문 수: 29편) ▪ 대표논문: 광학적 위상학적 공진 모드 연구-Physical Review Letters XXX 제 1 저자) 2. 참여교수 연구력 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 논문 135편 출간 (Physical Review Letters 4편 등, IF > 5.0 논문 수: 88편) ▪ 연구비: 총 111.5 억원 수주 (1인당 13.2 억원) 		

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 연구의 국제화 <ul style="list-style-type: none"> • 미국 National High Field Magnetic Laboratory, 독일 Max Plank Society 등 해외 우수 7개 기관들과 MOU/LOI 추가 체결하여 총 14개 기관과 국제공동연구 수행 • 해외석학 공동지도교수제 확립 ❖ 산업계 연관 연구 <ul style="list-style-type: none"> • 특허등록 21 건, 기술이전 1건, 실험실 창업 1건 도출 ❖ 연구 인력의 전문화 <ul style="list-style-type: none"> • 박사학위 취득에 필요한 조건으로 “학위기간 동안 주저자로서 IF 3.0 이상 논문으로 총 IF 합 10 이상 출간”을 추가함으로써 연구인력 질적 향상뿐 아니라 세계적 수준의 전문성 구비
<p style="text-align: center;">향후 계획</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 교육: 원래 계획했던 전반적인 교육과정을 모두 기대이상으로 완수하였지만 여기에 머물지 않고, 양자물질 극한물성 분야 최신 연구결과에 맞추어 신규교과목을 개설하고, 동시에 미래 양자기술을 선도할 수 있는 진취적이고 창의적인 연구 재원 육성을 위한 교육과정을 지속적으로 개발할 계획임 2. 연구: 아직 태동기 상태인 양자물질 극한물성 분야의 세계적인 연구메카가 되어 가시적인 성과를 도출할 수 있는 연구력을 확보할 예정임 <ul style="list-style-type: none"> • 대학원생: 대학원 입학경쟁률을 2:1 이상으로 향상시켜 우수한 학생을 선발할 수 있는 입학 경쟁형 체제 구축 • 참여교수: 교원퇴임에 따른 공백이 발생하지 않도록 우수교원 확충을 위한 공간 확보 및 인재 발굴 노력 지속 3. 국제화: 코로나 후기를 맞이한 상황에서 그동안 체결한 MOU 기관들에 학생을 파견하고 해외 학자들을 국내에 유치함으로써 양자물질 극한물성 연구분야에서 세계적인 우수 성과를 도출할 수 있는 연구자를 양성할 계획임.

목 차

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표	1
1. 교육연구팀 구성	2
1.1 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량	2
1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진	3
1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황	4
2. 교육연구팀의 비전 및 목표	6
2.1 교육연구팀의 비전 및 목표 달성도	6
II. 교육역량 영역	16
1. 교육과정 구성 및 운영	17
1.1 교육과정 구성 및 운영 실적	17
1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 실적	30
2. 인력양성 현황 및 지원 실적	35
2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적	35
2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적	36
2.3 참여대학원생 취(창)업 현황	39
3. 대학원생 연구역량	41
3.1 참여대학원생 연구 실적의 우수성	41
3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적	60
4. 신진연구인력 운용	63
4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적	63
5. 참여교수의 교육역량	69
5.1 참여교수의 교육역량 대표실적	69
6. 교육의 국제화 전략	71
6.1 교육 프로그램의 국제화 실적	71
III. 연구역량 영역	78
1. 참여교수 연구역량	79
1.1 연구비 수주 실적	79
1.2 연구업적물	80
1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 실적	85
2. 산업·사회에 대한 기여도	90
2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적	90
3. 연구의 국제화 현황	96
3.1 참여교수의 국제화 현황	96

〈부록〉 첨부자료

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구팀 구성

1.1 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	김재용	영문	Kim, Jae-yong
소속기관	한양대학교 자연과학대학 물리학과			

<표 1-1> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구팀장 변경 현황

연번	성명	교육연구팀장 수행 기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	변경 사유
해당 없음			

교육연구팀장인 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, 150 여 편의 SCI 논문을 출간하였다. 최근 다이아몬드 앤빌셀을 활용한 백만 기압 단위 초고압을 기반으로 하는 초고압-초고온 극한물성관련 국내외 연구를 선도하고 있다고 평가 받는다.

1 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 수행해왔다. 2016년 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 초고압 관련 연구를 시작한 이래, 최근에는 하버드대학교, 막스플랑크연구소 등과의 활발한 국제교류 활동 (BrainLink 사업단장)을 통해 수소화물기반 고온초전도체 발굴 등을 포함한 극한물성관련 국내외 연구를 선도하고 있다. 본 연구를 통해 국내에서도 백만 기압 단위 초고압, 초고온 상태의 물성을 분석할 수 있는 기반을 구축하였고, 2021년 11월 제 10회 아시아고압 학회를 유치하는 등 압력과 온도를 기반으로 하는 양자물질 연구를 선도하고 있다. 2019년 8월 한양대학교부설 고압연구소를 설립하여 명실 공히 양자물질 극한물성에서 국내외 허브역할을 수행하고 있다고 자부한다.

2 교육연구팀장의 교육 및 행정 역량

본 교육연구팀장은 학과 실험주임 (2007.03-2008.08), 물리학과장 (2008.09-2010.02), 나노융합학과장 (2013.09 ~ 2016.08), GRDC2019 협회장, 한양대-HPSTAR-CIS 고압연구센터장, BrainLink 국제공동연구 사업단장 (2022.04-현재), 한양대부설 고압연구소장 (2019.08.01-현재) 등 다양하고 전문적인 교육-행정 경험을 갖추고 있다. 물리학과 실험주임 시절에는 일반물리학, 일반역학, 그리고 전자기학과 현대물리학 실험실장비와 교육 시설을 대폭 개선하여 본 학과 현대물리학실험실이 대학교육협의회주관 학과평가에서 모범 교육 실험실로 선정되도록 노력하였고, 물리학과장시절에는 장학기금, 교육전담교원채용 등 학과의 학사와 행정제도를 개편하였다. 특히 학부-대학원 연계 연구논문발표회 (봄), 학과 체육회 (가을), 그리고 학부생 졸업여행 (1월)을 실시하여 학생-교수간 원활한 채널을 구성하고자 노력하였다. 일반인과 학생들을 대상으로 부산 (2017.06)과 광주 (2018.10)에서 진행한 ‘금요일에 과학 터치’를 시작으로 국내외에서 극한물성관련 다양한 강의를 진행하여 과학대중화 및 고압관련 연구

를 국내에 보급하는데 일조하였다. 나노융합학과장 기간 동안 공과대학 교육과정에 자연과학대학 과목들을 개설하여 자연과학과 공학이 연계된 교과과정을 수립하는 등 학제간 융합교육을 시도하였다. 지난 3년 동안 BK21 FOUR 사업팀을 성공적으로 운영해 왔듯이 다양하고 지속적인 교내외 교육과 행정 경험은 본 교육연구팀을 지속적으로 이끌어 갈 수 있는 원동력이라고 확신한다.

3 교육연구팀장의 수행의지

교육연구팀장인 김재용 교수의 정년은 본 BK사업 2단계 종료시점과 일치한다. 평소 교수의 역할은 연구와 교육을 동시에 수행하여 다음 세대에게 자신이 쌓아온 지식과 경험을 전해 주는 것이라고 생각하는 바, 본 BK 사업을 마지막까지 성공적으로 운영하는 것은 교육연구팀장뿐 아니라 교수로서 가장 의미있고 보람있는 경험이 될 것으로 확신한다. 이러한 신념으로 김재용 교수는 지금까지 쌓아온 연구-교육-행정 경험과 능력을 바탕으로 본 교육연구팀이 ‘양자물질 극한물성’ 분야에서 우수한 신진 연구인력을 양성하고 세계적인 연구성과를 도출하여 극한물성 연구를 선도하는 연구와 교육의 메카가 될 수 있도록 교육자의 소명감을 가지고 최선을 다 할 것이다.

1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-2> 교육연구팀 참여교수 현황

연번	성명 (한글/영문)	연구자등록 번호	세부전공분야	대표연구 업적물 분야	신임교수	외국인	사업 참여 여부
1	김은규/ Kim, Eun Kyu		반도체물리	반도체	X	X	X
				반도체			
2	김재용/ Kim, Jaeyong		표면/경계면 물리	분광/구조특성	X	X	O
				분광/구조특성			
				분광/구조특성			
3	문순재/ Moon, Soonjae		에너지띠/전 자구조	강상관물질계	X	X	O
				강상관물질계			
				강상관물질계			
4	송석호/ Song, Seok Ho		광자기술	나노 광학	X	X	O
				나노 광학			
				나노 광학			
5	신상진/ Sin, Sang-Jin		장물리이론	강상관물질계	X	X	O
				강상관물질계			
				강상관물질계			
6	정문석/ Jeong, MunSeok		반도체물리	반도체	X	X	O
				반도체			
7	조준형/ Cho, Jun-Hyung		표면/경계면 물리	강상관물질계	X	X	O
				강상관물질계			
				강상관물질계			
8	천상모/ Cheon, Sangmo		중시물리	강상관물질계	X	X	O
				강상관물질계			
9	홍진표/ Hong, Jin Pyo		반도체물리	반도체	X	X	O
				반도체			
				반도체			

1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황

<표 1-3> 교육연구팀 참여교수 현황

(단위: 명)

평가 대상 기간	구분	총 환산 참여교수 수		
		기존교수 수	신임교수 수	합계
2020.9.1. - 2023.2.2 8.	임상, 건축학 인문사회계열 포함	-	-	-
	임상, 건축학 인문사회계열 제외	9	-	9

<표 1-4> 교육연구팀 참여교수 변동 현황

(단위: 명)

구분	2020년	2021년		2022년		비고
	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	
총 참여교수 수	7	9	9	9	8	
신규 참여교수 수	-	2	-	-	-	
종료 참여교수 수	-	-	-	1	-	

<표 1-5> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구팀 참여교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	참여/종료	변동 사유	비고
1	정문석	2021년 1학기	참여	신규 임용	
2	천상모	2021년 1학기	참여	신규 참여	
3	김은규	2022년 1학기	종료	정년 퇴임	

<표 1-6> 교육연구팀 평균 참여대학원생 현황

(단위: 명)

구분	참여대학원생 수			
	석사	박사	석·박사통합	계
5개 학기의 평균	11	4	18	33

<표 1-7> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구팀 외국인 참여대학원생 현황

연번	성명	국적	학사출신대학	공인어학성적		비고
				국어	영어	
1		중국	Henan Normal University			
2		중국	Xiangtan University			
3		베트남	VNU-Hanoi University of Science			
4		베트남	한양대학교			
5		중국	Linyi University		IELTS 6.5	
6		중국	Zhengzhou University			
7		중국	Yantai University	TOPIK 4급		
8		중국	Zhejiang University			
9		중국	Henan Normal University			
10		중국	Hunan University			
11		중국	Zhengzhou University			

2. 교육연구팀의 비전 및 목표

2.1 교육연구팀의 비전 및 목표 달성도

양자물질을 대상으로 온도와 압력 그리고 시간을 매개로 하는 물리현상을 이해하고 현대과학 난제해결에 도전할 수 있는 세계적 수준의 젊은 연구인력을 양성하고자 아래와 같은 비전과 목표를 설정하고 지난 5학기 동안 응집물질물리와 광과학 분야 전공으로 구성된 참여교수들과 학생들은 최선의 노력을 기울인 바, 교육과 연구 그리고 국제화 부분에서 목표치를 훨씬 상회하는 우수한 성과들을 각 분야에서 도출하였으며 각 분야별 목표치 대비 달성도를 기술하면 다음과 같다.

❖ 비전: 극한물성분야의 창의적 연구인력 양성

❖ 목표: 양자물질의 시간·공간·환경 물리변수 기반 극한물성 탐구에 필요한 세계적 연구인력 양성

❖ 세부목표:

- 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

본 BK 사업을 통하여 참여교수들은 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 참여교수들은 본 사업을 2단계로 나누어 비전과 달성 방안을 아래 그림 I.1과 같이 제시하였다.



[그림 I.1. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 비전 개념도]

❖ 교육비전과 목표 달성도

- 양자물질을 연구함에 있어 물리적 한계의 영역에 도전하는 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 후속 인재를 양성하고자 한다. 자연계의 극한 영역에서 발생하는 물리현상이 현대과학이 탐구해야 할 새로운 연구분야로 대두된 현실이지만, 국내의 극한환경 연구는 그 중요성에 비해 연구 장비 및 시설 등의 인프라 뿐 아니라 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 매개로 하는 극한영역에서의 물리현상을 이해하고 현대과학 난제 해결에 도전할 수 있는 세계적 수준의 젊은 연구인력을 양성하고자 한다.

- 나노시대를 넘어 이제 양자세계에서 발생하는 현상을 대상으로 극한환경에서의 물성을 탐색하는 연구의 주도권이 미국을 비롯한 서양에서 아시아로 이동하는 국제적 연구환경의 변화를 반영하여, 본 교육연구팀은 양자물질이 극한상황에서 보이는 새로운 물성을 분석할 수 있는 도전적이고 진취적인 신진연구 인력을 양성하기 위해, 창의형 IC-PBL 기반으로 하는 전문화된 교육과정과 첨단 연구가 융합된 연구추진형 교육시스템을 제공하였다. 또한 체계화되고 전문화된 교육과정을 개설하여 아직 시도하지 못했던 연구 분야에 과감히 도전하고 추진할 수 있는 동력을 함양하고자 하였다.
- 이를 위해 1단계 (2020-23)에서는 본교 학부생의 대학원 진학을 향상, 해외석학 공동지도교수 제도 활용, 연구주제관련 세미나 및 집중코스 개최, 해외연수 및 파견, 교과과정 수료 후 박사 연구제안서 심사, 종합시험 강화 등 대학원과정 교육 충실도를 높이고자 하였다.
- 우수 대학원생 확보 현황: 본 사업 1단계 기간 동안 (2020-23) 대학원 지원생 수를 40명 선으로 확보하고 2단계에서는 질적으로 우수한 학생을 선별할 수 있도록 입학 경쟁률을 강화할 계획을 제시 하였던 바 28명으로 시작하였던 사업선정 당시 (석사과정 6, 석박통합과정 19, 박사과정 3)에 비해 2023-1학기 35명(석사과정 6, 석박통합과정 24, 박사과정 5)으로 증가하였다. 본 교육연구팀이 BK사업에 선정된 이후 본교생을 비롯한 대학원 지원동기 또한 상승하여 2022년 경우 42명 지원자 가운데 23 명을 선발하여 1.83:1의 경쟁을 보였다. 본교 출신 대학원 진학률 또한 꾸준히 증가하여 사업 선정당시 11.1%에서 올해 25%로 상승하였다 (그림 1.2 참조). 이는 지난 7년간 연속적으로 감소하던 본교생 대학원 진학 인원이 이제 상향되었다는 점에서 본 사업 운영의 의미를 가진다.



[그림 1.2. 지난 3년간 참여대학원생, 입학경쟁률, 본교생 대학원 진학률 현황]

- 사업신청당시 제시하였던 교육분야 계획 및 달성도를 정량적으로 정리하면 다음 표 I.1과 같다.

[표 I.1. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 교육관련 정량적 목표]

항목	선정당시현황	1단계목표	1단계 성과 (달성도)	2단계 최종목표
주제관련 교과목 개설 (과목)	4	6	12	8
관련 세미나 (회)	10	> 15	101	> 20
본교생 대학원 진학률 (%)	15	> 20	25 %	> 30
여름학교 등 집중코스 개설 (건)	1	2	2	4
MOU 체결 및 유지 (건)	7	8	14	10
참여 대학원생수 (비참여 포함)	28 (33)	30 (35)	35 (47)	30 (40)

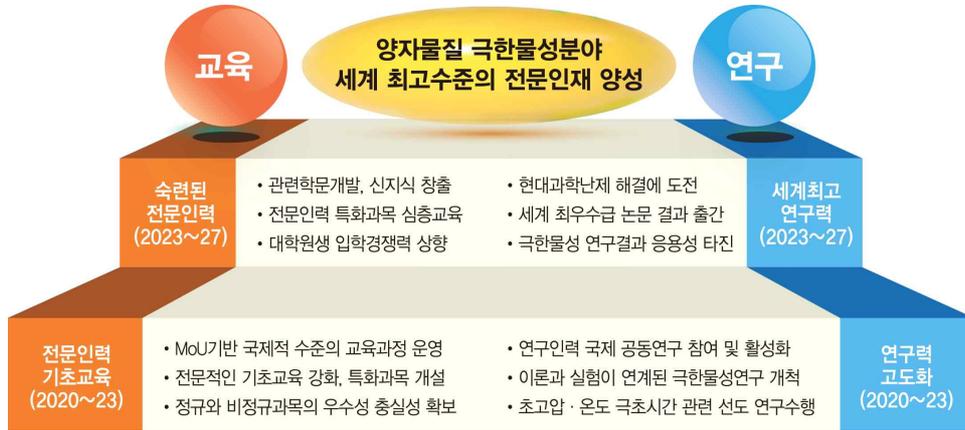
❖ 대학원 정규 교과목에 대한 실적

- 본 사업에 특화된 연구 인력을 양성하기 위하여 대학원 교육과정을 크게 정규과목과 비정규과목으로 나누고 정규과목은 기초 (5과목), 핵심 (3과목), 심화 (12과목), 특성화(2과목), 공통연구과목(5과목) 등으로 구분하여 총 27과목 (74학점)을 운영하였다. [1단계 기간 동안 운영한 정규과목 개설 현황 표 II.2 참조].

- 특히 최신 연구 주제와 밀접하게 연계된 심화 지식을 배우고, 바로 연구를 시작할 수 있도록 심화과목을 설정하여 초고압상변이와수송현상, 강상관양자물질분광학, 위상물리1, 위상물리2, 다체계1, 다체계2, 초끈이론과강상관계, 위상광자학, 반도체소재및물성, 저차원반도체물성연구 등 12과목 (36학점)을 개설/운영하였으며 (표 II.3 참조), 강상관양자물질분광학, 다체계1,2, 저차원반도체물성연구, 초고압상변이와수송현상등 5과목을 IC-PBL로 운영하였는 바, 각 과목별 내용을 설명하면 다음과 같다.
- 응집물질물리학분야 신학문 개척과목: 신상진 교수는 2021-1학기에 고체장론 과목을 개설하였다. 본 과목을 통해 끈이론의 홀로그래피 방법을 활용하여 응집계를 대상으로 스펙트럼과 수송계수를 계산하는 방법론을 강의하였다. 본 과목에서는 고전적인 응집물질물리학 이론을 재해석하였고 이를 입자물리학 강상관계 이론과 접목하였다. 송석호 교수는 (2021년 2학기) 위상광자학 과목을 개설하여 종래의 광과학 분야에 열린 양자역학 이론 및 위상기하학적 대칭성 또는 특이성을 도입하여 다양한 기존의 물리적 한계를 극복하려는 시도들을 소개하였으며, 동시에 열린 양자역학이라는 이론을 실험적으로 검증하고 발전시키기 위한 새로운 광과학 영역을 학습하였다.
- 극한물성관련 과목: 최근 초고압 상태의 수소화물 고온초전도체 발견처럼 활발한 연구결과가 보고되는 주제를 선택하여 이론적으로 해석하려는 노력으로 수업을 운영하였다. 문순재 교수는 강상관양자물질분광학 (2022년 1학기)을 통하여 강상관 양자물질에 분광 실험법을 적용하고 극한환경에서 이들 물질의 전자구조를 설명하였다. 김재용 교수는 초고압상변이와수송현상 과목을 개설하여 (2022년 2학기) 압력과 온도를 변수로 하는 극한조건에서 발생하는 물질의 구조와 상전이, 전기 광학적 특성 그리고 물리·화학 현상을 이해하고, 이론이 확립되지 않은 연구결과가 보고되었거나 학문적으로 매우 새로운 경우 관련분야 전문가를 섭외하여 온라인기반 세미나 과목과 병행하여 운영하였다.
- 이론-실험 연계형 교육과정과목: 광학설계실습 과목의 경우 ray-tracing 방식이 아닌, EM field-tracing 방식을 집중적으로 실습하고, 수치해석적인 resonance-mode solving 및 spatio-temporal mode evolution 방식에 대해 교육하였다.
- 산업체 연계 교과목: 김은규, 정문석교수는 본 교육연구팀의 연구 결과가 산업체에 직접적으로 응용될 수 있도록 반도체소재및물성, 극저차원반도체물성 등 과목을 운영하였다.
- 참고로, 기초과목(4대 역학과목), 핵심과목, 심화과목, 실험연계과목, 그리고 IC-PBL로 구성된 정규과목은 매년 2학기 학과 교과과정위원회(위원장: 김재용 교수)를 통하여 정규 교과 과정을 개편하였다.
- 또한 최신 연구동향을 파악하고, 연구자와 학생간의 폭 넓은 교류를 통해서 교육의 수준을 높이고자 운영한 비정규과목은 물리학연구 및 논문작성을 주요 내용으로 하는 논문작성법과 Endnote의 기초, 국어 학술 발표, 영어 학술 글쓰기 방법, 학회 포스터 작성법 등을 연 4회 실시하였고, 안전 및 윤리 교육을 매 학기 실시하였다.

❖ 교육과 연계된 연구비전과 목표 달성도

- 극한물성연구는 단순히 응집물질물리학 관련 연구시설과 조건만을 갖춘다고 실행될 수 있는 것이 아니라, 최적화된 시료 선택과 이에 필요한 지식과 기술, 실시간 다중분광학 및 상변화 해석, 전산모사를 통한 구조 변이 예측 및 최적화 계산 외 광과학 관련 연구들이 융합되고 첨단 연구에 필요한 특정 기술이 더해져야 우수한 성과를 도출할 수 있는 분야이기에 이에 필요한 교육과 연계하여 진행하였다. 또한 극한물성전문 고압연구소와 이미 구축된 연구 인프라를 바탕으로 기존 소재의 한계를 뛰어넘는 슈퍼물성을 가지는 신소재를 개발하고 관련분야를 세계적으로 선도하는 연구성과를 도출하고자 하였다. 이를 위해 구체적 목표로써 1단계에서는 첨단연구수행에 필요한 국내외 연구 인프라를 확장하고 연구범위를 심화하여 2단계에서는 세계적으로 영향력 있는 연구결과를 도출하도록 하였다. 이러한 내용을 정성적으로 정리하면 그림 I.3과 같다.



[그림 I.3. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 교육과 연구목표 개념도]

- 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 지도하였다 (표 I.2 참조). 본 교육연구팀은 이러한 내부기준을 충족할 수 있도록 참여 학생들을 지도하였으며, 17명의 석사, 박사들을 배출하였고 54편의 SCI 논문을 출간하였다.

[표 I.2. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 교육과 연계된 연구 정량적 목표]

항목		현재	1단계	성과	최종
졸업요건 1: 논문출간 IF 총합	박사	규정 없음	> 6.0	6.8	> 10.0
	석사		SCI 논문 1편	SCI 논문 2.3편	SCI 논문 1편
졸업요건 2: 학회발표	박사	규정 없음	해외발표	해외발표 1.0편	해외발표 1편
	석사		국내발표	국내발표 1.4편	국내발표 1편

❖ 제도 및 자체학사관리 실적

- 첨단 연구를 수행함에 있어 우수 대학원생을 확보하여 이들을 연구목적에 맞게 교육하고 연구 동기를 계속 부여해가며 졸업 때까지 잘 지도하는 것이 중요하다는 인식하에, 본교 학부졸업생들을 대학원으로 유도하고 이들이 중도탈락하지 않고 끝까지 학위를 마칠 수 있도록 지도하였다. 본 연구팀은 80% 이상의 참여인력이 가장 연구력이 왕성한 석박통합, 박사과정(수료생 포함)으로 구성되어 있다. 대학원생들의 연구 동기를 고취하고 우수한 결과를 도출할 수 있도록 다음과 같이 제도 및 학사관리를 운영하였다.
- 본교 학부졸업생 대학원 진학 유도: 본교 물리학과에 진학하는 학부생 수준은, 고교 교과 전과정 1.8등급 이내 혹은 수능정시 1.34등급 (자료출처: 한양대학교 입학처)으로 아주 우수한 재원이다. 성적이 우수한 학생들의 대학원 진출을 유도하고자 본 사업에서 제공하는 장학금 외, “HYU-BK-RA/TA 장학금” 등 다양한 장학금을 지원하였다 (표 I.3 참조).
- 박사학위 자격요건 강화: 세계적으로 경쟁력 있는 박사 학위자를 배출하기 위하여 본 사업에 참여하는 학생들의 학위취득 요건을 세계적 수준으로 강화하였다. 즉, 자기주도연구를 격려하기 위해 석박사통합과정 학생들은 수료를 마치는 입학 후 6학기 (박사과정은 4학기) 후 박사학위 연구제안서를 작성하게 하여 학위예비심사위원들의 승인을 거치게 하였다. 박사학위 심사는 모든 학생과 교수들을 대상으로 개방형심사를 진행하고, 해외 학자들이 최소 1인 이상 심사위원으로 참여하도록 하였다.
- 학위졸업요건: 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 게재로 하였다.

- 교육연구팀내의 상시적 연구 분위기 조성: BK세미나 시리즈를 신규 개설하여 본 분야의 젊은 연구자 혹은 세계적 수준의 연구를 수행하는 학자들의 세미나를 대면과 비대면 방식을 병행하여 운영하였다. 본 강좌를 통해 XXX 교수 등 해외석학을 포함한 세부 전공분야별 세미나 등을 개설하여 우수한 연구결과가 새로운 교육과정 개설로 선순환 될 수 있도록 하였다. 제10회 아시아고압학회 기간 동안 극한물성 관련 이론과 실험분야에서 Tutorial 집중강좌를 개설하였고 12회의 대학원생의 해외학회 구두발표, 7회의 해외파견 국제공동연구를 지원하였고 국제공동연구를 통해 14편의 논문을 출판하였다.
- 해외석학 공동지도교수가 참여하는 공동연구 지도교수제도: 학과에 소속된 특임교수 XXXXX XX, HPSTAR 소장)와 2명의 겸임교수 (XXXXXXXXXX 교수, XXXXX 교수)를 활용하여 XXXX XXX (XXXXXXXX), XXXXXXXX (XXXX), 그리고 XXXXXXXXXXXXX (XXXX) 학생들의 연구논문 및 학위논문을 공동으로 지도하였고 그 결과 Nano Research를 비롯한 3편의 SCI 논문을 출간하였다.
- 대학원 교육위원회 주관
양자물성연구에 특성화된 교육과정을 유지하기 위해 학과차원에서 본 교육 연구팀장 김재용 교수를 대학원교육위원장으로 임명하였고, 본 연구팀의 참여 교수인 문순재 교수, 정문석 교수, 천상모 교수가 교육 위원회에 참여하여 대학원 학사 관리의 전반적인 업무를 관할하였다.
- 대학원생 연구력 향상을 위한 조교 부담 경감
대학원생들의 학부수업 담당 부담을 줄여 연구에 충실할 수 있도록 학교지원을 받아 일반물리학 담당 교육조교 TO를 기존 14명에서 19명으로 증원하였다. 또한 학부장학생 제도를 신설하여 학부생 조교를 지난 1년간 9명을 선발하여 기초이론과목 채점을 하도록 하였다.

• 장학금 운영 실적

본 사업팀 국고에서 지급하는 BK 장학금 외, 다음과 같은 사업팀 내부 장학금을 신설하여 보조하였다.

[표 I.3. 2020.9 ~ 2023.2 장학금 운영 실적]

장학금 명	내용	시상 시기	수상자
HYU-BK-TA 장학금 HYU-BK-RA 장학금	교내 BK-교육장학 교내 BK-연구장학	매학기	XXX 등 총 22명
대학원 Teaching Fellow	학부생 교과목 강의보조	2021년 1학기	XXXX
성적우수자 교육 장학금	GPA 3.5 이상	매년	XXXX 등 총 3명
한기수 장학금	본교 학부출신 대학원 입학생	매년	XXXX 등 9명
BK 우수논문상	우수논문 출간	매 학기말	XXX 등 16명

• BK 세미나 시리즈 개설

플랫밴드 카고메 물질, 위상 부도체, 수소화물 고온초전도체 등 최근 세계적으로 선도적 연구결과들이 보고되는 분야에서 국내외 젊은 연구자들을 초청하여, 총 101회의 세미나를 진행하였다.

❖ 학사 관리 운영 실적

그 외, 학과 내규 중 본 교육연구팀에게 적용할 학사운영 및 제도 내용 보완/완비 하였는바, 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 학·석 통합과정 운영: 학부 5-6학기 재학생 중 총 90학점 이상 취득 예정자(총평점평균 3.5/4.5 이상)를 대상으로 본교 대학원 석사/석박통합 과정 입학할 조건으로 학부생에게 장학금을 지급하고, 대학원 기초/핵심과목을 선수강 할 수 있도록 하였다.

- 자격시험 강화: 일정수준의 학위자격을 유지하기 위해 학위과정별 예비시험과 논문자격시험을 운영하였고, 예비시험을 통과한 후 지도교수를 선정하도록 하였다.
- 박사학위 자격요건 신설: 논문자격시험을 통과하고 학점 평균 3.75 이상인 경우 박사연구제안서를 제출하여 예비심사 위원회의 승인을 거쳐 학위연구를 시작하도록 하였다.

❖ 각종 위원회 운영 실적

- 본 교육연구팀의 원활한 학사 지도와 연구 진흥을 위하여 다음과 같은 자체 위원회를 구성하여 운영하였다 (표 I.4 참조)

[표 I.4. 내부 위원회 구성 현황]

위원회 명	내용	참여교수
교육위원회	입학생선발, 교과목 개설 및 운영, 종합시험, 지도교수선정, 학위논문심사	위원장:김재용 위원: 문순재, 정문석, 천상모, XXX, XXX, XXX, XXXX
장학위원회	장학생 선발에 관한 전반적인 사항	김재용, 문순재, 천상모
외국인학생지원 위원회	외국인 학생들의 진로 및 연구 상담	김재용, 문순재
운영위원회	본 사업 운영 전반에 걸친 업무	김재용, 문순재, 정문석, 천상모, XXXX, XXXX

1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 운영 실적

- 과학기술 문제 해결형 IC-PBL 강좌, 기업체와 연계된 실험-실습교과목을 운영하고, 학과 콜로퀴움에 산업체 연사를 확대하였으며, 한양대학교 나노반도체공학과와의 연계 프로그램을 운영하였다. IC-PBL 강좌 운영 및 실험-실습 교과목 운영 내용을 정리하면 다음 표 I.5와 같다.

[표 I.5. 과학기술 문제 해결형 IC-PBL 강좌 운영]

강좌명 (학점)	강의내용	개설학기	운영형태	담당교수
강상관양자물질 분광학	강상관물질의 양자물성을 분광 실험을 통한 이해	2022년 1학기	창의형 C-type	문순재
다체계물리학1	현대적인 응집물질 물리를 다체계의 관점에서 소개	2022년 1학기	창의형 C-type	천상모
다체계물리학2	파이만 다이어그램, 상변화 및 대칭성 붕괴, 초전도 현상, 란다우 페르미 액체 이론, 붕괴에 관한 이해	2022년 2학기	창의형 C-type	천상모
초고압상변이와 수송현상	온도-압력 상변이에 연관된 초전도 이론과 실험을 융합한 초전도 및 전자의 수송현상을 탐색	2022년 2학기	창의형 C-type	김재용
저차원반도체 물성연구	최근 발표된 논문들을 분석하고 전문가들을 초빙하여 실무적인 경험의 폭을 넓힐 수 있도록 운영	2022년 2학기	창의형 C-type	정문석
광학실험실습	(주)탐엔지니어링의 지원으로 수강생이 직접 광학시료제작/측정/분석 과정을 진행	2021년 1학기	실습과목	송석호
광학설계실습	파동광학 및 회절광학 위주로 광학 시뮬레이션 수행	2022년 1학기	실습과목	송석호

❖ 연구성과

1. 참여교수 연구

- 지난 5학기 동안 Physical Review Letters 4편, Nature Physics 등 SCI 논문 135편 (총 IF 1177.61)을 출간하였으며, 이중 IF PRL 이상급은 43편으로써 1/3 이상을 차지한다. 이는 원래 목표하였던 20편을 200% 이상 증가하는 실적이다. 또한 IF가 높은 논문의 비율도 대폭 상승하였다.
- 연구비 총액 또한 111.5억원 (2.5년)을 상회하여 2020년 선정당시 59.1억원 (3년)에 비해 약 89% 증가하였다.
- 기존 7기관 외, 사업기간 동안 MOU, LOI 7건을 추가하여 총 14기관과 공동연구를 진행 중이다.
- 이를 표로 정리하면 다음 표 I.6과 같다.

[표 I.6. 참여교수 연구 역량]

		선정 당시	성과	실적 증가	1단계 계획 대비 달성률
논문	IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 (연평균)	5.2	17.2	+231%	215%
	IF > 5 논문 비율 (%)	29	65	+124%	186%
	연평균 환산보정 IF 합	5.31	7.12	+134%	143%
	연평균 환산보정 ES 합	20.05	21.52	+7%	114%
연구비	총액 (억원)	59.1	111.5	+89%	-
	연평균 1인당 (억원)	2.8	5.3	+89%	-

2. 대학원생 연구

- 대학원생 논문 출간 54편 (IF > 5.0 논문 수: 29편)
- 대표논문: 광학적 위상학적 공진 모드 연구 - Physical Review Letters (XXX, 제 1 저자)
- 국제공동연구 논문 출간 14편
- 학회발표 총 79건: 국제 29건 (구두발표 12건, 수상 4건), 국내 50건 (구두발표 17건, 수상 6건)

[표 I.7. 참여대학원생 연구 역량]

	선정 당시	성과	실적 증가	1단계 계획 대비 달성률
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 (연평균)	1.7	5.2	+205%	310%
IF > 5 논문 비율 (%)	38	53.7	+41%	-
연평균 환산보정 IF 합	3.31	9.26	+180%	119%
연평균 환산보정 ES 합	7.09	13.92	+196%	208%

3. 신입교수 충원

본 사업 제안당시 2명의 신입교원 충원을 제안하였는 바, 3명의 신입교원을 초빙하였다 (표 I.8 참조).

[표 I.8. 신입교원 충원 내용]

이름	전공	학위년도	초빙시기 (초빙형태)
정문석	응집물질물리 실험	2000	2021-1 (특채)
이창민	응집물질물리 실험	2018	2023-1 (공채)
박문집	응집물질물리 이론	2018	2023-1 (공채)

❖ 연구성과

1. 참여교수 연구

- 지난 5학기 동안 Physical Review Letters 4편, Nature Physics 등 SCI 논문 135편 (총 IF 1177.61)을 출간하였으며, 이중 IF PRL 이상급은 43편으로써 1/3 이상을 차지한다. 이는 원래 목표하였던 20편을 200% 이상 증가하는 실적이다. 또한 IF가 높은 논문의 비율도 대폭 상승하였다.
- 연구비 총액 또한 111.5억원 (2.5년)을 상회하여 2020년 선정당시 59.1억원 (3년)에 비해 약 89% 증가하였다.
- 기존 7기관 외, 사업기간 동안 MOU, LOI 7건을 추가하여 총 14기관과 공동연구를 진행 중이다.
- 이를 표로 정리하면 다음 표 I.6과 같다.

[표 I.6. 참여교수 연구 역량]

		선정 당시	성과	실적 증가	1단계 계획 대비 달성률
논문	IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수 (연평균)	5.2	17.2	+231%	215%
	IF > 5 논문 비율 (%)	29	65	+124%	186%
	연평균 환산보정 IF 합	5.31	7.12	+134%	143%
	연평균 환산보정 ES 합	20.05	21.52	+7%	114%
연구비	총액 (억원)	59.1	111.5	+89%	-
	연평균 1인당 (억원)	2.8	5.3	+89%	-

2. 대학원생 연구

- 대학원생 논문 출간 54편 (IF > 5.0 논문 수: 29편)
- 대표논문: 광학적 위상학적 공진 모드 연구 - Physical Review Letters (이기영, 제 1 저자)
- 국제공동연구 논문 출간 14편
- 학회발표 총 79건: 국제 29건 (구두발표 12건, 수상 4건), 국내 50건 (구두발표 17건, 수상 6건)

[표 I.7. 참여대학원생 연구 역량]

	선정 당시	성과	실적 증가	1단계 계획 대비 달성률
IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수 (연평균)	1.7	5.2	+205%	310%
IF > 5 논문 비율 (%)	38	53.7	+41%	-
연평균 환산보정 IF 합	3.31	9.26	+180%	119%
연평균 환산보정 ES 합	7.09	13.92	+196%	208%

3. 신입교수 충원

본 사업 제안당시 2명의 신입교원 충원을 제안하였는 바, 3명의 신입교원을 초빙하였다 (표 I.8 참조).

[표 I.8. 신입교원 충원 내용]

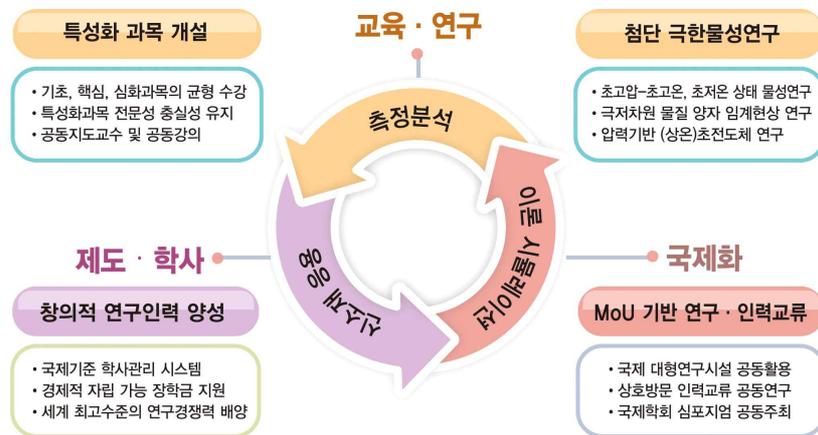
이름	전공	학위년도	초빙시기 (초빙형태)
정문석	응집물질물리 실험	2000	2021-1 (특채)
이창민	응집물질물리 실험	2018	2023-1 (공채)
박문집	응집물질물리 이론	2018	2023-1 (공채)

4. 창업

- 송석호 교수: 빛 손실을 3% 이내로 줄일 수 있고, 원하는 위치에 다수의 초점을 만들 수 있는 마이크로미터 두께의 기하학적 위상(GP) 렌즈 층을 포함하는 새로운 안내렌즈를 개발하여 해당 기술을 기반으로 창업한 회사(타이거닉스(주), 2017)가 TIPS에 선정되어 정부 투자를 확약 받았다 (2023. 3.).
- 정문석 교수: 측정 및 분석이 어려운 반도체 소재 분야 중소기업과 TERS (tip-enhanced Raman spectroscopy) 장비가 없는 반도체 및 탄소 분야 연구자들을 대상으로 라만/TERS에 대한 측정 결과 서비스를 제공하고 연구자들에게 기술적 지원을 통해 지속적인 연구 활동을 가능하게 함을 목적으로 “표준분석랩” 회사를 설립하였다 (2022).

❖ 국제화 목표와 달성도

양자물질 극한물성 연구분야는 미국이 기존의 주도권을 유지하는 가운데 최근 중국이 신흥 강국으로 부상하는 현실에서, 본 사업팀은 미주 기관들과 중국, 인도 그리고 베트남 기관들과의 인력교류, 국제학회주최 등 다양한 국제활동을 목표로 국제화계획을 수립하였다.



[그림 1.4. 양자물질 극한물성 교육연구팀의 교육·연구 추진체계 및 미래목표 달성방안]

- 중국의 경우, 북경고압연구센터 (HPSTAR, <http://hpstar.ac.cn>), 초고압-초강도물질 연구에 특화된 길림대학 물리학과 (Jilin University, <http://phy.jlu.edu.cn>), 최근 극한물성분야 강자로 부상하고 있는 연산대학교 (Yanshan University, 중국), 그리고 National High Magnetic Field Laboratory 포함 7개 기관들과 MOU/LOI를 체결하여 압력-온도 그리고 자기장을 변수로 하는 양자물질 극한물성 측정관련 연구를 수행하였다.
- 국제 대형연구시설 활용: 현재 활발히 공동연구를 수행하고 있는 미국의 Advanced Photon Source (APS), 유럽의 ESRF와 Eu-XFEL 등 다양한 해외 대형 연구 시설들에 학생들을 장단기 파견하였다.
- 국제학회 공동주최: 양자물성 극한환경연구관련 본 사업팀은 제10회 아시아고압학회 (2021.11.21.-25. 위원장: 김재용 교수)를 주최하였고, 제1회 한미 양자물질 극한물성 국제심포지엄을 미국 하버드대학교에서 한양대-하버드-MIT 주관으로 개최하였다 (2022.12.2.).
- 광을 이용한 물성분석 연구는, 현재 공동연구를 진행 중인 캐나다의 오타와대학교가 단광자 연구분야에서 세계적으로 우수한 광학시설이 잘 구비되어 있는 바, MOU 기반 공동연구를 통해서 극초 단위 시간 분해능 관련 연구를 추진 중이다.

❖ 국제화 연계 벤치마킹 결과

- 본 교육연구팀과 연구·교육면에서 비슷한 인력과 연구 규모를 가진 학과들을 대상으로 벤치마킹 결과를 분석하고 우리의 연구현실과 비교하여 미래 목표를 설정하였다. 대상기관들로 교육에서는 미국 Rice대학, 연구에서는 우리의 경쟁상대로 여길 수 있는 중국 길림대학을 선정하였다 (표 I.9 참조).
- Rice 대학교의 경우 43명의 교수진으로 구성된 물리학과가 2018년 세계랭킹 101-150권에서 2020년 QS World University Rankings 85위로 단기간에 성장할 수 있었던 이유는 응집물질물리 중심으로 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 한양대학교 부설 고압연구소 (<http://hpc.hanyang.ac.kr/>)의 주요 연구원으로 활동하고 있다.
- 중국 장춘시에 위치한 길림대학은 대학원생만 2만여 명에 이르는 중국내에서 단일 학교로는 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.9. 벤치마킹 기관 대비 본 학과의 미래 목표]

구분	벤치마킹 기관		본 사업팀 계획	실험 내용
	Rice University	Jilin University		
연구분야 (소속학과)	<ul style="list-style-type: none"> • 원자 및 분자 광학 • 생물 물리 • 응집 물리 • 핵 및 입자 물리 • 천체 및 플라즈마 물리 	<ul style="list-style-type: none"> • 이론 물리 • 원자 및 분자 물리 • 응용 물리 • 응집 물리 • 광과학 및 전파물리 	<ul style="list-style-type: none"> • 극한물성중심 응집물리 • 광과학 • 입자 및 천체물리 	<ul style="list-style-type: none"> • 극한물성, 반도체 응집물리 • 광과학 • 입자 및 천체물리 • 양자정보융합전공 (신설)
특성화 분야	<ul style="list-style-type: none"> • Rice Center for Quantum Materials 	<ul style="list-style-type: none"> • State Key Laboratory of Superhard Materials 	<ul style="list-style-type: none"> • 한양대 고압연구소 	<ul style="list-style-type: none"> • 한양대 고압연구소 • 한양대 차세대 반도체 물성 및 소자 연구센터 (신설)
교원 수(명)	43	215	22	24 (퇴임 2, 신규 3, 강의전담 2 포함)
이수필수학점	24	불분명	석사: 26 박사: 58	석사: 26 박사: 58
지도교수 선정방식	1학기 이후 결정 성적 기준이 있음	입학과 동시에 결정	예비시험 통과 후 결정	예비시험 통과 후 결정
교과과목	Basic Course/Advanced Course/Seminar	기초/전공	기초, 핵심, 심화, 특성화	기초, 핵심, 심화, 특성화
산업연계과목	없음	없음	IC-PBL	IC-PBL
논문자격 종합시험	<ul style="list-style-type: none"> • 대학원 평균 평점 B 이상 • 대학원 연구 과목 (필수이수) • RPP (Research Progress and Proposal) 보고서 제출 • Oral research presentation 	<ul style="list-style-type: none"> • 종합시험 	<ul style="list-style-type: none"> • 예비시험, 종합시험 (필기) • 박사 프로포절 평가 • 대학원평점평균: 3.75/4.5 이상 • 논문 (주저자): IF >10.0 • 구두 학위시험 (공개) 	<ul style="list-style-type: none"> • 예비시험, 종합시험 (필기) • 박사 프로포절 평가 • 대학원평점평균: 3.75/4.5 이상 • 논문 (주저자): IF >10.0 • 구두 학위시험 (공개)
학위연계 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> • 석박사 연계프로그램 • 박사과정 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> • 석사과정 프로그램 • 석박사 연계프로그램 • 박사과정 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> • 학석사 연계프로그램 • 석사과정 프로그램 • 석박사 연계프로그램 • 박사과정 프로그램 	<ul style="list-style-type: none"> • 학석사 연계프로그램 (2021-1 신설) • 석사과정 프로그램 • 석박사 연계프로그램 • 박사과정 프로그램

❖ 국제화 성과

- MOU / LOI 체결: 본 사업 신청당시 체결하였던 기존 7건 외 연산대학교(중국)등 7건을 추가로 체결하여 (표 III.3 참조) 14편의 국제공동연구 논문을 출간하였다.
- 연구(자) 국제교류: 학생 8명을 해외 6개 기관에 파견하여 <표 2-10 참조> 양자물질 극한물성 첨단연구 결과들을 논의하였다.
- 학술대회: 본 사업 참여 학생들은 국내외 79건의 학회발표를 하였는 바 (구두발표 29건, 우수발표상 포함 10건) 이는 학생 1인당 2.6편을 상회한다.
- 객원교수 활용: XXXXXXXX 교수, XXXXXXXXXX교수, XXXXXX 교수 3명의 해외 저명학자들을 학과 특임 및 객원교수로 임명하여 학생들 연구 및 논문을 공동지도 하였다.
- 본 사업팀은 제 10회 아시아고압학회(2021.11.21.-25. 위원장: 김재용교수), 제1회 한미 양자물질 극한물성 국제심포지엄(2022.12.3., 장소: 미국 하버드대학교에서 한양대-하버드-MIT 공동주관)을 포함하여 6회의 국제학회를 개최하였다 (그림 I.5 참조).



[그림 I.5. 제10회 아시아고압학회 (왼쪽). 제1회 한미 양자물질 극한물성 국제심포지엄 (오른쪽)]

❖ 마무리

- 아직 인류의 미탐구 분야인 극한환경에서 발현하는 양자현상을 연구하는 창의적이고 도전적인 신진 인력을 양성하고자 본 교육연구팀은 지난 1단계 사업기간동안, 교육과 연구, 그리고 국제화 분야에 서 괄목할 만한 성과를 이루었다.
- 무엇보다 본교 물리학과 대학원에 진학하려는 대학원생 지원자 수 증가하여 다양한 교과목을 개설할 수 있었고, 신청 당시 제안내용보다 많은 3명의 신입교수를 초빙하여 다수의 세계적 연구 성과를 도출 하였는바, 양적 질적으로 명실 공히 극한물성-양자물질 분야에 특화된 연구-교육 중심의 학과로 거듭나게 되었음을 확인하였다. 이제 본 궤도에 오른 성장세는 2단계 기간에는 더욱 우수한 성과로 이어지리라 확신한다.

4단계 BK21 사업

II. 교육역량 영역

II. 교육역량 영역

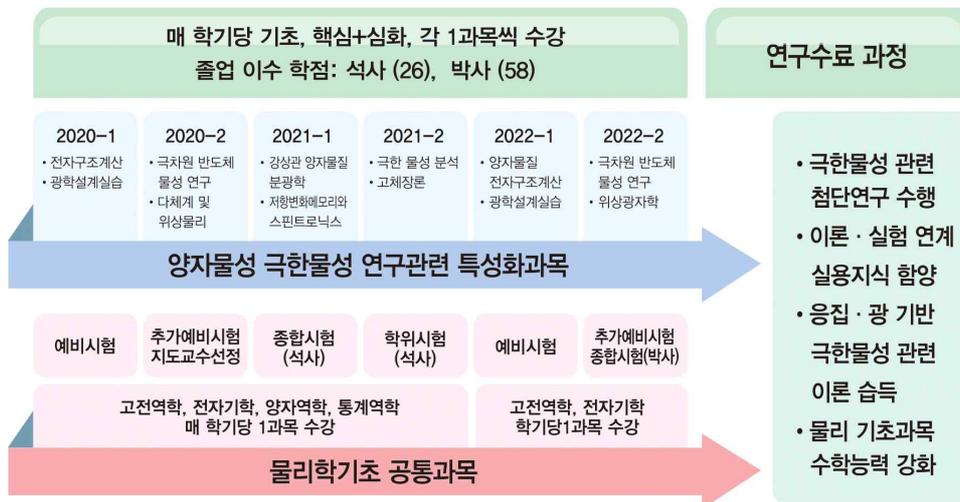
1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 실적

◆ 대학원 교육과정 구성과 실적 요약

- 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 교육과정을 연계하여 현대과학의 난제 해결에 필요한 가시적 연구성과를 도출함에 주안점을 두고 교육과정을 설계하였다 (그림 II.1 참조).

교과과정 구성



[그림 II.1. 양자물질 극한물성 교육연구팀이 추구하는 교육과정 기본골격]

- 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 인재를 양성하기 위하여 응집물질물리와 광과학 분야 중에서도 본 연구의 취지에 부합하는 내용을 중심으로 교육과정을 운영 하였는 바, 주요 실적을 기술하면 다음과 같다.

• 교육과정 운영 실적

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

• 정규과목 운영 실적

전통적인 물리학과 대학원과정에 맞추어 구성하고 운영하였는 바, 교육과정 개편 필요시 교과과정위원회(위원장: 김재용 교수)를 통하여 시행하였다. 응집물질물리, 광과학 분야 학생들이 수강해야 할 기본적인 과목들로 구성하였으며 응집물질물리와 광과학 분야에서 학기당 평균 3 과목, 7학점 이상씩 개설될 수 있게 하였다.

- 기초과목: 물리학의 기본개념을 체득할 수 있도록 4대 역학과목으로 구성하였으며, 연구도 병행해야 하는 환경에 맞추어 한 학기에 역학/전자기/양자/통계과목을 한 과목씩 개설하였다. 취득 성적이 B 미만일 경우 학과장 면담 후 학부과목을 이수할 수 있도록 하였다. 통계역학을 제외한 모든 과목은 자격시험 필수과목이며 핵심 및 심화 과목들의 수강을 위한 필수과목으로 지정하였다.
- 핵심과목: 물리학전공 대학원과정을 수료함에 있어 기본적으로 수강해야 할 과목이다. 연구에 필요한 전문 지식의 전달을 주요 목표로 하는 강의 과목으로서 1년 단위로 개설하였다.
- 심화과목: 최신 연구 주제와 밀접하게 연계된 심화 지식을 강의하는 과목으로서, 바로 연구를 시작할 수 있도록 최신 연구주제와 밀접하게 연계된 과목을 개설하였다. 또한 창의적 연구 수행을 위한 연구 역량 강화를 목적으로 최신 논문 및 연구 발표를 통해 발표 능력을 향상할 수 있도록 구성하였다 (초고압상변이와수송현상 포함 12과목).
- 실험연계과목: 실험 및 실습과목의 강화를 통해 실용인재를 양성할 수 있도록 교과 과정을 수립하였으며, 실습위주 강의와 실험이 병행되는 과목으로서 IC-PBL 방식으로 운영하였다. 특정 주제를 설정하고 그에 맞는 실습위주로 진행하였는바, 광학설계실습과 광학실험실습이 이에 해당한다.
- IC-PBL 과목 (5과목): 문제 해결 중심의 과목으로서 창의형 IC-PBL (industry coupled problem based learning) 방식을 도입하여 운영하였다 (p.30 IC-PBL 설명 참조).
- 즉, 학생들이 학기당 기본적으로 기초, 핵심, 심화 혹은 실험연계과목을 각 1과목씩 수강함으로써 매 학기당 9학점을 기본으로 하고 조교업무와 개인연구를 병행하도록 설계하였다.

❖ 대학원 정규 교과목에 대한 실적

양자물질 극한물성 분야 인재 양성을 위해 27과목을 개설 하였는 바, 내용은 다음 표와 같다.

[표 II.1 평가대상기간 (2020.09.01.-2023.02.28.) 내 운영한 대학원 교과목]

	기초	핵심	심화	특성화	공통과목	총
운영 교과목	5과목(18학점)	3과목(9학점)	12과목(36학점)	2과목(6학점)	5과목(5학점)	27과목 운영

[표 II.2 평가대상기간 (2020.09.01.-2023.02.28.) 내 운영한 정규과목 개설 현황]

구분	과목명	개설학기	학점 수	담당교수
기초과목	통계역학	2020년 2학기	3	
	양자물리학	2021년 1학기	3	신상진
	고전전자기학	2021년 2학기	3	
	고전역학	2022년 1학기	3	김재용
	통계역학	2022년 2학기	3	
핵심과목	고체물리학2	2020년 2학기	3	
	고체물리학1	2022년 1학기	3	
	고체물리학2	2022년 2학기	3	
심화과목	반도체소재및물성	2020년 2학기	3	김은규
	다체계및위상물리	2020년 2학기	3	천상모
	위상물리2	2021년 1학기	3	천상모
	강상관계1	2021년 1학기	3	신상진
	초끈이론과강상관계	2021년 2학기	3	신상진

	위상광자학	2021년 2학기	3	송석호
	저차원반도체물성연구	2021년 2학기	3	정문석
	강상관양자물질분광학	2022년 1학기	3 (IC-PBL)	문순재
	다체계1	2022년 1학기	3 (IC-PBL)	천상모
	저차원반도체물성연구	2022년 2학기	3 (IC-PBL)	정문석
	초고압상변이와수송현상	2022년 2학기	3 (IC-PBL)	김재용
	다체계2	2022년 2학기	3 (IC-PBL)	천상모
특성화과목	광학실험실습	2021년 1학기	3	송석호
	광학설계실습	2022년 1학기	3	송석호
공동연구과목	첨단물리특론	2020년 2학기	1	신상진
	첨단물리특론	2021년 1학기	1	김재용
	첨단물리특론	2021년 2학기	1	김재용
	첨단물리특론	2022년 1학기	1	김재용
	첨단물리특론	2022년 2학기	1	김재용

❖ 교육 목표에 대한 대표적 달성 실적

본 교육연구팀은 “양자물질 극한물성” 주제에 특화된 심화과목을 지난 5학기 동안 12과목 (36학점) 개설하였으며 그 내용은 다음과 같다.

[표 II.3. 평가대상기간 (2020.09.01.-2023.02.28.) 동안의 교육 실적과 교과과정 편성표]

구분	2020년 2학기	2021년 1학기	2021년 2학기	2022년 1학기	2022년 2학기
기초과목	통계역학	양자물리학	고전전자기학	고전역학	통계역학
핵심과목	고체물리학2			고체물리학1	고체물리학2
심화과목	다체계및위상물리	위상물리2	위상광자학	다체계1 (IC-PBL)	다체계2 (IC-PBL)
	반도체소재및물성	강상관계1	저차원반도체 물성연구	강상관양자 물질분광학 (IC-PBL)	저차원반도체 물성연구 (IC-PBL)
			초끈이론과 강상관계		초고압상변이와 수송현상 (IC-PBL)
특성화과목		광학실험실습		광학설계실습	
공통과목	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론

본 과목들에서는 최신 연구 주제와 밀접하게 연계된 심화 지식을 배우고, 바로 연구를 시작할 수 있도록 설계 하였으며, 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 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 제공할 수 있다. 본 강의에서는 광분광 실험법, 광전자 분광법, X-선 흡수 분광법, 중성자 산란, 시간 분해 분광법 등에 대한 기본 원리에 대해 강의하였다. 강상관 양자물질이 보이는 특이한 물리 현상 사례를 제시하고, 이 현상들의 물리적 원인을 규명할 수 있는 분광 실험을 수강생들이 직접 설계하고 발표하였다. 학생들의 문제해결 능력 향상을 위한 연구중심형 과목으로 창의형 IC-PBL 과목으로 운영하였다.

- 초고압상변이와수송현상: 온도-압력 상변이에 연관된 초전도 이론과 이를 측정하는 기법이 융합된 과목이다. 압력을 변수로 하여 초전도 및 전자의 수송현상을 이해하기 위해 이론 중심 수업에서는 해외공동연구를 수행하고 있는 해외 유명 학자들의 원격강의를 포함하고, 실습중심에서는 실험을 통해 취득한 결과를 학생들로 하여금 직접 분석하도록 하였다. 이론과 실습이 융합된 연구중심형 과목이며 창의형 IC-PBL 과목으로 운영하였다.
- 다체계1,2: 본 과목에서는 대학원 수준에서 현대적인 응집물질 물리를 다체계의 관점에서 소개하였다. 다체계 시스템의 기본 개념을 설명하고, 제2양자화, 파인만 다이어그램, 상변화 및 대칭성 붕괴, 초전도 현상을 소개 하였다. 다체계 시스템의 기본개념, 페르미온 및 보존, 양자장의 양자화, 제2양자화, 그린함수, 란다우 페르미 액체 이론, 파인만 다이어그램, 선형 반응 이론, 전자 유동론, 상변화와 대칭성 붕괴, 파인만 경로 적분, 초전도 현상, 평균장이론을 강의하였다. 학생들의 문제해결 능력 향상을 위한 연구 중심형 과목으로, 일반적인 강의 외에 문제를 함께 해결하고 프로젝트를 수행하는 창의형 IC-PBL 과목으로 운영하였다.
- 위상물리1,2: 양자 역학 이후에 물질에 대한 현대적인 연구가 진행되고 있는 현실을 반영하여, 특히, 본 수업은 대학원 수준에서 다체계 물리, 위상 절연체 및 초전도 물리에 대한 소개하였다. 기본적으로 1) 고체 물리(블로흐 정리, 브릴 루앙 존, 에너지 밴드, 기본 반도체 물리)와 2) 양자역학 (고유상태, 고유치, 해밀토니안) 등에 대한 지식을 갖춘 대학원생을 대상으로 현대적인 위상 물리 현상을 강의하였다. 양자 역학에서 위상현상 / 양자홀 효과와 위상불변량 / 양자 역학에서 대칭성과 시간대칭성 / 블로흐 양자함수와 타이트바인딩 방법론 / 그래핀 및 위상 부도체 / 위상 불변량 및 다양한 차원에서 양자홀효과 / 디락 반도체와 바일 반도체 / 물질의 위상 반응과 위상학적 물리현상 / 위상 초전도체 / 위상 솔리톤 및 위상 스커미온 / 위상 스핀 솔리톤을 강의하였다.
- 초끈이론과강상관계: 초끈 이론의 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 다체계 물리학에 획기적인 발전을 가져오하고자 하는 것이 최근 끈이론의 중요한 이슈이다. 본 과목에서는 학생들의 발표와 박사후 연구원 및 외부초청연사의 강의를 통해 이 분야의 가장 중요한 아이디어를 습득하고 최신동향을 파악하는 것을 주된 목적으로 운영하였다.
- 위상광자학: 최근 20여 년 동안 세계적 관심을 끌었던 나노광학 기술은 기존의 전통적 광과학에 나노 기술과 고체결정/반도체 이론을 도입함으로써, 메타물질 광학이라는 새로운 연구분야를 개척하며 발전해 왔다. 본 수업에서는 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 학습하였다.
- 반도체소재및물성: 반도체 소자특성의 기본이 되는 반도체소재의 결정구조, 에너지밴드, 운반자수송, 평형분포 등을 배우며 Schottky 접합, p-n 접합, MOS 구조 등을 기반으로 한 반도체소자 및 소재들의 물성평가 기법을 다루었다.
- 저차원반도체물성연구: 최근 산업기술의 급격한 발전으로 인해 나타나는 기존의 전통적인 반도체를 이용한 기술의 한계를 극복하기 위해 벌크 반도체가 아닌 양자점, 나노선, 2차원 반데르발스 물질과 같은 저차원 반도체에 대한 관심이 집중되고 있다. 본 과목에서는 저차원 반도체의 기초 물성 및 응용 예시에 대해 학습을 하고 향후 저차원 반도체의 발전방향에 대해 최근 논문들을 이용해 토의하였다. 또한, 연구기관이나 산업계의 전문가들을 초빙해 현장의 의견을 들어 실무적인 경험의 폭을 넓힐 수 있도록 하며, 이를 통해 대학원생들의 연구 결과와 실제 산업계의 이슈와의 간극을 좁히는데 그 목표를 두고 창의형 IC-PBL 과목으로 운영하였다.

❖ 비정규과목 운영실적

최신 연구동향을 파악하고, 연구자와 학생간의 폭 넓은 교류를 통해서 교육의 수준을 높이고자 다음과 같은 과목들을 운영하였다.

- 논문작성법 강의 (물리학연구및논문작성): 다양한 영어논문 및 저널작성 방법을 배울 수 있는 프로그램을 개설하여 연구를 처음으로 수행하는 학생들에게 영어 논문을 효과적으로 작성하고 구두 발표를 효과적으로 하는 방법을 강의하였다. 본 강의에서는 본인이 출간할 논문의 논지를 명확히 하고, 과학적 근거를 제시할 줄 알며, 논리적인 결론에 도달할 수 있도록 서론, 본론, 결론 작성법을 강조하였다. 본 강좌는 본교 writing center의 지원을 통해 개설되었으며 의사소통, 학술적 글쓰기 등의 교육도 병행하였다.
- Endnote의 기초, 국어학술발표, 영어학술 글쓰기 방법, 학회포스터 작성법 등을 연 4회 실시하였다.
- 교내·외, 학과 간 공동 교과목 개발 등 교과과정 다양화: 대학원 학생들의 전공에 대한 관심을 심화시키고 관련된 공학 분야의 전문지식을 함양시키기 위해서 교내 공과대학과의 연계과목을 개설하였다. 홍진표교수는 나노반도체학과와의 연계과목을 운영하였다.
- 안전 및 윤리교육: 연구안전과 과학자로서의 윤리에 대한 내용을 강조하였다. 특히 연구윤리는 논문작성시 표절과 인용의 차이를 명확히 인식하게 하고, 실험 데이터와 계산 결과의 임의조작에 대한 경고 메시지를 엄중히 전달하는데 목적을 두었다. 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 갱신하도록 하여 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: 국제학회기간 동안 극한물성분야 특별강좌를 개설하였고, 매년 해외공동연구기관과 공동으로 교육연구팀 워크숍을 개최하였다. 또한 졸업시험을 연계한 대학원생 졸업 발표회를 매 학기 실시하였고, BK-세미나시리즈를 개설하여 교육연구팀 차원의 전문가 초청 강좌를 꾸준히 개설하였다. 또한 XXX 교수 (하버드대 물리학과)를 비롯한 해외 저명 학자를 초빙하여 세미나를 개최하였다.

❖ 학사 관리 및 운영 실적

• 대학원 교육위원회 주관 활동내용

물리학과에서 본 교육 연구팀장 김재용 교수를 대학원교육위원장으로 임명하였고, 본 연구팀의 참여 교수인 문순재 교수, 정문석 교수, 천상모 교수가 교육 위원회에 참여하여 대학원 학사 관리의 전반적인 업무를 관할하였다.

• 대학원생 연구력 향상을 위한 조교 부담 경감

코로나로 인해 온라인 실험수업과 거리두기 단계별 실험수업을 진행해야하는 상황을 극복하기 위하여, 본부와 논의하여 교육조교 TO를 기존 14명에서 19명으로 증원하였다. 또한, 학부교육장학생 제도를 통해서 학부생 조교를 지난 1년간 9명을 선발하여 기초과목 이론 채점을 맡기는 등 대학원생 조교 부담을 줄였다.

❖ 장학금 운영 실적

- 본 교육연구팀은 참여 대학원생이 대학 본부에서 제공하는 장학금을 받을 수 있도록 여러 가지 장학 프로그램을 적극 신청하였다. 본 교육연구팀의 참여 교수들이 물리학과 교육위원회 활동을 통해서 장학생을 선발 하였는 바, 본 교육연구팀 내에 우수연구 장학금을 신설하여 우수한 연구결과를 게재한 우수대학원생을 선발하여 BK성과발표회에서 BK우수논문상을 수여하였다. 구체적인 장학금 운영 실적과 내용은 아래 표 II.4와 같다.

[표 II.4 본 교육연구팀 대학원생 장학금 내역]

장학금 명	내용	수혜 조건
석사 장학금	수업료 70%	학부성적 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
한기수 장학금	입학시 300만원 1회 (5명)	입학성적 우수
BK-RA/TA 장학금 ('20년 신설)	학기당 300만원	BK 참여 우수 대학원생(학교본부 신설)
BK 우수논문상 ('20년 신설)	최우수 (1명), 우수 (3명)	BK 참여 우수 대학원생 (본 팀내 신설)

• 한기수 장학금

물리학과동문 (87학번 한기수)이 기부한 장학금으로 본교 물리학과를 졸업하고, 본 대학원에 입학한 대학원생 매년 4명 이상을 선발하여, 일인당 장학금 300만원씩을 지급하였다 (그림 II.2 참조).

- 일시: 2021.4.28. 수상자: , , , ,
- 일시: 2022.9.16. 수상자: , , ,



[그림 II.2. 2021.04.28.(좌), 2022.9.16.(우) 한기수 장학금 수여식]

• 성적우수자 학부교육장학금

학부 3, 4학년 학부생이 자원하여 전공과목의 채점조교업무를 수행하고, 소정의 장학금과 표창장을 받을 수 있는 학부장학생제도를 실시하였고, 22명의 학생이 수상하였다 (표 II.5, 그림 II.3 참조).

[표 II.5 성적우수자 학부교육장학금 내역]

과목명	2020년	2021년	2022년
고전역학	,	,	
전자기학		,	
양자역학	,	,	
열및통계물리학		,	
수리물리학	,	,	



[그림 II.3. 2020년, 2021년, 2022년 학부교육장학금 수상식]

• Teaching Fellow 장학금 (XXX)

본 프로그램은 대학원생들이 학부강의에 참여함으로써 우수 연구자로 성장하는데 필요한 경험을 제공하는 것을 목표로 한다. 참여대학원생인 XXX 학생은 2021년 1학기 고전역학1의 Teaching Fellow를 수행하면서 학부생에게 3회 강의를 하고, 수강생들의 문제해결을 도왔다.

• HYU-BK-RA/TA 연구장학금 (2020년 9월 신설)

매학기 4단계 BK 교육연구팀 소속 대학원생에게 Research Assistant(RA)/ Teaching Assistant(TA) 장학금을 제공하고, 그에 알맞은 교육 프로그램을 제공하여 참여대학원생이 연구역량과 교육역량을 강화할 수 있도록 하였다 (표 II.6 참조).

[표 II.6 HYU-BK-RA/TA 장학금 수혜자 명단]

일정	장학금 수혜자 명단
2020년 2학기	, , , ,
2021년 1학기	, , ,
2021년 2학기	, , , ,
2022년 1학기	, , ,
2022년 2학기	, , ,

❖ **BK 성과 발표회 운영 실적**

- 참여 대학원생의 연구 의욕을 고취하고 연구 역량을 제고하기 위해, 운영위원회 주관 매년 2회 (1월, 7월) 총 5회 BK 성과발표회를 개최하였다.
- 이를 통해, 대학원생들의 연구 결과를 공유하였다. 또한, 우수 연구를 수행한 대학원생에게 최우수상, 우수상, 장려상을 수여하고 장학금을 지급하였다.



[그림 II.4. BK 성과발표회 및 BK 장학금수여식]

(2021년 1월 28일, 2021년 7월 20일, 2022년 1월 18일, 2022년 7월 28일, 2023년 1월 30일)



[그림 II.5. BK 성과발표회 포스터와 행사 사진]

- **BK 우수논문상** (2020년 9월 신설): 2020년 9월 BK 운영위원회를 통하여 신설하였다. 우수논문을 출간한 참여대학원생에게 장학금을 지급하고, 우수한 연구를 장려하였다. 수상자는 다음과 같다.

[표 II.7 BK 우수논문상 수상자]

일시	수상자 명단
2021년 1월 28일	, , ,
2021년 7월 20일	, ,
2022년 1월 18일	, ,
2022년 7월 28일	, ,
2023년 1월 30일	, ,

[표 II.8. BK 성과발표회 발표자와 발표 제목]

	발표학생	제목
2020년 2학기		XFEL-induced new tungsten hydride phase under extreme conditions
		Photoelectric Characteristics of a Large-Area n-MoS2/p-Si Heterojunction Structure Formed through Sulfurization Process
		Flat optical element using Geometric phase
		Emergence of the Topological Liquid and the Strange metal near the Quantum Critical Point
		Ferromagnetic Weyl Fermions in Two-Dimensional Layered Electride Gd ₂ C
		Threshold switching behaviors and thermal stability of ZnTe selectors by nitrogen annealing
2021년 1학기		Particle-Antiparticle Duality and Fractionalization of Topological Chiral Solitons
		Structure and Raman Study of Potassium Hydrides under High Pressure
		Structural characteristics and defect states for undoped GaN epi-layers grown on GaN and sapphire substrates by MOCVD
		Infrared spectroscopic study of doping and temperature dependences of electronic structures in the bilayered perovskite Sr ₃ (Ir _{1-x} Mn _x) ₂ O ₇
		Geometric phase를 이용한 다초점 렌즈
		Topological Material in Holography
	Development of Vibrational Nanoscopy and Its Applications	
	Effect of hole doping on superconductivity in compressed CeH9 at high pressures	

		Dynamics of topological objects
		Exploring advancing bipolar resistive switching behaviors in oxygenated carbon oxides via ultrathin Cu insertion layer
2021년 2학기		Structure study of selenium hydride by X-ray diffraction under high pressure
		High-Performance MoS ₂ /p ⁺ -Si Heterojunction Field-Effect Transistors by Interface Modulation
		The origin of suppression of insulator-metal transition in Sr ₃ (Ir _{1-x} Mn _x) ₂ O ₇
		Multilayered Geometric-phase Gratings
		Fermionic Perspective Of Holographic Superconductor
		Interlayer Exchange Interaction Driven Topological Phase Transition in Antiferromagnetic Electride Gd ₂ O
		Symmetry-Protected Solitons and Bulk-Boundary Correspondence in Generalized Jackiw-Rebbi Models
		Highly stable forming-free bipolar resistive switching in Cu layer stacked amorphous carbon oxide_transition between C-C bonding complexes.
2022년 1학기		Pressure-induced Superconductivities and Structures of TiZr Alloys With Hydrogen
		High-Performance MoS ₂ /p ⁺ -Si Heterojunction Field-Effect Transistors by Interface Modulation
		Density wave-like behavior in optical response of 9R BaRuO ₃
		Polarization Independence Multifocal Geometric phase lens
		Holographic Realization of Lieb Lattice and Its Gap
		Enhanced Physical Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Passivating the Surface Defects of Substrate
		Emerging two-dimensional magnetism in nonmagnetic electrides Hf ₂ X (X = S, Se, Te)
		Surface Hamiltonian of a Higher-Order Topological Insulator for MoTe ₂
		Highly advancing bipolar resistive switching in ultrathin Cu layer stacked carbon oxides
2022년 2학기		Fast melt and formation of novel tungsten nitride by MHz XFEL
		Effects of the on-site energy on the electronic response of Sr ₃ (Ir _{1-x} Mn _x) ₂ O ₇
		기하학적 위상변조의 무제한 특성 (Unbound nature of GP modulation)
		ABC-stacked multilayer graphene in holography
		The Role of Surface Schottky Barriers in Two-Dimensional Material-Based Optoelectronics
		Electron-phonon coupling and superconductivity in an alkaline earth hydride CaH ₆ at high pressures
		Emergence of Majorana Fermions in a Higher-Order Topologically Insulating Material
		Amorphous oxynitride carbon layer for electrically and thermally robust bipolar resistive switching.

❖ BK 세미나 시리즈 개설

- 본 교육연구팀 연구분야 및 인접 분야의 최신 동향을 습득하고 차세대 학자를 발굴할 목적으로 양자 물질 연구분야 국내외 전문가를 초청하여, 총 101회의 세미나를 진행하였다 [표 II.9 참조].

[표 II.9. BK 세미나 시리즈 목록]

일시	강연자	제목
2020.10.15	박사	Study of the relation between magnetism, superconductivity and quantum criticality on 4f-electron compounds under extreme conditions
2020.10.20	교수	Low-dimensional Nanomaterials into Functional Devices
2020.10.22	교수	Unveiling the Physics of Emerging Materials with Novel Spectroscopy
2020.10.27	박사	Topological superconducting phase in high-Tc superconductor MgB ₂ with Dirac-nodal-line fermions
2020.10.29	교수	Nanogap Resonators for Extreme Polaritonics
2020.11.03	교수	Experimental observation of the Berry curvature by angle-resolved photoemission

2020.11.10	박사	Investigations of magnetic ground and excited states emerging from spin-orbit coupling in strongly correlated electron system
2020.11.17	교수	Chiral anomaly effect in electrical transport of Bi _{0.96} Sb _{0.04}
2020.11.24	박사	Helical magnetic state induced by chemical substitution in a polar antiferromagnet (Ni,Mn) ₃ TeO ₆
2020.11.26	교수	How to convert perovskite grain boundaries to be thermally stable?
2020.11.30	교수	Hunting for black hole binaries with gravitational waves
2020.12.01	교수	Correlated phenomena by relativistic spin-orbit coupling
2020.12.28	박사	Current Status of Single Particle Imaging Project & 3D Visualization of Phase-Ordering with X-ray Sources
2021.03.10	교수	Exploring the Physics of 2D Semiconductors Using Vibrational Nanoscopy
2021.03.17	교수	Unconventional Spin Transport in Quantum Materials
2021.03.23	교수	Why do we collide heavy ions?
2021.03.24	교수	Disordered Photonics: Engineering the Intermediate Regime
2021.04.06	교수	Time - periodically Driven and Disordered Topological Systems
2021.04.06	교수	Squeezing the best out of 2D materials
2021.03.31	교수	Majorana signature in dissipation via chiral topological superconductors
2021.04.07	교수	Engineering and Observation of Majorana Zero modes
2021.04.13	교수	Searching superconductivity in low dimensional materials from conventional to unconventional
2021.04.14	교수	Twisted quantum world of spin-orbit entanglement
2021.04.20	교수	Correlated topological phases in strongly correlated heterostructures
2021.04.27	교수	Dirac electrons in a dodecagonal graphene quasicrystal
2021.04.28	교수	Visualizing Quantum States of Materials using Scanning Tunneling Microscopy
2021.05.04	교수	Topological phase transition and selective charge Anderson localization as a route to enhance thermoelectric performance
2021.05.11	교수	Exchange Interaction induced by Chiral Phonons
2021.05.12	박사	Introduction to quantum optical sensing: from fundamentals to applications
2021.05.14	박사	Frustration-induced Athermal Behaviors: Hilbert Space Fragmentation and Quantum Many-Body Scars
2021.05.18	교수	Photoemission study on the Kondo effect in graphene
2021.05.25	교수	Scanning probe microscopy studies in functional oxide films: from ferroelectricity to local transport
2021.05.26	교수	Mapping of magnetic anisotropy for van der Waals materials
2021.06.01	교수	Unconventional dynamics of ferrimagnets
2021.06.02	교수	Optical Transition between Metal and Semiconductor in Graphene and MoS ₂
2021.06.08	교수	Scrutinizing local atomic structures in functional materials using synchrotron X-ray absorption spectroscopy
2021.06.09	교수	Nonlinear optical probes of atomically thin polar phases
2021.07.08	교수	The V-based kagome metals in two dimensions
2021.07.15	교수	Role of generic scale invariance in a Mott transition from a U(1) spin-liquid insulator to a Landau Fermi-liquid metal
2021.07.22	박사	Harnessing topology and correlations from singularities in 3d-kagome metals.
2021.07.29	교수	Topological Phenomena and Phase Transition
2021.07.29	교수	Towards exploring quantum spin liquid in Kagomé optical lattice
2021.07.29	교수	Enhanced superconductivity in the vicinity of CDW quantum critical points in Pd-intercalated TaSe ₂
2021.08.05	박사	Quantum Monte Carlo Simulation of SYK Model
2021.08.10	박사	Catalytic Conversion of Hydrogen Spin States at Low Temperature
2021.08.12	교수	Emerging New Quantum Phases in GaTa ₄ Se ₈ under pressure
2021.08.27	박사	다체계 결맞음 (Coherence)과 초전도 현상
2021.09.02	교수	Unconventional superconductivity in heavy fermion UTe ₂ and topological semimetal YPtBi
2021.09.08	교수	비틀린 그래핀 다중층의 물리적 성질
2021.09.09	교수	Electronic structure of twisted multilayer graphene
2021.09.14	박사	Superconductivity and Structural Changes in Tantalum Disulfide under Ultrahigh Pressure
2021.09.15	교수	First-principles Approaches for Strongly Correlated Many-body Systems

2021.09.16	교수	Origin of Charge Density Wave in Layered Kagome Metal CsV ₃ Sb ₅
2021.09.29	교수	지하에서 찾는 암흑물질 - COSINE experiment
2021.10.06	교수	물리학과 머신러닝
2021.10.07	교수	Evolution of the Kondo lattice electronic structure above the transport coherence temperature
2021.10.13	교수	Antisymmetric interlayer exchange coupling in magnetic multilayers
2021.10.14	교수	Ultimate-density memory via flat phonon bands in HfO ₂
2021.10.27	교수	Functional rare earth ion defects and the related phenomena
2021.11.03	교수	Optical spectroscopy of 2-dimensional van der Waals materials
2021.11.10	교수	Photovoltaic materials and devices for energy conversion
2021.11.11	박사	Exploration and design of super functional materials and devices using evolutionary learning and artificial neural networks
2021.11.17	교수	Valley Polarization and Exciton Hall Effect in Transition Metal Dichalcogenides
2021.11.18	교수	Superconductivity near ferroelectric quantum critical point in SrTiO ₃
2021.11.24	교수	2021년 노벨상: 복잡계의 물리
2021.12.01	교수	Inverse Photoemission Spectroscopy for Direct Measurement of Energy Gaps in OLED Materials
2021.12.02	교수	Non-magic angle twisted bilayer graphene: Double layer 2DEG with strong coupling
2021.12.16	교수	First principles study of two dimensional Gd ₂ C electrides
2021.12.22	박사	Ultrafast and helicity-controlled optical investigation on a charge-density wave Weyl semimetal (TaSe ₄) ₂ I
2021.12.30	박사	Flat band superconductivity in the attractive Hubbard model
2022.01.03	박사	Giant Jahn-Teller distortion in geometrically frustrated infinite layer lattice
2022.01.13	박사	Spin, parity, chirality and topology in quantum matters
2022.03.16	교수	Ellipsometry를 이용한 반도체 시스템의 비파괴 분석연구
2022.03.23	교수	New horizons of nano-spectroscopy and -imaging
2022.03.30	교수	Recent progress in the study of topological phases
2022.04.06	교수	Flat-surface-assisted physical phenomena occurring in metal thin film
2022.04.12	박사	Experimental manifestation of electronic characteristics of quantum matter via advanced electron spectroscopy
2022.04.13	교수	The Next Generation of Photonic Sources - Light-Emitting Devices
2022.04.19	박사	Coexistence of ordered states and two-phase superconductivity in the heavy-fermion superconductor CeRh ₂ As ₂
2022.04.26	박사	Novel Superconducting Phases in Unconventional Superconductors: FFLO state and Ising Superconductivity
2022.04.27	교수	First-principles Study of Electronic Properties of Mixed dimensional 2D/3D Heterostructures
2022.04.29	박사	Investigation of Quantum Effects in Quantum Magnetic Materials
2022.05.03	박사	Photoinduced ultrafast dynamic phenomena in strongly correlated electron system
2022.05.04	교수	10th anniversary of Higgs discovery: past, present and future
2022.05.10	박사	Quantum simulation of strongly interacting atomic superfluids: about quantum vortices
2022.05.11	교수	A Hidden Symmetry: Massive Neutrinos at the Energy Frontier
2022.05.18	교수	Active metaphotonics based on two dimensional materials
2022.05.24	교수	Toward realization of novel superconductivity based on twisted van der Waals Josephson junction in cuprates
2022.06.08	교수	반도체와 함께한 40년
2022.09.14	교수	Engineering graphene Josephson junction for sensitive photon detector
2022.09.21	교수	Raman and Photoluminescence Imaging of Strain and Charge Density in Two-Dimensional Materials
2022.09.28	교수	2D-material field-effect transistor as a platform studying other quantum materials
2022.10.05	교수	Systematic measurement and analysis for defectronics of opto-electronic devices
2022.10.12	교수	Intersubband polaritonic metasurfaces
2022.10.26	교수	Defect Dynamics in 2D Materials and van der Waals Heterostructures
2022.11.02	교수	양자역학, 삶, 우주, 그리고 양자컴퓨터
2022.11.09	교수	Quantum-correlation-based free-space optical link
2022.11.16	교수	Extreme Particle Physics
2022.11.23	교수	Neutrino Oscillation Measurement & Its Future Prospect
2022.11.30	교수	2022 노벨물리학상 관련내용 강연
2022.12.07	교수	응집물리 돌레길에서의 산책

❖ 교육과 연구의 선순환 구조 구축 및 연구 역량의 교육적 활용

- 기초, 핵심, 심화 과정의 교육 과목들이 연구 내용에 직접 적용되도록 하고, 이렇게 연구에서 얻은 성과들이 교과 과정에 반영되도록 교육과 연구가 선순환구조를 유지하도록 하였다. (그림 II.6 참조)
- 양자물리학, 고체물리, 다체계, 위상물리, 고체장론의 이론 과정을 강화하고, 강상관양자물질분광학, 저차원반도체물성연구, 반도체소재및물성, 초고압상변이와수송현상, 광학실험실습, 광학설계실습의 실험 과정을 강화하여, 연구에 직접적인 도움이 되게 하였다.



[그림 II.6. 교육과 연구의 선순환 구조를 나타내는 개념도]

- 연구와 교육이 선순환 구조를 이루기 위해 학교정책으로 시행하는 대학원생 중심의 연구지원 체계를 도입하였다. 학생들이 연구에서 좋은 결과를 얻어야 학습할 의욕도 생기고 다시 긍정적인 의욕이 연구 동기를 유발하듯, 연구의 주역인 대학원생이 주도적으로 연구를 수행할 수 있도록 지원하였다.
- 연구와 교육의 선순환이 가능한 다양한 특성화과목을 개설하기 위하여, 2021년 1학기에 응집물질물리 이론분야 전공자 1명(천상모 교수)이 신규참여하고, 실험분야 전공자 1명(정문석 교수)을 초빙하여, 선순환 구조를 보강하였다.
- 응집물질물리 실험분야 교원을 추가 충원하여 연구력과 교육과정을 보강할 계획이었는데, 2021년 1학기에 실험분야 전공자 1명(정문석 교수)을 초빙하고, 2023년 3월 응집물질물리 이론분야 전공자 1명(박문집 교수), 실험분야 전공자 1명(이창민 교수)을 신규 초빙하였다.

❖ 학사 관리 운영 실적

학과 내규 중 본 교육연구팀에게 적용할 학사운영 및 제도관련 주 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 지도교수 및 세부전공 선택: 입학 후 1학기말 예비시험을 통과한 후 지도교수를 선임하여 세부전공을 선택하도록 하였다.
- 학·석 통합과정: 학부 5~6학기 재학생 중 총 90학점 이상 취득 예정자(총평점평균 3.5/4.5 이상)를 대상으로 하는 바, 본교 대학원 석사/석박통합 과정 입학 조건으로 학부생에게 장학금을 지급하고, 대학원 기초/핵심과목을 선수강할 수 있도록 하였다.
- 자격시험: 예비시험과 논문자격시험을 운영하였고, 예비시험을 통과한 후 지도교수를 선정하도록 하였다. 예비시험과목은 고전역학, 양자역학, 전자기학 3과목으로 운영하였고, 예비시험은 매 학기 1회 실시하였다. 또한 출제, 채점, 사정을 위하여 각 과목별로 2인의 관리위원을 선임하였다. 특히, 석사과정에서 예비시험을 통과한 학생이 박사과정에 진학할 경우 예비시험을 면제하였다.
- 박사학위 자격요건 신설: 연구수행에 필요한 지식, 방법론 및 소양을 평가하기 위하여 매 학기 구두시험을 실시하였다. 논문자격시험을 통과하고 학점 평균 3.75 이상인 경우 박사연구제안서를 제출하여 예비심사 위원회의 승인을 거쳐 학위연구를 시작하도록 하였다. 또한 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 있도록 하였다.

❖ 각종 위원회 운영 실적

- 교육위원회: 입학생선발, 교과목 개설 및 운영관리, 종합시험, 지도교수선정, 학위논문심사 등 대학원 학사 및 교육과정 전반에 관한 업무를 관할하였다.
- 외국인학생지원 위원회: 3명의 교수(김재용, 문순재, 조준형 교수)로 구성하여 외국인 학생들의 원활한 적응을 도와주었다.
- 장학위원회: 장학생 선발에 관한 전반적인 사항을 관할하였다 (김재용, 문순재, 천상모 교수).
- 운영위원회: 연구교육팀 참여교수 4인(김재용, 문순재, 정문석, 천상모 교수), 비참여 자문교수 2인 (XXXXX, XXXXX 교수)으로 구성하여 본 팀의 교육과 운영 전반에 걸친 업무를 수행하였다.
- 자문위원회: 학과교수 2인과 타학교 교원 2인을 자문위원으로 위촉하여 매년 교육연구팀의 연구와 교육진행 관련 자문을 받았고 컨설팅 결과를 차년도 사업에 반영 하였다.

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

양자역학을 기반으로하는 가상세계가 현실로 다가온 지금, 물리학은 초연결, 초융합, 초지능의 4차를 넘어 이제 “N차 산업혁명” 시대를 견인하면서 동시에 타 과학기술 분야나 산업 및 사회 문제 해결에 기여할 것을 요구받고 있다. 양자시대를 구현함에 있어 빛을 이용하여 물질의 양자현상을 이해하기 위해서는 서로 다른 물리학 분야, 물리학 분야와 타 학문 분야, 물리학 분야와 산업체 분야와의 융합을 통해 새로운 지식과 기술을 창출할 필요성이 있음을 인지한다.

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 극대화할 수 있는 첨단 연구분야, 연구과정을 발굴하기 위해 과학기술난제해결과 산업사회문제해결이라는 두 목표를 중심으로 교육프로그램을 설계 하였는 바 (그림 II.7), 운영 실적을 요약하면 다음과 같다.



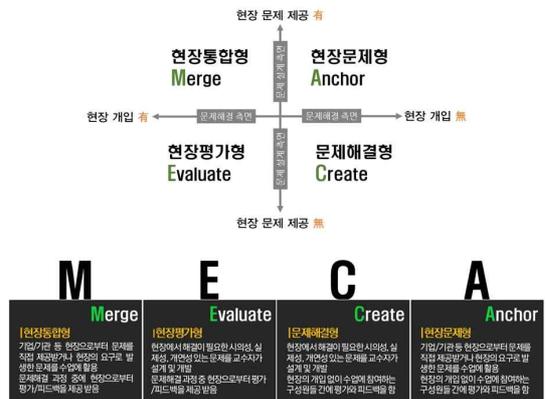
[그림 II.7. 과학기술 문제 해결을 위한 교육 프로그램 내용]

- 과학기술 문제 해결을 위한 문제 해결형 IC-PBL 강좌 운영
- 기업체와 협력을 통한 교육환경조성 및 이를 활용한 실험실습 교과목 운영
- 학과 콜로퀴움 산업체 연사 확대 및 주제 다양화 및 산업 사회 진출 세미나 운영
- 나노반도체공학과와의 연계 프로그램 운영
- 한양차세대반도체물성및소자 연구센터 (센터장 정문석 교수) 2022년 7월 8일 신설

❖ 과학기술 문제 해결을 위한 교육프로그램 운영 실적

- 문제 해결형 IC-PBL 강좌 운영

IC-PBL 은 Industry Coupled Problem Based Learning 의 약자로서 기업/기관과 대학이 유기적으로 연결돼 현장의 실제적인 문제를 해결하며 함께 발전하고 새로운 가치를 창출하도록 지원하는 수업모델이다. 현장에서의 문제제공 여부'와 '문제해결 과정 중 현장개입 여부'에 따라 Merge (M-type), Evaluate (E-type) Create (C-type), Anchor (C-type) 등 4가지 유형으로 구분되는 바, 본 교육연구팀은 물리학의 기본성격에 맞추어 강상관양자물질분광학, 다체계물리학1, 다체계물리학2, 초고압상변이와수송현상, 저차원반도체물성연구 등 5과목을 문제해결-창의형인 C-type으로 진행하였다 (표 I.5 참조). 본 과목들에서는 학생들의 문제해결 능력 향상을 목표로 학생들이 수업내용을 직접 설계하고 발표하는 기회를 제공하였고, 실습분야에서는 실험을 통해 취득한 결과를 학생들로 하여금 직접 분석하도록 하였다. 저차원반도체물성연구과목의 경우 연구결과와 실제 산업계의 이슈와의 간극을 좁히는데 그 목표를 두고 운영하였다.



[그림 II.8. IC-PBL 강의 유형]

- 국제 석학 초청 강좌

최근 양자물질의 극한물성 연구분야에서 널리 주목을 받고 있는 국내외 석학들을 초청하여 대면 및 온라인 방식으로 하버드대 XXXX 교수 (2022.05.24.) 외 세계적 학자 5명을 초청하여 세미나와 워크샵을 진행하였다.

- 국제 학회 개최

양자물질 극한물성 분야의 국제 학술대회를 조직하고 운영하였다. 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 필요하기에, 본 교육연구팀은 양자물질 극한물성 분야 6회 국제 학술대회를 개최 하였다. 먼저, 제 10회 아시아고압학회를 19th International Conference on High Pressure Semiconductor Physics와 3rd International Workshop on High Pressure Study on Superconductors와 연계하여 개최하였다 (2020년 11월 22일부터 11월 26일까지 코로나 상황을 고려하여 부득이 온라인으로 진행함). 본 학회는 18개국 320 여명이 참석하여 298편 논문 발표가 있었는데, 본 교육연구팀에서는 6명의 학생이 발표를 하였다.

- 양자-고압물질 분석관련 전문강좌 개최

본 교육연구팀의 교육 및 연구의 주제인 양자물질의 극한물성 연구에는 일반적으로 잘 사용되지 않는 특수한 실험 환경과 물성 측정법이 사용되는 바, 다이아몬드 앤빌셀 정렬, 고압 XRD 구조분석 전문가인 XXXXXXXX 교수 (독일 Freiburg 대학)와 고온초전도체 수소화합물 설계전문가인 XXXXXX 교수 (중국 길림대)를 초청하여 전문 강좌를 개설하였다. 본 강좌에서는 고압연구관련 이론부터 실습까지 연구원들을 대상으로 교육·훈련하였다.

❖ 산업 또는 사회 문제 해결에 관련된 교육 프로그램 구성과 운영

대학원 실습 교과목 운영 (광학설계실습): 대부분의 대학에서 실험실습 교과목은 학부 교육과정에만 개설되어 있었다. 본 교육연구팀은 과학기술 분야 뿐 아니라 산업·사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는데 의견을 모으고, 해당 교과목을 교과 과정에 포함시켜 운영하였다. 이 과목에서는 Virtual Lab이라는 전산모사 프로그램을 활용하여 고집적 고효율 광소자 및 반도체 소자를 설계하는 실습을 진행하였다. 광학설계에 필요한 기본 부품들의 특성과 Virtual Lab 프로그램 사용법을 소개하였다. 기본적인 이론을 익힌 후에는 실제 광소자 및 반도체 소자에 활용되는 새로운 부품을 설계하거나 기존 부품을 개선하여 집적도 및 효율성이 향상된 부품을 설계하는 실습을 진행하였다.

❖ 기업체와 협력을 통한 교육 환경 조성

(주)탐엔지니어링과의 협력을 통해 자연과학관 지하 2층에 대규모 청정 항온항습 실험실을 구축하였다 (그림 II.9 참조). 광학 특성 연구에 사용하는 다양한 장비를 집적하여 장비 활용도 및 효율성을 향상시켰다. 청정 항온항습 환경에서 정밀한 실험이 가능하여 대학원생들의 실험실습 교육에 많은 도움이 되고 있다.



[그림 II.9. 자연과학관 지하2층에 위치한 광학실험실]

❖ 기업체 협력기반 IC-PBL 실험실습 교과목 운영

- 광학실험실습: ㈜탑엔지니어링의 지원으로 구축한 대규모 청정 항온항습 실험실을 이용하여 실험실습 교과목을 운영하였다. 본 강의에서는 실제 연구에 사용되는 장비들을 활용함으로써 실제 대학원 과정의 연구에 도움이 되도록 하였다. 수강생이 직접 광학시료제작/측정/분석 과정을 수행하였다.
- 광학설계실습: 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 하였다. 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 습득하였다. 세부적으로는 기존 ray-tracing 방식이 아닌, electromagnetic field-tracing 방식을 집중적으로 실습하고, 수치해석적인 resonance-mode solving 및 spatio-temporal mode evolution 방식에 대해 습득하였다.

❖ 학과 콜로퀴움 산업체 연사 확대 및 주제 다양화

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

[표 II.10. 산업사회 문제관련 세미나]

일시	강연자	제목
2020.10.20	교수	Low-dimensional Nanomaterials into Functional Devices
2021.10.06	교수	물리학과 머신러닝
2022.10.05	교수	Systematic measurement and analysis for defectronics of opto-electronic devices
2022.10.26	교수	Defect Dynamics in 2D Materials and van der Waals Heterostructures
2022.11.02	교수	양자역학, 삶, 우주, 그리고 양자컴퓨터



[그림 II.10. 산업사회 문제관련 세미나]

❖ 산업 사회 진출 세미나

산업 사회 문제 해결에 기여하고 있는 졸업생들을 초청하여 세미나를 개최하였다. 이를 통해 학생들이 물리학을 이용하여 산업 및 사회의 여러 가지 문제를 해결하는 구체적인 예시를 접할 수 있도록 하였고, 산업 사회로의 진출에 대한 최신 동향에 대한 정보를 제공 하였다.

[표 II.11. 산업사회 진출 세미나 진행 실적]

일시	이름 (소속)	제목
2021.10.01.	(캐나다 화웨이 연구센터 연구원)	선택 광학 시스템의 산업적 활용 예
	(희귀핵 연구단 연구원)	Nuclear Astrophysics Studies
2022.09.16.	(삼성서울병원 방사선종양학과 교수)	대학원과 직장생활: 방사선 치료의 응용
	(삼성전자 시뮬레이션 센터 연구원)	연구 테마와 진로: 전산 과학의 응용



[그림 II.11. 산업사회 진출 세미나 현장]

❖ 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 나노반도체 학과의 효율적인 운영과 산학협력의 원활한 진행을 위하여 설립된 운영위원회에도 참여하고 있다.
- 반도체 소재 및 소자에서의 물리 현상에 대한 깊은 이해를 위해 물리학과 소속인 참여교수들이 양자역학, 통계역학 등의 핵심 강의를 진행하였다. 또한 공과대학 및 물리학과 대학원생을 대상으로 하는 반도체 분야의 강의를 개설하였다.
- 산업과 직접적으로 연계된 나노반도체학과의 교육목표는 나노미터단위 극한 크기로 집적도가 높아진 반도체 소자의 동작원리를 양자역학적인 측면에서 규명하는 것이며, 이에 필요한 물리학분야기반 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, SCI급 논문 인센티브 지급, 방학 중 SK하이닉스 인턴십 참여, SK하이닉스 사업장 견학, 개인 노트북 지급, 영어 합숙 프로그램 지원 등이 있다. 이렇게 산학 공동연구를 통해 선발-교육된 물리기반 반도체분야의 우수인력들은 졸업 전 우선적으로 SK하이닉스에 채용되고 있다.

❖ 한양차세대반도체물성및소자 연구센터 (센터장 정문석 교수) 신설

인공지능 등의 지능정보 기술을 기반으로 한 지능화 혁명, ‘4차 산업혁명’의 시대 속에서 반도체 산업은 미래에도 국가 경제 발전의 핵심 산업이 될 것이다. 컴퓨터의 성능은 4차 산업혁명에서 매우 중요해졌으나, 기존 반도체 소자를 이용한 컴퓨터는 그 한계가 명확하여 세계 각국은 새로운 패러다임의 반도체 소자를 기반으로 한 컴퓨터 개발에 천문학적 개발 비용을 투자하고 있다. 기존 반도체가 아닌 저차원 반도체나 양자 물질 등 새로운 소재의 물성을 이해하고 신개념의 소자를 개발하는 일의 중요성은 점차 커지고 있다. 차세대 반도체 물질의 물성 및 소자 연구 개발은 물리, 화학, 재료 등의

기초과학 분야부터 전자, 화공 등의 공학 분야까지 다양한 전공의 연구진 구성과 실용화를 위한 기업과의 긴밀한 협동 연구가 필수적이다. 따라서 차세대 반도체 물성 및 소자 연구와 관련된 기업-대학간의 효과적인 협력 연구를 수행하기 위하여 차세대반도체물성및소자연구센터를 설립하였다. 본 연구센터는 미래 차세대 반도체 소자 기술 개발을 위한 물성 및 소자 연구를 효과적으로 수행하는 한편 대형 정부 연구과제 수행 및 운영을 통하여 대한민국 반도체 산업을 선도하려고 한다. 또한, 산학협력 연구와 기술교육 과정 제공, 반도체 물성 분석 및 소자 제작 서비스 운영 등을 통하여 기존 반도체 및 차세대 반도체의 물성과 소자에 대한 전문지식을 갖춘 전문 인력을 양성하여 국가 반도체 산업 개발에 이바지 하는 것을 목표로 한다.

2. 인력양성 현황 및 지원 실적

2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구팀 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

참여대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사통합	계
확보 (재학생)	2020년 2학기	8	4	15	27
	2021년 1학기	11	4	18	33
	2021년 2학기	11	3	18	32
	2022년 1학기	12	4	19	35
	2022년 2학기	13	5	20	38
	계	55	20	90	165
배출 (졸업생)	2021년 2월	1	1		2
	2021년 8월	1	0		1
	2022년 2월	4	1		5
	2022년 8월	3	2		5
	2023년 2월	3	1		4
	계	12	5		17

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적

❖ 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적 요약

- 학부논문 연계지도, 학술활동, 심포지엄, 장학금, 대학원 박람회 개최 등 다양한 프로그램을 통하여 대학원 진학을 유도한 결과, 본교 졸업생 대학원 진학률이 본 사업 선정 후 매년 지속적으로 증가하였다 (표 II.12. 참조).

[표 II.12. 본교 졸업생의 졸업 후 진로 및 본 대학원 진학률]

년도	총졸업생	본대학원	타대학원	유학	취업	기타	본 대학원 진학률
2021년	36	4	7	2	18	5	11.1%
2022년	39	8	2	0	4	25	20.5 %
2023년 (2월 졸업생 기준)	28	7	3	0	4	14	25.0 %

❖ 본교 졸업생 유치를 위한 프로그램

- 학부논문 연계 지도

본 학과는 2010년부터 학부논문 작성을 졸업의 필수요건으로서 도입하였다. 즉, 학부 3학년 2학기부터 졸업논문연구를 실시하여, 교육연구팀 소속 교수들은 심층적인 학부논문지도를 통해 학부 졸업생들의 본교 대학원 진학을 유도하고 있다. 매년 졸업논문 발표회를 개최하여 우수자에게 시상하고 있다 (그림 II.12). 2020년 2학기부터 최우수상 4명, 우수상 10명, 장려상 9명 등 23명에게 수여하였다 (수상자 명단 표 II.13 참조).



[그림 II.12. 2021년, 2022년 우수 졸업 논문 시상식]

- 학부생 학술활동 프로그램을 통한 연구 기회 부여 및 대학원 진학유도: 학부생 과점에서 관심 있는 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.

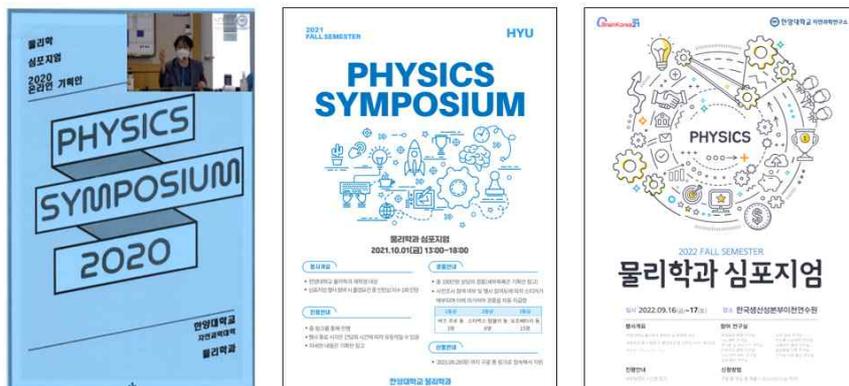
❖ 대학원 소개 심포지엄 실시

- 본교 졸업생의 대학원 진학률 증가를 위해, 매년 2학기 초에 심포지엄을 총 3회 실시하였다.
 - 1회 : 2020년 9월 25일 (온라인)
 - 2회 : 2021년 10월 1일 (온라인)
 - 3회 : 2022년 9월 16일~17일 (오프라인)

[표 II.13. 우수 졸업 논문상 수상자 명단]

학기	수상내용	성명	학기	수상내용	성명	
2020년 2학기	최우수상		2022년 1학기	우수상		
	우수상			최우수상		
	우수상			우수상		
	장려상			우수상		
	장려상			우수상		
2021년 2학기	최우수상			2022년 2학기	장려상	
	최우수상				장려상	
	우수상				장려상	
	우수상				장려상	
	우수상					
	장려상					
	장려상					
	장려상					

- 매회 교수 (약 10명), 대학원생 (약 20명), 학부생 (약 110명)이 함께 참여하여 학부생들에게 물리학과 대학원에서 연구하는 내용을 소개하였다. 특히 전문분야에서 활동하는 졸업생초청 발표를 통하여 졸업 후 진로에 관한 현실적인 교류의 장을 제공하였다.
- 주요 심포지엄 프로그램
 - 물리학과 대학원 및 BK 교육연구팀 소개: 현재 운영중인 BK 프로그램에 대한 전반적인 소개와 더불어 물리학과 대학원의 각각 연구실에서 진행 중인 연구들에 대한 소개를 하였다.
 - 졸업생 연사 초대: 산업, 사회, 학계의 전문분야에서 활동하는 졸업생초청 발표를 통하여 졸업 후 진로에 관한 현실적인 교류의 장을 제공하였다.
 - 학부생 간담회: 학부생들을 소규모 그룹(약 10명)으로 나누어 본 교육연구팀 교수들이 상담을 진행하면서, 진로와 진학에 도움을 주었다.



[그림 II.13. 2020, 2021, 2022년 심포지엄 포스터]



[그림 II.14. 2022년 심포지엄 단체 사진]



[그림 II.15. 졸업생 연사의 발표 사진 (위),
대학원생 연구실 소개 포스터 발표 사진 (아래)]

◆ 해외 우수 유학생 유치

- MOU를 기반으로 중국과 베트남의 우수한 연구 인력을 유치하였다. 특히 해외의 우수한 학생을 유치함으로써 재학생들과의 선의의 경쟁을 유도하고, 이를 통해 상호간의 질적 향상을 기대할 수 있고 졸업 후에 세계 곳곳에서 핵심적인 역할을 수행함으로써 본교의 국제적 위상을 높이는 데 큰 역할을 하리라 기대한다.
- 본교에서 추진하는 외국인학생 지원에 힘입어 XXXXXXXXXXX (태국, 지도교수: 신상진) XX (중국, 지도교수: 김재용), XXXX (중국, 지도교수: 김재용) 학생들을 유치하였다.
- 김재용 교수는 중국 길림대학교 물리학과, State Key Laboratory of Superhard Materials 소속 XXXXXX 박사과정생을 장기 유치하여 고압수소화물관련 국제공동연구를 수행하였다 (2021.09.03.-2022.04.30.).
- 참고로 2023년도 1학기 참여대학원생 총 35명 중 외국인학생은 7 명으로써, 해외 우수유학생은 유치 하되 외국인학생 비율을 30%를 넘지 않는다는 본 교육연구팀의 취지를 유지하고 있다.

2.3 참여대학원생 취(창)업 현황

① 취(창)업률

<표 2-2> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 취(창)업률 실적

(단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황					취(창)업률 (D/C)×100		
		졸업자(A)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=A-B)		취(창)업자 (D)	
			진학자		입대자				
			국내	국외					
2021년 2월 졸업자	석사	1	0	0	0	X			
	박사	1	X		0				
2021년 8월 졸업자	석사	1	0	0	0				
	박사	0	X		0				
2022년 2월 졸업자	석사	4	1	0	0		3	2	75
	박사	1	X		0		1	1	
2022년 8월 졸업자	석사	3	2	0	0	1	1	67	
	박사	2	X		0	2	1		
2023년 2월 졸업자	석사	3	X						
	박사	1							

② 참여대학원생 취(창)업의 질적 우수성 (평가 대상 기간)

<표 2-3> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 중 취(창)업의 질적 우수성

연번	성명	졸업연월	수여 학위 (석사/박사)	학위취득 시 학과(부)명	현 직장(직위)		
	대표 취(창)업 사례의 우수성						
1		2021.2	석사	물리학과	LG 디스플레이(선임연구원)		
	<p>2019년 LGenius 석사과정 장학생으로 입학하여, “실리콘 반도체박막 결함제어와 TFT 신뢰성 향상을 위한 in-situ 분석기법” 및 “초고효율, 고전력 화합물반도체 소재/소자 결함공학 연구실”의 과제에 연구보조원으로 참여하였다. 학위과정 동안 실리콘 도핑된 산화갈륨 박막의 Pulsed Laser Deposition (PLD) 증착 및 후 열처리 공정들을 통한 고감도의 deep UV 광센서 제조공정에 관한 연구를 진행하였다. 이와 관련하여 한국반도체학술대회, 한국물리학회, 한국진공학회에 참가하여 연구내용을 발표하였고, 학위논문 내용을 Journal of Alloys and Compounds 학술지에 주저자로 논문을 게재하였다. 학위과정 동안의 소자제조 및 특성평가에 대한 연구경험은 2021년 졸업과 동시에 취업한 LG 디스플레이 OLED TFT 연구에 직접적인 도움이 되었다.</p>						
2		2023.2	박사	물리학과	한국핵융합에너지연구원(담당연구원)		
	<p>2018년 석박통합과정으로 입학 후, “실리콘 반도체박막 결함제어와 TFT 신뢰성 향상을 위한 in-situ 분석기법“, “초고효율, 고전력 화합물반도체 소재/소자 결함공학 연구실” 등 여러 과제의 연구보조원으로 참여하였다. 학위과정 동안 2D 물질의 TFT 소자 제작 및 특성연구를 통하여 한국물리학회를 포함한 여러 학술대회에 참석하여 연구 내용을 발표하였다. 학위논문 내용을 Nano Research에 주저자로 게재하였다. 박사 학위 과정동안의 소자 제조 및 특성 평가에 대한 연구 경험을 바탕으로 2023년 졸업과 동시에 한국 핵 융합에너지 연구원에 취업하였다.</p>						
평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 수				석사	12	제출요구량	2
				박사	5		

3. 대학원생 연구역량

3.1 참여대학원생 연구 실적의 우수성

① 참여대학원생 대표연구업적물의 우수성

<표 2-4> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 대표연구업적물

번호	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
1	박사		표면/경계 면물리	저널논문	①
					② Ferromagnetic Weyl Fermions in Two-Dimensional Layered Electride Gd ₂ C
					③ PHYSICAL REVIEW LETTERS
					④ 125(18), 187203
					⑤ 1명
					⑥ 2020.10.29
					⑦ 10.1103/PhysRevLett.125.187203
<p>제일원리 전자구조계산을 기반으로 2차원 층상 강자성 전자화물 Gd₂C에서 시간반전대칭이 파괴된 바일 반금속 상태를 발견하였다. 원자구조로부터 오는 결정장은 페르미 에너지 근처에서 격자간 전자 상태와 Gd-5d 궤도를 혼성하여 밴드 반전을 형성하는 것을 확인하였다. 한편, 강자성 정렬은 스핀-궤도 결합을 통해 여러 쌍의 바일노드로 변환되는 두 개의 바일 노드선을 유도한다. 또한, 바일노드를 연결하는 Fermi-arc 표면 상태를 확인하였고, 바일노드선에 의해 생성된 Berry 곡률로 인한 큰 비정상 홀 전도도를 예측하였다. 이 연구는 실온 강자성 전자화물 Gd₂C에서 바일페르미온의 존재를 보여주어, 전자화물 재료와 자기 바일 물리학 간의 흥미로운 상호작용을 조사 할 수 있는 새로운 플랫폼을 제공하였다.</p>					
2	박사		표면/경계 면물리	저널논문	①
					② Underlying mechanism of charge transfer in Li-doped MgH ₁₆ at high pressure
					③ PHYSICAL REVIEW B
					④ 102(18), 184509
					⑤ 0명
					⑥ 2020.11.16
					⑦ 10.1103/PhysRevB.102.184509
<p>리튬 도펀트에서 H 원자로의 전하이동에 대한 기본적인 메커니즘을 제안하였으며, 파이클로로르(pyrochlore) 격자점에 존재하는 리튬 도펀트가 리튬원자 외부에 분포된 격자간 다이온 전자와 함께 전자화물적 성질을 나타냄을 확인하였다. 이러한 느슨하게 결합된 다이온 전자는 쉽게 포획되어 수소케이지를 안정화시킨다. 따라서, 다이온 전자는 리튬 도펀트에서 수소 원자로의 전하이동에 필수적인 역할을 한다. 본 연구결과는 파이클로로르 구조인 리튬에 의해 생성된 다</p>					

	이온 전자가 수소 케이지를 안정화하는 것뿐만 아니라 페르미 에너지에서 수소에 의해 생성되는 전자상태밀도를 향상시키는 데에 매우 중요하다는 것을 보여 주었다. 본 연구는 고압에서 $\text{Li}_2\text{MgH}_{16}$ 의 기본 전하 전달 메커니즘에 대한 더 깊은 이해를 제공하였다.			
3	석박사통합	표면/경계 면물리	저널논문	①
				② Origin of enhanced chemical precompression in cerium hydride CeH_9
				③ SCIENTIFIC REPORTS
				④ 10(1), 16878
				⑤ 1명
				⑥ 2020.10.09
				⑦ 10.1038/s41598-020-73665-1
<p>CeH_9에 대한 제일원리 DFT + U 계산은 (i) Ce 5p 세미코어 및 4f/5d 원자가 상태가 H 1s 상태와 강하게 혼성되고, (ii) 전하 이동이 대부분 Ce에서 H1 및 H2 원자로 발생하며, (iii) Ce 4f 전자의 비편재화 특성이 화학적 사전 압축에 필수적인 요소임을 보여주었다. LaH_{10} 및 YH_6와 같은 다른 실험적으로 합성된 희토류 수소화물과 비교하여 밀도범함수 이론 계산에 기초하여, Ce 5p 세미코어와 4f/5d 원자가 상태가 H 1s 상태와 강하게 혼성되는 반면, Ce에서 H 원자로의 전하 전달이 발생한다는 것을 발견하였다. 또한, Ce 4f 전자의 비편재화된 특성이 포집물 H 케이지의 화학적 사전 압축에 중요한 역할을 한다는 것을 밝혔다. Ce 원자와 H 케이지 사이의 결합 특성이 이온과 공유 결합의 혼합으로 특징지어짐을 밝혔다. 본 연구 결과는 향상된 화학적 사전 압축의 메커니즘을 이해하는 데 도움이 된다.</p>				
4	석박사통합	반도체물리	저널논문	①
				② Bidirectional-nonlinear threshold switching behaviors and thermally robust stability of ZnTe selectors by nitrogen annealing
				③ SCIENTIFIC REPORTS
				④ 10(1), 16286
				⑤ 0명
				⑥ 2020.10.01
				⑦ 10.1038/s41598-020-73407-3
<p>수십 나노미터 스케일의 ZnTe 소재에 전극을 연결하여 voltage bias를 가했을 때 특정 전압 이상에서 저항이 급격히 낮아지는 양방향성 문턱스위칭 현상을 분석하였다. ZnTe의 문턱스위칭 현상이 비정질 칼코겐 화합물에서 발생할 수 있는 ovonic threshold switching 현상임을 전압-전류 모델링을 통해 확인하였으며, 소재에 존재하는 charge trap의 에너지와 양을 실험적으로 추산하였다. 소자의 기하학적인 특성이 off current와 문턱전압에 미치는 관계를 통해 bias에 의해 발생하는 switching filament의 존재를 보여 칼코겐 화합물의 전도 특성 연구에 대한 성과를 보였다.</p>				

5	석박사통합	장물리이론	저널논문	①
				② Ginzberg-Landau-Wilson theory for flat band, Fermi-arc and surface states of strongly correlated systems
				③ JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
				④ (1), 53
				⑤ 0명
				⑥ 2021.08.09
				⑦ 10.1007/JHEP01(2021)053
				<p>다양한 유형의 로렌즈 대칭 깨짐을 고려하여 홀로그래피 맥락에서 다양한 유형의 위상 물질의 벌크 상태와 함께 표면 상태를 실현할 수 있음을 확인하였다. 질서변수가 있을 때 페르미온 스펙트럼 함수는 Weyl 및 Dirac 물질 또는 콘도 격자에서 친숙한 2개의 디랙-콘을 연결하는 갭, 유사 갭, Flat band 및 Fermi-arc와 같은 여러 형태를 보여주었다. 상기 다양한 상의 존재는 상호 작용의 이산 대칭과 관련된 제로 모드와 연관되며, 이러한 제로 모드는 surface mode와 연관되어있다. 벌크 이론의 질서변수 중 일부는 경계 관점에서 대칭 파괴에 대한 해석이 없기 때문에 '대칭 깨짐이 없는 질서변수'의 가능성이 생긴다. 이러한 여러 가지 스펙트럼은 홀로그래피가 대칭 깨짐을 이용하여 여러 가지 위상 물질을 서술할 수 있다는 가능성을 시사한다. 또한, 위의 상들은 현대 응집물질물리학에서 관심 있는 연구 분야 중 하나이므로, 실험과 연계하여 이들 실험적 증거를 쌓는다면 저온, 고압 시스템의 물리적 이해를 높일 수 있을 것이다.</p>
6	박사	표면/경계면물리	저널논문	①
				② Formation Mechanism of Chemically Precompressed Hydrogen Clathrates in Metal Superhydrides
				③ INORGANIC CHEMISTRY
				④ 60(17), 12934
				⑤ 2명
				⑥ 2021.09.06
				⑦ 10.1021/acs.inorgchem.1c01340
				<p>최근 메가바 압력에서 압축된 수소화물인 H_3S와 LaH_{10}에서 높은 T_c 초전도성의 실험적 발견은 다양한 초전도 초수소에 대한 탐색을 촉발했으며, ThH_{10}과 ThH_9인 토륨 초수화물이 LaH_{10}보다 훨씬 낮은 압력에서 안정화되는 것이 실험적으로 관찰되었다. 제1원리 밀도범함수 이론 계산에 기초하여, ThH_{10}과 ThH_9의 고립된 Th 격자가 LaH_{10}의 La 격자보다 층간 영역에서 상대적으로 더 많은 잉여 전자를 가지고 있음을 밝혔다. 이러한 층간 잉여 전자는 금속 원자를 둘러싼 다이온 H 케이지의 형성에 쉽게 참여한다. 양이온 Th 원자와 다이온 H 케이지 사이의 쿨롱힘은 LaH_{10}의 쿨롱힘보다 더 강할 것으로 추정되며, 따라서 ThH_{10}과 ThH_9에서 더 큰 화학적 사전 압축을 발생시킨다. H 클라트레이트의 이러한 형성 메커니즘은 CeH_9, PrH_9 및 NdH_9와 같은 다른 초수체에도 적용될 수 있다. 본 연구 결과는 고압 초수소화물의 분리된 금속 격자에서 층간 잉여 전자가 H 포집물의 화학적 사전 압축을 생성하는 데 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다.</p>

7	석박사통합	반도체물리	저널논문	①
				② Effect of oxygen on defect states of Al _{0.4} Ga _{0.6} N layers grown by hydride vapor phase epitaxy
				③ JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH AND TECHNOLOGY-JMR&T
				④ 17, 1485
				⑤ 0명
				⑥ 2022.04.30
				⑦ 10.1016/j.jmrt.2022.01.101
<p>HVPE(Hydride Vapor Phase Epitaxy)로 성장한 Al_xGa_{1-x}N (x=0.4)의 결함 상태와 전기적 특성을 조사하였다. Al_xGa_{1-x}N 결정에서 원소 O의 혼입 효과를 확인하기 위해 Al_xGa_{1-x}N 결정의 HVPE 성장은 O₂의 흐름 유무에 따라 수행되었다. Al_xGa_{1-x}N 층의 결정 품질 및 전기적 특성은 X선 회절 및 DLTS(deep level transient spectroscopy)로 분석했다. I-V, C-V 및 DLTS 측정을 위한 쇼트키 소자는 Ni/Au 금속 및 Ti/Al 금속화를 사용하여 형성되었다. 정전 용량 DLTS 스펙트럼은 산소 없이 성장한 Al_{0.4}Ga_{0.6}N에서 H1과 H2의 두 가지 유형의 깊은 트랩을 보여 주었고, H1' 트랩은 산소와 함께 성장한 Al_{0.4}Ga_{0.6}N에서 관찰되었다. 모든 트랩은 활성화 에너지가 1.3eV(H1), 0.59eV(H2) 및 1.2eV(H1')인 구멍형 트랩이었다. 이러한 결과는 산소 원자가 Al_xGa_{1-x}N 결정의 결정 품질을 개선하고 결함 상태를 억제할 수 있음을 증명하였다.</p>				
8	석박사통합	반도체물리	저널논문	①
				② High Performance MoS ₂ /p+-Si heterojunction field-effect transistors by interface modulation
				③ NANO RESEARCH
				④ 15(7), 6500
				⑤ 0명
				⑥ 2022.04.30
				⑦ 10.1007/s12274-022-4263-0
<p>이황화 몰리브덴(MoS₂)은 전이 금속 디칼코게나이드 중 하나로서 우수한 전자 특성으로 인해 전자 또는 광전자 장치용으로 유망한 반도체 재료이다. 그러나 MoS₂를 이용한 금속산화물반도체 전계효과트랜지스터(MOSFET) 구조에서는 채널과 유전층 사이의 계면 트랩 밀도에 의해 이동도 및 임계치 이하 스윙(subthreshold swing)과 같은 전기적 성능이 억제된다. 이러한 구조의 전기적 안정성은 인터페이스 트랩으로 인해 손상되며 전류 히스테리시스 및 과도 특성과 같이 분석할 수 있다. 본 연구에서는 MoS₂/p+-Si 헤테로접합을 적용하여 MoS₂ 헤테로접합 전계 효과 트랜지스터(HFET)를 시연하고 636.19 cm²/(V·s)의 이동도, 67.4 mV/dec의 임계값 스윙, 최소 0.05V의 히스테리시스 및 과도 특성을 최소화 하였다. 그러나 채널 길이가 다른 HFET 장치는 채널과 유전층의 겹침 면적이 증가함에 따라 전기적 성능이 저하되는 것으로 나타났다. MoS₂/p+-Si HFET에 관한 결과는 실용적인 응용을 위한 고성능 전자 장치의 구조 최적화를 기대할 수 있다.</p>				

9	석박사통합	장물리이론	저널논문	①
				② The emergence of strange metal and topological liquid near quantum critical point in a solvable model
				③ JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
				④ 2021(11), 207
				⑤ 1명
				⑥ 2021.11.26
				⑦ 10.1007/JHEP11(2021)207
<p>양자 임계점(QCP) 근처의 페르미온 스펙트럼에 대한 스칼라 condensation을 고려하여 금속에서 절연체로의 phase transition이 있으며 위상적으로 보호되는 페르미온 Zero mode가 존재함을 발견하였다. 또한, T-linear resistivity를 갖는 strange metal phase가 블랙홀을 가지는 시공간에서 블랙홀의 사이즈가 충분히 클 때 혹은 온도가 충분히 높을 때 나타남을 보였다. 상들을 구분하는 것에 관해 온도 의존적인 붕괴계수를 해석적으로 계산하여 실험에서 예측 가능한 값을 제시하였다. 또한, 강상관 계의 상도표에서 흔히 볼 수 있는 곡선들의 곡률에 대한 것을 홀로그래피로부터 쉽게 계산할 수 있음을 보였다. 이러한 발견에 힘입어 이후 “여러 가지 물질에서 일어나는 양자상전이점 부근에서의 strange metal 거동이 모두 같은 물리학에 의해 나타날 것인가”를 확인하려는 실험을 실험-물리학자들과의 공동연구로 계획하고 있다.</p>				
10	석박사통합	광자기술	저널논문	①
				② Synthetic Topological Nodal Phase in Bilayer Resonant Gratings
				③ PHYSICAL REVIEW LETTERS
				④ 128(5), 53002
				⑤ 0명
				⑥ 2022.02.02
				⑦ 10.1103/PhysRevLett.128.053002
<p>인공 광자 시스템(artificial photonic systems)에서 합성 차원 개념은 잠재적인 장치 응용 프로그램뿐 아니라 가상의 가상 토폴로지 현상(topological phenomena)을 탐색하기 위한 새로운 방법을 제공한다. 이중층 공진 격자 구조에서 2차원 위상 노드 위상의 나노 광자 발현을 제시하였다. 이중층 공명 격자 구조 사이의 수학적 유추를 사용하여 층간 이동이 2차원 위상상태를 생성하기 위한 추가 운동량 차원을 시뮬레이션하여 이론적인 모델과의 수치분석을 제시하였다. 단순한 저차원 광자 구조에서 고차원 위상 효과를 생성하기 위한 실용적인 계획을 제공하였다. 추가적으로 층간 이동을 제어하여 편평한 가상 밴드를 형성할 수 있을 뿐 아니라 실제 밴드 구조와 가상 밴드 구조를 동시에 변경하여 연속체에서의 준 결합 상태를 생성하였다. 이 속성은 기존의 격자에서 고려되지 않은 간단한 매개변수 변경으로 공진 상태에서의 복사 손실을 효율적으로 제어하여 박막 나노 포토닉스 응용될 것이다.</p>				

11	석박사통합	반도체물리	저널논문	①
				② Highly Stable Forming-Free Bipolar Resistive Switching in Cu Layer Stacked Amorphous Carbon Oxide: Transition between C-C Bonding Complexes
				③ ADVANCED ELECTRONIC MATERIALS
				④ 8(2), 2100660
				⑤ 0명
				⑥ 2022.02.01
				⑦ 10.1002/aelm.202100660
<p>폰노이만 아키텍처의 프로세서와 메모리 사이의 병목현상을 줄이기 위해 차세대 비휘발성 저항변화메모리가 연구되고 있으며, 그 중 신속한 동작 속도와 높은 on/off ratio를 가지는 a-CO_x 물질로 포밍 전압 제어에 대한 연구를 진행하였다. 플라즈마 밀도 조절을 통해 a-CO_x의 스퍼터링을 통한 간단한 공정법을 제시하였고, 제작방법 시 저항변화층의 파워를 제어하여 Cu층을 삽입하는 과정에서 동작 메커니즘에 기여하는 탄소 sp²-sp³결합을 적절히 조절하고, CuO 결합을 유도함으로써 열적/전기적 손상을 줄일 수 있었다. 또한 크로스 포인트 제작으로 a-CO_x 기반 저항변화메모리의 초기/셋/리셋 상태의 산소 이온 분포를 depth profile을 이용하여 분석하는 기법을 제시하였으며, pulse 측정을 통해 20ns미만의 동작 속도를 확보하여 차세대 저항변화메모리 연구 분야에 기여하였다.</p>				
12	석박사통합	표면/경계면물리	저널논문	①
				② Tunable electrical properties of C ₆₀ •m-xylene and the formation of semiconducting ordered amorphous carbon clusters under pressure
				③ NANO RESEARCH
				④ 15(4), 3788
				⑤ 0명
				⑥ 2022.01.06
				⑦ 10.1007/s12274-022-4092-1
<p>m-자일렌 용매화 C₆₀(C₆₀•m-자일렌)에서 변환된 정렬된-무정형-탄소-클러스터(ordered amorphous carbon cluster, OACC)는 무정형 빌딩 블록 (amorphous building block) 으로 구성된 최초의 결정으로 알려져 있다. 이 재료의 형성 메커니즘과 물리적 특성은 이러한 구조적 특성을 가진 재료를 설계하는 데 매우 중요하다. 본 논문에서는 임피던스 분광법, 4탐침 저항 측정 및 라만 분광법을 사용하여 압력 변화에 따른 C₆₀•m-자일렌의 수송 및 구조적 특성을 체계적으로 조사하였다. 저항의 온도 의존성은 8~26.9 GPa에서 반도체 특성을 나타내고 이는 Mott의 3차원 가변 범위 호핑 모델(3D-VRH)에 의해 잘 설명되며 압력 유도 이합체화와 함께 절연-반도체 전</p>				

	<p>환을 나타낸다. 저항과 호핑 에너지는 둘 다 압력에 따라 단조롭게 감소하고 24 GPa 근처에서 최소값에 도달하였다가 그 이상의 압력에서는 저항 및 호핑 에너지 값이 상승하기 시작하였고, 이는 압력에 의한 OACC 형성에 기인한 또 다른 반도체 상태로의 전이를 시사한다. 본 연구 결과는 압력을 이용하여 플러렌 (C₆₀)의 수송 특성을 조절하고 나아가 OACC도 적용이 가능하다는 것을 보인 최초의 결과이다. 압력을 활용한 본 연구는 본 사업 주제에 맞추어 참여 학생을 중국 양주대학교, 연산대학교 등에 파견하여 도출한 국제공동연구 결과이다.</p>			
13	석박사통합		중시물리	<p>저널논문</p> <p>①</p> <p>② Symmetry-protected solitons and bulk-boundary correspondence in generalized Jackiw-Rebbi models</p> <p>③ SCIENTIFIC REPORTS</p> <p>④ 11(1), 21652</p> <p>⑤ 0명</p> <p>⑥ 2021.11.04</p> <p>⑦ 10.1038/s41598-021-01117-5</p>
<p>본 연구에서는 시간반전대칭성(T), 입자-반입자 대칭성(C), 공간 반전대칭성(P), 회전 대칭성과 벌크경계대응원리를 이용하여 다양한 유형의 위상솔리톤이 보호되고 분류될 수 있음을 증명하였다. 일반적인 Jackiw-Rebbi 모델에서 위상솔리톤이 만족하는 벌크-경계대응원리를 tight-binding method, field theory, Lagrangian을 이용하여 밝혔다. 위상솔리톤의 위상성질(위상 불변량, 입자-반입자 대칭성, 분수전하성질)을 구하였으며, 대칭성을 이용하여 위상솔리톤의 쌍 생성-쌍소멸 가능성을 증명하였다. 이 연구는 다양한 1차원 위상물질과 위상솔리톤의 벌크-경계 대응원리를 이해하는데 도움이 될 것으로 기대된다.</p>				
14	석사		반도체물리	<p>저널논문</p> <p>①</p> <p>② Post-annealing effects on Si-doped Ga₂O₃ photodetectors grown by pulsed laser deposition</p> <p>③ JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS</p> <p>④ 877(5), 160291</p> <p>⑤ 0명</p> <p>⑥ 2021.10.05</p> <p>⑦ 10.1016/j.jallcom.2021.160291</p>
<p>500도 ~ 800도의 온도 범위에서 산소 분위기 하에서 펄스 레이저 증착 및 포스트 어닐링 공정을 사용하여 제조된 금속-반도체-금속 구조를 갖는 Si-도핑된 Ga₂O₃ 광검출기를 연구하였다. 사후 어닐링 후, 500도의 Si 도핑된 Ga₂O₃ 광검출기는 가장 높은 광감도(0.34 A/W)와 외부 양자 효율(166.23%)을 보인 반면, 800도의 장치는 가장 빠른 스위칭 속도를 보였다. 이러한 결과는 Si와 O 원자 사이의 화학 결합 형성으로 인한 결합 밀도의 변화 때문이다. 본 결과는 Si-도핑된 β-Ga₂O₃ 층의 후열 어닐링이 높은 감광성 또는 빠른 응답 시간을 위한 애플리케이션에 따라 광검출기 성능을 수정할 수 있음을 보였다.</p>				

15	석박사통합	반도체물리	저널논문	①
				② Optimization of optoelectrical properties during synthesizing methylammonium lead iodide perovskites via a two-step dry process
				③ JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH AND TECHNOLOGY-JMR&T
				④ 14, 1
				⑤ 0명
				⑥ 2021.09.01
				⑦ 10.1016/j.jmrt.2021.06.049
<p>본 연구에서는 2단계 건식 공정을 통해 합성된 MAPbI₃(methylammonium lead iodide) 페로브스카이트 필름의 결합 상태 및 광전기적 특성을 조사하였다. MAPbI₃ 박막을 합성하기 위해 rf 마그네트론 스퍼터링을 통해 PbI₂ 박막을 증착한 후 MAI(methylammonium iodide) 증기에 노출시켜 MAPbI₃ 박막을 합성하였다. Deep level transient spectroscopy와 space-charge-limited current 방법을 사용하여 페로브스카이트 필름의 결합 밀도는 반응 온도가 90도 에서 110도로 증가함에 따라 약 6배 감소함을 입증하였다. 130도의 높은 반응온도에서, 변형 과정이 발생하여 페로브스카이트 필름 내에서 트랩 밀도가 상승할 수 있다. 결합 밀도의 현저한 감소와 함께 110도에서 제조된 필름의 감광도 100도, 130도에서 제조한 샘플보다 약 2.05배, 18.76배 더 높았다. 110도에서 합성된 샘플에서 1.17×10^{13} Jones의 우수한 검출도가 관찰되었다. 본 연구결과는 2단계 건식 공정의 우수성을 입증한다.</p>				
16	석박사통합	광자기술	저널논문	①
				② Geometric-phase intraocular lenses with multifocality
				③ LIGHT-SCIENCE & APPLICATIONS
				④ 11(1), 320
				⑤ 0명
				⑥ 2022.11.02
				⑦ 10.1038/s41377-022-01016-y
<p>마이크로미터 두께의 기하학적 위상(GP) 렌즈 레이어를 포함하는 새로운 유형의 다초점 및 확장 초점 심도(DEOF) 안내렌즈(IOL)를 연구하였다. 수정체 위상 설계를 위한 새로운 접근 방식으로 다초점에서 기존 회절 IOL를 능가하는 동시에 표준 단초점 IOL 설계에 대한 추가 표면 패턴에 대한 임상적으로 어려웠던 부분을 해결하였다. GP IOL의 초점 수와 빛 분할 비율은 적층된 GP 레이어 수와 각각의 레이어 두께를 변경하여 조정하였다. 이중 초점 및 삼중 초점 GP IOL은 UV 경화형 액정 폴리머에서 이방성 방향의 방사형 정렬에 의해 제작하였다. 기하학적 위상 렌즈층 IOL은 기존 광-회절 접근법과 달리 빛 손실을 3% 이내로 줄일 수 있고, 임의로 원하</p>				

<p>는 위치에 다수의 초점을 만들거나 초점심도 확장형까지도 적용이 가능하다. 향후 신기술 창업을 통해 국산화뿐 아니라 글로벌 기업의 제품들과 경쟁할 수 있도록 보다 경제적이며 우수한 다초점 IOL 개발에 힘쓸 계획이다.</p>					
17	석박사통합		장물리이론	저널논문	①
					② ABC-stacked multilayer graphene in holography
					③ JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS
					④ (11), 17
					⑤ 0명
					⑥ 2022.11.04
					⑦ 10.1007/JHEP11(2022)017
<p>Flat band는 간단한 시스템에서 구현되는 강상 관계를 연구할 수 있는 좋은 현상으로 강상 관계를 서술하는 홀로그래피에서 모델링이 흥미로울 것이라고 기대된다. Laia와 Tong은 특정 바운더리 항을 도입하여 전체 운동량 영역에 걸쳐 플랫 밴드를 실현했다. 본 연구에서는 이와 달리 바운더리 항 대신 벌크 상호 작용을 사용하여 운동량 공간의 유한 영역에 대해 flat band가 있는 모델을 제공했다. 이를 활용하여 대칭성을 도입하고 이에 연결되는 scaling관계를 조사한 결과 강상관계를 서술하는 홀로그래피에서의 우리 모델의 스펙트럼이 ABC-stacked multilayer graphene과 매우 유사하다는 것을 발견했다. 케미컬 포텐셜이 존재하는 경우 tight-binding model의 이론적 서술과 달리 홀로그래피에서 플랫 밴드가 구부러지며 스핀 궤도로 인한 밴드 변형을 보이는데 이는 실험 결과를 보다 잘 서술하며 홀로그래피의 계산 결과가 실험 결과와 비교될 수 있음을 보였다.</p>					
총 참여대학원생 수		석사	55	제출요구량	17
		박사	20		
		석박사통합	90		
		계	165		

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

<표 2-5> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 학술대회 발표실적

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
1	박사		구두	①
				② Discovery of topological magnetic electrides Gd ₂ C and Gd ₂ O
				③ The 15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15)
				④ 0명
				⑤ 2022.08.26. 온라인
2	석박사통합		포스터	①
				② Optoelectrical properties of methylammonium lead iodide perovskites synthesized by a two-step dry process
				③ International Union of Materials Research Society-International Conference in Asia (2021)
				④ 0명
				⑤ 2021.10.05. 대한민국(제주)
3	석박사통합		포스터	①
				② Contact engineering of a-IGZO thin-film transistors by using doped interlayer
				③ The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022)
				④ 0명
				⑤ 2022.07.17. 대한민국(제주)
4	석박사통합		구두	①
				② Electrical Properties and Structure Transition of Tetragonal Polymeric C ₆₀ under High Pressure
				③ 10th Asian Conference on High Pressure Research (ACHPR 10)
				④ 0명
				⑤ 2021.11.23. 온라인
5	석박사통합		포스터	①
				② Compressional Behavior of Potassium Hydrides Using X-ray and Raman Spectroscopic
				③ 10th Asian Conference on High Pressure Research (ACHPR 10)
				④ 0명

				⑤ 2021.11.21. 온라인
6	석박사통합		구두	①
				② Contribution of Hydrogen for Superconducting Temperatures of TiZr Alloys under High Pressure
				③ 10th Asian Conference on High Pressure Research (ACHPR 10)
				④ 0명
				⑤ 2021.11.21. 온라인
7	석박사통합		포스터	①
				② Surface Hamiltonian of a higher-order topological insulator for MoTe ₂
				③ The 15th Asia Pacific Physics Conference
				④ 0명
				⑤ 2022.08.21. 온라인
8	석박사통합		구두	①
				② Electrical Properties of TFSI-treated Molybdenum Disulfide
				③ The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022)
				④ 0명
				⑤ 2022.07.17. 대한민국(제주)
9	석박사통합		구두	①
				② Pressure-induced the Purification of Cs ₄ PbBr ₆ from CsPbBr ₃ impurity
				③ APS 2021 March meeting
				④ 0명
				⑤ 2021.03.19. 온라인
10	박사		구두	①
				② Stability and superconductivity of compressed superhydride CeH ₉ with Dirac-nodal-line fermions
				③ APS 2021 March meeting
				④ 0명
				⑤ 2021.03.14. 온라인
11	박사		포스터	①
				② Optical study of kagome metals RV ₆ Sn ₆ (R = Y, Sc)
				③ 2023 Quantum Materials Symposium

				④ 0명
				⑤ 2023.02.05. 대한민국(평창)
12	석박사통합		구두	①
				② Holographic Flat Band
				③ KPS 2021 Fall meeting
				④ 0명
				⑤ 2021.10.20. 온라인
13	석박사통합		구두	①
				② Competition of two interaction in holographic lifshitz fermion spectral function
				③ KPS 2021 Fall meeting
				④ 0명
				⑤ 2021.10.20. 온라인
14	박사		구두	①
				② Terahertz conductivity of high-quality Indium film by low temperature deposition
				③ KPS 2022 Spring meeting
				④ 0명
				⑤ 2022.04.20. 온라인
15	석박사통합		구두	①
				② Enhanced Physical Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Passivating the Surface Defects of Substrate
				③ KPS 2022 Spring meeting
				④ 0명
				⑤ 2022.04.20. 온라인
16	석박사통합		포스터	①
				② Amorphous carbon oxide bipolar resistive switches integrated by stacked ultrathin Cu layer
				③ 2021년 온오프라인 준계학술대회-한국반도체디스플레이기술학회
				④ 0명
				⑤ 2021.05.20. 대한민국(제주)
17	석사		포스터	①
				② Determination of spin orbit torque efficiency of novel Al5 phase W3Ta heavy metal
				③ 2021년 온오프라인 준계학술대회-한국반도체디스플레이기술학회

				④ 0명		
				⑤ 2021.05.20. 대한민국(제주)		
총 참여대학원생 수			석사	55	제출요구량	17
			박사	20		
			석박사통합	90		
			계	165		

❖ 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

- 참여대학원생은 총 79회의 학술대회 발표를 하였는 바 (국제학회 29편, 국내학회 50편), 그 중 구두 발표가 29편, 우수발표상 수상 10편이다. 참여대학원생 학술대회 대표 실적의 내용을 요약하면 다음과 같다.
- **XXX : Discovery of topological magnetic electrides Gd_2C and Gd_2O**
2D 층상 강자성 전자화물 Gd_2C 에서 시간역전대칭 파괴 바일 반금속 상을 발견하였다. 2D 층상 반강자성 전자화물 Gd_2O 는 질량 없는 디랙 페르미온과 무거운 디랙 페르미온을 야기한다. 이 두 결과는 2022년 8월 제15회 아시아 태평양 물리학 회의에서 구두로 발표하였으며, 각각 Physical Review Letters(IF: 9.185)과 Physical Review B(IF: 3.908)에 게재되었다.
- **XXXX: Optoelectrical properties of methylammonium lead iodide perovskites synthesized by a two-step dry process**
2단계 건식 공정을 통해 합성된 $MAPbI_3$ 페로브스카이트 박막의 결합상태와 광전기적 특성을 조사하였다. $MAPbI_3$ 박막을 합성하기 위해 RF 마그네트론 스퍼터링을 통해 PbI_2 박막을 증착한 후 MAI 증기에 노출시켜 $MAPbI_3$ 박막을 합성하였다. Deep level transient spectroscopy와 space-charge-limited current 방법을 사용하여 페로브스카이트 필름의 결합 밀도는 반응 온도가 90도에서 110도로 증가함에 따라 약 6배 감소하는 것을 보였다. 결합 밀도의 현저한 감소와 함께 110도에서 제조된 필름의 감광도는 100도와 130도에서 제조한 샘플보다 약 2.05배와 18.76배 더 높았고, 110도에서 합성된 샘플에서 1.17×10^{13} Jones의 우수한 검출도가 관찰되었다. 이 결과는 2단계 건식 공정의 우수성을 입증하였다.
- **XXXX: Contact engineering of a-IGZO thin-film transistors by using doped interlayer**
스퍼터링 동안 산소 분압에 따라 저항이 변하는 a-IGZO 필름의 특성 변조를 사용하여 a-IGZO TFT를 제작하였다. 여기서, 전극과 채널층 사이의 접촉 장벽은 중간층으로서 서로 다른 저항을 갖는 다른 a-IGZO 박막을 삽입함으로써 제어될 수 있었다. 50nm 두께의 a-IGZO 채널 층을 스퍼터링 시스템에 의해 실온에서 270 nm 두께의 SiO_2 층을 갖는 고도로 p-도핑된 Si 기판 상에 증착하였다. 스퍼터링 동안, 작동 압력은 산소-아르곤 비율 1%로 5m Torr였다. 두 가지 다른 유형의 저항을 가진 중간층은 또한 스퍼터링 동안 산소 분압의 제어에 의해 제조되었다. 저저항 및 고저항 a-IGZO 중간층은 각각 아르곤 가스 및 20%의 산소-아르곤 비만으로 스퍼터링하였다. 낮은 비저항 중간층을 갖는 a-IGZO TFT는 중간층이 없는 기준 소자에 비해 -1.9V의 문턱전압(V_{th}) 편이가 나타났다. 또한, 서브 임계 스위칭 (SS) 값과 전계 효과 이동성도 낮은 접촉 저항에 의해 향상되었다. 한편, 높은 저항 중간층을 갖는 소자는 1.3V의 양의 V_{th} 편이와 에너지 장벽으로 인한 출력 특성의 비선형성을 보였다.
- **XXX : Electrical Properties and Structure Transition of Tetragonal Polymeric C_{60} under High Pressure**
 C_{60} 폴리머 구조체의 압력변화에 따른 구조와 수송현상을 연구하였다. 본 연구결과는 국제공동연구의 일환으로 중국 HPSTAR 소속인 Lin Wang 교수팀과 수행하였다.
- **XXX (우수 포스터상) : Compressional Behavior of Potassium Hydrides Using X-ray and Raman Spectroscopic**
Potassium 원소를 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 수소분위기에서 80 GPa 까지 가압한 후 라만분광법을 이용하여 potassium과 수소의 분자반응을 측정하였다. 본 연구는 미국 Argonne National Laboratory 연구실 그룹과 공동연구로 진행되었다.
- **XX : Contribution of Hydrogen for Superconducting Temperatures of TiZr Alloys under High Pressure**
수소저장매체로 알려진 TiZr 합금의 압력변화에 따른 초전도현상을 측정하였는 바, 압력증가에 따라 초전도 온도가 12 K 까지 증가함을 보였다.

- **XXX : Surface Hamiltonian of a higher-order topological insulator for MoTe₂**
고차위상 부도체의 bulk Hamiltonian을 통해서 표면의 Hamiltonian을 구하였다. 이를 통해서 고차위상 부도체에서 zero energy state의 실공간에서의 위치를 파악할 수 있었다. 꼭짓점에 존재하는 zero energy point들을 샘플의 모양을 변형하여서 꼭짓점을 면으로 변화시켰을 때의 모습을 통해서 표면 Hamiltonian에서 확인한 내용과 일치함을 확인할 수 있었다. 또한, 위상숫자를 통해서 이러한 시스템이 위상학적임을 보였다.
- **XXX : Electrical Properties of TFSI-treated Molybdenum Disulfide**
반도체의 전기적 특성은 도펀트의 종류와 밀도, interstitial, vacancy에 따라 달라진다. MoS₂의 n형 수송 거동은 합성 및 장치 제조 중에 도입되는 sulfur vacancy (SV)에 기인한다. TFSI(trifluoromethane sulfonimide)와 티올을 사용한 화학적 처리로 단일층 MoS₂에서 SV를 치유하면 vacancy가 감소할 것으로 예상되며 이는 PL 강도의 증가에 의해 뒷받침된다. 그러나 MoS₂의 이동 거동에 대한 TFSI의 화학적 처리 효과는 아직 보고되지 않았다. 기계적 박리를 통해 얻은 ML MoS₂ 플레이크를 사용하여 장치를 제작한 다음 장치를 TFSI로 처리한다. 본 발표에서는 온도에 따른 문턱 전압, 캐리어 농도 및 이동도의 변화에 대한 연구를 보고하였다. 처리 시간이 증가함에 따라 ML MoS₂ 장치는 임계 전압에서 양의 이동을 나타내며 처리가 채널의 p-도핑을 유발할 수 있음을 밝혔다. 온도 의존 전계 효과 이동도 곡선은 처리 시간이 증가함에 따라 향상된 이온 불순물 산란을 보였으며, TFSI 처리의 효과를 조사하기 위해 DLTS(deep level transient spectroscopy)를 실시하였다.
- **XXXX (우수 발표상): Pressure-induced the Purification of Cs₄PbBr₆ from CsPbBr₃ impurity**
페로브스카이트 구조체인 Cs₄PbBr₆를 압력을 이용하여 3D에서 0D로 구조를 바꾸고 정제하는 과정을 성공적으로 유도하였다. 구조변화 측정을 위해 라만분광과 방사광을 이용한 XRD 분석법을 활용하였다. 이는 미국 Advanced Photon Source 빔타임을 학생이 직접 신청하고 배정받아 수행한 연구이다. 페로브스카이트 구조체를 압력을 이용하여 변환할 수 있다는 내용의 우수성을 인정받아 아시아 제10회 고압학회에서 우수발표상을 수상하였다.
- **XXXXX : Stability and superconductivity of compressed superhydride CeH₉ with Dirac-nodal-line fermions**
제일원리계산을 통해 Ce 4f 및 H 1s 궤도의 강력하게 혼성화된 전자 상태가 결정 대칭에 의해 보호되는 페르미 에너지 주변에 위상학적으로 안정한 Dirac 노드 선을 생성한다는 것을 보였다. 또한, 정공 도핑에 의해 페르미 에너지는 토폴로지 중심의 van Hove 특이점으로 이동하여 상태 밀도를 크게 증가시키고, 다시 100GPa에서 초전도 전이 온도 T_c를 74K에서 최대 136K로 올린다는 것을 확인하였다.
- **XXXX (우수 포스터상): Optical study of kagome metals RV₆Sn₆ (R = Y, Sc)**
카고메 격자를 가지는 금속 물질의 띠구조는 평평한 띠, 디락 띠, 반 호프 특이점을 모두 가져서 다양하고 흥미로운 전자상태를 보일 것으로 기대되어, 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 바나듐 이온이 카고메 격자를 이루는 물질군에서는 전하 밀도와 상전이가 관측되었는데, 이 현상의 원인에 대한 논란이 지속되고 있다. 최근 ScV₆Sn₆에 대한 분광 연구들은 전하 밀도와 상전이가 일어남에도 불구하고 전자 구조에서 갭의 형성을 관측하지 못하였다. 본 연구에서는 ScV₆Sn₆에 대한 광학적 분석을 통해 전하밀도와 상태에서 페르미 준위 근처에 Gap이 생겼음을 명확히 관측하였다. 기존 카고메 금속이 보이는 전하 밀도파가 반 호프 특이점의 불안정성에 기인한다는 결과와는 반대로 ScV₆Sn₆의 전하 밀도파는 반 호프 특이점의 상호 작용이 중요하지 않음을 밝혔다. 본 연구 결과의 중요성을 인정받아 우수 발표상을 수상하였다.
- **XXXX: Holographic Flat Band**
이전까지 강상관계에서 중요한 개념 중 하나인 플랫폼밴드를 홀로그래피 차원에서 Laia-Tong 모델이 지시한 boundary condition의 twisting을 이용하여 구현하였다. 본 연구에서는 홀로그래피 차원에서

구체화 할 수 있는 여러 가지 방안들을 제시하였으며 이를 스펙트럼 함수를 통해 보이고 여러 가지 플랫폼 밴드 물질들과 비교할 수 있는 가능성을 열었다. 이 결과를 2021년 10월 한국물리학회에서 구두로 발표하였다.

- XXXXX **Competition of two interaction in holographic lifshitz fermion spectral function**
 홀로그래픽 리프시츠 페르미온에서 두 가지 다른 상호작용이 존재할 때 위상변화가 일어날 수 있음을 보이고 이를 분류 하였으며 이중 B_{5t} 와 B_x 의 경쟁이 구리기반 초전도체를 설명 할 수 있다는 가능성을 보였다. 이를 페이즈 다이어그램으로 정리하여 돔을 그려냈다. 이론에서 나온 돔과 비교 분석하고 이를 2021.10.22에 한국 물리학회에서 구두로 발표하였다.
- XXX : **Terahertz conductivity of high-quality Indium film by low temperature deposition**
 열화학기상증착(CVD)에서 기판 냉각 공정을 이용하여 제조된 인듐 필름은 매우 균일한 표면 모폴로지를 형성하며 무질서 또는 결함 없이 깨끗한 반데르발스(vdW) 계면을 제공한다. 여기에서 주사전자현미경과 테라헤르츠 시간영역 분광기를 이용하여 상온과 저온(~100K) 기판에서 증착된 In 막의 형태와 테라헤르츠 복합 전도도를 각각 비교하였고, 그 결과 상온에서 증착된 인듐 막은 테라헤르츠 전도도가 상대적으로 낮은 분절된 입상 형태를 보인 반면, 저온에서 증착된 In막은 ~30 nm 두께 이상의 금속 특성을 가지는 상호 연결된 막 형태를 보였다. 이 결과는 기판 냉각 방법이 고품질 금속 필름 및 금속 접촉 응용 분야의 제조에 유망하다는 것을 시사한다.
- XXX : **Enhanced Physical Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Passivating the Surface Defects of Substrate**
 전이 금속 디칼코게나이드(TMD)와 같은 2D 물질의 광학 및 전기적 특성은 기판의 표면 결함에 민감하다. 널리 사용되는 유전체 기판인 이산화규소는 2D 물질에 대한 불균일성을 유발하는 전하 응덩이를 가지고 있기에, h-BN 또는 Al_2O_3 와 같은 고품질 유전체 재료가 균질하고 향상된 특성을 위해 적용되었다. PFPE(Perfluorinated Polyether) 중 하나인 S_{10} 은 코팅제로 상업적으로 사용되는데, 그것은 표면 전하 응덩이를 부동태화할 수 있고, 또한 S_{10} 의 불소 원자로 인해 약한 p 도핑 효과를 제공할 수 있다. 본 연구에서는 SiO_2 기판에서 표면 전하 응덩이에 대한 패시베이션의 손쉬운 방법을 보고하였다. 표면 패시베이션 및 p 도핑의 효과는 TMD의 광발광 매핑에 의해 확인되었고, S_{10} 코팅 영역의 TMD는 PL 강도를 향상시켰다.
- XXXXX (우수 포스터상): **Amorphous carbon oxide bipolar resistive switches integrated by stacked ultrathin Cu layer**
 차세대 비휘발성 메모리와 SCM으로 많은 연구가 되고 있는 ReRAM 중 a- Co_x 기반 소자의 박막 증착법과 공정개발을 실시하였으며, 산소 분압 조절로 XPS/I-V 특성 평가를 통해 sp^2 - sp^3 변환에 의한 filament type임을 보였다. 또한 열적/전기적 손상을 줄이고자 Cu layer삽입을 통해 forming voltage를 조절하였다. 또한 증착 시 형성되는 CuO가 소자의 신뢰성에 영향을 주어 적절한 Cu 두께가 안정성에 기여함을 보였다.
- XXXX (우수 포스터상): **Determination of spin orbit torque efficiency of novel A15 phase W_3Ta heavy metal**
 Spin-orbit torque(SOT)의 작동 영역을 확인하기 위해, 평면 외부 자기장 내 결정 구조에 대한 SOT 효율 의존성을 확인하였으며, W_3Ta 기반 헤테로 구조에서 향상된 SOT 효율을 확인하였다. 연구 결과의 우수성을 인정받아 우수 포스터상을 수상하였다.

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

<표 2-6> 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 등 실적

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	실적구분	특허, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용		
1	석박사통합		특허	①		
				② 스퍼터링 방법으로 제조되는 저항변화층을 구비하는 저항변화 메모리 및 그의 제조 방법		
				③ 미국		
				④ 11522134		
				⑤ 2022.12.06		
2	석박사통합		특허	①		
				② 다결정 금속 산화물층을 포함다하는 선택소자 및 이를 포함다하는 크로스포인트 메모리		
				③ 대한민국		
				④ 10-2314162		
				⑤ 2021.10.12		
3	석사		특허	①		
				② 스핀 궤도 토크 및 자기 터널 접합 구조를 이용한 논리 소자		
				③ 대한민국		
				④ 10-2493294		
				⑤ 2023.01.25		
총 참여대학원생 수			석사	55	제출요구량	17
			박사	20		
			석박사통합	90		
			계	165		

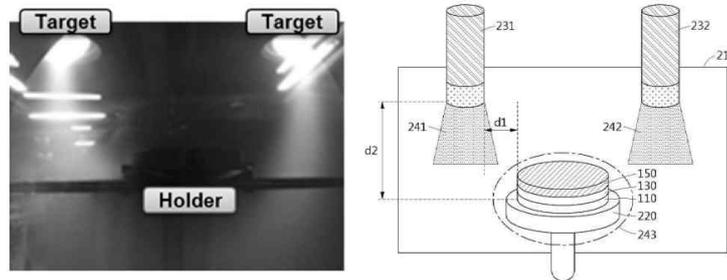
◆ 참여대학원생 특허 대표실적의 우수성

본 교육연구팀 참여대학원생이 등록한 대표적 국내외 특허 3개 (국외(미국) 1건, 국내 2건)를 설명하면 다음과 같다.

• XXXX (미국 특허번호: 11522134)

스퍼터링 방법으로 제조되는 저항변화층을 구비하는 저항변화 메모리 및 그의 제조 방법

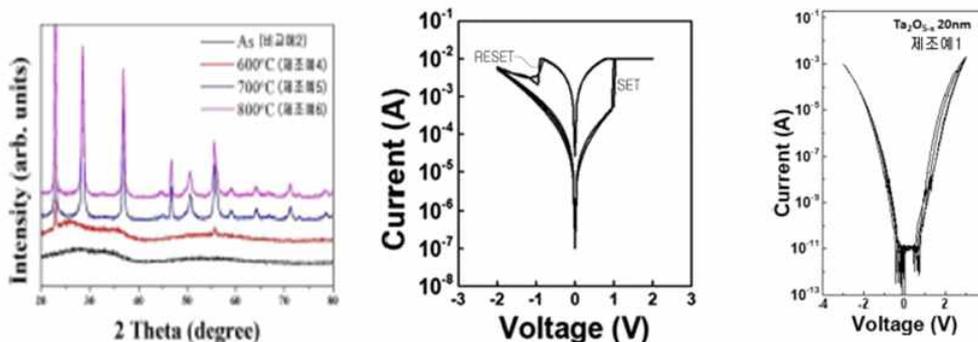
차세대 비휘발성 저항변화 메모리는 폰노이만 아키텍처의 병목현상을 줄이기 위해 많은 연구가 진행되는 중이고, 여러 물질 중 α - CO_x 는 빠른 스위칭 스피드와 높은 on/off ratio의 장점을 가지지만, 스퍼터링으로 박막 형성시 식각현상이 나타나는 문제가 있다. 이는 플라즈마 내의 전자나 반응성 산소 이온이 탄소와 결합하여 상온에서 기체 상태인 CO나 CO_2 가 된다. 이를 해결하기 위해 플라즈마 내의 전자와 반응성 이온을 줄이려 off-axis방식을 사용하였고, 탄소와 산소분자가 결합하는 비율을 높이면 식각의 효과를 최소화 할 수 있다. 또한 균일한 박막을 형성하기 위해 동종의 타겟 사이에 기판을 위치하는 방법을 발명하였다. 이러한 방법으로 박막의 균일한 두께와 거칠기를 확보하였고, 저항변화메모리로 동작하기 위한 산소농도의 조절을 가능하게 하였다.



• XXXXX (국내 특허번호: 10-2314162)

다결정 금속 산화물층을 포함하는 선택소자 및 이를 포함하는 크로스포인트 메모리

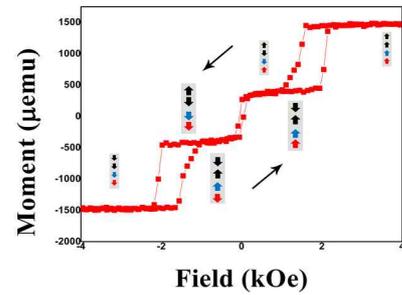
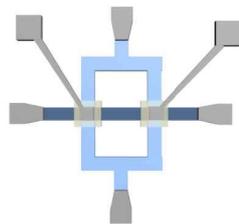
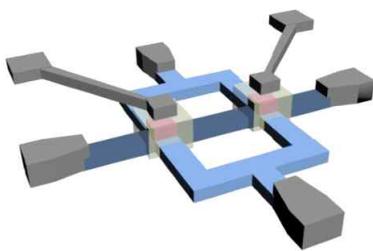
최근 연구 중인 2단자 선택소자는 칼코겐 원소의 전하트랩을 이용한 trap-assisted-hopping 또는 절연체의 에너지밴드를 조절한 tunneling conduction을 이용하지만, 전자는 칼코겐 원소가 열에 취약하다는 단점이 있으며 후자는 동작전압을 조절하기 어렵다는 문제가 있다. 본 발명이 설명하는 선택소자는 금속산화물층에 동종 또는 이종 원소를 삽입하고 결정화를 진행하여 다결정을 형성하고 이러한 산화물층은 grain-boundary를 통해 전도성을 얻는다. 삽입되는 원소의 종류와 양을 통해 산화물층의 결정성을 조절할 수 있으며 이는 전도성 또한 조절 가능함을 의미한다. 본 발명은 기존 터널링 선택소자와는 다르게 동작전압 조절이 가능하면서도 높은 열적 안정성을 가지고 있으며 차세대 메모리 소자와 연결하여 크로스포인트 구조의 메모리로의 적용을 가능하게 한다.



• XXXX (국내 특허번호: 10-2493294)

스핀 궤도 토크 및 자기 터널 접합 구조를 이용한 논리 소자

기존의 자기 터널 접합 구조 논리 소자는 Spin-Transfer Torque (STT) 동작 방식의 MTJ 를 기반으로 제작되어 왔다. 하지만 STT 동작의 경우 수십~ 수백 uA 정도 이상의 구동 전류와 MTJ 소자로 직접 구동 전류를 보내는 경우 중간 산화물 층에 직접적인 전류가 흘러 산화물이 뜯리게 되는 Break through 문제가 존재해왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Spin-Orbit Torque (SOT)를 이용한 MTJ는 기존 STT를 이용한 MTJ에 비하여 적은 전류 구동과 산화물 층에 직접 구동 전류가 흐르지 않고 중금속 층으로 구동 전류를 보내 break through 문제를 해결할 수 있는 동작 방식으로 STT MTJ 소자에 비해 자화 반전이나 전류구동에 이점이 있다. 이를 이용한 해당 발명의 경우 단일 셀 구조로 모든 로직 동작을 구현할 수 있으며, 또한 공정도 array와 peri-circuit 부분만 분리해서 진행하는 이점이 있다.



3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적

❖ 대학원생 연구 실적 요약

- 연구 목표 달성도 및 BK 사업 수주 전후 연구 역량 변화
 - 선정평가 시 제시한 참여대학원생 연구 역량 향상 목표를 모든 부분에서 초과 달성하였다.

- 🍷 IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 13편, 목표치의 310%
- 🍷 환산보정 IF 합은 목표치의 112%, 환산보정 ES는 목표치의 196%
- 🍷 참여대학원생 총 발표 논문 수 54편 (선정평가 당시 실적 15.3편의 141%)

- BK 선정평가 시 제시한 1단계 참여대학원생 연구실적 목표

- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 6편
- 환산보정 IF 합 매년 10% 증가
- 환산보정 ES 합 매년 10% 증가

[표 II.14. 참여대학원생 연구 실적 목표 달성도]

	1단계 계획	2020.9-2023.2 실적	달성률 (%)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	6	13	216%
환산보정 IF 합	7.80	9.26	119%
환산보정 ES 합	16.71	34.79	208%

[표 II.15. BK 사업 수주 전후 참여대학원생 연구 역량 변화]

	2017-2019 연평균	2020.9-2023.2 연평균	증가률 (%)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	1.67	2	+20%
환산보정 IF 합	3.31	3.71	+12%
환산보정 ES 합	7.09	13.92	+96%

❖ 산학협력을 통한 특허 실적

[표 II.16. 산학협력을 통한 참여대학원생 특허 실적]

성명	지도교수	논문명
	대한민국 10-2314162	결정 금속 산화물층을 포함하는 선택소자 및 이를 포함하는 크로스포인트 메모리
	대한민국 10-2493294	스핀 웨도 토크 및 자기 터널 접합 구조를 이용한 논리 소자
	미국 11522134	스퍼터링 방법으로 제조되는 저항 변화층을 구비하는 저항변화 메모리 및 그의 제조 방법
	대한민국 10-0188792	불연속적인 기하학적 위상 회절광학소자로부터 연속적인 기하학적 위상 회절광학소자를 제조하는 방법에 관한 특허 (특허 출원 중)

❖ 해외 우수 연구기관과의 공동연구

[표 II.17. 해외 우수 연구기관 파견을 통한 공동연구]

성명	지도교수	국외공동연구자	상대국/소속시간	연구기간
	김재용		중국/Yashan University	202101-202102
	조준형		중국/Henan University	202206-202207
	김재용		독일/ PETRA-III	202206-202206
	김재용		중국/HPSTAR	202209-202212
	김재용		중국/HPSTAR	202211-202212
	신상진		미국/Harvard University	202211-202211
	정문석		프랑스/University of Technology of Troyes	202301-202302

❖ BK 세미나 운영

- BK 세미나 시리즈를 통해 참여대학원생들은 양자물질 극한물성 분야의 주요 연구 주제와 최신 연구 결과를 습득할 수 있었다.
- 본 교육 연구팀은 참여대학원생의 연구력 향상을 위해 BK 사업 기간 동안 극한물성분야 국내외 전문가를 초빙하여 101회의 정기 세미나를 개최하였다.



[그림 II.16. BK 세미나 발표 사진]

❖ 매학기 BK 연구성과 발표회 개최 및 BK 우수 논문 장학금 지급

- 본 교육연구팀은 참여대학원생의 연구력 제고를 위해 매학기 참여대학원생들의 연구성과 발표회를 진행하였다.



[그림 II. 17. XXX , XXX , xxxxx 학생의 발표사진]

- 매학기 우수 논문 선정 및 상금 지급
 참여대학원생들의 연구 의욕 고취를 위해 매학기 학술활동 실적을 자체 평가하여 우수 논문을 선정하였다. 해당 학기에 IF가 3이상인 논문을 주저자로 발표한 참여대학원생에 대한 자체 평가를 통해 최우수상 1명, 우수상 1명, 장려상 2명을 선정하여 상장과 상금을 수여했다.

❖ 극한물성 연구분야 실습기반 강의 (Tutorial)

- 압력을 기반으로 하는 극한물성연구를 연구하기 위해서는 물질의 구조형성에 관한 이론 및 XRD 데이터 분석이 필수적인 바, 제10회 아시아고압학회 기간 동안 XXXXXXXXXX 교수(중국)와 XXXXXX XXXX 교수(독일)를 초청하여 국내외 초기연구자를 대상으로 실습기반 강의를 진행하였다.



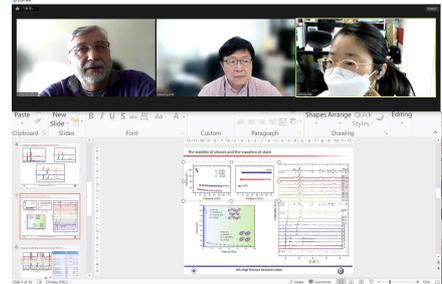
그림 II.18. 극한물성연구분야 강의(tutorial) 포스터

① 길림대학교 XXXXXXXXXX 교수 (2021년 11월 21일): 첫 세션에서는 최근 H₃S, LaH₁₀ 등 고온초전도체 합성 가능성을 이론적으로 예측한 길림대학교 XXXXXX 교수를 초청하여 CALYPSO 프로그램을 이용하여 새로운 고온초전도체 안정화 이론에 관한 내용을 소개하였다.

② 독일 Freiburg 대학교 XXXXXXXXXXXX 교수 (2021년 11월 21일): 두 번째 세션에서는 XRD 데이터 분석에 필수적인 Dioplas 프로그램을 개발하여 세계적으로 활용되고 있는 독일 Freiburg 대학교 XXXXXXXXXXXX 교수를 초빙하여 프로그램 개발자로부터 직접 사용법을 배울 수 있었다.

❖ 해외 우수 연구 기관과의 공동연구 및 인적 교류 활성화

- 양자물질 극한물성 분야에서 첨단 연구를 선도하고 있는 미국, 유럽, 일본과 현재 선도 국가로 부상하고 있는 중국 대학 및 연구기관과의 공동 연구를 통하여 세계 수준의 연구 결과를 발표했다. 해외 우수 연구진과의 공동 연구 및 교류를 통해 최근 새로운 연구 주제로 부상한 수소화물 고온 초전도체 관련 연구를 수행하였다. 또한 초고속자유전자가속기, 초극단방사광가속기시설, 초고자기장, 초저온장비 등 국내에서 접근이 불가능한 국가 대형 연구시설을 활용하여 고압하에서 양자물성을 연구하였다.
- 해외 석학 공동지도 교수를 활용하여 공동연구를 수행했다. 중국 HPSTAR 소속 XXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXX 교수, XX XXXXXXXX 교수, Yanshan University 소속 XXXXXX 교수 등 해외 우수학자들을 본교 특임교수, 겸임교수로 발령하여 대학원생 논문, 연구 활동을 지도하였고 연구실과견, 공동논문들을 출간하였다.



[그림 II.19. XXXXXXXX 교수와의 공동연구 지도]

❖ 우수 연구자 초청 IC-PBL 강의 진행

- 극한의 압력과 온도 그리고 자기장하에서 발현하는 양자물성을 공부하기 위하여 IC-PBL기반 초고압과 상변이 과목을 개설하여 해외 학자들을 온라인으로 초청하여 양자 물성에 관한 현재 연구현황을 학생들에게 실시간으로 전달하였다.
 - 저차원반도체물성연구 IC-PBL 개설 및 산업사회 연사 초청 (2022년 2학기)
저차원 반도체의 기초 물성 및 응용 예시에 대한 학습을 위해 IC-PBL 기반 저차원 반도체 과목을 개설하여 운영하였다. 아래와 같이 전문가들을 초빙해 실무적인 경험의 폭을 넓힐 수 있도록 운영하였다.
- ① 2022.09.13. ETRI 박사 ② 2022.09.27. 한양대학교 박사 ③ 2022.10.04. 성균관대학교 교수 ④ 2022.10.11. 경희대학교 교수 ⑤ 2022.10.25. 서울여자대학교 교수 ⑥ 2022.11.08., 숭실대학교 교수 ⑦ 2022.11.15. 성균관대학교 교수 ⑧ 2022.11.22. 전북대학교 교수 ⑨ 2022.12.13. 고려대학교 교수

4. 신진연구인력 운용

4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

<표 2-7> 교육연구팀 신진연구인력 현황

(단위: 명)

구분	신진연구인력 수		
	평가 대상 기간 내 총 인원 수	총 참여 개월 수	1인당 평균 참여 개월 수
박사후 과정생	2	27	13.5
계약교수	2	17	8.5
계	4	44	11

① 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

❖ 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적 내용

- 우수한 신진연구인력을 확보하기 위해 신진연구인력 초빙위원회(김재용, 문순재, 정문석, 천상모 교수)를 구성하여 공고부터, 채용, 심사까지 모든 선발과정을 공개하였다.
- 국제학회, MOU를 통한 국제공동연구 수행중인 연구기관으로부터의 소개, 그리고 해외인력 채용사이트를 활용하여 다수의 우수 신진연구자 후보를 확보할 수 있었다.
- 개인연구비가 아닌 본 사업지원만을 받는 연구자를 신진연구인력으로 정하였는 바, 2명의 박사후과정생(XXXXX, XXXXXXXX) 과 2명의 계약교수(XXXX, XXXXX)를 선발하였다.
- 참고로 XXXXXXXX 박사는 MOU를 체결한 길림대학교 지도교수의 추천을 받아 선발하였다.
- 신진연구인력의 기준급여는 본 사업팀에서 월300만원을 지원하였고 추가지원이 필요한 경우 지도교수가 부담하였다.
- 학과차원에서 별도의 공간(자연대 437호)을 지정하여 전용 연구공간을 제공하였다.

❖ 신진연구인력 현황 및 실적

4명의 신진연구인력이 도출한 연구내용을 정리하면 다음과 같다.

• XXXXX 박사

- 채용기간: 2020년 11월 1일 - 2021년 8월 31일
- 연구주제: Optical spectroscopy study on correlated electron materials
- 연구실: 응집물질분광 연구실 (문순재 교수)
- 연구내용: 스핀-궤도 결합과 전자 상호 작용이 존재하는 이리듐 산화물의 금속-비금속 전이에 대한 연구와 대표적인 강상관 금속인 바나듐 산화물에 대한 연구를 수행하여 두 편의 주저자 논문을 발표하였다.
- 출간논문: ① Doping and temperature evolution of optical response of $Sr_3(Ir_{1-x}Ru_x)_2O_7$, , , , Sci. Rep. **10**, 22340 (2020).

XXXX 박사는 Ru이 치환된 $Sr_3Ir_2O_7$ 의 도핑과 온도에 따른 광전도도 변화를 광분광 실험을 이용하여 연구하였다. 이 연구를 통해 Ru 치환에 의한 비금속-금속 상전이가 percolation 현상으로 설명된다는 점과 금속-비금속 전이의 경계에 있는 물질에서 강한 전하-격자-스핀 상호 작용을 발견하였다.

② Low-energy interband transition in the infrared response of the correlated metal $SrVO_3$ in the ultraclean limit, , , , , Phys. Rev. B **106**, 85133 (2022).

전자 상호 작용이 강한 강상관 금속이 보이는 비페르미 액체 현상은 응집물질물리 학계가 풀지 못하고 있는 중요한 문제이다. 최근 동적 평균장 이론을 이용하여 강상관 금속의 비페르미 액체 현상이 페르미 액체 온도 이상에서도 존재하는 “resilient quasiparticles” 로 기술될 수 있음이 제안되었으며, 이 결과를 활용하여 대표적인 강상관 금속인 Sr_2RuO_4 의 광전도도를 성공적으로 설명한 바 있다. 안기현 박사는 기존의 $SrVO_3$ 보다 불순물 농도가 수십배 이상 작은 $SrVO_3$ 박막 시료에 대한 적외선 분광 측정을 통해 $SrVO_3$ 의 낮은 에너지 광전도도가 resilient quasiparticles이 아닌 매우 좁은 드루드 전이와 낮은 에너지에 존재하는 띠틈 전이로 기술됨을 밝혔다. 본 연구는 Pennsylvania State University, Columbia University 연구진과 공동으로 진행하였으며, 연구결과의 우수성을 인정받아 Physical Review B의 Editors’ Suggestions로 선정되었다.

OPEN Doping and temperature evolutions of optical response of $\text{Sr}_3(\text{Ir}_{1-x}\text{Ru}_x)_2\text{O}_7$

Gihyeon Ahn¹, J. L. Schmehr², Z. Porter², S. D. Wilson² & S. J. Moon^{1,3,4,5}

Low-energy interband transition in the infrared response of the correlated metal SrVO_3 in the ultraclean limit

Gihyeon Ahn¹, M. Zingl², S. J. Noh¹, M. Brahmck³, Joseph D. Roth³, Roman Engel-Herbert^{1,4,5}, A. J. Millis^{2,6} and S. J. Moon^{1,3,7}

¹Department of Physics, Hanyang University, Seoul 04763, Republic of Korea

²Center for Computational Quantum Physics, Flatiron Institute, 162 5th Avenue, New York, New York 10010, USA

³Department of Materials Science and Engineering, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802, USA

⁴Department of Physics, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802, USA

⁵Department of Chemistry, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802, USA

⁶Department of Physics, Columbia University, New York, New York 10027, USA

(Received 2 June 2022; accepted 4 August 2022; published 24 August 2022)

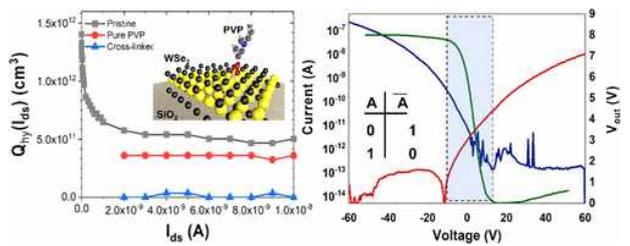
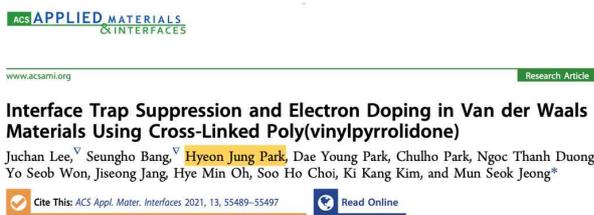
[그림 II.20. XXXXX 박사 발표 논문]

- 학술대회발표: ① 한국물리학회 가을 학술논문발표회 구두발표 (2020. 11. 4-6): Infrared observation of the low-energy interband transition in ultraclean SrVO_3 film
- ② 한국초전도학회 동계학술대회 (2021. 2. 24-25) 포스터 발표 및 우수 논문상 수상: Doping and temperature evolutions of optical response of $\text{Sr}_3(\text{Ir}_{1-x}\text{Ru}_x)_2\text{O}_7$

• XXX 박사

- 채용기간: 2021년 10월 1일 - 2022년 9월 30일
- 연구실: 반도체나노광학 연구실 (정문석 교수)
- 연구내용: 반데르발스 물질인 이황화텅스텐에 폴리머를 사용하여 도핑효과와 패시베이션 효과에 대한 연구를 수행하였고 공동저자로 논문을 발표하였다.
- 출간논문: Interface Trap Suppression and Electron Doping in Van der Waals Materials Using Cross-Linked Poly(vinylpyrrolidone), *ACS Appl. Mater. Interfaces* 55489, 13 (2021).

본 연구에서 XXX 박사는 전이금속 디칼코게나이드 화합물인 이황화텅스텐 (WSe_2)에 poly(vinylpyrrolidone) (PVP) 폴리머를 코팅하여 소자 특성 변화를 연구하였다. 폴리머 처리 후에 p 타입 반도체 특성은 n 타입 특성으로 변화하였고, 표면 셀레늄의 빈공간이 코팅된 폴리머로 치환됨으로써 트랩 밀도가 줄어 소자특성이 향상된 것을 확인하였다.



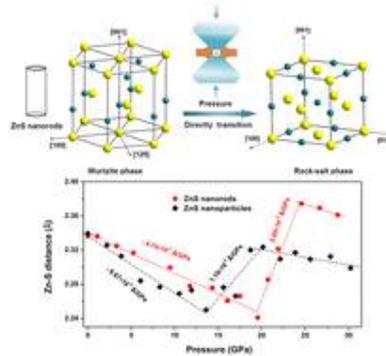
[그림 II.21. XXXX 박사 발표 논문]

- 학술대회발표: ① The 12th International Conference on Advanced Materials and Devices International 포스터 발표 (2021. 12. 6-10.): Controllable Surface Oxidation and Doping Effect of InSe Using Polymer Passivation
- ② The 12th International Conference on Advanced Materials and Devices International 포스터 발표 (2021. 12. 6-10.): Controllable synthesis of topological semimetal PtTe_2 and MoTe_2 using laser and sputter for optoelectronic device
- ③ 한국물리학회 봄 학술논문발표회 구두발표 (2022. 4. 20-22.): Controllable Surface Oxidation and Doping Effect of Indium Selenide (InSe) Using Polymer Passivation.

• XXXXXXXX 박사

- 채용기간: 2021년 10월 1일 - 2022년 9월 30일
- 연구실: 고압물리 연구실 (김재용 교수)
- 연구내용: 압력을 108 GPa까지 가해가면서 2H-TaS₂의 전기전도특성을 측정한 결과 약 86 GPa에서 예상치 않았던 9.6 K의 초전도현상이 발견되었다. 이는 type-II 초전도라 여겨진다. 압력을 추가로 올림에 따라 157 GPa에서 최대 16.4 K에서 초전도 현상을 관측하였다. 이는 TMD 물질에서 얻어진 가장 높은 초전도 전이온도에 해당한다. X-ray와 홀효과 측정결과 이러한 높은 초전도성은 구조변화와 홀이동밀도가 증가함에 따른 것이라고 분석되었다. 본 연구는 중국 길림대학교 그리고 미국 Argonne National Laboratory 연구진과 이루어진 국제공동연구결과이다.
- 출간논문: ① “The morphology-dependent lattice stability investigation in ZnS nanostructures by high-pressure XAFS studies” , , , , , , and , Journal of Materials Chemistry C **10**, 11959 (2022).
 ② “The metal-semiconductor transition in compressed 2M-WSe₂ “, Journal of Materials Chemistry C

Journal of Materials Chemistry C



[그림 II.22. XXXXXX 박사 발표 논문]

• XXXX 박사

- 채용기간: 2022년 10월 1일 - 2023년 9월 30일
- 연구실: 반도체나노광학 연구실 (정문석 교수)
- 연구내용: 용액 공정 기반 2차원 전이금속 디칼코게나이드의 대면적 합성을 연구하며, 가능한 응용소자를 탐색하고 있다. 할라이드 페로브스카이트 단결정을 합성하고 특성을 분석하는 연구를 수행 중이다. 2차원 반도체의 화학적 처리에 따른 특성변화를 분석하고 있으며 응용소자 연구를 진행하고 있다.
- 출간논문 (예정)

① The reduction of defect effect at 2D semiconductor/dielectric interface via low adhesive energy of perfluorinated polyether layer
 2차원 반도체는 원자층 수준의 얇은 두께로 인하여 주변 환경에 특성이 매우 민감하게 영향을 받으며, 특히 기관으로 사용되는 dielectric 물질에 의한 영향을 가장 크게 받는다. 박대영 박사는 낮은 표면 에너지를 가지는 불소계통의 자가조립단일층을 코팅하여 반도체/절연층 사이의 계면 거리를 제어함으로써 2차원 전이금속 칼코겐 반도체의 광학적 특성을 향상 시켰으며, transistor로 제작 시 작동 속도의 향상을 확인하였다. 이에 대한 연구 논문은 작성이 완료되어 조만간 Applied Materials & Interfaces에 투고 할 예정이다.

② Combined Doping and Healing Effects of Transition Metal Dichalcogenides through Trioctylphosphine Sulfide”

화학기상증착법을 통하여 합성된 단일층의 2차원 전이금속 칼코겐 반도체는 직접밴드갭 특성으로 매우 우수한 광학적 특성을 가져 차세대 광전소자의 핵심 물질로 주목받고 있다. 그러나, 공극 결함과 산소 치환 결함 등에 의하여 광학적 특성이 크게 저해되고 있다. 또한, 산소 결함에 의한 p도핑 효과는 광트랜지스터나 광통신에 이용하기 위해 필요한 Trion의 형성을 억제하여 이에 대한 해결 방안이 필요하다. 박대영 박사는 나노물질 합성에 주로 이용되는 Trioctylphosphine에 칼코겐 원소를 결합한 물질을 합성하고 간단한 용액 처리 공정을 통하여 전이금속 칼코겐 반도체에 존재하는 공극 결함과 산소 결함을 치유함과 동시에 Trion 비율 향상을 위한 n도핑 효과를 동시에 구현하였다. 이러한 연구 성과는 단일 전이금속 칼코겐 반도체의 광트랜지스터 및 광통신에 새롭게 응용될 가능성이 있으며, 연구 결과에 대한 논문은 현재 작성 중에 있다.

- 학술대회발표: ① 한국진공학회 가을 학술논문발표회 구두발표 (2023. 02. 8-10): Vacancy selective doping and healing effects of Transition Metal Dichalcogenides through Trioctylphosphine Sulfide

❖ 신진연구인력 성과발표회

- 매학기 신진연구인력의 연구성과를 발표하는 행사를 통해 참여교수 및 학생들과 연구 결과를 논의하는 성과발표회를 개최하였다.



[그림 II.23. 왼쪽부터 XXX , XXXXX, XXXX , XXXX 박사 성과 발표]

② 우수 신진연구인력의 대표 연구 실적

<표 2-8> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 신진연구인력 대표 연구 실적

연번	구분	성명	참여 시작일	실적구분	대표 연구 실적 상세내용		
1	박사후 과정생		2021.10.01	저널논문	①		
					② A morphology-dependent lattice stability in vestigation in ZnS nanostructures by high-pres sure XAFS studies		
					③ JOURNAL OF MATERIALS CHEMISTRY C		
					④ 10(33), 11959		
					⑤ 2022.08.25		
					⑥ 10.1039/d2tc02043b		
<p>압력을 108 GPa까지 가해가면서 2H-TaS2의 전기전도특성을 측정한 결과 약 86 GPa에서 예상치 않았던 9.6K의 초전도현상이 발견되었으며 이는 type-II에 해당하는 초전도라 여겨진다. 압력을 추가로 올림에 따라 157 GPa에서 최대 16.4 K에서 초전도 현상을 관측하였다. 이는 TMD 물질에서 얻어진 가장 높은 초전도 전이온도에 해당한다. X-ray와 홀효과 측정결과 이러한 높은 초전도성은 구조변화와 홀이동 밀도가 증가함에 따른 것이라고 분석되었다. 본 연구는 중국 길림대학교 그리고 미국 Argonne National Laboratory 연구진과 이루어진 국제공동연구결과이다.</p>							
2	박사후 과정생		2020.11.01	저널논문	①		
					② Low-energy interband transition in the infr ared response of the correlated metal SrVO3 i n the ultraclean limi		
					③ PHYSICAL REVIEW B		
					④ 106(8), 85133		
					⑤ 2022.08.24		
					⑥ 10.1103/PhysRevB.106.085133		
<p>전자 상호 작용이 강한 강상관 금속이 보이는 비페르미 액체 현상은 응집물질물리 학계가 풀지 못하고 있는 중요한 문제이다. 최근 동적 평균장 이론을 이용하여 강상관 금속의 비페르미 액체 현상이 페르미 액체 온도 이상에서도 존재하는 “resilient quasiparticles” 로 기술될 수 있음이 제안되었으며, 이 결과를 활용하여 대표적인 강상관 금속인 Sr2RuO4의 광전도도를 성공적으로 설명한 바 있다. 안기현 박사는 강상관 금속 SrVO3 박막의 광전도도를 연구하였다. 기존의 SrVO3보다 불순물 농도가 수십배 이상 작은 SrVO3 박막 시료에 대한 적외선 분광 측정을 통해 SrVO3의 낮은 에너지 광전도도가 resilient quasiparticles이 아닌 매우 좁은 드루드 전이와 낮은 에너지에 존재하는 띠간 전이로 기술됨을 밝혔다. 본 연구는 Pennsylvania State University, Columbia University 연구진과 공동으로 진행하였으며, 연구결과의 우수성을 인정받아 Physical Review B의 Editors’ Suggestions로 선정되었다.</p>							
총 신진연구인력 수				박사후과정생	2	제출요구량	1~2
				계약교수	2		
				계	4		

5. 참여교수의 교육역량

5.1 참여교수의 교육역량 대표실적

〈표 2-9〉 교육연구팀 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여교수명	참여기간 (YYYYMMDD -YYYYMMDD)	연구자등록번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적을	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성						
1	김재용	20200901 -20230228		표면/경계면 물리	IC-PBL 교과목 개발 및 운영	
	<p>양자현상을 연구함에 있어 중요한 물리변수인 압력과 온도를 활용하는 연구를 주제로 실습과 해외연구자 초빙 등, 다양한 방법으로 첨단연구결과를 익히고 경험하는 수업을 진행하였다. 초고압-초고온, 초고압-초저온 등 극한 상황에서 발현하는 물성을 탐색하였고, 특히 100만기압 단위의 매우 높은 압력을 가할 수 있는 실험기법을 학습하였다. 이는 해외 연구시설을 활용한 국제공동연구를 수행하고 논문을 작성하는데 있어 직접적으로 활용되었다.</p> <p>[초고압상변이와 수송현상: 2022-2학기 개설]</p>					
2	문순재	20200901 -20230228		에너지띠/전 자구조	IC-PBL 교과목 개발 및 운영	
	<p>전자 상호 작용이 강한 강상관 양자물질의 전자 구조와 동역학 특성을 연구하는데 사용되는 다양한 분광 실험 (적외선/광분광 실험, 광전자 분광 실험, X선 흡수 분광 실험, 라만 분광 실험, 초고속 분광 실험, 중성자 산란) 방법의 기본 원리와 적용 사례에 대한 IC-PBL 강의를 진행하였다. 본 강의는 양자물질을 연구하는 대학원생들의 분광 실험법에 대한 이해를 제고하고, 더 나아가 각자의 연구에 적절한 분광 실험법을 활용할 수 있는 능력을 기르는 것을 목표로 하였다. 다양한 분광 실험의 기본 원리와 적용 사례에 대한 강의를 진행한 후, 강상관 양자물질이 보이는 특이 물성의 원인을 규명할 수 있는 실험 방법을 수강생들이 직접 설계하고 이에 대한 발표 및 토론을 진행하였다.</p> <p>[강상관양자물질분광학: 2022년 1학기 개설]</p>					
3	정문석	20210301 -20230228		반도체물리	IC-PBL 교과목 개발 및 운영	
	<p>최근 산업기술의 급격한 발전으로 나타나는 기존의 전통적인 반도체를 이용한 기술의 한계를 극복하기 위해 벌크 반도체가 아닌 양자점, 나노선, 2차원 반데르발스 물질과 같은 저차원 반도체에 대한 관심이 집중되고 있다. 이에 본 수업에서는 저차원 반도체의 기초 물성 및 응용 예시에 대해 학습을 하고 향후 저차원 반도체의 발전방향에 대해 최근 논문들을 이용해 토의하였다. 또한 연구기관이나 산업계의 전문가들을 초빙해 현장의 의견을 들어 실무적인 경험의 폭을 넓힐 수 있도록 하며, 이를 통해 대학원생들의 연구 결과와 실제 산업계의 이슈와의 간극을 좁히는데 그 목표로 하였다. 본 교과목은 저차원 반도체의 기초 물성과 응용을 적극적으로 탐구하는 과목으로 팀 단위 프로젝트를 통한 수업을 통해 결과에 관하여 토론하고 문제해결 능력을 키우는 Active Learning기법에 기반한 학습법에 기반을 두어 강의를 진행하였다.</p> <p>[저차원 반도체물리: 2022년 2학기 개설]</p>					

	천상모	20210301 -20230228		중시물리	IC-PBL 교과목 개발 및 운영	
4	<p>최근 전 세계적으로 연구되고 있는 양자물질의 다체계 현상을 연구할 수 있도록 중요한 개념과 중요한 시스템을 소개하였다. 다체계를 이루는 입자(페르미온, 보손)의 제2양자화를 학습하고, 상호작용이 없는 페르미온과 보손이 만족하는 양자통계현상을 찾고, 이를 분석하여 보고된 결과와 비교하였다. 평균장론을 이용하여, 대칭성 붕괴 시, 자성이 발현되는 조건과 특징을 분석하여 실험과 비교하였다. 파인만 다이어그램을 학습하여 다체계 현상을 직관적으로 이해할 수 있도록 하였다. 학생들은 자신의 연구와 관련된 프로젝트를 진행한 후 보고서를 제출하였다.</p> <p>[다체계물리1,2: 2022년 1학과 2학기 개설]</p>					
총 환산 참여교수 수		8.4		제출요구량		2~4

6. 교육의 국제화 전략

6.1 교육 프로그램의 국제화 실적

① 교육 프로그램의 국제화 실적

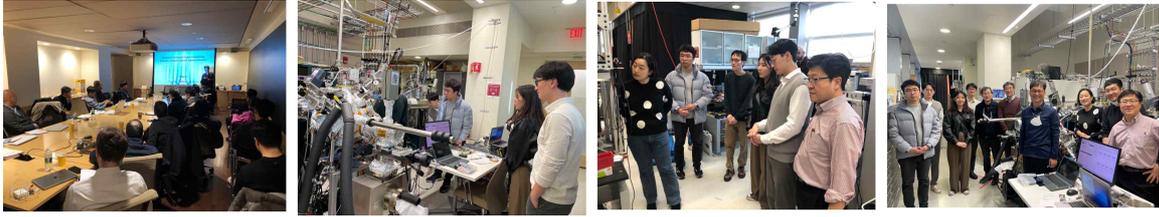
◆ 교육 프로그램의 국제화 현황

코로나 상황에서 비대면 방식과 대면 방식을 병행하여 세미나, 교육, 연구를 꾸준히 진행하였으며, 대표적 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 중국 HPSTAR 소속 XXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXX 교수, Yanshan University 소속 XXXXXXXX 교수 등 해외 우수학자들을 본교 특임교수, 겸임교수로 발령하여 대학원생 논문, 연구활동을 지도하였다.
- 중국 연산대학교 (Yanshan University) 의 XXXXXXXX 교수는 김재용 교수 연구실 대학원생들의 연구를 공동지도하고 있으며, XXX 학생의 압력에 따른 C60의 구조 및 수송현상 결과들을 공동지도하여 전문학술지 Nano Research에 게재하였다 (2021.06.28.).
- 중국 연산대학교 (Yanshan University) 이과대학 (School of Science)과 연구와 및 학생교류 내용으로 MOU를 체결하였다 (2021.01.04).
- MOU 체결기관인 중국 HPSTAR 소속 XXXXXXXXXXXX 박사가 브레인폴 사업에 선정 (국내 책임자: 김재용 교수) 되었으나 코로나-19 사태로 국내체류를 취소하고 대신 온라인으로 대학원생 공동지도 XXXXXXXXXXXX 학생과의 potassium hydride 관련 연구) 및 공동연구를 수행하였다.
- 초고압을 이용한 potassium hydride 연구 관련, 김재용 교수는 HPSTAR 소속 XXXXXXXX 박사와 XXXXXXXX 학생의 연구를 공동으로 지도하고 있으며, 그 결과를 학술지에 투고할 예정이다.
- 김재용 교수는 극한의 압력과 온도 그리고 자기장하에서 발현하는 양자물성을 공부하기 위하여 IC-PBL기반 초고압과상변이 과목을 개설하고 해외 학자들을 온라인으로 초청하여 양자물성에 관한 현재 연구현황을 학생들에게 실시간으로 전달하였다.
- 프랑스 University of Technology of Troyes 파견 (XX ,XXXX -정문석 교수)

이차원 반도체 연구에서 준입자 거동 연구 위해 프랑스의 University of Technology of Troyes에 위치한 Lumière nanostructures et nanomatériaux 연구실을 2023년 1월 22일부터 2월 10일까지 방문하여 공동 연구를 진행하였다. Holographic lithography를 이용한 정교한 patterning 기술 교육 및 개발에 참여하여 나노막대(Nanorod), 나노와이어(Nanowire) 등의 다양한 나노 구조를 제작하였다. 나노 구조 물질 및 기관과 기존 이차원 반도체 물질을 본 연구실의 드라이 트랜스퍼 기술을 통해 이중 접합하여, 기존 이차원 반도체 연구의 고질적인 문제점인 기관 효과 문제를 해결할 수 있는 가능성을 제시하였다. 또한 ZnO 나노로드와 페로브스카이트 접목하여 넓은 파장대에 적용 가능한 광소자의 개발 가능성을 제시하였다.

- 미국 하버드대학교 물리학과 파견 (XXX ,XXXX -신상진 교수)
미국 XXXX 교수 연구실에서 그래핀의 트위스팅을 통한 flat band 형성에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 강상관계인 cuprate 초전도체를 비롯하여 플랫폼을 만든 물질의 경우 강한 쿨롱상호작용이 중요한 역할을 하므로 전자상호 작용을 기술하는 이론을 적용하였다. 홀로그래피 이론에 의해 플랫폼을 재현하였으며, 플랫폼에 기인하는 다양한 물성을 이론적으로 기술하였다.
- 한미 양자물질 극한물성 워크샵 참가 (XXXX, XXXX- 문순재 교수)
한양대를 중심으로 한 국내 7개 대학 물리학과 교수진들과 미국 하버드, MIT대학 물리, 화학분야 교수들이 모여 압력-온도-자기장을 이용한 양자물질의 연구현황을 파악하고 나아가 새로운 연구 분야를 탐색하였다. 참여대학원생인 XXXX , XXX 학생이 워크샵에 참가하고, 하버드 대학교 물리학과 연구실을 견학하였다.



[그림 II.24. 본 교육연구팀의 제1회 한미 양자물질 극한물성 국제 워크숍 참석 및 하버드 대학교 XXXX 교수 실험실 견학]

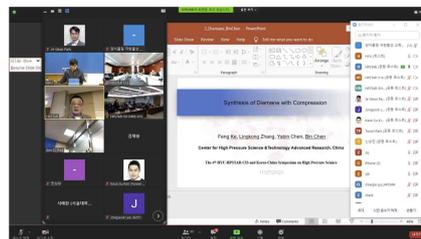
- 위와 같은 국제 교류활동을 통하여 참여 대학원생은 SCI 논문 14편을 게재하였다.
- 프랑스 University of Technology of Troyes 와 복수 학위제를 협의중이다.

❖ 국제 학회 개최

[표 II.18. 교육연구팀 개최 국제학술대회]

학술대회명	개최 시기	주최 교수
The 1 st Workshop on Quantum Material under Extreme Conditions	2020.11.27.	김재용, 문순재, 조준형, 천상모
10 th Asian Conference on High Pressure Research	2021.11.21.~25	김재용, 문순재, 조준형, 천상모
한양대-길림대-평지아대 심포지엄	2021.11.27.	김재용, 문순재, 정문석, 천상모
The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications	2022.7.17.~21.	정문석
Holography 2022: quantum matter and spacetime	2022.8.11.~19.	신상진
Korea-US Symposium on Quantum Materials at Extreme Conditions	2022.12.2.	김재용, 문순재, 신상진, 조준형

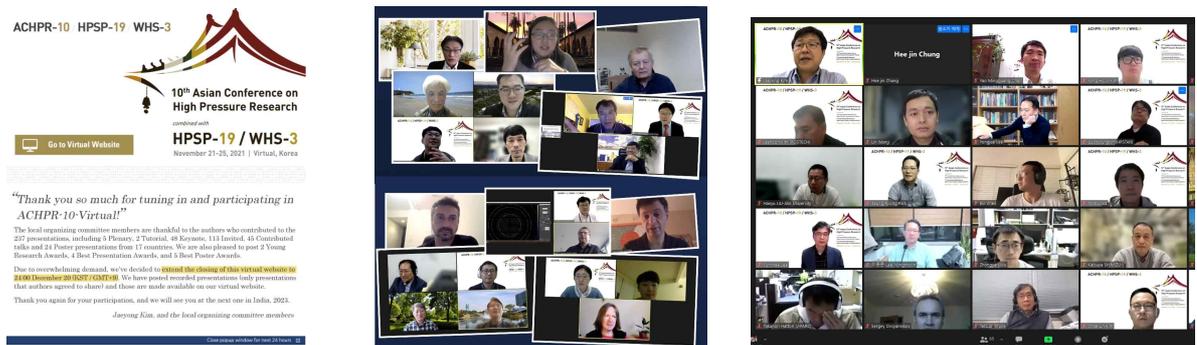
- The 1st Workshop on Quantum Material under Extreme Conditions 개최
 - 참여교수 : 김재용, 문순재, 조준형, 천상모 교수 주최
 - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2020.11.27
 - 주관기관 : 한양대 양자물질 극한물성 교육연구팀, 한양대 고압연구소
 - 연구 분야 : 양자물질, 극한물성
 - 참가규모 : 한국과 중국의 초청연사 11명, 줌 온라인 참가자 약 250여명 (한국 측 100여명, 중국 베이징/상하이 고압연구소 현장 참여 약 150명).
 - 학회 설명 : 19th International Conference on High Pressure Semiconductor Physics와 3rd International Workshop on High Pressure Study on Superconductors와 연계하여 진행된 학회로 양자물질 극한물성에 대한 연구성과 및 노하우를 교류하는 자리가 되었다.



[그림 II.25. The 1st Workshop on Quantum Material under Extreme Conditions 개최]

- 10th Asian Conference on High Pressure Research

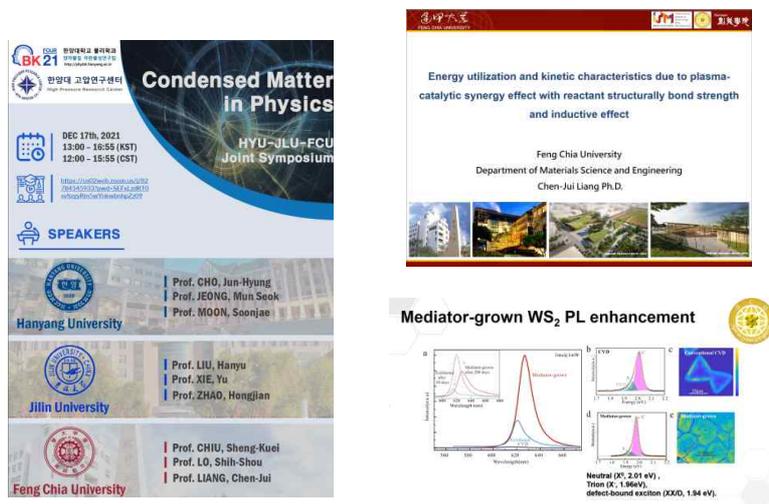
- 참여교수 : 김재용, 문순재, 조준형, 천상모 교수 주최
- 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2021.11.21~25
- 주관기관 : 한양대 양자물질 극한물성 교육연구팀, 진공학회, 한양대 고압연구소
- 연구 분야 : 양자물질, 극한물성, 초전도
- 참가규모 : 세계 18개국 (320 여명 참석, 논문 297편 발표)
- 학회 설명 : 압력과 온도를 주제로 하는 극한물성분석과 신물질 설계를 목표로 2000년 이후 매 2년마다 개최해 온 압력관련 전문 학회이다. 특히 이번 제10회 학회는 코로나 기간임을 고려하여 대면과 비대면을 겸용으로 운영하였고 아시아권뿐 아니라 미국과 유럽 등 다양한 국가에서 연구자들이 참여하였다. 본 학회는 국내의 압력관련 연구를 세계에 소개하는 계기가 되었다.



[그림 II.26. 제10회 아시아 고압학회 개최]

- 한양대-길림대-평지아대 심포지엄

- 참여교수: 김재용, 문순재, 정문석, 천상모 교수 주최
- 개최국가 및 날짜: 대한민국, 2021.11.17
- 주관기관: 한양대 양자물질 극한물성 교육연구팀
- 연구 분야: 양자물질, 극한물성
- 참가규모: 한중-대만 3개국 56명 (13편 발표)
- 학회 설명: 한-중 고압연구 활성화의 일환으로 길림대-평지아대-한양대를 연계하는 양자물질 관련 다자간 공동 심포지엄



[그림 II.27. 한양대-길림대-평지아대 심포지엄 개최]

- The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2022)
 - 참여교수: 학술대회 총무, 정문석 교수
 - 개최국가 및 날짜: 대한민국, 2022.7.17~21
 - 주관기관: 한국물리학회 반도체물리학과
 - 연구 분야: 반도체, 저차원 물질, 인공지능, 양자정보, 에너지 소재, 광소재
 - 참가규모: 19개국 1087명 (국내 989명, 해외 98명) 참가
 - 학회 설명: 반도체, 저차원 물질, 인공지능, 양자정보, 에너지 소재, 광소재 분야의 최신 연구를 교류하는 국제학회였다. 대학원생들의 연구 결과를 발표하는 기회를 부여하였으며, 해외 저명학자들과 교류할 수 있는 기회를 제공하였다.
- Holography 2022 : quantum matter and spacetime
 - 참여교수 : 신상진 교수 주최
 - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2022.8.11~19
 - 주관기관 : APCTP (Asia Pacific Center for Theoretical Physics)
 - 연구 분야 : 홀로그래피, 강상관계, 양자정보
 - 참가규모 : 한국과 중국, 미국등 약 9개국의 총연사 32명(온라인 참가자 약 230여명)
 - 학회 설명 : 본 국제 학술대회는 국내 학자들과 해외 저명 학자들이 양자물질에 대한 최신 연구 결과를 교류하는 계기가 되었다.

KST	11(Thu)	12(Fri)	13(Sat)	14(Sun)	15(Mon)	16(Tue)	17(Wed)	18(Thu)	19(Fri)
	Opening Remark: Sang-Jin Sin								
9:30 - 10:30	Hong Liu (Lecture 1)	Yiming Chen	Edward Witten	Group Discussion	Sabrina Pasterski (Lecture 1)	Bohm-Jung Yang	Sabrina Pasterski (Lecture 3)	Thomas Hartman	Junggi Yoon Hugo Camargo
10:30 - 11:00	Discussion	Discussion	Discussion		Discussion	Discussion	Discussion	Discussion	Discussion
11:00 - 12:00	Hong Liu (Lecture 2)	Hong Liu (Lecture 3)	Koji Hashimoto	Group Discussion	Sabrina Pasterski (Lecture 2)	Junyeong Ahn	Seung-Sup Lee	Jordan Cotler	Yunseok Seo Kyung Kiu Kim
12:00 - 14:30	Lunch	Lunch	Lunch		Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Closing Remark: Keun-Young Kim
14:30 - 15:30	Sang-Jin Sin Ki-Seok Kim	Xian-Hui Ge	Sachin Jain	Group Discussion	Debabarata Ghoral Chanyong Park	Min Gu Kang	SungBin Lee	Dario Rosa	
15:30 - 16:00	Discussion	Discussion	Discussion		Discussion	Discussion	Discussion	Discussion	Discussion
16:00 - 17:00	Matti Jarvinen Matthew Roberts	Matteo Baggioli	Victor Gorbenko	Group Discussion	Julian Sonner	Moon Jip Park	Anatoly Dymarsky	Hyun-Seok Yang Viktor Jahnke	
17:00 - 18:00					Banquet	Banquet			Banquet

[그림 II.28. Holography 2022 학회 일정표]

- Korea-US symposium for quantum material at extreme conditions
 - 참여교수: 김재용, 문순재, 신상진, 조준형 교수 주최
 - 개최국가 및 날짜 : 미국, 2022.12.02.
 - 주관기관: 한양대학교 및 한양대 양자물질 극한물성 교육연구팀
 - 연구 분야: 양자물질 극한물성
 - 참가규모: 한미 양자물질 극한물성분야 전문가 20여명과 다수의 대학원생
 - 학회 설명: 한양대를 중심으로 한 국내 7개 대학 물리학과 교수진들과 미국 하버드, MIT대학 물리, 화학분야 교수들이 모여 압력-온도-자기장을 이용한 양자물질의 연구현황을 파악하고 나아가 새로운 연구 분야를 탐색하고자 기획한 학회이다.

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 실적

<표 2-10> 참여대학원생 국제공동연구 실적

연번	공동연구 참여자			상대국/소속기관	연구주제	연구기간 (YYYYMM-YYYYMM)
	교육연구팀		국외 공동연구자			
	참여 대학원생	지도교수				
1		김재용		중국/HPSTAR	TiZr 합금의 압력에 따른 수송현상 연구	202211-202212
2		정문석		프랑스/Univer sity of Techn ology of Troy es	레이저 간섭을 이용 한 나노구조제작 혹 은 미정	202301-202302
3		조준형		중국/Henan University	이트륨 초전도 물질 및 2차원 수소화물 HfH ₁₀	202206-202207
4		김재용		중국/Yashan University	Structure study on t he two dimensional C ₆₀ polymer quenche d from high pressur e	202101-202102
5		신상진		미국/Harvard University	Magneto-thermal an d magneto-electrical conduction at the Di rac point of graphen e	202211-202211
6		김재용		중국/HPSTAR	고압 및 고온 수소화 물의 초전도성에 관 한 연구	202209-202212

❖ 참여대학원생 국제공동연구 성과

• XX (김재용 교수)

중국 Center for High Pressure Science & Technology Advanced Research (HPSTAR)에서 고압하에서 TiZr의 전기적인 특성을 연구하였다. 압력이 가해짐에 따라 초전도 전이온도가 급격히 증가한함을 확인할 수 있었다. 또한 고압 하에서 자기장을 가하여 초전도와 upper critical field를 측정하였다.

• XXXXXX (김재용 교수)

미국 Argonne National Laboratory에 위치한 Advanced Photons Source (APS)의 13-BMC과 16BMD 빔 라인 Proposal에 4차례 선정되어 K-H 시스템의 구조분석에 관한 실험을 수행하였다. COVID-19 사태로 미국국립연구소의 출입이 허락되지 않는 상황에서 시료를 미리 우편으로 보내고 대신 본 연구실에서 원격으로 실험을 수행하였다. 미국(시카고)과의 시차를 고려하면 데이터 측정에 제한적이긴 하였지만, 시간과 비용을 절감하였고, 어려운 상황에서 최대한의 결과를 취득할 수 있었다.

2021.11.13 - 15 (APS-13BMC)	2022.3.24 - 26 (APS-16BMD)																																																																																																																																																																																						
APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report <small>Printed date: 09/23/2022</small> PEN: 13-BMC-2021-90 Experiment ID: 248745 (GUP) BM Start Date: 11/13/2021 09:00 AM BM End Date: 11/15/2021 08:00 AM Spokesperson: Yan GUP ID: 75667 Title: The polymerization reaction of ammonia and helium under high pressure <hr/> Spokesperson The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF. Name Institution Phone Jiafeng Yan Hanyang University +821025071722 As the designated spokesperson for the experiment I acknowledge that the above statement is true. This is an electronic signature	APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report <small>Printed date: 09/23/2022</small> PEN: 16-BMD-2022-0324 Experiment ID: 253700 (GUP) BM Start Date: 03/24/2022 08:00 AM BM End Date: 03/26/2022 08:00 AM Spokesperson: Yan GUP ID: 77235 Title: The pressure-induced metal-semiconductor transition observed in 2M-WS ₂ <hr/> Spokesperson The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF. Name Institution Phone Jiafeng Yan Hanyang University +821025071722 As the designated spokesperson for the experiment I acknowledge that the above statement is true. This is an electronic signature																																																																																																																																																																																						
2022.3.26 - 28 (APS-13BMC)	2022.6.21 - 23 (APS-13BMC)																																																																																																																																																																																						
APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report <small>Printed date: 09/23/2022</small> PEN: 13-BMC-2022-22 Experiment ID: 253633 (GUP) BM Start Date: 03/26/2022 08:00 AM BM End Date: 03/28/2022 08:00 AM Spokesperson: Yan GUP ID: 72548 Title: Polymerization of Nitrogen in MHf _{1-x} N ₂ at High Pressures <hr/> Spokesperson The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF. Name Institution Phone Dongshou Zhang University of Hawaii at Manoa 626-297-1018 <hr/> Materials Hazards <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Qty</th> <th>Tox</th> <th>Bio</th> <th>Flam</th> <th>Rad</th> <th>Carcin</th> <th>Corro</th> <th>Oxid</th> <th>ExpI</th> <th>Nano</th> <th>Other</th> <th>Dhsp</th> <th>Lab</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agilent66</td> <td>1 mg</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>BDS</td> <td>1 mg</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>REH13</td> <td>1 mg</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>REH202</td> <td>1 mg</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>REH1</td> <td>1 mg</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Se</td> <td>1 mg</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>1 mg</td> <td>N</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Qty	Tox	Bio	Flam	Rad	Carcin	Corro	Oxid	ExpI	Nano	Other	Dhsp	Lab	Agilent66	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	BDS	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	REH13	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	REH202	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	REH1	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Se	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	W	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report <small>Printed date: 09/23/2022</small> PEN: 13-BMC-2022-45 Experiment ID: 257951 (GUP) BM Start Date: 06/21/2022 08:00 AM BM End Date: 06/23/2022 08:00 AM Spokesperson: Yan GUP ID: 78829 Title: The investigation of metal-semiconductor transition in 1T _x Re _{2-x} WS ₂ layered structure <hr/> Spokesperson The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF. Name Institution Phone Jiafeng Yan Hanyang University +821025071722 <hr/> Materials Hazards <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>Qty</th> <th>Tox</th> <th>Bio</th> <th>Flam</th> <th>Rad</th> <th>Carcin</th> <th>Corro</th> <th>Oxid</th> <th>ExpI</th> <th>Nano</th> <th>Other</th> <th>Dhsp</th> <th>Lab</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LAM</td> <td></td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>MS6</td> <td></td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>WS₂</td> <td></td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>violet phosphorus</td> <td></td> <td>N</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Qty	Tox	Bio	Flam	Rad	Carcin	Corro	Oxid	ExpI	Nano	Other	Dhsp	Lab	LAM		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MS6		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	WS ₂		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	violet phosphorus		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Material	Qty	Tox	Bio	Flam	Rad	Carcin	Corro	Oxid	ExpI	Nano	Other	Dhsp	Lab																																																																																																																																																																										
Agilent66	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
BDS	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
REH13	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
REH202	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
REH1	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
Se	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
W	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
Material	Qty	Tox	Bio	Flam	Rad	Carcin	Corro	Oxid	ExpI	Nano	Other	Dhsp	Lab																																																																																																																																																																										
LAM		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
MS6		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
WS ₂		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										
violet phosphorus		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N																																																																																																																																																																										

• XXXXX (조준형 교수)

XXXXXXX 학생은 중국 허난대학교에서 XXXX 교수와 함께 이트륨 초전도 물질 및 2차원 수소화물 HfH₁₀에 대한 공동연구를 수행하였다. HfH₁₀의 기존 결과에 대한 논의를 통해 전자의 오비탈 혼성화 분석과 포논의 진동 모드 분석을 통해 2차원 수소 네트워크의 형성 메커니즘에 대해 더 깊이 이해할 수 있었다. 초전도성에 대한 2D 수소 네트워크의 기여와 저압에서 이러한 수소 네트워크를 형성하는 방법에 대한 몇 가지 기본 아이디어가 제시되었으며, 이 문제에 대해 더 심도 깊은 연구를 수행하였으며, 논문을 준비 중이다.

• XX , xxxxxxx (정문석 교수)

이차원 반도체 준입자 거동 연구를 위해 프랑스의 University of Technology of Troyes에 위치한 Lumière nanostructures et nanomatériaux 연구실을 2023년 1월 22일부터 2월 10일까지 방문하여 공동 연구를 진행하였다. Holographic lithography를 이용한 정교한 patterning 기술 교육 및 개발에 참여하여 나노로드(Nanorod), 나노와이어(Nanowire) 등의 다양한 나노 구조를 제작하였다. 나노 구조 물질 및 기관과 기존 이차원 반도체 물질을 본 연구실의 드라이 트랜스퍼 기술을 통해 이종 접합하여, 기존 이차원 반도체 연구의 고질적인 문제점인 기관 효과 문제를 해결할 수 있는 가능성을 제시하였다. ZnO 나노로드와 페로브스카이트 접목하여 넓은 파장대에 적용 가능한 광소자의 개발 가능성을 제시하였다.

- XXXX, XXXX (신상진 교수)

미국 XXX 교수 연구실에서 그래핀의 트위스팅을 통한 flat band 형성에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 강상관계인 cuprate 초전도체를 비틀어 플랫폼을 만든 물질의 경우 강한 쿨롱상호작용이 중요한 역할을 하므로 전자상호 작용을 기술하는 이론을 적용하였다. 홀로그래피 이론에 의해 플랫폼을 재현하였으며, 플랫폼에 기인하는 다양한 물성을 이론적으로 기술하였다.

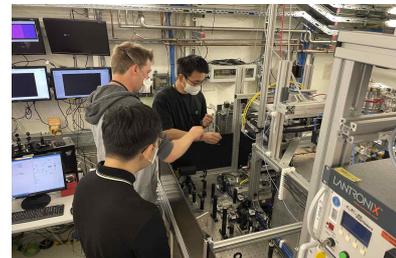
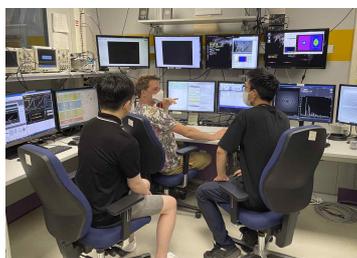
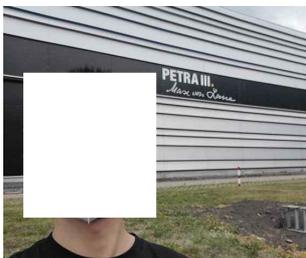
- XXXXXXXXXXXXXXX (김재용 교수)

- 고압물성연구관련 해외공동연구자인 XXXXX 박사 (중국 HPSTAR, Yanshan University) 연구실을 2021.1월 27일부터 2월 23까지 28일 동안 방문하여 다이아몬드 앤빌셀을 이용한 C₆₀ m-xylene의 초고압에서의 물성연구와 압력 변화에 따른 C₁₈Te₃Br₄ (Bu-O)₆ 형상변형 특성에 관한 연구를 수행하였다. 폴리린으로 이루어진 C₆₀의 압력과 온도에 따른 전기전도도와 구조변화를 측정함으로써 metal-semimetal 전환을 확인하였다. 특히 동일한 조건에서도 앤빌셀의 위치에 따라 압력이 균일하지 않음을 C₆₀시료에 대한 TEM 분석을 확인하였다. 이러한 결과들을 종합하여 두 편의 논문을 Nano Research에 게재하였다.



[그림 II.28. XXXX 학생의 Yanshan 대학 장기 연수 및 실험 수행 내용]

- 북경에 위치한 중국고압연구소 (Center for High Pressure Science and Technology for Advanced Research)를 방문하여 XXXXXXXXXXXXX박사 연구팀과 함께 초고압에서의 그리고 고온초전도체 발굴을 위한 수소화물 형성, 그리고 초전도체의 자화현상에 관한 공동연구를 수행하였다.
- 유럽자유전자방사광가속기 실험에 13개국으로 형성된 유럽연구팀과 공동으로 실험에 온라인으로 참여하여 (2022.06.10.-12) 초고압-초고온에서의 텅스텐과 질소 반응을 나노단위에서 실시간으로 측정, 분석하였고 관련 연구에 대한 논문을 준비 중에 있다.
- 독일 함부르크에 위치한 PETRA-III 방사광가속기연구소에 신청한 빔타임이 선정되어 (2022.07.06.-11) Se, Ln, Mg를 기반으로하는 초고압 수소화물의 구조분석관련 연구를 수행하였고, 결과를 Physical Review B에 투고하였다.



[그림 II.29. XXXX 학생 PETRA-III 방문연구 수행]

Ⅲ. 연구역량 영역

Ⅲ. 연구역량 영역

1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적 (별도 제출/평가)

1.2 연구업적물

① 참여교수 대표연구업적물의 우수성

② 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성

③ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 10년)

<표 3-4> 최근 10년간 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물

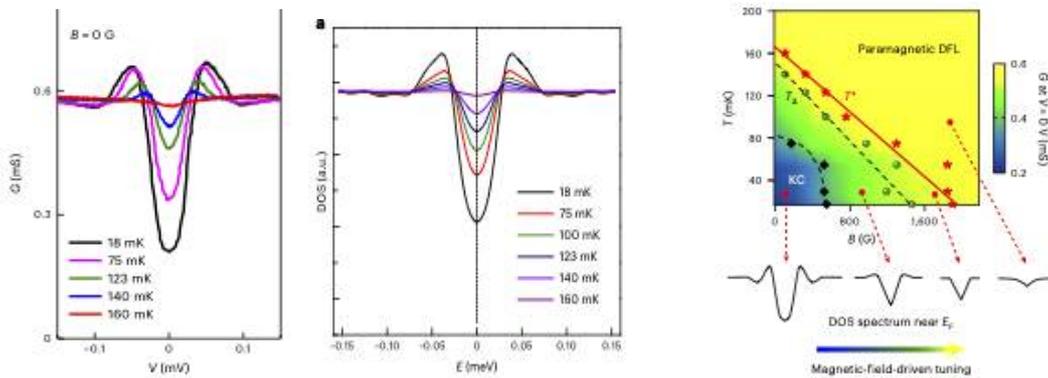
연번	대표연구업적물 설명
1	<p>● 논문명: Time-asymmetric loop around an exceptional point over the full optical communications band • Nature, volume 562, pages 86-90 (2018. 09), https://doi.org/10.1038/s41586-018-0523-2</p> <p>● 저자정보: 송석호 교수 (단독교신저자)</p> <p>● 논문내용 요약: 열린 양자역학 (open quantum mechanics) 시스템의 non-Hermitian 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.</p> <div data-bbox="635 770 1029 1003" data-label="Image"> </div> <p>[복소 굴절률 변조를 이용하여 설계한 단방향 모드 변환 광도파로]</p> <p>● 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.</p> <p>이러한 문제를 해결하기 위해 송석호 교수는 non-Hermitian system에서의 비대칭적 에너지 흐름원리를 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.</p> <p>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.</p> <p>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 게재되었다.</p>

● 논문명: Observation of Kondo condensation in a degenerately doped silicon metal

• Nature Physics, (2023.02), <https://doi.org/10.1038/s41567-022-01930-3>

● 저자정보: 신상진 교수 (공동교신저자), 문순재, XXXXX, 김은규 [이상 한양대]

● 논문내용 요약: 본 논문에선 매우 높은 비율로 P-도핑된 실리콘 반도체가 극저온에서 초전도가 아닌 갭을 가짐을 실험적으로 발견하였고, 이론을 담당한 신상진 교수는 이 현상을 콘도 응축의 개념을 도입하여 현상의 열개를 설명하고, 나아가 홀로그래피의 방법론을 사용하여 갭의 크기와 모양을 계산하여 실험과 일치함을 보였다. {주: 콘도응축은 기존엔 없던 개념이다.}



[좌측: 실험적으로 발견한 갭, 중앙: 이론적으로 계산한 갭,

우측: 상도표, 콘도응축된 기저상태와 고온의 상자성 영역과의 상전이이를 보여준다.]

2

● 논문의 우수성

전통적으로 반도체 물리학은 약한 상호작용을 하는 물질로서 강상관계와 관계없다고 생각되어 왔다. 또 양자 현상은 매우 깨끗한 시료에서만 관찰되어 왔다. 그러나 본 논문에서 취급한 물질은 $10^{19}/\text{cc}$ 라는 매우 높은 불순물 농도를 갖는 물질이며 이 물질에서 양자 역학적으로 갭이 있는 새로운 양자 기저상태를 발견하리라고는 아무도 예측하지 못 하였다. 실제로 갭을 설명하는 이론은 실험적 발견이 된지 7년이 지나도록 오리무중이었다. 인을 도핑한 실리콘(Si:P)에 대한 연구에 의하면 1/100 ~ 1/1000의 일부 도핑된 인 원자가 자성을 갖는다는 것이 알려져 있었다. 이에 착안한 신상진 교수는 콘도현상과 관계가 있음을 제시하였고 갭을 갖기 위해선 기존의 이론이 여러 가지 콘도 커플링에 대한 평균을 취하는 것과는 달리 시스템 전체가 하나의 통일된 양자상을 가져야 함에 주목하였다. 이를 위해 콘도 구름들이 서로 겹쳐 마치 BCS 이론에서 쿠퍼페어의 응축이 일어나듯 여기서도 localized electron과 itinerant electron들이 스핀 0의 페어를 만들어 응축이 일어나야함을 제안하였다. 그러나 콘도 현상은 강상관계문제이고 랜덤 임피리티까지 더해지면 사실상 일반적인 방법론으로선 계산이 불가능하다. 응집물리 최대의 난제 두 개에 한꺼번에 도전하는 형국이 된 것이다. 신상진 교수는 양자상전이점에선 모든 스케일이 사라지고 격자의 모양이나 규칙성이 별로 중요하지 않게 되는 것에 착안하여, 양자상전이점과 Anti-deSitter 중력하의 블랙홀과 서로 짝이 됨을 이용하여 양자상전이점 위에서 대칭성 붕괴에 의해 나타나는 갭이 AdS 블랙홀이 가질 수 있는 머리카락(black hole hair)에 해당한다는 것을 통해 페르미온의 갭과 그 모양을 성공적으로 계산하여 실험과 매칭시킬 수 있었다. 이 결과는 Nature Physics 지의 2023년 2월6일 온라인판에 게재되었다.

● 논문명: Ferromagnetic Weyl Fermions in Two-Dimensional Layered Electride Gd_2C

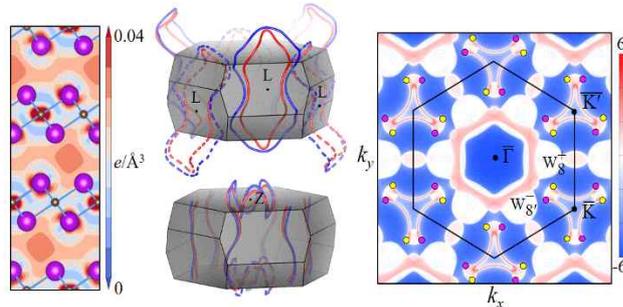
• **Physical Review Letters**, volume **125**, 187203 (2020. 10),

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.187203>

● 저자정보: 조준형 교수 (단독교신저자)

● 논문내용 요약:

2차원 층상 전자화물은 양이온 층 사이의 틈새 공간에 다이온 전자를 보유하는 새로운 종류의 물질로 등장하였다. 본 연구에서는 독특한 2차원 적층 강자성(FM) 전자화물 Gd_2C 에서 시간 역전 대칭을 깨는 Weyl 반금속 상을 발견했으며, 강자성 상은 스핀-궤도 결합을 통해 여러 쌍의 Weyl 노드로 변환되는 두 개의 스핀성 Weyl 노드 라인을 유도함을 보였다. 또한 Weyl 노드를 연결하는 Fermi-arc 표면 상태와 큰 비정상 홀 전도도를 예측하였다. 본 연구 결과는 실온에서 강자성 전자화물 Gd_2C 에 Weyl 페르미온의 존재를 보여줌으로써 전자화물 물질과 자기 Weyl 물리학 간의 흥미로운 상호 작용을 조사하기 위한 새로운 플랫폼을 제공할 것으로 기대된다.



3

● 논문의 우수성 : 2004년 그래핀 발견을 시초로 시작된 2차원 반데르발스 물질연구가 현재 물성 및 응용연구의 대세를 이루는 상황과 맞물려서, 2013년 2차원 층상구조를 가지는 전자화물인 Ca_2N 의 발견으로 인해 전자화물 연구는 획기적인 전환점을 맞이하게 되었다. 본 연구를 통해 이론적으로 밝힌 최초의 2차원 자성전자화물인 Gd_2C 물질은 새로운 양자상태인 자기바일준금속 상태를 가지고 있기에 앞으로 카이랄 자기효과, 큰 비정상 홀 전도도 및 비정상 양자 홀 효과와 같은 다양한 자기반응 현상들의 실험적 관찰이 기대되어 2차원 자성 전자화물 분야 연구의 중요한 연구 플랫폼을 제공할 것이다. 본 연구를 통해 2차원 적층구조 전자화물에서 전자화물의 우수한 전기적 특성에 2차원 강자성 및 토폴로지 물리를 접목함으로써 한 가지 물질에서 다양한 양자상태를 이론적으로 예측할 수 있어서 최근 활발히 연구되고 있는 토폴로지 자성 물질 분야연구에 큰 역할을 기대할 수 있는 데에 중요한 시사점을 가진다. 조준형 교수는 본 연구를 통해 기존의 전자화물에서 새로운 전자화물 분야인 자성 위상전자화물에 대한 이론적 업적을 선보여 물리학 저명 학술지인 *Physical Review Letters*에 게재하였다. 물리학 및 재료과학의 기술 발전과 더불어 전자소자의 성능과 집적도가 지속적으로 높아지고 있는 상황에서 사회 및 경제적 의미를 고려하면, 현재의 기술로는 소자의 성능과 집적도를 높일 수 있는 데에 분명한 한계점이 있어 새로운 대체 기술의 개발이 요구되고 있는 상황이다. 이러한 기술의 한계에 직면하여 나노과학 기술은 나노미터 크기의 나노구조물을 합성하거나 조작하여 전기적, 기계적 성능이 좋은 소재를 개발하는 것이라 볼 수 있다. 본 연구에서 설계하는 2차원 자성 위상전자화물 물질을 개발하면 스핀트로닉스, 위상양자컴퓨터, 메모리 및 저전력 전자 장치 등의 분야에 신 기능성 물질로의 응용이 가능할 것이며, 상온에서 양자 비정상홀효과가 나타나는 2차원 위상전자화물 물질의 개발 또한 국내 전자 시장에 미치는 파급효과가 클 것으로 기대된다.

1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 실적

참여교수 연구실적 우수성 및 목표 달성도

-  참여교수 발표논문 135편, IF 합 1177.61
-  IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 43편
-  IF > 10.0 논문수: 36편 (26.7%), IF > 5.0 논문 수: 88편 (65.2%), IF > 3.0 논문 수: 129편 (95.6%)
-  사업 신청서에서 제시한 연구 역량 목표 초과 달성

사업 신청서에서 제시한 연구 역량 향상 계획

본 교육연구팀은 연구자 평가 방법이 양적평가에서 질적평가로 전환되는 세계적인 흐름에 발 맞추어 연구역량의 질적 향상을 위해 다음의 목표를 제시하였으며, 2020.9 ~ 2023.2의 기간 동안 사업 신청서에서 제시한 연구 목표를 초과 달성하였다.

- IF가 Phys. Rev. Lett. 이상인 논문 2년마다 한 편씩 증가
- IF가 5 이상인 논문 비율 35% 이상
- 환산보정 IF와 환산보정 ES 매년 10%씩 증가

참여교수 연구 실적 계획 달성도

- 아래 표 III.1에서 확인할 수 있듯이 본 교육연구팀은 사업 신청서에 제시한 연구 역량 향상 계획의 모든 목표를 초과 달성하였다
- 선정평가 시와 비교하여 참여교수 연구역량의 질적 우수성이 뚜렷하게 향상되었다.
- IF가 Phys. Rev. Lett. 이상인 논문의 수는 목표치의 215%에 달한다.

[표 III.1. 참여교수 연구 실적 계획 달성도]

	중간평가 계획	2020.9-2023.2 실적	달성률 (%)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	20	43	215
IF > 5 논문 비율 (%)	35	65	186
환산보정 IF 합	12.51	17.84	143
환산보정 ES 합	47.26	53.81	114

BK 사업 수주 전후 참여 교수 연구 역량 변화

[표 III.2. BK사업 수주 전후 참여교수 연구 역량 변화]

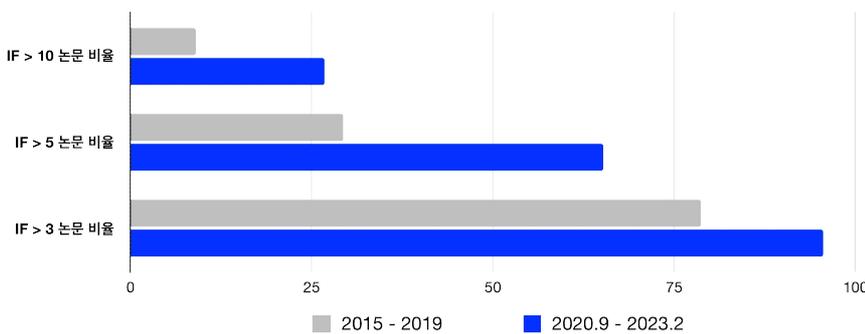
	2015-2019 연평균	2020.9-2023.2 연평균	실적 증가 (%)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	5.2	17.2	+231
IF > 5 논문 비율 (%)	29	65	+124
환산보정 IF 합	5.31	7.12	+134
환산보정 ES 합	20.05	21.52	+7

- 본 교육연구팀이 연구 역량 평가 지표로 제시한 모든 항목이 선정 당시에 비해 현저히 증가하였다.
 - 2020.9 ~ 2023.2 (2년 6개월)의 기간 동안 IF가 Phys. Rev. Lett. 이상인 논문을 연평균 17.2편 발표하였다 (총 43편). 참고로 선정 당시 IF가 Phys. Rev. Lett. 이상인 논문은 연평균 5.2편 (총 26편)이었다.
 - 연평균 출간 논문 편수는 선정 당시 실적의 431%에 달한다.
 - 발표 논문 가운데 IF가 5보다 큰 논문의 비율이 65%에 해당하며, 이는 선정 당시의 29%에 비해 124% 증가한 수치이다.

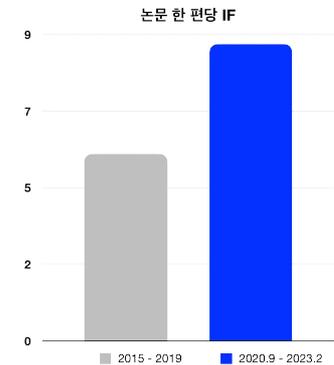
• 논문의 질적 우수성 향상

논문의 질적 우수성을 나타내는 지표인 IF가 높은 논문의 비율이 획기적으로 향상되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

- IF > 10 논문 비율: 선정평가 시 실적 대비 300%
- IF > 5 논문 비율: 선정평가 시 실적 대비 224%
- IF > 3 논문 비율: 선정평가 시 실적 대비 125%
- 논문 한 편당 IF: 5.49 (선정 당시) → 8.72로 향상



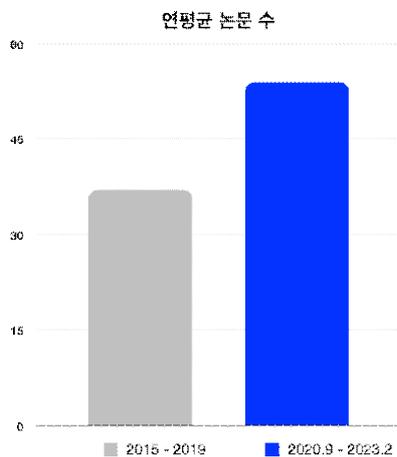
[그림 III.1. 질적 우수 논문 비율]



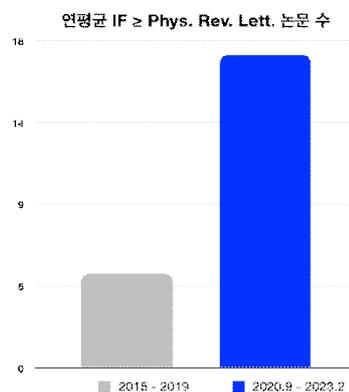
[그림 III.2. 논문 한 편당 IF]

• 논문 수 증가

- 2020.9 ~ 2023. 2 기간 연평균 논문 수: 2015-2019 실적 대비 146%
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 - 2019 연평균 실적 대비 337%



[그림 III.3. 연평균 논문 수]



[그림 III.4. 연평균 IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수]

• **교육연구팀 참여교수들 간의 적극적인 공동연구 추진을 통한 우수 연구결과 발표**

- **신상진 교수, 문순재 교수, 김은규 교수 Nature Physics (IF 19.684) 발표:** 인 (P)이 도핑된 실리콘이 수십 mK의 극저온에서 보이는 새로운 양자 발현 상태를 발견하고, 그 원인을 규명하였다. 김은규 교수가 시료를 제작하였고, 문순재 교수가 실험 결과를 해석, 신상진 교수가 이론 계산을 수행하였다. 해당 연구 결과를 김은규 교수, 신상진 교수가 교신저자로 Nature Physics (IF 19.684)에 논문을 게재하였다.
- **송석호 교수, 천상모 교수 Phys. Rev. Lett. (IF 9.185) 발표:** 이중층 공진 격자 인공 구조에서 2차원 위상 마디 상(topological nodal phase)을 구현하고 이를 이론적으로 설명하였다. 송석호 교수가 인공 구조 제작 및 측정을 수행하고 천상모 교수가 이론 연구를 수행하였다.
- **송석호 교수, 천상모 교수 Nanophotonics (IF 7.923) 발표:** 광자 구조체에서 무작위 변수 에리어에 영향을 받지 않는 위상성을 가진 유도 모드 공명 상태를 발견하고 이를 이론적으로 기술하였다. 송석호 교수가 광자 구조체를 구현하고 광학실험을 수행하였으며, 천상모 교수가 이론 계산을 수행하였다.
- **정문석 교수, 홍진표 교수 ACS Applied Materials & Interfaces (IF 10.383) 발표:** 정공 생성 특성이 좋은 것으로 알려진 CuSCN을 활용하여 태양 전지 물질로 활용되는 methylammonium lead iodide (MAPI₃)의 효율을 향상시키는 방법을 제시하였다.

• **국제 공동 연구 활성화를 위한 해외 우수 대학 및 연구 기관과의 네트워크 구축**

- 본 교육연구팀은 선정 평가 시 해외 우수 대학 및 연구 기관과 네트워크를 구축하고 MOU를 체결함으로써 국제 공동 연구를 활성화하는 계획을 제시하였다.
- 본 교육연구팀은 해외 기관과 14건의 MOU 및 LOI를 체결하였으며, 그 내용을 정리하면 다음 표와 같다.

[표 III.3. MOU 및 LOI 체결 기관]

구분	기관명/국가	국외 연구자
MOU	Indian Institute of Technology Ropar / 인도	
	Yantai University / 중국	
	Yanshan University / 중국	
LOI	National High Magnetic Field Laboratory / 미국	
	High Pressure Science and Technology Advanced Research / 중국	
	Max-Planck Society / 독일	
	High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Science / 중국	

• **국제 공동 연구를 통한 우수 연구 결과 발표 실적 향상**

- 본 교육연구팀은 선정 평가 시 국제 공동 연구를 활성화함으로써 질적으로 우수한 연구 성과를 도출한다는 계획을 제시하였다.
- 본 교육연구팀은 활발한 국제 공동 연구를 통해 2020.9~2023.2의 기간 동안 IF가 Phys. Rev. Lett. 이상인 우수 논문을 17편 (연평균 6.8편)을 발표 하였는 바, 이는 참고로 사업 수주 전 실적 대비 262%에 해당한다.

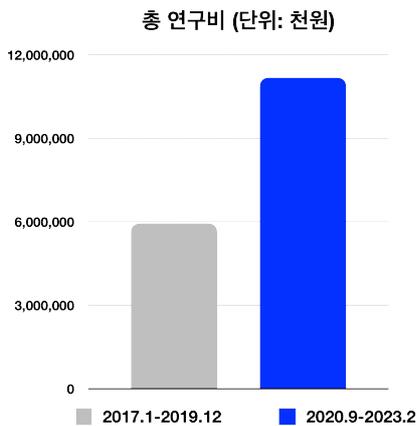
☛ 참여교수 연구비 수주 실적

- 🎯 참여교수 연구비 수주액: 111.5억원 (11,157,381,400원)
- 🎯 선정평가 시 실적 대비 연평균 연구비 수주 금액 226%

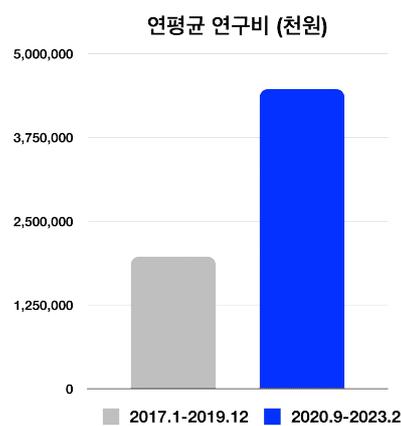
[표 III.4. 참여교수 연구비 수주 실적]

	2020.9-2023.2	2017-19	증가 (%)
연평균 연구비 (천원)	4,462,952	1,970,844	+126
연평균 1인당 연구비 (천원)	531,303	281,549	+89

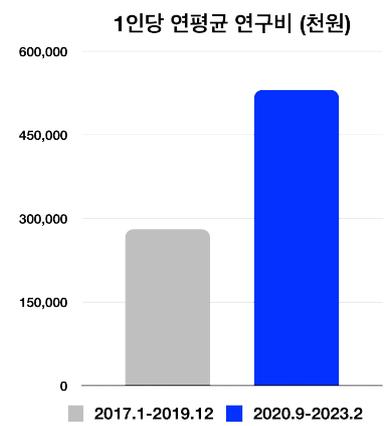
- 2020.9-2023.2 연구비 총액 11,157,381,400원, 참여교수 1인당 연구비 1,328,259,690원
- 연평균 연구비 수주 금액은 선정 당시 대비 226%
- 연구비 수주 총금액은 선정 당시 대비 189%
- 참여교수 1인당 연구비 수주 금액은 선정 당시 대비 157%
- 해외 연구비 수주
 - 정문석 교수: 미국 공군 (Asian Office of Aerospace Research and Development),
연구과제명: Quantitative Prediction of the Electrical Properties with Optical Measurement via Deep Neural Networks
연구비: 89,605,284원, 연구기간: 2021.3.1~2022.9.22
 - 홍진표 교수: 미국 공군 연구소 (Asian Office of Aerospace Research and Development)
연구과제명: Identification of anti-ferromagnetically coupled skyrmion pairs for quasi zero power computing: emulation of biological neuron/synapse functions
연구비: 223,976,720원, 연구기간: 2021.10.15.~2023.10.14



[그림 III.5. 총 연구비]



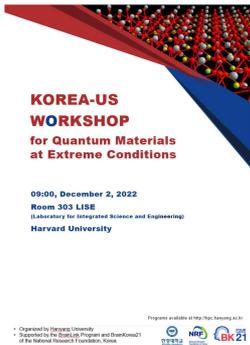
[그림 III.6. 연평균 연구비]



[그림 III.7 1인당 연평균 연구비]

- 양자물질 극한물성 연구분야 정부 대형과제 수주
 - 2022년 4월 연구재단의 우수연구자교류지원사업 (Brain Link) 과제를 수주하였다.
 - 연구단명: “양자물질 극한환경 국제공동연구단”
 - 연구 목표: 해외 우수연구기관들과의 국제 협력을 통하여 초고압과 초고자기장, 그리고 극저온에

- 서 발현하는 양자현상을 이해하고 양자현상을 보이는 신물질을 디자인하여 양자관련 지식과 기술을 세계적으로 선도하고 새로운 양자물질연구에 도전할 수 있는 신진연구인력 양성
- 사업단장: 김재용 교수 (한양대 교육연구팀장), 참여교수: 문순재, 신상진, 조준형 교수
 - 한양대학교 소속 박사후연구원 XXXX 박사를 2022년 7월부터 2년간 하버드 대학교 XXXX 교수 연구실에 파견하여 2차원 비틀린 구리 산화물 양자 물성에 관한 공동 연구를 수행하고 있다.
 - 한양대학교-Harvard University-MIT 공동 워크숍을 2022년 12월 2일에 하버드 대학교에서 개최하였다. 하버드 대학교의 XXXX 교수, XXXXXXXXXX 교수, XXXXXXXXXX 교수, MIT의 XX XXXXX 교수, XXXXXXXXXX 교수, NHMFL의 XXXXXXXX 박사가 참여하였다.



[그림 III.8. 하버드 대학교에서 열린 HYU-Harvard-MIT 워크숍 (2022.12.2.)]

참여자 교수 창업·기술이전 실적

[표 III.5. 참여교수 창업·기술이전 실적]

참여교수	실적	창업 목표 및 기대효과
정문석	표준분석랩 창업	높은 재현성 및 안정성을 가진 금속 나노 탐침과 이를 활용한 tip-enhanced Raman scattering 장비 제품화를 통해 기존 라만으로 볼 수 없던 숨겨진 결함을 측정하는 것을 목표로 창업하였다. 재현성 80% 이상의 금속 나노 탐침을 제조할 수 있고, 국소 표면 플라즈몬 형성을 최적화한 탐침 제조 기술을 보유하여 기존 라만 대비 신호 강도를 100배 증가시켜 반도체 결함 분석 및 연구 활동에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.
홍진표	삼성전자 기술이전	스핀-궤도 토크를 이용하는 스핀 시냅스 소자 및 이의 동작 방법에 대한 특허 6건을 삼성전자에 일괄 양도하였다 (기술료 110,000,000원).
송석호	타이거닉스 기술 활용 연구 논문 게재 및 정부 투자 유치	실험실 창업을 통해 마이크로미터 두께의 기하학적 위상(GP) 렌즈층을 포함하는 새로운 다초점 및 확장 초점 심도(DEOF) 안내렌즈(IOL)를 개발하였다. 기존 광-회절 접근법과 달리 빛 손실을 3% 이내로 줄일 수 있고, 원하는 위치에 다수의 초점을 만들거나 초점심도 확장형까지 적용이 가능하다. 해당 기술을 기반으로 창업한 회사가 TIPS에 선정되어 정부 투자를 받았다. 또한, 고려아이텍, 가톨릭대 여의도성모 안과, 서울안과의원과 함께 본 기술이 활용된 GP에 대한 연구를 수행하여 광학분야 세계적 학술지인 Light Science & Application (IF = 17.78)에 논문을 게재하였다 (2022.11). 향후 신기술 개발을 통해 글로벌 기업의 제품들과 경쟁할 수 있도록 보다 경제적이며 우수한 다초점 IOL 개발에 힘쓸 계획이다.

2. 산업·사회에 대한 기여도

2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적

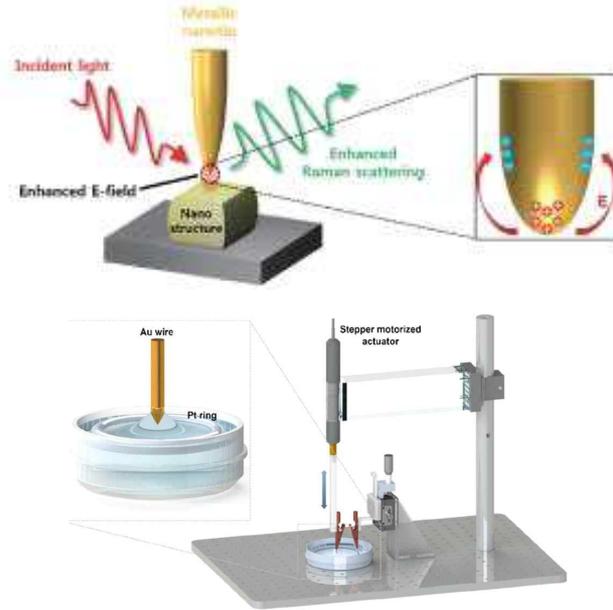
<표 3-5> 교육연구팀 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적

연번	실적명	참여교수명	실적 해당 분야	실적 요약
1	창업	정문석	기업현안 해결	측정 및 분석이 어려운 반도체 소재 분야 중소기업과 TERS 장비가 없는 반도체 및 탄소 분야 연구자들을 대상으로 라만/TERS에 대한 측정 서비스를 제공해줌으로써 연구자들에게 기술적 지원을 통해 지속적인 연구 활동을 가능하게 한다. 나아가 측정 서비스에 필요한 인력들을 고용하여 지역사회의 일자리 창출 및 반도체 산업 시장의 고용증진에 기여한다.
			일자리 창출	
2	논문	정문석	기업현안 해결	“AI 반도체, 화합물 반도체 등에서 초격차 기술을 확보하고(향후 5년간 1.1조원), 데이터센터 및 공공사업(스마트공장 등)으로 국산 기술 실증·적용 등 초기수요 창출”이라는 2022 과학기술정보통신부의 추진 계획에 일조하는 다양한 종류의 반도체의 물성을 분석한 논문 실적을 다수 출판하였다.
			정책 기여	
3	논문	홍진표	기업현안 해결	반도체 산업에서 상용되는 메모리 소자의 단점을 극복하기 위해 차세대 메모리 연구를 진행하였으며, 연구 결과를 NPG Asia Materials에 게재하였다 (2021.1). 본 연구결과는 차세대 메모리의 상용화를 앞당겨 인공지능 및 슈퍼컴퓨팅 영역에서 빠른 속도와 에너지 절감에 큰 기여를 할 수 있다. 또한 비휘발성 메모리 연구를 통해 현재 반도체 업계에 필요한 인재들을 육성하였다.
			미래/글로벌 대응	
			인력 재교육	

4	논문	송석호	미래/글로벌 대응	<p>마이크로미터 두께의 기하학적 위상(GP) 렌즈 층을 포함하는 새로운 안내렌즈를 개발하였다. 빛 손실을 3% 이내로 줄일 수 있고, 원하는 위치에 다수의 초점을 만들 수 있다. 해당 기술을 기반으로 창업한 회사가 TIPS에 선정되어 정부 투자를 받았다 (2023. 3.).</p> <p>고려아이텍, 여의도성모 안과, 서울안과의원과 함께 GP에 대한 연구를 수행하여 광학분야 세계적 학술지인 Light Science & Application (IF 17.78)에 논문을 게재하였다.</p>
총 환산 참여교수 수		8.4	제출요구량	2 ~ 4

연번	교육연구팀 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적 설명
1	<ul style="list-style-type: none"> ● 실적명: (창업) 라만 및 TERS 측정을 통한 분석 서비스 제공 ●정보: 정문석 교수 ●실적내용 요약: 뛰어난 안정성·재현성을 가진 금속 나노 탐침을 기반으로 TERS 장비 분석 서비스 및 제품화를 통해 반도체 및 탄소 분야 연구자들에게 기존 라만으로 볼 수 없던 숨겨진 결합을 측정할 수 있게 한다. 재현성 80% 이상의 금속 나노 탐침을 일일 200개 이상 제조할 수 있으며, 기존에 보고되지 않은 높은 재현성의 자동화된 금속 나노 탐침 제조 기술을 보유하고 있다. 이를 바탕으로 나노 스케일에서의 물질 표면 구조를 측정할 수 있는 STM 및 AFM과 결합한 TERS 장비에 대한 설계 및 구축 기술로 기존 경쟁 업체 제품 대비 공간 분해능 및 신호 강도 80% 이상 달성이 가능하다. 국소 표면 플라즈몬 형성을 최적화한 금속 나노 탐침 제조 기술로 기존 라만 대비 신호 강도를 100배 증가시켜 기존 라만의 공간 분해능과 신호 세기를 개선한 TERS 장비 활용 측정 및 분석 서비스를 제공한다. <p>기존 라만 분석의 경우 신호가 약하고, 분해능 한계가 존재하여 분석에 제한이 있으며, 화학적 결합 정보만을 제공한다는 한계가 있다. 그러나 본 회사가 지원하는 TERS 이미지의 경우, 신호 증강 및 탐침 크기에 의존하는 높은 공간분해능을 얻을 수 있어 나노 소재 및 소자 분석에 용이하고, 비선형적 광 특성으로 인해 새로운 물리화학적 특성을 발견할 수 있다.</p> <p>높은 신호 강도와 공간분해능의 TERS 측정 데이터는 반도체 및 탄소 분야에 더 정확하고, 자세한 분석 서비스를 제공하여 연구자들이 활발한 연구 활동을 할 수 있게 기술적 지원을 해줄 수 있다. 이러한 측정 결과 서비스를 제공하는 회사의 연구 근로자들은 신진인력으로 성장하여 이후에 산학협력 응용연구에</p>

기여할 수 있는 인재가 될 수 있다. 학문적인 관점에서 라만의 개선된 공간 분해능과 신호 세기는 이전에 없던 나노 스케일의 물리 특성을 찾아낼 수 있게 해주고, 새로운 나노 물질 연구 분야를 열어줄 가능성을 높여준다.



[탐침 증강 라만 분광법 (TERS) 원리의 모식도]

● 산업/사회 문제 해결 기여 [기업현안 해결, 일자리 창출]

측정 및 분석이 어려운 반도체 소재 분야 중소기업과 TERS 장비가 없는 반도체 및 탄소 분야 연구자들을 대상으로 라만/TERS에 대한 측정 서비스를 제공해줌으로써 연구자들에게 기술적 지원을 통해 지속적인 연구 활동을 가능하게 한다. 나아가 측정 서비스에 필요한 인력들을 고용하여 지역사회의 일자리 창출 및 반도체 산업 시장의 고용증진에 기여한다.

2

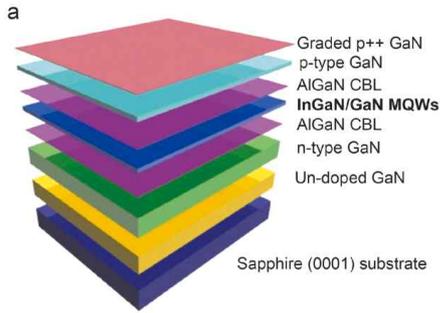
● 실적명: (논문) Redistribution of carrier localization in InGaN-based light-emitting diodes for alleviating efficiency droop

• Journal of Luminescence 252, 119277 (2022)

● 정보: 정문석 교수

● 실적내용 요약:

열 어닐링을 통해 캐리어 국소화를 재분배하여 내부 양자 효율(IQE)을 증가시킴으로써 InGaN QW의 효율 감소를 줄이는 효율적인 방법을 제안하였다. 금속-유기 증착을 사용하여 InGaN 기반 발광 다이오드(LED)의 전체 구조를 성장시켰다. 열 어닐링 후, 상온 PL 분광법으로 확인된 바와 같이 InGaN LED의 광발광(PL) 강도는 최대 900° C까지 점진적으로 증가함을 발견하였다. 온도 의존적 PL 스펙트럼은 열 어닐링 처리에 의해 In이 풍부한 InGaN 클러스터의 국부 에너지 대역이 평평해졌음을 보여주었다. 또한 여기 전력 의존적 PL 분광학은 InGaN QW에서 캐리어 국소화의 재분배가 효율 감소 현상을 완화시키는 것을 확인하였다. 또한, In이 풍부한 InGaN 클러스터의 평평한 국부 에너지 대역과 증가된 캐리어 국소화 부위는 향상된 IQE를 의미한다.



● 산업/사회 문제 해결 기여 [정책기여]

- 정부는 향후 5년 동안 340조원 이상의 투자 달성과 2030년까지 시스템 반도체 시장 점유율을 10%까지 올리겠다는 목표를 제시하였다. 과감한 인프라 지원과 규제 특례로 반도체 기업 투자를 적극 뒷받침 하고, 차세대 시스템 반도체에 대한 연구개발을 집중 지원할 계획이다.
- “AI 반도체, 화합물 반도체 등에서 초격차 기술을 확보하고(향후 5년간 1.1조 원), 데이터센터 및 공공사업(스마트공장 등)으로 국산기술 실증·적용 등 초기 수요 창출” (2022 과학기술정보통신부의 추진 계획)
- ‘반도체 초강대국’ 달성이라는 정부 목표에 일조하는 다양한 종류의 반도체의 물성을 분석한 논문을 발표하였다.

● 실적명: (논문) Integrated neuromorphic computing networks by artificial spin synapses and spin neurons

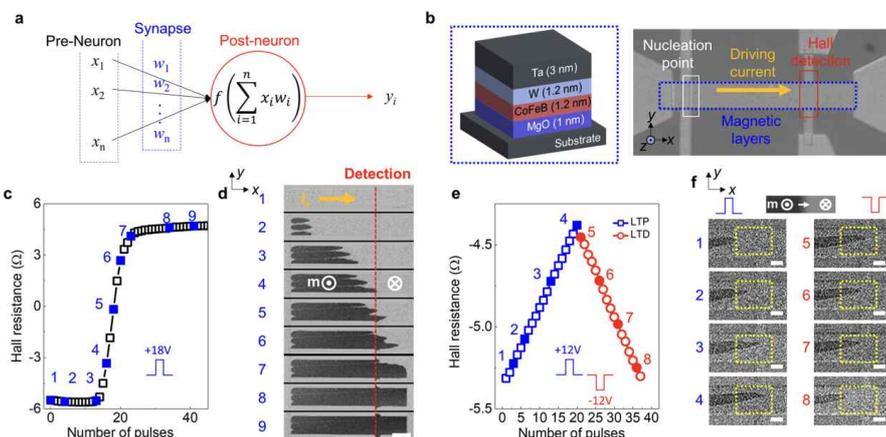
• NPG ASIA Materials, volume 13(11), pages 1-10 (2021. 01)

● 정보: 홍진표 교수 (교신저자)

● 실적내용 요약:

수직 자기 이방성(perpendicular magnetic anisotropy)를 보이는 자성체 박막을 활용하여 spintronics 기반의 시냅스(synapse)와 뉴런(neurons) 기능 소자를 제작하였다. Spintronics를 활용하여 저전력으로도 구동 가능한 시냅스와 뉴런 소자를 구현했으며, integrated neuromorphic network에 대한 개념을 증명하였다.

3



[Representative spin neuron and weight functions]

● 산업/사회 문제 해결 기여 [미래글로벌 대응]

구동 전력 절감, 비휘발성 메모리와 같이 반도체 산업에서 상용되는 메모리 소자의 단점을 극복하기 위한 차세대 메모리 연구를 진행하였으며, 이는 인공지능 및 슈퍼 컴퓨팅 영역에서 요구되는 빠른 구동 속도와 구동 에너지 절감에 큰 기여를 하는 차세대 메모리를 구현한 논문을 발표하였다.

● 실적명: (논문) Geometric-phase intraocular lenses with multifocality

• LIGHT-SCIENCE & APPLICATIONS, volume 11, 320 (2022.11)

● 정보: 송석호 교수 (단독교신저자)

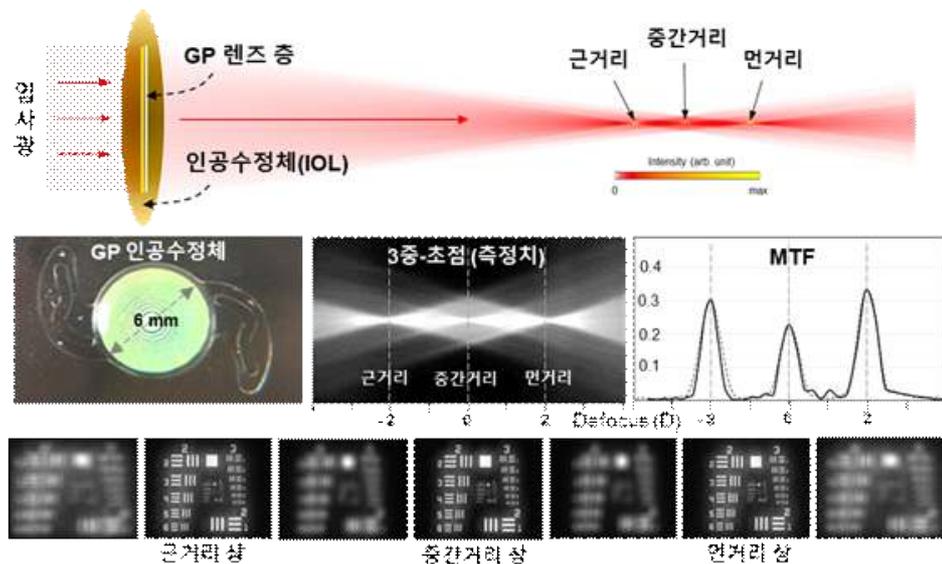
● 실적내용 요약:

백내장은 신체노화로 인한 고령질환 중 하나로 전 세계 50대 이상 인구의 대표 질환이다. 백내장 환자의 경우 혼탁해진 수정체를 제거하고 인공수정체 렌즈(intraocular lens, 이하 IOL)를 삽입하며, 최근에는 노안시력도 동시에 교정할 수 있는 다초점 인공수정체를 주로 사용한다.

가장 이상적인 다초점 IOL은 심각한 합병증 없이 근거리, 중간거리 및 원거리 시력을 동시에 지원하는 것이다. 현재 나와 있는 대부분의 다초점 IOL은 렌즈 표면에 미세한 요철구조를 갖는 회절형 또는 초점심도 확장형 제품들이 주류를 이루고 있고 수술 후 시간이 지남에 따라 빛 번짐, 야간 시야 흐림, 후낭 혼탁(PCO) 등과 같은 시야 방해 현상들이 심해 환자들의 만족도가 저하되는 문제점이 있다.

본 연구는 이러한 불만족 사항을 개선하고자 렌즈표면의 요철 구조를 제거하고 렌즈 내부에 균일한 특수 위상층(geometric-phase layer, GP 렌즈층)을 삽입한 새로운 다초점 IOL을 개발했다. 이를 통해 빛 번짐이 거의 없고 보다 선명한 근거리, 중간거리 및 원거리 상을 동시에 보일 수 있었다.

4



[Geometric-phase (GP) 인공수정체의 다초점 영상 구현 결과]

● 산업/사회 문제 해결 기여 [미래글로벌 대응]

이번에 개발된 GP (geometric-phase) 렌즈층 IOL은 기존 광-회절 접근법과 달리 빛 손실을 3% 이내로 줄일 수 있고, 임의로 원하는 위치에 다수의 초점을 만들거나 초점심도 확장형까지도 적용이 가능하다. 향후 신기술 창업을 통해 국산화뿐 아니라 글로벌 기업의 제품들과 경쟁할 수 있도록 보다 경제적이며 우수한 다초점 IOL 개발이 가능할 것으로 기대된다.

3. 연구의 국제화 현황

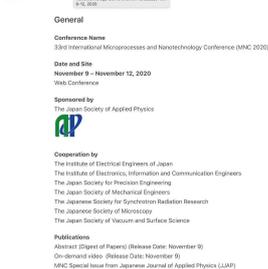
3.1 참여교수의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

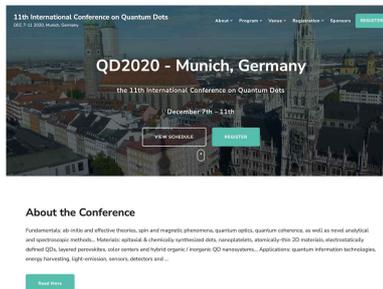
김은규 교수

- 2020년 국제학술대회 조직위원: “33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2020)”, Osaka, Japan (2020. 11. 9-12), Online
- 2020년 국제학술대회 조직위원: “11th International Conference on Quantum Dots (QD2020)”, Munich, Germany (2020. 12. 7-11)
- 2020년 국제학술대회 조직위원: “2020 International Conference on Solid State Devices and Materials”, Virtual conference (2020. 9. 27-30)
- 2022년 국제학술대회 명예회장: “The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022)”, Jeju, Korea (2022. 7. 17-21)
- 국제 학술지 Science of Advanced Materials (American Scientific Publishers) 편집위원 (2008.10.1.-현재)
- 국제 학술지 Applied Nano 편집위원 (2020. 1. 1-현재)

33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020), Nov. 9-12, 2020



[그림 III.9. MNC2020]



[그림 III.10. QD2020]



[그림 III.11. 2020 SSDM]

김재용 교수

- 2021년 국제학술대회 조직위원장 (2021. 1. 1 - 12. 31): Conference Chair, “10th Asian Conference on High Pressure Research”, Virtual (2021. 11. 21-25), Online
 - The 19th International Conference on High Pressure Semiconductor Physics, The 3rd International Conference on High Pressure Study on Superconductors와 연계
 - 저차원물질, 극한물성, 위상특성, 반도체, 수화물, 고압바이오 물리, 계산물리 등 10개 세션으로 구성
 - 미국, 유럽, 일본, 중국 등 18개국 320여 명 참가



[그림 III.12. 10th Asian Conference on High Pressure Research]

- 10th Asian Conference on High Pressure Research (2021. 11. 21-25) 기초연설: “Structural Changes of Potassium under High Pressure of Hydrogen”
- 제 70회 한국물리학회에서를 주제로 파이오니어세션을 개최하였다 (2022.10.20.부산). 미국 National High Field Laboratory (미국, Tallahassee) 소속 XXXXXXXX 교수 등 국내외 6명의 전문가들을 초청하여 진행하였고 국내외 압력과 자기장을 활용한 양자물질 극한물성연구를 활성화하는데 기여하였다.

5) [Condensed-Matter Physics] New Physics under Extreme Conditions using Pressure, Field, and Temperature
 Time/Room: Oct. 20(Thu) 15:00-16:48 (D6-co), Oct. 20(Thu) 15:00-16:48 (E6-co) / Rm 106

[Organizers] KIM Youngwook (DGIST), KIM Jaeyong (Hanyang Univ), MDON Soonjae (Hanyang Univ), Park Sungkyun (Pusan Nat'l Univ), OK Jongmuk (Pusan Nat'l Univ), JO Youngjung (Kyungbuk Nat'l Univ)

[Invited Speakers]

- KIM Jae Yong (Hanyang Univ, Korea): "Structure and Reaction of Metals under High Pressure of Hydrogen"
- TIAN Mingliang (High Magnetic Field Laboratory of the Chinese Academy of Science, China) "Introduction of Steady High Magnetic Field Laboratory in China and the Related Research in High Field Condition"
- MATSUDA Yoshitomo H. (Institute for Solid State Physics, University of Tokyo, Japan) "Spin driven insulator-metal transition in VO₂ in ultrahigh magnetic fields"
- BALICAS Luis (NHMFL, USA) "Unconventional topological Hall effect in Layered Centrosymmetric Ferromagnets"
- CHEN Xiao-Jia (Jiaotong Institute of Technology, China) "Superconductivity in alkali metal (K, Rb, Cs) fullerenes"
- KIM Sun-Sung (POSTECH): "High Magnetic Field and Low Temperature"

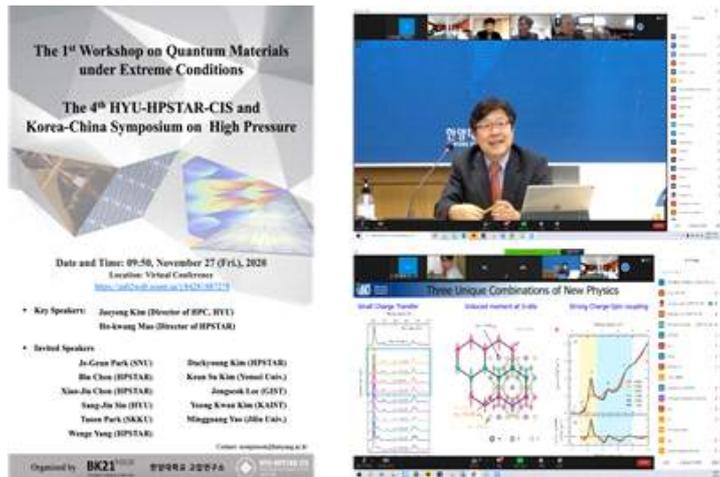
[Scope]

Quantum materials offer unique quantum properties that are not discovered in classical physics. Moreover, these can be further tuned by high pressure and high B/T environments. In this focus session, we invite experts in this field to understand state-of-the-art research with a fascinating technique on condensed matter physics. In addition, we believe that this session is a great opportunity to discuss future collaborations with invited speakers with the help of national research facilities.



[그림 III.13. 2022년 한국물리학회 가을학술논문발표회 파이오니어세션 (2022.10.20.)]

- The 1st Workshop on Quantum Material under Extreme Conditions 개최 (2020. 11. 27.)
 - 극한 환경에서 양자물질이 보이는 물성 연구에 대한 워크샵 개최
 - 한양대학교 양자물질 극한물성 교육연구팀, 중국 HPSTAR, 미국 카네기 연구소가 주관하는 The 4th HYU-HPSTAR-CIS and Korea-China Symposium on High Pressure와 결합하여 개최
 - 국내 초청 연사 6명, 중국 초청 연사 5명 발표
 - 줌 온라인 참가자 약 100명, 중국 베이징/상하이 고압연구소 현장 참여 약 100명
 - 다양한 양자 물질이 초저온 또는 초고압 상태에서 보이는 새로운 물성에 대한 연구 결과 발표 및 공동 연구 아이디어 논의



[그림 III.14. The 1st Workshop on Quantum Materials under Extreme Conditions]

- 한미 양자물질 극한물성 워크샵 개최 (2022. 12. 2)
 - 양자물질 극한물성을 주제로 한양대학교, 하버드 대학교, MIT 공동 워크샵을 2022년 12월 2일에 하버드 대학교에서 개최하였다.
 - 한양대학교 김재용 교수, 문순재 교수, 신상진 교수, 조준형 교수가 참가하였다.
 - 하버드 대학교의 XXXX 교수, XXXXXXXXXXXX 교수, XXXXXXXXXXXX 교수, MIT의 XXXXXXXXXXXX 교수, XXXXXXXXXXXX 교수, NHMFL의 XXXXXXXX 박사가 참가하였다.



[그림 III.15. 한미 양자물질 극한물성 워크숍]

- 중국 길림대학교 초청 콜로퀴엄: 압력과 온도를 매개로 하는 수소화물에 관한 연구를 주제로 초청강연을 하였다 (2022.11.16.). 온라인으로 진행된 본 강연은 본교와 한양대간 연구협력을 포함한 인적 교류 증진 뿐 아니라 중국 전역에 생중계되어 본 교육연구팀의 연구 현황을 소개하는 계기가 되었다.
- 제 59회 유럽고압학회 초청강연 (2022.9.5.-8)



[그림 III.16. 길림대학교 초청콜로퀴엄]



[그림 III.17. 제 59회 유럽고압학회 초청강연]

- 한국자기학회 학술지 편집위원 (2021. 1. 1 - 2022. 12. 31)
- 한국진공학회 이사 (2021. 1. 1 - 2023. 12. 31)
- 적정기술학회 국제협력, ODA 위원 (2021. 1. 1 - 2022. 12. 31)
- 양자물질 극한환경 국제공동연구단 단장 (2022. 4. 1 - 2024. 12. 31)
- 고압연구소장 (2019.09- 현재)

문순재 교수

- 국제학술대회 조직위원 (2021. 1. 1 - 12. 31): “10th Asian Conference on High Pressure Research”, Virtual (2021. 11. 21-25), Online
- 국제학술대회 초청강연: “Low-Energy Interband Transition of Correlated Metal SrVO₃ in Ultraclean Limit”, “10th Asian Conference on High Pressure Research”, 2021. 11. 21-25, Online
- 국제학술대회 조직위원 (2021. 9. 28 - 2022. 08. 26): “The 15th Asia Pacific Physics Conference”, Online
- 한양대-길림대-핑지아대 심포지움 개최 (2021. 12. 17)
 - 한양대 3명, 길림대 3명, 핑지아대 3명 연사 참여
 - 한양대 문순재 교수, 정문석 교수, 조준형 교수 발표



No.	Name	Title	Presentation Title
1	JEONG, Mun Seok	Professor, Department of Physics, HYU	Exploring the Physics of 2D Nanomaterials with Vibrational Nanoscopy
2	CHO, Jun-Hyang	Professor, Department of Physics, HYU	High-Tc superconductivity in rare earth hydrides at high pressures
3	MOON, Soonjae	Professor, Department of Physics, HYU	Low-Energy Interband Transition of Correlated Metal SrVO ₃ in Ultraclean Limit
4	Hongjian, ZHAO	Professor, International Center for Computational Method and Software, JLU	Ferroelectric, Magnetic and Multiferroic Materials: Phenomenological Theory and Materials by Design
5	Fu, XIE	Professor, International Center for Computational Method and Software, JLU	4b Auto Electronic Structure Calculations using A Real-Space Chebyshev-Filtered Subspace Iteration Method
6	Hanyu, LIU	Professor, International Center for Computational Method and Software, JLU	Computational Design of High-Temperature Superconducting Hydrides under High Pressure
7	LO, Shih-Shou	Professor, Department of Photonics, FCU	From ZnO Nanostructure to Lithium Niobate Nanostructure
8	LIANG, Chen-Jui	Associate Professor, International School of Technology and Management, FCU	Energy utilization and kinetic characteristics due to plasma-catalytic synergy effect with reactant structurally bond strength and inductive effect.
9	CHIU, Sheng-Kuei	Assistant Professor, Department of Materials Science and Engineering, FCU	Exceeding the quality of exfoliated WS ₂ through mediator-assisted synthesis at multi-wafer scale

[그림 III.18. 한양대-길림대-핑지아대 응집물질물리 심포지움]

정문석 교수

- 국제학술대회 조직위원: 총무, “국제반도체물성심포지움 (ISPSA 2022)” (2020. 3. 1 - 2022. 7. 21)
 - 정문석 교수가 학술대회 총무로 활동
 - 참가 인원: 19개국 1087명 (국내 989명, 해외 98명) 참가
 - 발표 수: 773개 (구두 366개, 포스터 407개)
 - 대학원생들에게 연구 결과 발표 및 해외 저명학자들과의 교류 기회 제공
 - 양자물질 기초 물성과 응용 분야에서 공동 연구 기회 모색



[그림 III.19. 국제 반도체 물성 심포지움 (ISPSA2022)]

- 국제학술대회 “The 13th Asia Pacific Near-Field Optics” 초청강연: “Investigation of Defects in 2D Nanomaterials with Vibrational Nanoscopy” Fukuoka, Japan (2022. 7. 30)
- 국제학술대회 “The 21th International Nanotech Symposium & Exhibition” 초청강연: “Quality Evaluation of 2-D nanomaterials with Raman scattering” (2022. 7. 7)
- 국제학술대회 “The 12th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR2021)” 초청강연: “Quality Evaluation of Graphene with Raman Scattering” (2021.10.12.)

조준형 교수

- 국제학술대회 조직위원 (2021. 1. 1 - 12. 31): “10th Asian Conference on High Pressure Research”, Virtual (2021. 11. 21-25), Online
- 국제학술대회 “10th Asian Conference on High Pressure Research” 초청강연: “Effect of Hole Doping on Superconductivity in Compressed Superhydrides at High Pressures”, 2021. 11. 21-25, Online
- 중국 정저우 대학 격물치지 학술강좌 초청 세미나 “Multifunctional Quantum States in Kagome Lattices (2023. 2. 23)

[그림 III.20. 정저우대학 초청세미나]

천상모 교수

- 2021년 국제학술대회 조직위원 (2021. 1. 1 - 12. 31): “10th Asian Conference on High Pressure Research”, Virtual (2021. 11. 21-25), Online.
- 국제학술대회 “International Workshop Condensed Matter Solitons” 초청강연: “Topological superconductivity and Majorana Fermion in Dirac Semimetal under symmetry-lowering lattice distortions”, Daejeon, Korea (2022. 6. 29 - 2022. 7. 1)

신상진 교수

- 2022년 국제학술대회 주최 (2022. 8. 11 - 8. 19): “Holography 2022 : quantum matter and spacetime”

KST	11(Thu)	12(Fri)	13(Sat)	14(Sun)	15(Mon)	16(Tue)	17(Wed)	18(Thu)	19(Fri)
	Opening Remark: Sang-Jin Sin								
9:30 - 10:30	Hong Lila (Lecture 1)	Yiming Chen	Edward Witten		Sabrina Pasternak (Lecture 1)	Behm-Jung Yang	Sabrina Pasternak (Lecture 2)	Thomas Hartman	Junggi Yoon Hugo Camargo
10:30 - 11:00	Discussion	Discussion	Discussion	Group Discussion	Discussion	Discussion	Discussion	Discussion	Discussion
11:00 - 12:00	Hong Lila (Lecture 2)	Hong Lila (Lecture 3)	Koji Hashimoto		Sabrina Pasternak (Lecture 2)	Junyeong Ahn	Seung-Sup Lee	Jordan Cotler	Yunseok Seo Kyung-Kyu Kim
12:00 - 14:30	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Lunch	Closing Remark: Keun-Young Kim
14:30 - 15:30	Sang-Jin Sin Ki-Seok Kim	Xian-Hui Ge	Sachin Jain		Debabrata Ghosal Chanyong Park	Min Gyu Kang	BungBin Lee	Dario Rosa	
15:30 - 16:00	Discussion	Discussion	Discussion	Group Discussion	Discussion	Discussion	Discussion	Discussion	
16:00 - 17:00	Matti Jarvinen Matthew Roberts	Matteo Baggioli	Victor Gorbenko		Julian Sonner	Moon-Jip Park	Anatoly Dymarsky	Hyun-Seok Yang Victor Jahnke	
17:00 - 18:00				Banquet	Banquet			Banquet	

chair	11(Thu)	12(Fri)	13(Sat)	14(Sun)	15(Mon)	16(Tue)	17(Wed)	18(Thu)	19(Fri)
9:30 - 10:30	Junggi Yoon	Junggi Yoon	Byoungjoon Ahn		Victor Jahnke	Sang-Jin Sin	Victor Jahnke	Hugo Camargo	Keun-Young Kim
11:00 - 12:00	Junggi Yoon	Junggi Yoon	Byoungjoon Ahn		Victor Jahnke	Sang-Jin Sin	Dario Rosa	Hugo Camargo	Keun-Young Kim
14:30 - 15:30	Byoungjoon Ahn	Keun-Young Kim	Junggi Yoon		Mitsuhito Nishida	Sang-Jin Sin	Dario Rosa	Hugo Camargo	
16:00 - 17:00	Byoungjoon Ahn	Keun-Young Kim	Junggi Yoon		Mitsuhito Nishida	Sang-Jin Sin	Hugo Camargo	Hugo Camargo	

[그림 III.21. Holography 2022: quantum matter and spacetime]

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소	
	교육연구팀 참여교수	국외 공동연구자				
1	문순재		미국 / Boston College	T. H. Nguyen et al., Phys. Rev. Lett. 127 , 267203 (2021).	10.1103/PhysRevLett.127.267203	
2	김재용		중국/Yanshan University, Yangzhou University	Z. Wu et al., Nano Research 15 , 3788 (2022).	10.1007/s12274-022-4092-1	
3	김재용		중국/Yanshan University, Yangzhou University	J. Zhang et al, Nano Research 15 , 4606 (2022).	10.1007/s12274-022-4215-8	
4	정문석		베트남/Phenikaa University	D. A. Nguyen et al., Small Methods 5 , 2100558 (2021).	10.1002/smt.202100558	
5	정문석		베트남/Phenikaa University	N. T. Duong et al., Nano Today 40 , 101263 (2021).	10.1016/j.nantod.2021.101263	
6	문순재		미국/Pennsylvania State University, Columbia University	G. Ahn et al., Phys. Rev. B 106 , 085133 (2022).	10.1103/PhysRevB.106.085133	
7	조준형		중국/중국과학기술대학 (USTC)	X. Fan et al., Nano Lett. 21 , 2033 (2021).	10.1021/acs.nanolett.0c04596	
8	조준형		폴란드/Czestochowa University of Technology	A. P. Durajski et al., Ann. Phys. 533 , 2000518 (2021).	10.1002/andp.202000518	
총 환산 참여교수 수				8.4	제출요구량	2 ~ 8

김재용 교수

- C60 물질의 압력 변화에 따른 전기 저항 및 구조 변화 분석연구: 김재용 교수는 중국 길림대학교 XXXXXXXX, XXXXXX 교수 등과 함께 소위 Buckyball로 불리는 C60의 압력 변화에 따른 전기적 수송현상과 구조변화에 관한 연구를 수행하였다. 다이아몬드엔빌셀을 이용하여 압력을 50 GPa까지 인가하면서 전기적 특성과 구조변형을 자세히 분석하였다. 그 결과 압력이 25 GP단계까지는 금속성을 보이다가 이후에는 반도체성을 띄게 되고 비교적 안정한 구조체로 알려진 C60 buckyball은 40 GPa 이후부터는 구조가 허물어지기 시작하여 결국 비정질형태로 변환됨을 확인하였다. 하지만 가해진 압력을 제거하였을 경우, 다시 원형으로 복구되었고 이는 C60구조체의 탄성이 매우 높다는 점을 시사한다. 본 결과를 Nano Research에 게재하였다.
- 압력 변화에 따른 $C_{18}Te_3Br_4$ (Bu-O)₆의 형상변형 특성 연구: 김재용 교수는 중국 Yangzhou 대학교의 XXXXXXXX 교수와 Yanshan 대학교 XXXXXXXX 교수들과의 국제공동연구의 일환으로 $C_{18}Te_3Br_4$ (Bu-O)₆ 시료의 압력변화에 따른 전기적 수송현상, 구조적 그리고 비가역적 형상변형 특성을 연구하였다. 압력을 인가함에 따라 전기적 특성이 증가하는 이유는 입자간 골격이 줄어들면서 결정이 균일화되는 현상의 일종이라고 분석하였다. 본 결과를 Nano Research에 게재하였다.
- University of Edinburgh, Standford 등 유럽과 미국 기관들과 유럽자유전자가속기 (Eu-XFEL)의 High energy density (HED) 빔라인을 활용하여 초고압-초고온 조건에서 메탄이 탄소와 반응하여 다이아몬드가 형성되는 과정에 관한 연구를 수행하였고 결과가 Nature Astronomy 에 게재될 예정이다 “Diamond Precipitation Dynamics from Hydrocarbons at Icy Planet Interior Conditions.
- 미국 University of Chicago 팀과 Advanced Photon Source (APS) GSECARS 빔라인을 활용하여 BiSb Weyl 금속에서의 압력유도에 의한 초전도성을 공동 연구하여 “Miniscule-pressure superconductivity in the Weyl state of $Bi_{0.96}Sb_{0.04}$ ” 그 결과를 Physical Review Letters에 투고하였다.

문순재 교수

- 문순재 교수는 미국 Boston College에 있는 XXXXXXXXXX 교수 연구그룹과 함께 파이로클로르 구조를 가지는 이리듐 산화물 $Y_2Ir_2O_7$ 의 마그논 위상 특성을 라만 분광법을 이용하여 연구하였다. 응집물질의 위상 특성은 현재 물리학계의 많은 관심을 받고 있다. 현재까지 물질의 위상 특성은 전자 구조에 대한 것이 대부분이다. 본 국제공동연구를 통해 $Y_2Ir_2O_7$, $Eu_2Ir_2O_7$, $Nd_2Ir_2O_7$ 이 보이는 마그논 에너지와 반강자성 상전이 온도에서 나타는 스핀-격자 상호 작용을 분석하여 희토류 이온의 반경에 따라 마그논의 위상 특성이 변하는 위상 상전이가 일어남을 보였다. 본 연구는 파이로클로르 구조를 가지는 이리듐 산화물에서 마그논 위상 특성을 제어할 수 있음을 보였으며, 라만 분광이 마그논 위상 특성 연구에 적합한 실험 방법임을 제시하였다. 본 연구결과는 Physical Review Letters에 출판되었다.
- 문순재 교수는 미국 Pennsylvania State University의 XXXXXXXXXX 교수 연구진과 Columbia University의 XXX 교수 연구진과의 공동연구를 통해 강상관 금속 $SrVO_3$ 의 전자 구조와 동역학 특성을 규명하였다. 전자 상호 작용이 강한 강상관 금속이 보이는 비페르미 액체 현상은 응집물질물리 학계가 풀지 못하고 있는 중요한 문제이다. 최근 동적 평균장 이론을 이용하여 강상관 금속의 비페르미 액체 현상이 페르미 액체 온도 이상에서도 존재하는 “resilient quasiparticles” 로 기술될 수 있음 제안되었으며, 이 결과를 활용하여 대표적인 강상관 금속인 Sr_2RuO_4 의 광전도도를 성공적으로 설명한 바 있다. 본 연구에서는 강상관 금속 $SrVO_3$ 박막의 광전도도를 연구하였다. 기존의 $SrVO_3$ 보다 불순물 농도가 수십배 이상 작은 $SrVO_3$ 박막 시료에 대한 적외선 분광 측정을 통해 $SrVO_3$ 의 낮은 에너지 광전도도가 resilient quasiparticles이 아닌 매우 좁은 드루드 전이와 낮은 에너지에 존재하는 띠간 전이로 기술됨을 밝혔다. 연구결과의 우수성을 인정받아 Physical Review B의 Editors’ Suggestions로 선정되었다.

정문석 교수

- 정문석 교수는 베트남 **XXXXXXXXXX** 교수 연구진과의 공동연구를 통해 스프레이 코팅을 통해 MoS₂ 콜로이드 잉크를 사용한 후 황화 후 공정을 거쳐 대면적 고품질 molybdenum disulfide 박막을 제조하는 간단하고 효과적인 방법을 제안하였다. 고품질 MoS₂ 박막은 전계효과 트랜지스터(FET) 및 memtransistor array에 활용될 수 있는 우수한 광학적 및 전기적 특성을 나타낸다. MoS₂ FET는 5×10^6 의 평균 온/오프 비율과 $10.34 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 높은 전자 이동도를 나타내며, 이는 황 공극의 치유, 재결정화 및 MoS₂의 탄소 오염 제거로 이해할 수 있었다. 이러한 MoS₂ 기반 멤 트랜지스터는 백 게이트 및 조명에 의해 조정된 높은 스위칭 비율로 안정적인 작동을 나타내며, 이는 다중 레벨 메모리 및 복잡한 뉴로모픽 컴퓨팅에 적용 가능하다. 이 연구는 통합 광전자 및 메모리 소자 애플리케이션을 위해 대면적, 고품질의 2D TMD를 제작할 수 있는 새로운 가능성을 보여주었다.
- 정문석 교수는 베트남 **XXXXXXXXXXXX** 교수 연구진과의 공동연구를 통해 Bottom metal contact과 결합이 없는 고분자 기판을 갖춘 MoTe₂ homojunction-based 기반 TFET를 개발하였다. 전달 특성은 300 K에서 36.4 mVdec^{-1} 의 열전하 최소 SS와 46 mVdec^{-1} 의 40년 평균 SS를 나타내며 hysteresis는 무시할 수 있을 정도로 작았다. 특히 TFET에서는 0.6V(실리콘 기술의 경우 0.7V)의 더 작은 공급 전압이 실현되었다. 또한, 이 소자는 $\sim 10^8$ 의 우수한 on-off current ratio, 수 개월 이상의 강력한 공기 안정성, 볼츠만 한계 이하인 $m=0.21$ 의 체적 계수를 나타내었다. 본 연구를 통해 van der Waals heterostructure assembly에 대한 전략을 보여주고 TFET 연구의 상당한 진전을 설명하였다.

조준형 교수

- 조준형 교수는 폴란드 Czestochowa University of Technology 연구진과 함께 포논의 조화근사 내에서 제일원리 밀도 범함수 이론(DFT) 계산을 사용하여 압력의 함수로서 fcc LaH₁₀과 fcc LaD₁₀의 동위원소 효과를 조사하였다. H 동위원소 치환에 대해 변하지 않는 전자-포논 결합 상수는 압력이 증가함에 따라 감소한다는 것을 밝혔으며, Eliashberg 방정식을 풀어서 동위원소 계수는 압력에 관계없이 ~ 0.465 로 추정되었다. 이 추정값은 약 150 GPa에서의 실험 측정과 잘 일치한다.
- 조준형 교수는 중국과학기술대학 연구진과의 공동 연구를 통해 간단한 화학적 증기 증착 방법을 채택하여 H-BN 기판에서 그래핀의 자발적 접힘 성장을 발견하였다. 접힌 가장자리는 두 겹의 그래핀 층이 1300 ° C까지의 성장 온도에서 가장자리를 공유할 때 형성되었다. 이 새로운 성장 모드를 사용하여, 완전히 밀봉된 모서리를 포함하는 헥사그램 이중층 그래핀을 결국 합성할 수 있었다. 본 연구결과는 새로운 접힘 차원으로 그래핀 소자를 설계할 수 있는 경로를 제공한다.

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적

- 중국 Yanshan University, XXXXXX 교수 연구실과의 공동 연구 및 XX 학생 장기 연구
 - 2021년 1월부터 2021년 2월까지, 중국 Yanshan University의 XXXXXXXX 교수와 압력 관련 연구방향 설정 및 학과 연구방향 컨설팅 진행하였다. Yanshan 대학교의 Center for High Pressure Science (CHiPS) 와 Metastable Materials Science and Technology State Key Laboratory에 참여대학원생 XXX XX 학생을 파견하여 공동연구를 수행하였다.
 - XXXXX 교수 외 두 명을 본 학과의 겸임교수로 발령하여, 대학원생들의 연구를 공동으로 지도하고 있다.

- 고압연구관련 연구자 교류
 - 김재용 교수는 중국 HPSTAR 소속 XXXXXXXXX 박사와 potassium hydride 관련, XXXXXXXX 학생의 공동지도하였다.
 - 김재용 교수는 독일 막스플랑크연구소 XXXXXXXXX 박사 연구실을 방문하여 (2022.06.12.) 고온초전도체 발굴을 위한 공동연구를 수행하였으며 후속 절차로 XXXXXXXX 학생을 장기파견하기로 하였다.



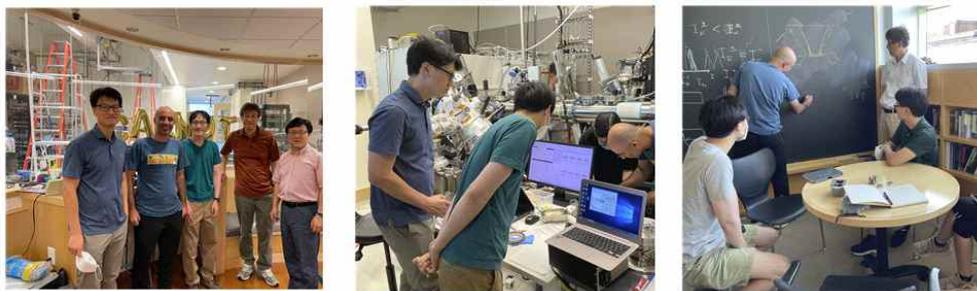
[그림 III.24. 막스플랑크 연구소 방문]

- 하버드 대학교 XXX 교수 초청 워크샵
 - 양자물질 창발현상에 대한 워크샵을 개최하였다 (한양대, 2022.5.24.).



[그림 III.22. Harvard University XXX 교수 초청 워크샵]

- 하버드 대학교 물리학과에 신진연구인력 장기 파견 (2022.7.1. ~ 2023.6.30.)
 - 한양대학교 소속 박사후연구원 XXXXX 박사를 하버드 대학교 물리학과에 장기 파견하여, 2차원 양자물질과 고온 초전도체 이중 접합 구조에서 나타나는 양자현상에 대한 연구를 수행하고 있다.



[그림 III.23. 신진연구인력 Harvard University에 장기 파견]

- MOU를 체결한 길림대학 (Jilin University)의 State Key Laboratory of Superhard Materials 소속 XX XXX 박사를 본 연구팀 신진연구인력으로 채용하였다 (2021. 10. ~ 현재).
- MOU 협정체결 기관인 Yanshan 대학교의 XXXXXX 교수 연구실 XXXXXXXXXX 대학원생을 김재용 교수 연구실에 파견하여 공동연구를 수행하였다 (2021.09.03 ~ 2022.04.30).

- 중국 연산대학교 (Yanshan University) 이과대학 (School of Science)와 MOU 체결 (2021. 1. 4.)

Yanshan University, China, MOU (체결날짜: 2021.1.4.) 내용: 고자기장을 이용한 극한물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행	
<p style="text-align: center;">Memorandum of Understanding Between School of Science, Yanshan University, Qinhuangdao, P.R. China and Department of Physics, Hanyang University, Seoul, Korea</p> <p>This Memorandum of Understanding (hereinafter referred to as "MOU") is made between the School of Science of Yanshan University, located at No. 454 East Red Avenue, Qinhuangdao, Hebei Province, 066004, P.R. China, and the Department of Physics, Hanyang University, located at 222, Seongnam-daero, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13120, Korea, and collectively hereinafter referred to as "Parties" and individually as "Party".</p> <p>This MOU is intended to foster friendly exchanges between the Parties and to cooperate in order to promote scientific research and academic exchange in order to build a partnership between the two parties and to establish a platform for cooperation between the School of Science of Yanshan University and the Department of Physics of Hanyang University in scientific research and academic exchange. The Parties agree to cooperate in the following areas:</p> <p>1. Cooperation in Scientific Research</p> <p>The Parties agree to promote scientific research and academic exchange in order to build a partnership between the two parties and to establish a platform for cooperation between the School of Science of Yanshan University and the Department of Physics of Hanyang University in scientific research and academic exchange. The Parties agree to cooperate in the following areas:</p> <p>1.1. Exchange of scientific and technical information</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exchange scientific and technical information including delivering lectures and holding joint research and programs. - Invite researchers from both institutions to short or longer stays or collaborations in their respective laboratories to develop collaborative programs to be treated in specialized programs, and - Develop an exchange program for staff, doctoral students and post-doctoral fellows between the two Parties. Such exchange program shall be subject of a separate agreement. <p>1.2. Acquisition of mutual research findings</p> <ul style="list-style-type: none"> - Encourage scientists to develop joint research programs and make applications to national and international funding agencies regarding work in areas of mutual interest, and - Explore other opportunities for alliances between the two Parties. <p>1.3. Publication and dissemination of research findings</p> <ul style="list-style-type: none"> - Facilitate the acquisition, exchange and general dissemination of research results; - Participants in research and academic exchange, subject to financing from its national sources or external private sources; and - Promote dissemination of research findings. In particular, research, joint research findings and staff visits shall be made public. Part of each program shall be reserved for the co-supervision of students associated to a joint research program with prior approval from the Parties. <p>Intellectual Property</p> <p>The MOU agrees to handle obligations on either Party (financial or otherwise) joint projects that require funding (e.g. travel and housing costs, laboratory material, and reagents) should not be treated before the necessary resources have been secured.</p> <p>Partnership</p> <p>The Parties shall jointly publish the results.</p>	<p>Terms and Validity</p> <ul style="list-style-type: none"> • This MOU shall become effective from the date of its signing and shall remain in force for a period of five (5) years. The Parties further agree that any dispute between the Parties will be settled in amicable as possible. • This MOU is established in two copies and is executed in English. <p>The parties have signified their acceptance of this MOU hereby by signing below and each will retain one duplicate text of equal authenticity.</p> <div style="text-align: right;">  </div> <p style="text-align: right;"> <i>Gwanggil Lee</i> Gwanggil Lee, Ph. D. Professor and Chairperson Department of Physics Hanyang University, Seoul, KOR Date: Dec 24, 2020 </p> <p style="text-align: right;"> <i>Yang Jia, D.</i> Yang Jia, D. Professor and Director School of Science Yanshan University, Qinhuangdao, China Date: Jan 4th </p>

- 미국 National High Magnetic Field Laboratory 와 LOI 체결 (2022.4.1.~2024.12.31.)

National High Magnetic Field Laboratory, USA, LOI (체결날짜: 2022.3.2.) 내용: 고자기장을 이용한 극한물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행	
<p style="text-align: center;">LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN NATIONAL HIGH MAGNETIC FIELD LABORATORY AND HANYANG UNIVERSITY</p> <p>The National High Magnetic Field Laboratory, located at 800 Shiloh Road, Winter Park, Florida 32789, USA, and Hanyang University, located at 222 Seongnam-daero, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13120, Korea, are pleased to announce their intention to enter into a Letter of Intent (LOI) for collaboration in the field of high magnetic field research.</p> <p>1. Background</p> <p>The National High Magnetic Field Laboratory (NHMFL) is a leading center for high magnetic field research in the United States. Hanyang University is a leading center for high magnetic field research in South Korea. The two institutions have a long history of collaboration in the field of high magnetic field research.</p> <p>2. Intent</p> <p>The NHMFL and Hanyang University intend to enter into a Letter of Intent (LOI) for collaboration in the field of high magnetic field research. The LOI will outline the terms and conditions of the collaboration, including the exchange of scientific and technical information, the acquisition of mutual research findings, and the publication and dissemination of research findings.</p> <p>3. Contents of Feasibility Activities</p> <p>Both institutions agree to promote the following activities for scientific and educational exchange and collaboration in the field of high magnetic field research:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exchange of scientific and technical information, including delivering lectures and holding joint research and programs. - Invite researchers from both institutions to short or longer stays or collaborations in their respective laboratories to develop collaborative programs to be treated in specialized programs, and - Develop an exchange program for staff, doctoral students and post-doctoral fellows between the two Parties. Such exchange program shall be subject of a separate agreement. 	<p>1. Term of Validity of this Letter of Intent</p> <p>This Letter of Intent shall become effective from the date of its signing by the representatives of both institutions and shall remain in force for a period of five (5) years. The Parties further agree that any dispute between the Parties will be settled in amicable as possible.</p> <p>2. Authenticity</p> <p>An authentication or amendment of this Letter of Intent shall be made in the form of a separate document.</p> <p>3. Authentic Text</p> <p>Each Party shall sign two identical copies of this Letter of Intent and retain one copy. The Parties have signified their acceptance of this Letter of Intent by signing below.</p> <p style="text-align: right;"> <i>Yang Jia, D.</i> Yang Jia, D. Professor and Director School of Science Yanshan University, Qinhuangdao, China Date: March 02, 2022 </p> <p style="text-align: right;"> <i>Gwanggil Lee</i> Gwanggil Lee, Ph. D. Professor and Chairperson Department of Physics Hanyang University, Seoul, Korea Date: March 02, 2022 </p>

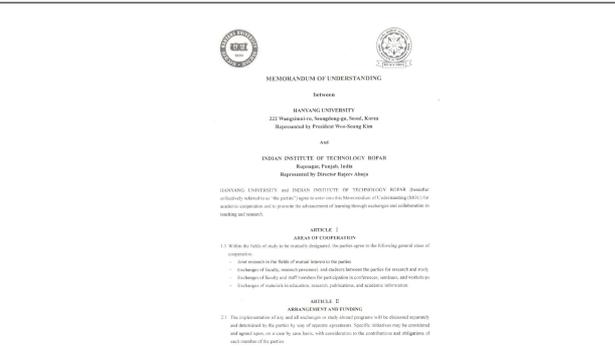
- 중국 High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Science와 LOI 체결 (2022.4.1.~2024.12.31.)

High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Science, MOU (체결날짜: 2022.3.7.) 내용: 고자기장을 이용한 극한물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행	
<p style="text-align: center;">LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN HIGH MAGNETIC FIELD LABORATORY CHINESE ACADEMY OF SCIENCE AND HANYANG UNIVERSITY</p> <p>The High Magnetic Field Laboratory of Chinese Academy of Science (hereinafter referred to as "NHMFL"), located at 1000 Beijing Road, Beijing 100049, P.R. China, and Hanyang University, located at 222 Seongnam-daero, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13120, Korea, are pleased to announce their intention to enter into a Letter of Intent (LOI) for collaboration in the field of high magnetic field research.</p> <p>1. Background</p> <p>The NHMFL is a leading center for high magnetic field research in China. Hanyang University is a leading center for high magnetic field research in South Korea. The two institutions have a long history of collaboration in the field of high magnetic field research.</p> <p>2. Intent</p> <p>The NHMFL and Hanyang University intend to enter into a Letter of Intent (LOI) for collaboration in the field of high magnetic field research. The LOI will outline the terms and conditions of the collaboration, including the exchange of scientific and technical information, the acquisition of mutual research findings, and the publication and dissemination of research findings.</p> <p>3. Contents of Feasibility Activities</p> <p>Both institutions agree to promote the following activities for scientific and educational exchange and collaboration in the field of high magnetic field research:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exchange of scientific and technical information, including delivering lectures and holding joint research and programs. - Invite researchers from both institutions to short or longer stays or collaborations in their respective laboratories to develop collaborative programs to be treated in specialized programs, and - Develop an exchange program for staff, doctoral students and post-doctoral fellows between the two Parties. Such exchange program shall be subject of a separate agreement. 	<p>1. Term of Validity of this Letter of Intent</p> <p>This Letter of Intent shall become effective from the date of its signing by the representatives of both institutions and shall remain in force for a period of five (5) years. The Parties further agree that any dispute between the Parties will be settled in amicable as possible.</p> <p>2. Authenticity</p> <p>An authentication or amendment of this Letter of Intent shall be made in the form of a separate document.</p> <p>3. Authentic Text</p> <p>Each Party shall sign two identical copies of this Letter of Intent and retain one copy. The Parties have signified their acceptance of this Letter of Intent by signing below.</p> <p style="text-align: right;"> <i>Yang Jia, D.</i> Yang Jia, D. Professor and Director School of Science Yanshan University, Qinhuangdao, China Date: March 07, 2022 </p> <p style="text-align: right;"> <i>Gwanggil Lee</i> Gwanggil Lee, Ph. D. Professor and Chairperson Department of Physics Hanyang University, Seoul, Korea Date: March 07, 2022 </p>

- 독일 Max Planck Society와 LOI 체결 (2022.4.1.~2024.12.31.)

Max Planck Society, Germany, LOI (체결날짜: 2022.3.5.) 내용: 양자물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행	
<p style="text-align: center;">LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN MAX PLANCK SOCIETY AND HANYANG UNIVERSITY</p> <p>The Max Planck Society, located at 1000 Berlin, Germany, and Hanyang University, located at 222 Seongnam-daero, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13120, Korea, are pleased to announce their intention to enter into a Letter of Intent (LOI) for collaboration in the field of quantum material research.</p> <p>1. Background</p> <p>The Max Planck Society is a leading center for quantum material research in Germany. Hanyang University is a leading center for quantum material research in South Korea. The two institutions have a long history of collaboration in the field of quantum material research.</p> <p>2. Intent</p> <p>The Max Planck Society and Hanyang University intend to enter into a Letter of Intent (LOI) for collaboration in the field of quantum material research. The LOI will outline the terms and conditions of the collaboration, including the exchange of scientific and technical information, the acquisition of mutual research findings, and the publication and dissemination of research findings.</p> <p>3. Contents of Feasibility Activities</p> <p>Both institutions agree to promote the following activities for scientific and educational exchange and collaboration in the field of quantum material research:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exchange of scientific and technical information, including delivering lectures and holding joint research and programs. - Invite researchers from both institutions to short or longer stays or collaborations in their respective laboratories to develop collaborative programs to be treated in specialized programs, and - Develop an exchange program for staff, doctoral students and post-doctoral fellows between the two Parties. Such exchange program shall be subject of a separate agreement. 	<p>1. Term of Validity of this Letter of Intent</p> <p>This Letter of Intent shall become effective from the date of its signing by the representatives of both institutions and shall remain in force for a period of five (5) years. The Parties further agree that any dispute between the Parties will be settled in amicable as possible.</p> <p>2. Authenticity</p> <p>An authentication or amendment of this Letter of Intent shall be made in the form of a separate document.</p> <p>3. Authentic Text</p> <p>Each Party shall sign two identical copies of this Letter of Intent and retain one copy. The Parties have signified their acceptance of this Letter of Intent by signing below.</p> <p style="text-align: right;"> <i>Yang Jia, D.</i> Yang Jia, D. Professor and Director School of Science Yanshan University, Qinhuangdao, China Date: March 05, 2022 </p> <p style="text-align: right;"> <i>Gwanggil Lee</i> Gwanggil Lee, Ph. D. Professor and Chairperson Department of Physics Hanyang University, Seoul, Korea Date: March 05, 2022 </p>

- 인도 Indian Institute of Technology Ropar와 MOU 체결 (2022.4.1. ~ 2024.12.31.)
양자물질 극한물성 분석 공동연구를 위한 인력 교류 및 공동연구 수행 관련 협력의향서 체결

Indian Institute of Technology Ropar, India, MOU (체결날짜: 2022.3.8.) 내용: 양자물질 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구, 공동심포지엄 개최	
	<p>2.2 Each Institute shall be deemed to have accepted the terms and conditions of the MOU as set forth in the MOU.</p> <p>2.3 The parties acknowledge their understanding and agreement of the respective university, including the associated costs will be determined at the discretion and responsibility of the respective party as set forth in the MOU.</p> <p>ARTICLE III EFFECT OF AGREEMENT</p> <p>3.1 This MOU will be valid for a period of (two) years, and will automatically be renewed for additional two-year periods, unless either party notifies the other in writing to terminate at least three (3) months in advance of termination date.</p> <p>3.2 The renewal of extension of the MOU shall be determined by the parties at least 90 (ninety) days prior to the end of the period of validity.</p> <p>3.3 Should either of the party members wish to withdraw from the MOU prior to the end of the period of validity, they must do so in writing to the other party at least 90 (ninety) days prior to the end of the period of validity.</p> <p>3.4 The parties agree to review this agreement every two (2) years in order to evaluate the progress and improve the quality of the exchange.</p> <p>3.5 This MOU shall be done up in two (2) copies in English. One (1) copy of this agreement will be retained at each Institute of the parties. Both parties retain an electronic database of the signed agreement pages of this MOU as determined by the respective party members.</p> <p>SIGNATURES</p> <p>On WITNESS WHEREOF, Hanyang University and Indian Institute of Technology Ropar have executed this MOU as of the date shown below:</p> <p>For Hanyang University: <i>Woo-Sung Kim</i> Woo-Sung Kim, Ph.D., President Date: Mar 9, 2022</p> <p>For Indian Institute of Technology Ropar: <i>Rajen Anand</i> Rajen Anand, Ph.D., Director Date: March 8, 2022</p>

- 중국 Yantai University와 MOU 체결 (2022.4.1.~2024.12.31.)
중국 연태대학교, 물리전자정보대학과 MOU를 체결하여 물리전공 박사연합교육 및 지도교수 협력 프로그램을 추진하였다 (2022. 11.11.).

Yantai University, China, MOU (체결날짜: 2022.11.11.) 내용: 양자물질 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구, 공동심포지엄 개최	
<p>烟台大学物理与电子信息学院及烟台大学自然科学与技术学院 关于物理专业联合培养博士项目和联合培养博士导师合作协议</p> <p>烟台大学物理与电子信息学院及烟台大学自然科学与技术学院在相互理解和共同发展的基础上，基于长期合作，就双方开展物理专业联合培养博士项目联合培养博士项目达成以下一致意见。</p> <p>一、烟台大学物理与电子信息学院物理专业博士项目并开展联合培养。烟台大学自然科学与技术学院、物理学院的博士生导师及烟台大学物理与电子信息学院物理专业博士生导师共同担任联合培养导师，通过导师的指导和培养，共同培养联合培养博士项目。</p> <p>二、烟台大学的博士项目年限一般为3-5年，学生在烟台大学自然科学与技术学院物理专业或电子信息学院物理专业攻读博士学位，并由烟台大学物理与电子信息学院物理专业博士生导师担任导师，共同培养联合培养博士项目。</p> <p>三、烟台大学物理与电子信息学院物理专业博士生导师和烟台大学自然科学与技术学院物理专业博士生导师共同担任联合培养导师，共同培养联合培养博士项目。</p> <p>四、项目博士生用于烟台大学自然科学与技术学院，其学费由烟台大学物理与电子信息学院物理专业博士生导师承担，其生活费由烟台大学自然科学与技术学院物理专业博士生导师承担。</p> <p>五、参与本项目的教师、实验、差旅费由各导师承担。</p> <p>六、双方成立烟台大学物理与电子信息学院物理专业联合培养研究中心。</p> <p>烟台大学 物理与电子信息学院 院长: 王中训 日期: 2022.11.11</p>	<p>七、鼓励双方教师进行学术交流、开展科研工作。</p> <p>八、本协议由汉语和韩语两种文本构成，一式两份，具有同等效力，协议有效期为五年，自双方签字之日起生效，经双方协商同意后，可延长或修改此协议。本协议任何一方若终止此协议，在不影响项目正常实施的情况下，须提前6个月以书面形式通知对方。</p> <p>九、本协议中的未尽事宜由双方协商解决。</p> <p>烟台大学 自然科学与技术学院 系主任: SoonJae Moon 日期: 2022.11.11</p> 

- 중국 HPSTAR와 LOI 체결 (2022.02.28.),
- 미국 University of Chicago와 연구참여 의향서 체결 (2022.03.08.)
내용: 양자물질 극한물성 분석 공동연구를 위한 인력 교류 및 공동연구 수행

<p style="text-align: center;">HPSTAR-HYU LOI</p> <p>LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN CENTERS FOR HIGH PRESSURE SCIENCE AND TECHNOLOGY ADVANCED RESEARCH AND HANYANG UNIVERSITY</p> <p>Center for High Pressure Science and Technology Advanced Research (hereinafter referred to as "HPSTAR"), having the address at 1500 Culin Rd, Building #6, Pudong, Shanghai 201203, P. R. China</p> <p>AND:</p> <p>Hanyang University, having the address at 17 Haengdang-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-781, Korea</p> <p>Conclude this Letter of Intent with respect to conducting a feasibility study as an initial stage to the commencement of research and educational programs to promote mutual understanding between the two institutions through research collaboration on quantum materials under extreme conditions.</p> <p>Background</p> <p>HPSTAR is a research institution of high pressure compression sciences (materials, chemistry, earth & planetary materials, synchrotron light source, energy and nano-science). In 2012, as one of the projects of China's "Top 1000 Talents" led by Dr. (Honorary) Wang Min, HPSTAR was established first in Shanghai, China, and now other two laboratories in Beijing and Changchun have started to operate.</p> <p>Hanyang University is a leading education and research institution established in 1939, Korea. Hanyang University has more than 20,000 and 10,000 for undergraduate and graduate students and 22 colleges in Seoul and Ansan campuses, and performs fundamental researches with more than 200 million U.S. dollars.</p> <p>2. Intent</p> <p>It is the intent of both HPSTAR and Hanyang University to start the feasibility study with a view to commencing a substantial collaborative research activities on high pressure and to provide assistance as the parties deem necessary and reasonable. This Letter of Intent is further intended to provide a guideline for studying the feasibility of possible future collaborative projects on quantum materials under extreme conditions.</p> <p>3. The Collaborative Research Activities</p> <p>Both institutions agree to actively promote the following activities for scientific and educational exchange and collaboration for the benefit of the two parties, and that both parties should be diligent in the accomplishing the following:</p> <p>- Hanyang University will endeavor to obtain research fund "BrainLink" from the National Research Foundation of Korea for the collaborative research effort, and HPSTAR will assist Hanyang University in obtaining the fund.</p> <p>- Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, HPSTAR will provide the necessary space for both HPSTAR to begin the feasibility study.</p>	<p>Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, HPSTAR will endeavor to commence a substantial collaboration and to establish the "Center for Quantum Materials under Extreme Conditions" at Hanyang University as a joint research program at Hanyang University.</p> <p>4. Term of Validity of this Letter of Intent</p> <p>This Letter of Intent shall become effective from the date of its signing by the representatives of both institutions and shall remain in force for a period of two (2) years. If any questions on any part of the Letter of Intent arise, each institution shall consult with the other in good faith to find a solution. Either party can terminate the agreement with a formal notice in writing to the other party six (6) months in advance. Both institutions agree to amicably discuss the next step at the time of expiration or termination.</p> <p>5. Modification</p> <p>Any modification or amendment of this Letter of Intent shall be made on the basis of mutual written understanding.</p> <p>6. Authentic Text</p> <p>Each Party shall sign two identical copies of this Letter of Intent, and retain one copy. The parties hereto have signified their acceptance of this Letter of Intent by signing below.</p> <p><i>Ho-Kwang Moon</i> Ho-Kwang (Dae) Moon, Ph. D. Director HPSTAR Date: February 28, 2022</p> <p><i>Woo-Sung Kim</i> Woo-Sung Kim, Ph. D. Professor Hanyang University Date: February 28, 2022</p>
---	---

<p style="text-align: center;">University of Chicago, USA, 연구참여 의향서</p> <p>THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRINCIPAL SCIENCE</p> <p>Office for Advanced Research Services Chicago, Illinois 60607-7100</p> <p>To the effect of the Korea National Research Foundation:</p> <p>By means of this letter we would like to confirm our willingness to participate as a foreign partner researcher in the project "Center for Quantum Materials under Extreme Conditions" led by Prof. Ho-Kwang Kim at the Hanyang University. We understand that this grant will enable us to strengthen and foster a community of researchers in the field of quantum materials under Korea by establishing a network of like-minded research and educational researchers with the aim of sharing research and educational experiences. We are happy to consider ways that our team can contribute towards the goal by sharing research exchange visits to Korea as being members from the Institute involved, subject to the University of Chicago's policies and any applicable laws and regulations. This offer could lead to a memorandum of understanding to facilitate cross-institutional collaboration.</p> <p>Our recent grant at the University of Chicago identifies key opportunities for investigation of research and applied projects of quantum materials under high pressure and high temperature conditions. Access to sample characterization and generation of pre-synthesized quantum materials as the research goal will create advanced conditions and prior first-hand knowledge combined with confocal spectroscopy and high-resolution synchrotron x-ray techniques. The acquisition of the qualified Advanced X-ray (AXS) beam 11 at the Advanced Photon Source (Argonne National Laboratory, Argonne, IL) are vital for our proposed x-ray diffraction experiments of various conditions. For this reason, we would like that should be able to provide reasonable insights for our generation of quantum state. We are hopeful that the cross-cooperation that will be enabled by the research grant will accelerate the growth of a community of researchers in the field of quantum materials under Korea, and that the researchers will benefit beyond the duration of the grant.</p> <p>With best regards,</p> <p><i>Yoon Park</i> Yoon Park CAS, University of Chicago 5700 S. Camp Ave., Argonne, IL 60439 Phone: (630)252-6489 Email: yoonpark@cas.uchicago.edu</p>	<p><i>Woo-Sung Kim</i> Woo-Sung Kim, Ph. D. Professor Hanyang University Date: February 28, 2022</p>
--	--

4단계 BK21 사업

Ⅲ.1.2.① 참여교수
대표연구업적물의 우수성

대표업적물 : <표3-2> 사업 참여 기간 내 참여교수 대표업적물 실적

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
1	김은규	20200901	20220831		반도체	저널논문	①	메틸암모늄 납 할라이드 페로브스카이드	Methylammonium lead halide perovskites
							② Defect suppression and photoresponsivity enhancement in methylammonium lead halide perovskites by CdSe/ZnS quantum dots	CdSe/ZnS 양자점	CdSe/ZnS quantum dots
							③ JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE	깊은 준위 과도 분광법	Deep level transient spectroscopy
							④ 590, 19	결함 억제	Defects suppression
							⑤ 0명	광감도 향상	Photoresponsivity enhancement
							⑥ 2021.05.15		
							⑦ 10.1016/j.jcis.2021.01.037		
<p>페로브스카이 태양전지의 안정성 향상과 발광 특성 개선을 위해 표면 패시베이션 및 페로브스카이트 재료 할로겐화물 혼합과 같은 방법이 활용되고 있다. 이 연구에서는 메틸암모늄(MA) 납 할라이드 페로브스카이트(CH₃NH₃PbX₃, X=I, Br)의 결함 상태 및 캐리어 수송에 CdSe/ZnS 코어-셸 양자점(QD)이 미치는 영향을 조사하기 위해 딥 레벨 과도 분광법을 사용하였다. CdSe/ZnS QD가 있는 MAPbI₃ 및 MAPbI₂Br 필름에서 valance band로부터 0.37 eV, 0.56 eV 위에 위치한 정공 트랩의 밀도가 크게 감소하고, valance band로부터 0.78 eV, 1.08 eV 위에 존재하는 깊은 트랩이 제거되고 하나의 전자 트랩 신호가 우세해짐을 발견하였다. 600 nm 파장의 빛과 -0.7 V의 바이어스 전압에서 필름 광감응도는 10 및 18 mA/W로 QD가 없는 페로브스카이트의 값인 0.1 및 0.67mA/W보다 각각 100배 및 27배 향상되었다. 이는 결함 억제로 인해 캐리어 전송이 향상되었음을 보여준다. 결함 억제 및 감광성 향상에 대한 본 연구결과는 고성능 태양전지 제조를 최적화하기 위한 중요한 방향을 제공한다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
2	김은규	20200901	20220831		반도체	저널논문	①	이황화몰리브덴	molybdenum disulfide (MoS2)
							② High Performance MoS2/p+-Si heterojunction field-effect transistors by interface modulation	전이금속 디칼코게나이드	transition metal dichalcogenide
							③ NANO RESEARCH	접합 전계 효과 트랜지스터	junction field-effect transistor
							④ 15(7), 6500	유전체 층	dielectric layer
							⑤ 0명	인터페이스 트랩	interface trap
							⑥ 2022.04.30		
							⑦ 10.1007/s12274-022-4263-0		
<p>전이 금속 디칼코게나이드 물질인 이황화 몰리브덴(MoS2)은 우수한 전자 특성으로 인해 전자 또는 광전자 장치용으로 유망한 반도체 재료이다. 그러나 MoS2를 이용한 금속산화물 반도체 전계효과트랜지스터 (MOSFET) 구조에서는 채널과 유전층 사이의 계면 트랩 밀도에 의해 이동도 및 임계치 이하 스윙 (subthreshold swing)과 같은 전기적 성능이 억제된다. 또한 이러한 구조의 전기적 안정성은 인터페이스 트랩으로 인해 손상되며 전류 히스테리시스 및 과도 특성을 통해 분석할 수 있다. 본 연구에서는 MoS2/p+-Si 헤테로접합을 적용하여 MoS2 헤테로접합 전계 효과 트랜지스터(HFET)를 시연하고 636.19 cm²/(V·s)의 이동도, 67.4 mV/dec의 임계값 스윙, 최소 0.05V의 히스테리시스 및 과도 특성을 최소화하였다. 그러나 채널 길이가 다른 HFET 장치는 채널과 유전층의 겹침 면적이 증가함에 따라 전기적 성능이 저하되는 것으로 나타났다. MoS2/p+-Si HFET에 관한 본 연구 결과는 실용적인 응용을 위한 고성능 전자 장치의 구조 최적화에 대한 방법을 제시한다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
3	김재용	20200901	20230228		분광/구조특성	저널논문	①	C60	C60
							② Tunable electrical properties of C60-m-xylene and the formation of semiconducting ordered amorphous carbon clusters under pressure	카본	carbon
							③ NANO RESEARCH	전기적특성	Electric property
							④ 15(4), 3788	비정질	Amorphous
							⑤ 0명	압력	Pressure
							⑥ 2022.01.06		
							⑦ 10.1007/s12274-022-4092-1		
<p>임피던스 분광법, 4탐침 저항 측정 및 라만 분광법을 사용하여 압력 하에서 C60-m-자일렌의 수송 및 구조적 특성을 체계적으로 조사하였다. C60-mxylene은 대기압에서 절연체이지만, 라만 연구에서 확인된 바에 따르면 압력이 가해질 경우 C60의 이합체화로 인해 약 8 GPa의 압력에서 저항이 급격히 감소하는 것을 확인하였다. 저항의 온도 의존성을 측정한 결과 8~27 GPa에서 반도체 특성을 나타내는 바, 이는 Mott의 3차원 가변 범위 호핑 모델(3D-VRH)에 의해 잘 설명된다. 즉 본 연구결과는 압력을 가함에 따라 절연-반도체 전환이 가능함을 증명한다. 저항과 호핑 에너지는 둘 다 압력에 따라 단조롭게 감소하고 24 GPa 근처에서 최소값에 도달함을 밝혔다. 일정 압력 이상에서는 저항 및 호핑 에너지 값이 상승하기 시작하여 압력에 의한 OACC 형성에 기인한 또 다른 반도체 상태로의 전이를 시사하였다. 전기전도도는 24 GPa 이상에서 감압하는 동안 큰 히스테리시스를 보여주어 풀러렌이 유지된 시료와 OACC의 다른 수송현상 또한 확인하였다. 이러한 결과는 용매화물을 도입함으로써 C60 플러린의 수송특성을 조절할 수 있는 가능성을 제시하였다는데서 의미가 있다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
4	김재용	20200901	20230228		분광/구조특성	저널논문	①	준결정체	Quasicrystal
							② Quantitative probing of hydrogen environments in quasicrystals by high-resolution NMR spectroscopy	수소	Hydrogen
							③ ACTA MATERIALIA	NMR	NMR
							④ 226, 117657	비정질	Amorphous
							⑤ 0명	압력	Pressure
							⑥ 2022.03.31		
							⑦ 10.1016/j.actamat.2022.117657		
<p>TiZr을 기반으로 하는 준결정체는 결정체에서 보이는 원자의 주기성을 보이지 않지만 5축 회전대칭성을 보인다는 점에서 비정질과 구분된다. 하지만 이러한 구조적 특이성 때문에 준결정체를 이루는 원자들의 정확한 원자배열을 알 수가 없었는 바, 수소원자를 각 금속원자들 사이, 즉 interstitial site에 주입하여 수소원자를 둘러싸고 있는 주변 금속원자들의 배열을 확인함으로써 준결정체의 local structure를 규명할 수 있었다. 즉, TiZrNi로 이루어진 준결정체는 icohshedron이라는 20면체를 기본 구조체로 하면서 격자공간은 주로 Ti 과 Zr으로 이루어진 tetragonal 구조로 이루어졌음을 규명하였다. 또한 이러한 화학적 배열 때문에 많은 양의 수소를 가역적으로 저장할 수 있다는 사실도 설명할 수 있었다. 참고로 이는 NMR을 이용하여 tetragonal insterstitial 공간을 빠르게 이동하는 수소원자의 hopping 주기도 측정하였는 바, 이는 준결정체 뿐 아니라 일반 결정체 그리고 심지어 비정질체의 local structure를 규명하는데도 도움이 되리라 판단된다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
5	김재용	20200901	20230228		분광/구조특성	저널논문	①	이합체화반응	Electric property
							② Dehydro-Diels-Alder reaction and diamondization of bowl-shaped clusters C ₁₈ Te ₃ Br ₄ (Bu-O) ₆	결정분석	XRD
							③ NANO RESEARCH	전기적특성	Raman
							④ 15(5), 4606	라만분광	Dimerization
							⑤ 0명	압력	Pressure
							⑥ 2022.02.27		
							⑦ 10.1007/s12274-022-4215-8		
<p>본 연구에서는 압력 인가에 따른 Dehydro-Diels-Alder(DDA) 반응을 조사하였다. 통상적으로 DDA 반응은 용액에서 6원 고리가 형성되는 대표적인 반응이지만 고체 합성물에서는 관찰하기 힘든 반응으로 제한적으로 사용되는 반응이다. 본 논문에서는 이러한 DDA 반응의 단점을 극복하고자 전기화학 임피던스 분광법을 통해 그릇 모양의 클러스터인 C₁₈Te₃Br₄(Bu-O)₆를 대상으로 압력에 따른 결과를 보고하였다. 결과적으로, 고체 합성물에서 압력이 증가함에 따라 DDA 반응이 일어날 수 있는 것을 확인하였으며, 분자 내 sp² 결합에서 분자 간 sp³ 결합으로 결합이 전환되면서 다이아몬드에서와 같은 공유결합 형태를 보였다. 또한, C₁₈Te₃Br₄(Bu-O)₆는 일정 범위의 높은 압력 하에서 불완전한 가역성을 보였고, 감압 과정에서 유리 탄소의 흑연화 현상을 보였다. 이러한 고압 조건에서 수행한 C₁₈Te₃Br₄(Bu-O)₆의 연구 결과는 다른 수송 특성을 가진 결정질 탄소 재료를 구축하는 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
6	문순재	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	전자 상호 작용	Electronic correlations
							② Doping and temperature evolutions of optical response of Sr3(Ir1-xRux)2O7	스핀-궤도 결합	Spin-orbit coupling
							③ SCIENTIFIC REPORTS	금속-비금속 전이	Metal-insulator transition
							④ 10(1), 22340	전하-스핀-격자 상호작용	Charge-spin-lattice coupling
							⑤ 0명	적외선 분광학	Infrared spectroscopy
							⑥ 2020.12.18		
							⑦ 10.1038/s41598-020-79263-5		
<p>전자 상호 작용과 강한 스핀-궤도 결합에 의해 유도되는 유효총각운동량 1/2 모트 절연체 상태를 보이는 Sr3Ir2O7은 고온 초전도체인 구리 산화물과의 유사성으로 인해 많은 관심을 받고 있다. 특히 유효총각운동량 1/2 모트 상태에 전하를 도핑하여 비금속-금속 전이를 유도하고 그 과정에서 파생되는 다양한 상을 연구하는 것이 중요한 연구주제이다. 본 연구에서는 Sr3Ir2O7에 Ru을 치환할 때 나타나는 전자 구조의 변화를 적외선 분광 실험을 이용하여 연구하였다. Ru 치환은 계에 정공을 도핑함으로써 연속적인 비금속-금속 전이를 유도할 것으로 기대되었다. 하지만, 적외선 분광 실험을 통해 Ru 치환에 의해 도핑된 정공이 물질 내에 국소화되어 존재하고, Ru 농도가 임계값에 도달했을 때 급작스런 비금속-금속 전이가 일어남을 밝혔다. 이는 비금속-금속 전이가 percolation에 의한 것임을 의미한다. 또한, 전자 구조와 격자 진동 모드에 대한 분석을 통해 비금속-금속 전이 과정에서 전하, 스핀, 격자가 강한 상호 작용을 하고 있음을 밝혔다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
7	문순재	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	위상 마그논	Topological magnon
							② Topological Magnon Band Crossing in Y2Ir2O7	파이로클로르 이리듐산화물	Pyrochlore iridate
							③ PHYSICAL REVIEW LETTERS	라만 분광	Raman spectroscopy
							④ 127(26), 267203	스핀-궤도 결합	Spin-orbit coupling
							⑤ 0명	전자 상호 작용	Electronic correlations
							⑥ 2021.12.23		
							⑦ 10.1103/PhysRevLett.127.267203		
<p>위상 특성은 위상 절연체, 비정상 홀 효과, 위상 초전도체와 같은 흥미로운 현상들을 유도하는 원인으로서 응집 물질 물리 학계의 많은 관심을 받고 있다. 현재까지 응집 물질의 위상 특성에 대한 연구의 대부분은 물질을 구성하는 전자의 밴드 구조에 관한 것이었다. 그러나, 밴드 구조의 위상 특성은 주기성을 갖는 계에서는 계를 구성하는 입자의 종류와 무관하게 나타날 수 있다.</p> <p>최근에는 전자의 스핀으로 이루어진 계의 위상 특성에 대한 관심이 높아지고 있다. 부도체 자성 물질의 마그논 (magnon) 밴드 구조가 위상 특성을 가질 경우, 전하를 띠지 않는 마그논의 특성으로 인해 에너지 손실이 없는 스핀 수송 현상이 나타날 수 있다. 이는 학문적으로 흥미로운 연구 주제일 뿐 아니라 스핀트로닉스 소자에도 활용될 수 있다. 본 연구에서는 라만 산란 분광 실험을 통해 반강자성 부도체인 Y2Ir2O7, Eu2Ir2O7, Sm2Ir2O7의 마그논 밴드 구조를 연구하여, R2Ir2O7에서 희토류 원소의 종류에 따라 마그논 밴드의 위상 상전이가 일어남을 발견하였다. 본 연구 결과는 R2Ir2O7가 마그논 밴드의 위상 특성 제어가 가능한 물질군임을 보임으로써 이들 물질의 마그논 밴드 위상 특성에 대한 실험 연구를 촉진시킬 것으로 기대된다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
8	문순재	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	전자 상호 작용	Electronic correlations
							② Low-energy interband transition in the infrared response of the correlated metal SrVO3 in the ultraclean limit	비페르미 액체	Non-Fermi liquid
							③ PHYSICAL REVIEW B	띠 간 전이	Interband transition
							④ 106(8), 085133	전이금속 산화물	Transition metal oxides
							⑤ 0명	적외선 분광학	Infrared spectroscopy
							⑥ 2022.08.24		
							⑦ 10.1103/PhysRevB.106.085133		
<p>전자 상호 작용이 강한 강상관 금속이 보이는 비페르미 액체 현상은 응집물질물리 학계가 풀지 못하고 있는 중요한 문제이다. 최근 동적 평균장 이론을 이용하여 강상관 금속의 비페르미 액체 현상이 페르미 액체 온도 이상에서도 존재하는 "resilient quasiparticles"로 기술될 수 있음이 제안되었으며, 이 결과를 활용하여 대표적인 강상관 금속인 Sr2RuO4의 광전도도를 성공적으로 설명한 바 있다. 본 연구에서는 강상관 금속 SrVO3 박막의 광전도도를 연구하였다. 기존의 SrVO3보다 불순물 농도가 수십배 이상 작은 SrVO3 박막 시료에 대한 적외선 분광 측정을 통해 SrVO3의 낮은 에너지 광전도도가 resilient quasiparticles이 아닌 매우 좁은 드루드 전이와 낮은 에너지에 존재하는 띠간 전이로 기술됨을 밝혔다. 본 연구는 Pennsylvania State University, Columbia University 연구진과 공동으로 진행하였으며, 연구결과의 우수성을 인정받아 Physical Review B의 Editors' Suggestions로 선정되었다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
9	송석호	20200901	20230228		나노 광학	저널논문	①	위상광학	Topological optics
							② Topological guided-mode resonances at non-Hermitian nanophotonic interfaces	나노광학	Nanophotonics
							③ NANOPHOTONICS	비-허미시안 광학	Non-Hermitian photonics
							④ 10(7), 1853	광자결정	Photonic Crystal
							⑤ 0명	공명광학	Resonance photonics
							⑥ 2021.04.05		
							⑦ 10.1515/nanoph-2021-0024		
<p>인공 광자 시스템에서 합성 차원 개념은 잠재적인 장치 응용 프로그램뿐 아니라 가상 토폴로지 현상을 탐색하기 위한 새로운 방법을 제공한다. 가상의 위상 현상을 탐색하기 위한 새로운 방법으로, 이중층 공진 격자 구조에서 2차원 위상 노드 위상의 나노 광자 발현을 제시하였다. 이중층 공명 격자 구조. 위상학적 반금속과 수직 비대칭 광자 격자 사이의 수학적 유사를 사용하여 층간 이동이 2차원 토폴로지 위상을 생성하기 위한 추가 모멘텀 차원을 시뮬레이션하였다. 위상적으로 사소하지 않은 영역에서 복잡한 갭이 없는 밴드 구조와 국소화된 가장자리 상태를 생성하는 두 개의 절점을 보여주는 이론적인 모델과의 수치분석을 제시하였다. 본 연구에서는 단순한 저차원 광자 구조에서 고차원 위상 효과를 생성하기 위한 실용적인 계획을 제공하였다. 추가적으로 층간 이동을 제어하여 편평한 가상 밴드를 형성할 수 있을 뿐 아니라 실제 밴드 구조와 가상 밴드 구조를 동시에 변경하여 연속체에서의 준 결합 상태 생성을 확인하였다. 이 속성을 활용하면 기존의 격자에서 고려되지 않은 간단한 매개변수 변경으로 공진 상태에서의 복사 손실을 효율적으로 제어할 수 있다. 따라서 이 결과를 통해 박막 나노 포토닉스 응용분야에서 토폴로지 Q인자 엔지니어링을 위한 방법을 만들 수 있다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
10	송석호	20200901	20230228		나노 광학	저널논문	①	합성 차원	Synthetic dimensions
							② Synthetic Topological Nodal Phase in Bilayer Resonant Gratings	인공 광자 시스템	Artificial photonic systems
							③ PHYSICAL REVIEW LETTERS	토폴로지 노드 상	Topological nodal phase
							④ 128(5), 53002	이중층 공진 격자 구조	Bilayer resonant grating structures
							⑤ 0명	고차원 토폴로지 효과	High-dimensional topological effects
							⑥ 2022.02.02		
							⑦ 10.1103/PhysRevLett.128.053002		
<p>인공 광학 시스템에서 합성 차원(synthetic dimensions) 개념은 가상의 토폴로지 현상 탐구와 잠재적인 장치 응용에 혁신적인 방법을 제공하기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 이중 반사격자 구조에서 2차원 토폴로지 노드 상의 나노광학적 표현을 제시하였다. 이론적 모델과 엄격한 수치 분석을 통해, 복소수의 간극 없는 밴드 구조와 위상 특성을 가지는 가장 자리 태를 생성하는 두 개의 노드 포인트를 확인하였다. 이러한 결과들은 단순한 저차원 광학 구조에서 고차원 토폴로지 효과를 실현할 수 있는 실용적인 방법을 제공할 수 있다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
11	송석호	20200901	20230228		나노 광학	저널논문	①	기하학적 위상	Geometric phase
							② Geometric-phase intraocular lenses with multifocality	다초점렌즈	Multifocal lens
							③ LIGHT-SCIENCE & APPLICATIONS	연속초점 렌즈	Extended focal lwns
							④ 11(1), 320	반응성고분자	Reactive mesogen
							⑤ 0명	나노 회절격자	Nanoscale grating
							⑥ 2022.11.02		
							⑦ 10.1038/s41377-022-01016-y		
<p>마이크로미터 두께의 기하학적 위상(GP) 렌즈 레이어를 포함하는 새로운 유형의 다초점 및 확장 초점 심도(DEOF) 안내렌즈(IOL)를 구현하였다. 수정체 위상 설계를 위한 새로운 접근 방식으로 다초점에서 기존 회절 IOL를 능가하는 동시에 표준 단초점 IOL 설계에 대한 추가 표면 패턴에 대한 임상적으로 어려웠던 부분을 해결하였다. GP IOL의 초점 수와 빛 분할 비율은 적층된 GP 레이어 수와 각각의 레이어 두께를 변경하여 조정할 수 있음을 보였다. 이중 초점 및 삼중 초점 GP IOL은 UV 경화형 액정 폴리머에서 이방성 방향의 방사형 정렬에 의해 제작하였다. GP IOL을 디 포커스 이미지 및 변조 전달 기능에서 특성화하여 다초점 및 EDOF IOL과 관련된 가장 일반적인 문제를 해결할 수 있었다. 계산된 값을 통해 GP IOL은 시야 흐림 및 광 산란 및 후방 캡슐 혼탁으로 인한 광 현상을 완화할 것으로 예상된다. 기하학적 위상 렌즈층 IOL은 기존 광-회절 접근법과 달리 빛 손실을 3% 이내로 줄일 수 있고, 임의로 원하는 위치에 다수의 초점을 만들거나 초점심도 확장형까지도 적용이 가능하다. 향후 신기술 창업을 통해 국산화뿐 아니라 글로벌 기업의 제품들과 경쟁할 수 있도록 보다 경제적이며 우수한 다초점 IOL 개발에 힘쓸 계획이다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
12	신상진	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	홀로그래피	Holography
							② Ginzberg-Landau-Wilson theory for flat band, Fermi-arc and surface states of strongly correlated systems	대칭성붕괴	symmetry breaking
							③ Journal of High Energy Physics	스펙트랄한다수	spectral function
							④ (1), 53	각분해광전자분광	ARPES
							⑤ 0명	제로모드	zero mode
							⑥ 2021.01.12		
							⑦ 10.1007/JHEP01(2021)053		
<p>16가지 유형의 로렌츠 대칭 깨짐을 고려하여 홀로그래피 맥락에서 다양한 유형의 위상 문제의 벌크 상태와 함께 표면 상태를 실현할 수 있음을 보였다. 질서변수가 있을 때 페르미온 스펙트럼 함수는 1) scalar의 경우 금속-절연체 상전이를 보였고 2) axial vector의 경우 Weyl 및 Dirac 물질의 Fermi-arc를 3) tensor의 경우는 콘도 격자 혹은 twisted bilayer graphene에서 관찰되는 flat band를 보여주었다. 또한, Gap을 가지는 스펙트럼의 경우 고온이 되었을 때, Pseudogap 상태를 보여주었다. 다양한 상의 존재는 이산 대칭에 의해 보호받는 제로 모드와 연관되며, 이 제로 모드는 surface mode와 연관되었음을 확인하였다. 벌크 이론의 질서변수 중 일부는 경계 관점에서 대칭 파괴에 대한 해석이 없기 때문에 '대칭 깨짐이 없는 질서변수'의 가능성이 생기는 바, 이러한 여러 가지 스펙트럼은 홀로그래피가 대칭 깨짐을 이용하여 여러 가지 위상 물질과 강상관 물질을 서술할 수 있다는 가능성을 제시하였다. 또한, 위의 상들은 현대 응집물질물리학에서 관심있는 상들이므로, 실험자료와 연계하여 비교하면 저온, 고압을 가지는 양자상태의 물리적 이해를 높일 수 있을 것으로 기대된다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
13	신상진	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	홀로그래피	Holography
							② The emergence of strange metal and topological liquid near quantum critical point in a solvable model	대칭성붕괴	symmetry breaking
							③ JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS	양자상전이	Quantum phase transition
							④ 2021(11), 207	이상한금속	strange metal
							⑤ 0명	페르미유체	fermi fluid
							⑥ 2021.11.26		
							⑦ 10.1007/JHEP11(2021)207		
<p>양자 임계점(QCP) 근처의 페르미온 스펙트럼에 대한 스칼라 condensation을 고려하여 금속에서 절연체로의 phase transition이 있으며 위상적으로 보호되는 localized zero mode가 AdS 공간의 경계에 존재함을 발견하였다. 이때, zero mode는 위상 절연체와 다르게 물질의 벌크에 존재하였다. 이로부터 양자 임계점 근방의 안정적인 위상적 액체의 존재를 예측하였다. 또한, T-linear resistivity를 갖는 strange metal phase가 블랙홀을 가지는 시공간에서 스칼라 질서 변수에 비해 블랙홀의 사이즈가 충분히 클 때 혹은 온도가 충분히 높을 때 나타남을 보였다. 상들을 구분하는 것에 관해 온도에 의존적인 붕괴계수를 analytic 하게 계산하여 실험에서 측정 가능한 값을 제시하였다. 또한, 강상관 계의 상도표에서 흔히 볼 수 있는 곡선들의 곡률에 대한 것을 홀로그래피로부터 쉽게 계산할 수 있음을 보였다. 이러한 발견에 힘입어 이후 "여러 가지 물질에서 일어나는 양자상전이점 부근에서의 strange metal 거동이 모두 같은 물리학에 의해 나타날 것인가"를 확인하려는 실험을 차원에 관하여 (1차원, 2차원, 3차원) 진행할 계획이다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
14	신상진	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	콘도 응축	kondo condensation
							② Observation of Kondo condensation in a degenerately doped silicon metal	홀로그래피	Holography
							③ NATURE PHYSICS	BCS 이론	BCS thoery
							④ N	갭	gap
							⑤ 0명	양자상전이	quantum phase transition
							⑥ 2023.02.06		
							⑦ 10.1038/s41567-022-01930-3		
<p>반도체는 약한 상호작용을 하는 물질로서 강상관계와 관계없다고 생각되어 왔다. 본 논문에서 취급한 물질은 매우 높은 불순물 농도를 갖는 물질이며 새로운 양자 기저상태를 발견 하리라고는 아무도 예측하지 못 하였다. 인을 도핑한 실리콘에 대한 연구에 의하면 1/100 ~ 1/1000 정도 도핑된 인 원자가 자성을 갖는다는 것이 알려져 있다. 이에 착안하여 인을 도핑한 실리콘이 보이는 물리 현상이 콘도현상과 관계가 있음을 제시하였고 갭을 갖기 위해선 기존의 이론이 여러 가지 콘도 커플링에 대한 평균을 취하는 것과는 달리 시스템 전체가 하나의 통일된 양자상을 가져야 함에 주목하였고 이를 위해 콘도 구름들이 서로 겹쳐 마치 BCS이론에서 쿠퍼페어의 응축이 일어나듯 여기서도 localized electron과 itinerant electron들이 스핀 0의 페어를 만들어 응축이 일어나야함을 제안하였다. 콘도 현상은 강상관계문제이고 무작위 불순물까지 더해지면 사실상 일반적인 방법론으로선 계산이 불가능 하다. 이를 해결하기 위해 양자상전이점에선 모든 스케일이 사라지고 격자의 모양이나 규칙성이 별로 중요하지 않게 되는 것과 양자상전이점이 AdS 블랙홀과 서로 짝이 됨을 이용하여 페르미온의 갭과 그 모양을 성공적으로 계산하여 실험과 일치함을 확인하였다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
15	정문석	20210301	20230228		반도체	저널논문	①	엑시톤	Excitons
							② Charge Recycling Mechanism Through a Triplet Charge-Transfer State in Ternary-Blend Organic Solar Cells Containing a Nonfullerene Acceptor	정공 이동	Hole transfer
							③ ACS ENERGY LETTERS	재결합	Recombination
							④ 6(7), 2610	태양 전지	Solar cells
							⑤ 0명	박막	Thin films
							⑥ 2021.07.09		
							⑦ 10.1021/acsenergylett.1c01049		
<p>본 연구에서는 삼원 혼합 유기 태양 전지 (OSCs)의 전하 생성 메커니즘에 대한 푸시-풀 공액 폴리머의 사이드 그룹 및 백본 확장 효과를 조사하였다. 과도 흡수 분광법 결과를 통해 삼중항 엑시톤이 유도됨을 밝혔다. 공액 폴리머 확장이 비풀러렌 수용체로부터 오는 정공 이동 효율을 증가시켰고, 미세하게 혼합된 형태로 인해 비쌍둥이 재조합에 의해 삼중항 여기자가 형성되었다. 특히, 삼중항 엑시톤으로의 전하 이동 삼중항 여기 상태 완화는 3원 혼합필름에서 pC71BM에 의해 효율적으로 억제되었다는 점에서 혁신적인 결과를 얻었다. 이는 ITIC에서 공액 폴리머로의 정공 이동에 의해 생성된 자유 캐리어의 재활용을 야기하고, 삼원 혼합 형태의 최적화를 통해 OSCs의 효율을 증가시켰다. 이 결과는 광유도 정공 이동을 통한 전하 생성 메커니즘에 대해 새로운 통찰력을 제공한다는 점에서, 고분자 유기물의 원자 수준 상호작용에 의한 극한의 미세 양자 거동에 대한 이해에 도움을 주었다. 본 결과는 유기 태양전지의 효율 증가에 기여할 것으로 기대된다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
16	정문석	20210301	20230228		반도체	저널논문	①	그래핀	Graphene
							② Raman Scattering Measurement of Suspended Graphene under Extreme Strain Induced by	나노압입	Nanoindentation
							③ ADVANCED MATERIALS	라만 분광법	Raman scattering
							④ 34(30), 2200946	초고 변형	superhigh strain
							⑤ 0명	원자 현미경	Atomic force microscopy
							⑥ 2022.05.30		
							⑦ 10.1002/adma.202200946		
<p>“변형공학”을 이용하여 이차원 물질의 구조적 변형을 통해 물리적 특성을 조절하려는 노력이 끊임없이 진행되어 왔다. 기존 연구에서는 멤브레인 전체 영역에 하중을 적용하여 5.6% 이하의 낮은 변형을 유도했으며, 이러한 방법은 파열될 가능성이 높다는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 원자힘현미경 압입을 이용하여 점하중만 멤브레인에 이축으로 적용하여 이차원 물질에 6.1%의 높은 변형을 적용하였다. 간단한 방법을 이용하여 점 영역에 하중을 적용하여 파열 없이 높은 변형을 적용했다는 점에서 창의적이며, 그래핀의 G 및 2D 밴드 라만 신호의 각각 282 및 684 cm⁻¹ 만큼의 적색 편이는 전례없는 기록이다. 파열되지 않는 선에서의 그래핀 극한 변형을 통한 물리적 특성 변화 관찰이라는 연구 주제는 BK 교육연구팀의 비전과 목표에 해당하는 극한 물성 분야에 부합한다. 또한 라만 분광기와 원자 현미경의 결합을 통해 라만 신호를 증폭하고 날카로운 팁을 이용한 새로운 표면정보를 얻는 기술은 라만 분광학 분야에 매우 큰 기여를 할 것으로 기대된다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
17	조준형	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	전자화물	Electride
							② Ferromagnetic Weyl Fermions in Two-Dimensional Layered Electride Gd ₂ C	강자성	Ferromagnetics
							③ PHYSICAL REVIEW LETTERS	바일 페르미온	Weyl Fermion
							④ 125(18), 187203	토폴로지	Topology
							⑤ 0명	베리 곡률	Berry curvature
							⑥ 2020.10.29		
							⑦ 10.1103/PhysRevLett.125.187203		
<p>최근, 2차원 층상 구조의 전자화물은 양이온 층 사이의 공간에서 다이온 전자를 갖는 새로운 종류의 물질로 등장하였다. 본 연구에서 우리는 제1 원리 계산을 기반으로 2차원 층상 강자성 전도체 Gd₂C에서 시간 역대칭 파괴 바일 반금속 위상을 발견하였다. 원자구조로부터 오는 결정장은 페르미 에너지 근처에서 격자 간 전자 상태와 Gd-5d 궤도를 혼성하여 밴드 반전을 형성하는 것을 확인하였다. 한편, 강자성 정렬은 스핀-궤도 결합을 통해 여러 쌍의 바일노드로 변환되는 두 개의 바일 노드선을 유도하였다. 또한 바일노드를 연결하는 Fermi-arc 표면 상태를 확인하였고, 바일 노드선에 의해 생성된 Berry 곡률로 인한 큰 비정상 홀 전도도를 예측하였다. 우리의 연구 결과는 실온 강자성 전자화물 Gd₂C에서 바일 페르미온의 존재를 보여주어 전자화물 재료와 자기 바일 물리학 간의 흥미로운 상호작용을 조사 할 수 있는 새로운 플랫폼을 제공하였다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
18	조준형	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	①	2차원 물질	2D materials
							② Spontaneous folding growth of graphene on h-BN	그래핀	Graphene
							③ NANO LETTERS	자발적 접힘	Spontaneous folding
							④ 21(5), 2033	헥사그램 이중층	Hexagram bilayer
							⑤ 0명	그래핀 소자	Graphene device
							⑥ 2021.02.23		
							⑦ 10.1021/acs.nanolett.0c04596		
<p>그래핀은 다양한 특성을 활용하기 위해 자주 사용되는 구조 엔지니어링과 함께 많은 연구의 대상이 되어 왔다. 특히, 그래핀 종이접기의 개념은 흥미로운 기계적, 전자적, 광학적 특성과 함께 준 3차원 그래핀 구조의 디자인에 영감을 주었다. 그러나 폴딩 프로세스를 정확하게 제어하는 것은 여전히 큰 과제로 남아 있다. 본 연구를 통하여 h-BN 기판에서 그래핀의 자발적인 접힘 성장을 발견하였다. 간단한 화학 기상 증착 방법을 채택함으로써 접힌 가장자리는 두 개의 적층된 그래핀 층이 1300°C까지의 성장 온도에서 결합 가장자리를 공유할 때 형성된다. 수행한 제1원리 계산 결과, 접힌 가장자리가 있는 이중층 그래핀은 열린 가장자리가 있는 것보다 더 안정적인 것으로 입증하였다. 이 새로운 성장 모드를 활용하여, 완전히 밀봉된 가장자리를 포함하는 헥사그램 이중층 그래핀이 결국 실현될 수 있다. 본 연구 결과는 새로운 접이식 차원의 그래핀 장치를 설계하는 경로를 제공하며, 미국 화학회의 저명한 학술지인 NANO LETTERS에 게재되었다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
19	조준형	20200901	20230228		강상관물질계	저널논문	대표연구업적물 우수성		
							①	초수소화물	Superhydrides
							② Formation Mechanism of Chemically Precompressed Hydrogen Clathrates in Metal Superhydrides	화학적 압축	Chemical Precompression
							③ INORGANIC CHEMISTRY	안정화압력	Stabilization pressure
							④ 60(17), 12934	이온결합	Ionic bonding
							⑤ 0명	공유결합	Covalent bonding
							⑥ 2021.08.09		
							⑦ 10.1021/acs.inorgchem.1c01340		
<p>최근 메가바 압력에서 압축된 수소화물인 H3S와 LaH10에서 높은 Tc 초전도성의 실험적 발견은 다양한 초전도 초수소에 대한 탐색을 촉발했으며, ThH10과 ThH9인 토륨 초수화물이 LaH10보다 훨씬 낮은 압력에서 안정화되는 것이 실험적으로 관찰되었다. 제1원리 밀도범함수 이론 계산에 기초하여, ThH10과 ThH9의 고립된 Th 격자가 LaH10의 La 격자보다 층간 영역에서 상대적으로 더 많은 잉여 전자를 가지고 있음을 밝혔다. 이러한 층간 잉여 전자는 금속 원자를 둘러싼 다이온 H 케이지의 형성에 쉽게 참여한다. 양이온 Th 원자와 다이온 H 케이지 사이의 쿨롱힘은 LaH10의 쿨롱힘보다 더 강할 것으로 추정되며, 따라서 ThH10과 ThH9에서 더 큰 화학적 사전 압축을 발생시킨다. H 클라트레이트의 이러한 형성 메커니즘은 CeH9, PrH9 및 NdH9와 같은 다른 초수체에도 적용될 수 있다. 본 연구 결과는 고압 초수소화물의 분리된 금속 격자에서 층간 잉여 전자가 H 포접물의 화학적 사전 압축을 생성하는 데 중요한 역할을 한다는 것을 보여주었다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
20	천상모	20210301	20230228		강상관물질계	저널논문	①	디랙준금속	Dirac semimetal
							② Emergence of topological superconductivity in doped topological Dirac semimetals under symmetry-lowering lattice distortions	위상초전도체	topological superconductor
							③ SCIENTIFIC REPORTS	대칭성 분석	symmetry analysis
							④ 11(1), 18539	마요라나 페르미온	Majorana fermion
							⑤ 0명	상 다이어그램	phase diagram
							⑥ 2021.09.17		
							⑦ 10.1038/s41598-021-97982-1		
<p>디랙 준금속에 압력을 가하면, 저온에서 초전도 상태와 zero-bias conductance peak이 실험으로 보고되어, 마요라나 페르미온이 존재하는 위상초전도체일 것이라는 예상이 있었으나, 이론적으로 그 메커니즘이 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는 디랙 준금속이 격자 뒤틀림에 의해 대칭성이 낮아질 때, 가능한 위상초전도 상태와 마요라나 페르미온의 존재를 군론(group theory)을 이용하여 분류하고 조사하였다. 그 결과 격자뒤틀림이 초전도체에 표면에 마요라나 페르미온의 생성을 유도할 수 있다는 것을 밝혔다. 갭 방정식(gap equation)을 풀어서, 초전도 상태 다이어그램을 구하였으며, 흥미롭게도, 격자 뒤틀림의 종류와 쿠퍼 쌍의 종류에 따라서, odd parity 초전도 상태와 nodal superconductor 상태가 허용되는 것을 밝혔다. 본 연구는 위상초전도체와 마요라나 페르미온의 존재에 대한 실험들을 설명하는데 도움이 될 것으로 기대된다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
21	천상모	20210301	20230228		강상관물질계	저널논문	①	전하밀도파	charge density wave
							② Circular Dichroism of Emergent Chiral Stacking Orders in Quasi-One-Dimensional Charge Density Waves	손지기 성질	chirality
							③ PHYSICAL REVIEW LETTERS	범한다수밀도이론	density functional theory
							④ 128(4), 46401	나노와이어	nanawire
							⑤ 0명	원형이색성	circular dichroism
							⑥ 2022.01.25		
							⑦ 10.1103/PhysRevLett.128.046401		
<p>준1차원 전하밀도파 시스템(charge density wave system; CDW)에서 손지기(chirality)가 발현될 수 있다는 것을 최초로 밝힌 연구결과이다. DFT와 이론 계산을 사용하여 CDW와 원형 편광빛의 상호작용을 분석하였다. 우리가 고려한 Si(111) 표면의 자체 조립(self-assemble)된 인듐 나노 와이어는 자발적인 거울 대칭성 붕괴에 의해서 기하학적 손지기성질(chirality)을 가지는 4개의 중첩된 CDW 구조를 가진다. 이러한 기하학적 손지기성은 준 1차원 전하밀도파를 1차원 방향에 수직으로 쌓을 경우에 자연스럽게 광학 활성(optical activity)현상을 보일 수 있다. 본 연구에서는 손지기 적층 순서가 뚜렷한 CDW 시스템에서 원형이색성 (circular dichroism) 반응이 나타나는 반면에 비손지기(achiral) 적층은 원형이색성이 나타나지 않는다는 것을 밝혔다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
22	홍진표	20200901	20230228		반도체	저널논문	①	전자 소자	Electronic devices
							② Integrated neuromorphic computing networks by artificial spin synapses and spin neurons	전기전자공학	Electrical and electronic engineering
							③ NPG ASIA MATERIALS	뉴로모픽 컴퓨팅 네트워크	Neuromorphic computing networks
							④ 13(1), 11	스핀 시냅스	Spin synapse
							⑤ 0명	스핀 뉴런	Spin neurons
							⑥ 2021.01.29		
							⑦ 10.1038/s41427-021-00282-3		
<p>Neuromorphic 분야에서는 Neural network hardware로서 oxide 기반의 소자를 활용해왔으나, 높은 전력 소비가 문제가 되어, 저전력으로 구동되는 소자의 개발이 요구된다. 이에 따라, 본 연구에서는 저전력으로 구동이 가능한 spintronics 기반의 소자를 제작하였으며, synapse와 neurons device에 대한 개념과 intergrated neuromorphic network의 개념을 증명하였다. 박막에 물질을 증착 및 처리를 통한 perpendicular magnetic anisotropy가 나타나는 sample을 활용하여 2개의 spin-synapse와 1개의 spin-neuron을 통합한 구조의 소자를 제작하였다. 네트워크를 활용하였고, 간단한 패턴 분류 작업을 실험적으로 적용함으로써, neuromorphic computing network를 구성할 수 있는 가능성을 제시하였다. 추가로, 실험을 통해 결정된 매개 변수를 중심으로 시뮬레이션을 진행하였으며, 결과 spin-neurons/synapse 기반 신경망에서 높은 정확도(93%)를 산출하여, 보다 작고 효율적인 스핀 기반 신경망을 개발할 수 있는 가능성을 제시하였다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
23	홍진표	20200901	20230228		반도체	저널논문	③	페로브스카이트	perovskite
							② Methylammonium Compensation Effects in MAPbI ₃ Perovskite Solar Cells for High-Quality Inorganic CuSCN Hole Transport Layers	CuSCN 홀 이동층	CuSCN hole transport layer
							③ ACS Applied Materials & Interfaces	MAPbI ₃	excess methylammonium iodide
							④ 14(4), 5203	과잉 메틸아민요오드화합물	MAPbI ₃
							⑤ 0명	태양전지	solar cells
							⑥ 2022.02.02		
							⑦ 10.1021/acсами.1c18987		
<p>최근 연구 결과, 구리(I) 티오시안산염(CuSCN)이 페로브스카이트 태양전지의 홀 추출 재료(HEM)로서 잠재력이 있음이 밝혀졌다. 본 연구에서는 CuSCN을 HEM으로 사용하고 메틸아민 납 요오드화물(MAPbI₃) 페로브스카이트층과의 관계를 분석하였다. CuSCN은 디에틸설파이드(DES) 용액에 용해되어 MAPbI₃ 층 위에 스피ن 코팅된다. 고품질 및 밀도 높은 CuSCN 층을 위해서는 후속 열처리가 필요하며, 이를 위해 다양한 온도와 시간으로 후속 열처리를 수행하였다. 그러나 고온에서 오랫동안 후속 열처리를 하면 MAPbI₃가 PbI₂로 분해되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 MAPbI₃ 전구체 용액에서 메틸아민 요오드화물(MAI)과 PbI₂의 몰 비를 조절하였고, MAPbI₃ 표면 손상이 감소되는 것을 확인하였으며 적절한 후속 열처리 후에 MAPbI₃의 PbI₂로의 분해가 억제되었다. MAPbI₃ 전구체에서 MAI의 초과 몰 비는 MA 손실을 보상하고 후속 열처리 중 MAPbI₃에서 MAI + PbI₂로 상 분리를 효과적으로 억제시켰다. CuSCN 기반의 MAPbI₃ HEM 덕분에 기존의 스피로-OMeTAD보다 태양전지 성능이 최적화될 수 있음을 보였다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
24	홍진표	20200901	20230228		반도체	저널논문	①	전자소자	electronic structure
							② Designing Stable Deep-Blue Thermally Activated Delayed Fluorescence Emitters through Controlling the Intrinsic Stability of Triplet Excitons	엑시톤 안정	exciton stability
							③ ADVANCED OPTICAL MATERIALS	유기발광다이오드	organic light-emitting diodes
							④ 10(12), 2102309	열 활성화 지연 형광	thermal activated delayed fluorescence
							⑤ 0명	삼중항 엑시톤	Triplet Excitons
							⑥ 2022.06.20		
							⑦ 10.1002/adom.202102309		
<p>Thermally activated delayed fluorescence (TADF)는 효율적인 유기 발광 다이오드(OLED)를 제작하기 위해 필수적으로 연구되어야 한다. 그러나 파란색 TADF 방출체의 작동 안정성은 주요한 단점이며, 여기 상태 분자의 분해 과정에 대한 연구가 필요하다. 전형적인 TADF 방출체는 cycloamine 기부체와 방향족 수용체로 구성되며, 이에 해당하는 C-N 결합은 분자 구조에서 가장 약한 결합으로 간주되기에 더 안정적인 OLED를 설계를 위해 여기 상태에서 C-N 분리 메커니즘을 해석하는 것이 중요하다. 본 연구는 다양한 기능성 기체를 가진 카르보졸 기부체와 트리아진 수용체를 사용하여, 삼중 중합체의 위치가 작동 안정성을 향상시키는 핵심 요소임을 확인하였다. 또한 여기 상태의 삼중 중합체를 C-N 결합으로부터 멀리 배치하는 것이 전이 상태에서 분리 경로가 더 급격한 코닉셔널 교차점으로 이어지게 하여 더 높은 에너지 장벽을 가지게 된다는 결론을 얻었다. 따라서 수용체에 기능성 기체를 적절하게 도입하면 싱글-트리플 에너지 간격과 같은 전통적인 설계 요소를 희생하지 않고 기기 수명을 2.3배 증가시킬 수 있음을 확인하였다.</p>									

4단계 BK21 사업

Ⅲ.1.2.② 참여교수
저서, 특허, 기술이전, 창업 등
실적의 우수성

기타업적물 : <표3-3> 평가 대상 기간 동안의 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
1	김은규	20200901	20220831		반도체	특허	① 김은규,	박막의 결함검사장치	Thin Film Defect Inspection Device
							② 2단자 사이리스터 메모리 소자의 제조방법	페로브스카이트 층	Perovskite layer
							③ 대한민국	스핀코팅	Spin coating
							④ 10-2304793	결함 상태	Defect state
							⑤ 2021.09.15	데이터베이스	Database
<p>2단자 사이리스터 메모리 소자는 반도체 기술을 이용하여 제조되며, 제조 방법에 대한 설명은 다음과 같다. 먼저, P+ 형 도핑된 애노드층을 포함하는 사이리스터 구조체를 형성하는 단계가 있다. 이 단계에서는 반도체 소재를 이용하여 사이리스터 구조체를 만들고, 이 구조체에 P+ 형 도핑된 애노드층을 포함시킨다. 그 다음으로는 포토 레지스트를 코팅하는 단계가 있다. 이 단계에서는 사이리스터 구조체 상에 포토 레지스트를 코팅하여 다음 단계에서 사용할 식각 마스크를 형성한다. 다음은 식각 마스크를 형성하는 단계이다. 이 단계에서는 포토 레지스트가 코팅된 사이리스터 구조체 상에 식각 마스크를 만든다. 마지막으로, 식각 마스크가 형성된 사이리스터 구조체를 수산화 칼륨(KOH) 수용액으로 식각하여 2단자 수직형 사이리스터 메모리 소자를 형성하는 단계가 있다. 이 단계에서는 사이리스터 구조체를 식각하여 필요한 소자를 만든다. 또한, 사이리스터 구조체는 P+ 형 도핑된 애노드층을 식각 정지층으로 이용할 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 2단자 사이리스터 메모리 소자를 제조할 수 있다. 이 소자는 반도체 기술을 이용하여 제조되며, 다양한 분야에서 활용될 수 있다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
2	김은규	20200901	20220831		반도체	특허	① 김은규,	박막의 결함검사장치	Thin Film Defect Inspection Device
							② 박막 결함 검사용 데이터베이스의 구축 방법 그 데이터베이스를 이용한 박막의 결함 검사 방법 및 그 데이터베이스를 포함하는 박막의 결함 검사 장치	페로브스카이트 층	Perovskite layer
							③ 대한민국	스핀코팅	Spin coating
							④ 10-2195923	결함 상태	Defect state
							⑤ 2020.12.21	데이터베이스	Database
<p>이 특허는 박막 결함 검사용 데이터베이스 구축 방법과 데이터베이스를 이용한 박막의 결함 검사 방법 및 그 데이터베이스를 포함하는 박막의 결함 검사 장치에 관한 것이다. 이 기술은 기존의 박막 결함 검사 방법보다 빠르고 정확하게 박막 결함 검출 포인트를 예측할 수 있다. 이 기술의 구체적인 구현 방법은 다음과 같다. 먼저, 기준 박막을 준비한다. 이후, 기준 박막에 대해 온도에 따른 커패시턴스 값의 변화량을 측정하여, 온도에 따른 결함 준위들을 확인한다. 그리고 결함 준위들의 활성화 에너지를 계산하고, 활성화 에너지가 가장 높은 기준 결함 준위가 나타나는 온도를 기준 온도로 저장한다. 이 데이터베이스를 이용한 박막의 결함 검사 방법은 측정 대상 박막에서 커패시턴스 값을 측정하고, 데이터베이스에 저장된 기준 온도에 해당하는 온도에서의 커패시턴스 값을 예측하여, 박막 결함 검출 포인트를 예측한다. 이 기술은 박막 결함 검사 장치에도 적용될 수 있다. 이 기술은 박막 결함 검사를 더욱 효율적으로 수행할 수 있도록 하며, 제조 분야에서의 응용 가능성이 높다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
3	송석호	20200901	20230228		나노 광학	특허	① 송석호,	비가역 광소자	Nonreciprocal optical device
							② 비가역 광투과 소자 및 이를 포함하는 광학 장치	칩-직접형	Chip-integration type
							③ 중국	비보존계	Nonhermitian
							④ ZL201711283653.5	양자동역학	Quantum dynamics
							⑤ 2021.03.19	광 아이솔레이터	Optical isolator
<p>광 손실제어는 복소 굴절률을 갖는 광학 시스템을 구현하기 위해 반드시 필요한 기술이며, 복소 회절 격자, 단방향 반사체, 광 분리기, 광 순환기 등의 복소 굴절률 또는 복소 유전상수 변조가 필요한 광소자에 광범위하게 적용 가능하다. 단방향 모드전환 광 도파로 결합계와 두 개의 Y-branch를 이용하면 비가역 광소자를 구성할 수 있다. 순방향의 경우 기본모드로 입사된 빛이 Y-branch를 지나 대칭모드로 변환되고 단방향 모드변환기를 지난 후에도 대칭모드를 유지하여 다시 기본모드로 변환되어 통과한다. 역방향의 경우는 기본모드로 입사된 빛이 Y-branch를 지나 대칭모드로 변환되고 단방향 모드변환기를 지나 반대칭모드로 변환되어 출력 Y-branch에서 대칭 불일치로 인해 클래딩 영역으로 빠져 나간다. 이러한 광도파로 결합계 설계를 통해 실제 실리콘 도파로 결합계를 고안하였으며, 특이점 순회에 따른 파동함수의 상태 반전 관측을 실험적으로 확인하였다. 방향성 모드 전환의 증거로 특이점 순회 방향에 따른 도파로 두 도파 모드의 회절-간섭 측정을 고안하였으며, 순방향 도파는 대칭 모드의 간섭 결과이며, 역방향 도파는 비대칭 모드의 간섭이 나타남을 실험을 통해 검증하고 특허를 출원하였다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
4	정문석	20210301	20230228		반도체	창업	① 정문석	탐침 증강 라만 분광법	Tip enhanced Raman spectroscopy
							② 금속나노탐침제작기술 및 측정·분석	결함 분석	Defect analysis
							③ 표준분석랩	반도체	Semiconductor
							④ 3,000,000원	나노 물질	Nano materials
							⑤ 2022.02.10	표면 플라즈몬	Surface plasmon
<p>높은 재현성 및 안정성을 가진 금속 나노 탐침, 이를 활용한 TERS 장비 제품화를 통해 기존 라만으로 볼 수 없던 숨겨진 결함을 측정 가능하게 하는 특허이다. 재현성 80% 이상의 금속 나노 탐침을 제조할 수 있고, 국소 표면 플라즈몬 형성을 최적화한 탐침 제조 기술을 보유하여 기존 라만 대비 신호 강도를 100배 증가시켜 반도체 결함 분석 및 연구 활동에 크게 기여할 수 있다. 탐침이 개선된 TERS 장비를 이용해 반도체 및 탄소 분야에 대한 분석 서비스를 제공하여 연구자들이 활발한 연구 활동을 할 수 있게 기술적 지원을 할 수 있다. 또한 향상된 장비를 이용한 측정 결과 서비스를 제공하는 과정에서 회사의 연구 근로자들에게 실험과 이론을 겸비한 신진인력으로 성장할 기회를 주고, 이는 이후에 산학협력 응용연구에 기여할 수 있다. 라만의 개선된 공간 분해능과 신호 세기는 이전에 없던 나노 스케일의 물리 특성을 찾아낼 수 있게 해주고, 새로운 나노 물질 연구 분야를 열어줄 가능성을 높였다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
5	홍진표	20200901	20230228		반도체	기술이전	① 홍진표	스핀 뉴런 소자	spin neuron device
							② 스핀 궤도 토크를 이용하는 스핀 시냅스 소자 및 이의 동작방법외 5건	스핀 시냅스 소자	spin synapse device
							③ 삼성전자	스핀궤도결합	Spin orbit torque
							④ 110,000,000원	자기터널접합	Magnetic Tunnel Junction
							⑤ 2021.08.05	로직 소자	logic device
<p>해당 기술은 스핀 로직 소자의 효율성을 높이기 위해 연구되고 있다. 기존의 스핀 로직 소자는 Magnetic Tunnel Junction (MTJ)을 사용하여 Integration을 구현하였다. 하지만 MTJ는 크기가 크고, 전력 소모량이 높아서 실용성이 낮은 단점을 가지고 있다. 기존의 MTJ 대신 Hall bar 구조를 사용하여 Hall Integration을 가능하게 하였다. 이 구조에서는 출력 신호가 저항이 아닌 전압으로 나오기 때문에, 저전력 소모와 더불어 다른 소자와 연결하여 Integration 기능을 추가할 수 있다. 본 발명은 Hall bar 구조를 이용함으로써 MTJ의 단점을 보완하고, 더욱 효율적인 스핀 로직 소자의 개발을 가능하게 하였다. 이 기술은 국내 반도체 산업의 발전을 이끌어내는 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. SOT-MTJ를 이용한 로직 소자를 개발하여 극 저전력 스핀 로직 시스템의 국내 시장 경제 활성화 및 사업화 가능성을 기대할 수 있다. SOT-MTJ 기술을 이용한 로직 소자의 개발로 극 저전력 스핀 로직 시스템의 국내 시장 경제 활성화 및 사업화 가능성을 높일 수 있다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
6	홍진표	20200901	20230228		반도체	특허	① 홍진표,	스위칭 원자 트랜지스터	Switching atomic transistor
							② SWITCHING ATOMIC TRANSISTOR AND METHOD FOR OPERATING SAME	확산 방지층	Diffusion barrier layer
							③ 미국	저항 변화 특성	Resistance change characteristic
							④ 11,258,009	인공지능 소자	Artificial intelligence device
							⑤ 2022.02.22	전자 소자	electric device
<p>본 특허는 전자소자 분야에서 중요한 역할을 수행하는 트랜지스터의 문제점을 해결하기 위한 내용이다. 기존의 전계 트랜지스터는 소자의 소형화가 고도화됨에 따라 누설전류가 증가하고 on/off가 되지 않는 문제가 커지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 이온거동을 이용하여 절연체 내부의 전도성 통로를 원자수준으로 제어하여 트랜지스터의 역할을 수행하도록 제작하였다. 이를 통해, 기존의 트랜지스터의 한계를 극복할 수 있는 새로운 소자를 개발하였다는 것이 본 연구의 가장 큰 성과 중 하나이다. 본 연구에서 개발된 새로운 소자는 기존 트랜지스터와 달리, gate의 전압이 소실된 이후에도 on/off state를 유지할 수 있었다. 이를 통해 전력감소와 비휘발성 메모리 소자와의 응용도 가능해졌다. 이러한 장점을 갖는 소자는 기존의 수 nm 수준의 공정에서 난항을 겪는 트랜지스터 및 2단자 선택소자로서의 응용에도 활용될 수 있다. 더불어, 이는 하드웨어 수준의 인공지능 소자 개발에도 큰 기여를 할 것으로 기대된다. 본 연구의 결과는 전자공학 분야에서 매우 중요한 의미를 가지며, 새로운 전자소자 개발을 위한 기반을 마련하였다. 더불어, 이를 통해 실생활에서 사용되는 전자제품의 성능 개선과 전력 소비 감소, 그리고 응용 가능성이 대폭 확대될 것으로 예상된다.</p>									

4단계 BK21 사업

첨부자료

[첨부 1] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구단 참여 교수 현황

연번	성명		연구자 등록번호	세부 전공분야	대표 연구업적물 분야	신임/ 기존	사범대/ 분교	임상/기초	외국인/ 내국인	참여 기간	총 참여 개월 수	환산 참여교수 수	대표 연구업적물 제출 요구량	비고
	한글	영문						건축학/건축공학						
								인문사회계열						
1	김은규			반도체물리	반도체	기존			내국인	20200901 - 20220831	24	0.800	2	정년퇴임 (20.09.01- 22.08.31)
					반도체									
2	김재용			표면/경계 면물리	분광/구조특성	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	3	
					분광/구조특성									
					분광/구조특성									
3	문순재			에너지띠 /전자구조	강상관물질계	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	3	
					강상관물질계									
					강상관물질계									
4	송석호			광자기술	나노 광학	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	3	
					나노 광학									
					나노 광학									
5	신상진			장물리이론	강상관물질계	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	3	연구년(22.03.01- 23.02.28)
					강상관물질계									
					강상관물질계									
6	정문석			반도체물리	반도체	기존			내국인	20210301 - 20230228	24	0.800	2	
					반도체									

연번	성명		연구자 등록번호	세부 전공분야	대표 연구업적물 분야	신임/ 기존	사범대/ 분교	임상/기초	외국인/ 내국인	참여 기간	총 참여 개월 수	환산 참여교수 수	대표 연구업적물 제출 요구량	비고
	한글	영문						건축학/건축공학						
								인문사회계열						
7	조준형			표면/경계 면물리	강상관물질계	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	3	연구년(20.09.01- 21.02.28)
					강상관물질계									
					강상관물질계									
8	천상모			중시물리	강상관물질계	기존			내국인	20210301 - 20230228	24	0.800	2	
					강상관물질계									
9	홍진표			반도체물리	반도체	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	3	연구년(21.09.01- 22.08.31)
					반도체									
					반도체									

교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	전체 참여교수 수	9	기존교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	전체 참여교수 수	9	신임교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	전체 참여교수 수	0
	총 환산 참여교수 수	8.4		총 환산 참여교수 수	8.4		총 환산 참여교수 수	0
교수 수 (임상, 선축학, 인문사회계열 제외)	전체 참여교수 수	9	기존교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	전체 참여교수 수	9	신임교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	전체 참여교수 수	0
	총 환산 참여교수 수	8.4		총 환산 참여교수 수	8.4		총 환산 참여교수 수	0

신임교수 실적 포함 여부	①저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적 / ② 연구비 / ③ 교육역량 대표실적 / ④ 산업·사회 문제 해결 기여실적 / ⑤ 국제 공동연구실적		미포함
---------------	---	--	-----

[첨부 2] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구단 참여대학원생 현황

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2020	2학기	1					내국인		문순재		석박사통합	2	
2020	2학기	2					내국인		문순재		석사	1	
2020	2학기	3					내국인		송석호		석사	1	
2020	2학기	4					내국인		김은규		석박사통합	6	
2020	2학기	5					내국인		김은규		석박사통합	8	
2020	2학기	6					내국인		송석호		석사	2	
2020	2학기	7					내국인		송석호		석사	2	
2020	2학기	8					내국인		홍진표		석사	2	
2020	2학기	9					내국인		송석호		석사	2	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2020	2학기	10					외국인		조준형		석박사통합	5	
2020	2학기	11					내국인		김은규		석사	2	
2020	2학기	12					내국인		김은규		석박사통합	6	
2020	2학기	13					외국인		조준형		박사	3	
2020	2학기	14					외국인		김은규		석박사통합	10	
2020	2학기	15					내국인		신상진		박사	5	
2020	2학기	16					외국인		김재용		석박사통합	4	
2020	2학기	17					외국인		조준형		박사수료	7	
2020	2학기	18					외국인		조준형		박사	1	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2020	2학기	19					외국인		김재용		석박사통합	5	
2020	2학기	20					내국인		송석호		석박사통합	10	
2020	2학기	21					내국인		홍진표		석박사통합	8	
2020	2학기	22					내국인		조준형		석박사통합	6	
2020	2학기	23					내국인		김은규		석사	4	
2020	2학기	24					외국인		김재용		석박사통합	5	
2020	2학기	25					외국인		김재용		석박사통합	11	
2020	2학기	26					내국인		문순재		석박사통합	1	
2020	2학기	27					내국인		홍진표		석박사통합	8	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	1학기	1					내국인			석박사통합	3		
2021	1학기	2					내국인			석사	2		
2021	1학기	3					내국인			석사	2		
2021	1학기	4					내국인			석박사통합	7		
2021	1학기	5					내국인			석박사통합	9		
2021	1학기	6					내국인			석사	3		
2021	1학기	7					내국인			석사	3		
2021	1학기	8					내국인			석사	3		
2021	1학기	9					내국인			석사	1		

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	1학기	10					내국인		정문석		석박사통합	3	
2021	1학기	11					내국인		송석호		석사	3	
2021	1학기	12					내국인		김은규		석사	3	
2021	1학기	13					내국인		김은규		석박사통합	7	
2021	1학기	14					외국인		조준형		박사	4	
2021	1학기	15					내국인		신상진		박사	6	
2021	1학기	16					외국인		김재용		석박사통합	5	
2021	1학기	17					외국인		조준형		박사수료	8	
2021	1학기	18					외국인		조준형		박사	2	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	1학기	19					내국인		신상진		석박사통합	1	
2021	1학기	20					내국인		송석호		석박사통합	11	
2021	1학기	21					외국인		김재용		석박사통합	6	
2021	1학기	22					내국인		송석호		석사	1	
2021	1학기	23					내국인		송석호		석박사통합	11	
2021	1학기	24					내국인		홍진표		석박사통합	9	
2021	1학기	25					내국인		조준형		석박사통합	7	
2021	1학기	26					내국인		김은규		석사	1	
2021	1학기	27					외국인		김재용		석박사통합	6	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	1학기	28					내국인		홍진표		석사	1	
2021	1학기	29					내국인		천상모		석박사통합	9	
2021	1학기	30					외국인		김재용		석박사통합	12	
2021	1학기	31					내국인		천상모		석박사통합	7	
2021	1학기	32					내국인		문순재		석박사통합	2	
2021	1학기	33					내국인		홍진표		석박사통합	9	
2021	2학기	1					내국인		문순재		석박사통합	4	
2021	2학기	2					내국인		문순재		석사	3	
2021	2학기	3					내국인		송석호		석사	3	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	2학기	4					내국인			김은규	석박사통합	8	
2021	2학기	5					내국인			김은규	석박사통합	10	
2021	2학기	6					내국인			송석호	석사	4	
2021	2학기	7					내국인			송석호	석사	4	
2021	2학기	8					내국인			홍진표	석사	4	
2021	2학기	9					내국인			신상진	석박사통합	2	
2021	2학기	10					내국인			김은규	석사	2	
2021	2학기	11					내국인			정문석	석박사통합	4	
2021	2학기	12					내국인			송석호	석사	4	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	2학기	13					내국인			석사	4		
2021	2학기	14					내국인			석박사통합	8		
2021	2학기	15					외국인			박사수료	5		
2021	2학기	16					내국인			박사	3		
2021	2학기	17					외국인			석박사통합	6		
2021	2학기	18					외국인			박사	3		
2021	2학기	19					내국인			석박사통합	2		
2021	2학기	20					내국인			석박사통합	12		
2021	2학기	21					외국인			석박사통합	7		

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	2학기	22					내국인		송석호		석사	2	
2021	2학기	23					내국인		송석호		석박사통합	12	
2021	2학기	24					내국인		홍진표		석박사통합	10	
2021	2학기	25					내국인		조준형		석박사통합	8	
2021	2학기	26					내국인		김은규		석사	2	
2021	2학기	27					외국인		김재용		석박사통합	7	
2021	2학기	28					내국인		홍진표		석사	2	
2021	2학기	29					내국인		천상모		석박사통합	10	
2021	2학기	30					내국인		천상모		석박사통합	8	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2021	2학기	31					내국인		신상진		석박사통합	3	
2021	2학기	32					내국인		홍진표		석박사통합	10	
2022	1학기	1					내국인		천상모		석박사통합	5	
2022	1학기	2					내국인		정문석		석박사통합	1	
2022	1학기	3					내국인		문순재		석사	4	
2022	1학기	4					내국인		송석호		석사	4	
2022	1학기	5					내국인		송석호		석사	1	
2022	1학기	6					내국인		김은규		석박사통합	9	
2022	1학기	7					내국인		김은규		석박사통합	11	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2022	1학기	8					내국인		정문석		석박사통합	1	
2022	1학기	9					내국인		문순재		석사	1	
2022	1학기	10					내국인		송석호		박사	1	
2022	1학기	11					내국인		신상진		석박사통합	3	
2022	1학기	12					내국인		김은규		석사	3	
2022	1학기	13					내국인		정문석		석박사통합	5	
2022	1학기	14					외국인		김재용		석박사통합	1	
2022	1학기	15					내국인		김은규		석박사통합	9	
2022	1학기	16					외국인		조준형		박사수료	6	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2022	1학기	17					내국인		정문석		박사	4	
2022	1학기	18					외국인		김재용		석박사통합	7	
2022	1학기	19					외국인		조준형		박사	4	
2022	1학기	20					내국인		신상진		석박사통합	3	
2022	1학기	21					외국인		김재용		석박사통합	8	
2022	1학기	22					내국인		송석호		석사	3	
2022	1학기	23					내국인		홍진표		석박사통합	11	
2022	1학기	24					내국인		송석호		석사	1	
2022	1학기	25					내국인		조준형		석박사통합	9	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2022	1학기	26					내국인		김은규		석사	3	
2022	1학기	27					내국인		정문석		석사	1	
2022	1학기	28					외국인		김재용		석박사통합	8	
2022	1학기	29					내국인		송석호		석사	1	
2022	1학기	30					내국인		홍진표		석사	3	
2022	1학기	31					내국인		천상모		석박사통합	11	
2022	1학기	32					내국인		천상모		석박사통합	9	
2022	1학기	33					내국인		신상진		석박사통합	4	
2022	1학기	34					내국인		홍진표		석박사통합	11	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2022	1학기	35					내국인		송석호		석사	1	
2022	2학기	1					내국인		천상모		석박사통합	6	
2022	2학기	2					내국인		정문석		석박사통합	2	
2022	2학기	3					내국인		문순재		박사	1	
2022	2학기	4					내국인		송석호		석사	2	
2022	2학기	5					내국인		정문석		석박사통합	10	
2022	2학기	6					내국인		정문석		석박사통합	12	
2022	2학기	7					내국인		정문석		석박사통합	2	
2022	2학기	8					내국인		문순재		석사	2	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2022	2학기	9					내국인		송석호		박사	2	
2022	2학기	10					내국인		신상진		석박사통합	4	
2022	2학기	11					내국인		정문석		석사	4	
2022	2학기	12					내국인		정문석		석박사통합	6	
2022	2학기	13					외국인		김재용		석박사통합	2	
2022	2학기	14					내국인		홍진표		석사	1	
2022	2학기	15					내국인		홍진표		석사	1	
2022	2학기	16					내국인		정문석		석박사통합	10	
2022	2학기	17					외국인		조준형		박사수료	7	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2022	2학기	18					내국인		정문석		박사수료	5	
2022	2학기	19					외국인		김재용		석박사통합	8	
2022	2학기	20					외국인		김재용		석사	1	
2022	2학기	21					외국인		조준형		박사수료	5	
2022	2학기	22					내국인		신상진		석박사통합	4	
2022	2학기	23					외국인		김재용		석박사통합	9	
2022	2학기	24					내국인		송석호		석사	4	
2022	2학기	25					내국인		홍진표		석박사통합	12	
2022	2학기	26					내국인		송석호		석사	2	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학			
										인문사회계열			
2022	2학기	27					내국인		조준형		석박사통합	10	
2022	2학기	28					내국인		정문석		석사	4	
2022	2학기	29					내국인		정문석		석사	2	
2022	2학기	30					내국인		정문석		석박사통합	1	
2022	2학기	31					외국인		김재용		석박사통합	9	
2022	2학기	32					내국인		정문석		석박사통합	1	
2022	2학기	33					내국인		송석호		석사	2	
2022	2학기	34					내국인		홍진표		석사	4	
2022	2학기	35					내국인		천상모		석박사통합	10	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	2학기	36					내국인		신상진		석박사통합	5	
2022	2학기	37					내국인		홍진표		석박사통합	12	
2022	2학기	38					내국인		송석호		석사	2	

2020년 2학기	전체	석사	8	2021년 1학기	전체	석사	11	2021년 2학기	전체	석사	11	X			
		박사	4			박사	4			박사	3				
		석박사통합	15			석박사통합	18			석박사통합	18				
		계	27			계	33			계	32				
	외국인 참여대학원생	석사	0		외국인 참여대학원생	석사	0		외국인 참여대학원생	석사	0				
		박사	3			박사	3			박사	2				
		석박사통합	6			석박사통합	4			석박사통합	3				
		계	9			계	7			계	5				
	임상제외	석사	8		임상제외	석사	11		임상제외	석사	11				
		박사	4			박사	4			박사	3				
		석박사통합	15			석박사통합	18			석박사통합	18				
		계	27			계	33			계	32				
2022년 1학기	전체	석사	12	2022년 2학기	전체	석사	13	전체 참여대학원생 수	전체	석사	55	5개 학기의 평균 (전체)	석사	11	
		박사	4			박사	5			박사	20		박사	4	
		석박사통합	19			석박사통합	20			석박사통합	90		석박사통합	18	
		계	35			계	38			계	165		계	33	
	외국인 참여대학원생	석사	0		외국인 참여대학원생	석사	1		외국인 참여대학원생	석사	1		임상제외	석사	55
		박사	2			박사	2			박사	20			박사	4
		석박사통합	4			석박사통합	4			석박사통합	90			석박사통합	18
		계	6			계	7			계	165			계	33
	임상제외	석사	12		임상제외	석사	13		임상, 건축학, 인문사회계열 제외	석사	55				
		박사	4			박사	5			박사	20		박사	4	
		석박사통합	19			석박사통합	20			석박사통합	90		석박사통합	18	
		계	35			계	38			계	165		계	33	

[첨부 3] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28) 내 교육연구단 신진연구인력 확보 실적

구분	참여 연도	연번	성명		연구자등록번호	외국인/ 내국인	생년	자교/타교	참여기간		총 참여 개월 수
			한글	영문					시작일	종료일	
박사후 과정생	2020	1				내국인		자교	20201101	20210228	4
박사후 과정생	2021	1				내국인		자교	20210301	20210831	6
박사후 과정생	2021	2				외국인		타교	20211001	20220228	5
박사후 과정생	2022	1				외국인		타교	20220301	20230228	12
계약교수	2021	1				내국인		타교	20211001	20220228	5
계약교수	2022	1				내국인		타교	20220301	20220930	7
계약교수	2022	2				내국인		타교	20221001	20230228	5

신진연구인력 수(명)	박사후 과정생	총 인원 수	2	X	
		총 참여 개월 수	27		
		1인당 평균 참여 개월 수	14		
	계약교수	총 인원 수	2		
		총 참여 개월 수	17		
		1인당 평균 참여 개월 수	9		
	합계	총 인원 수	4	실적 제출 건수	1~2
		총 참여 개월 수	44		
		1인당 평균 참여 개월 수	11		

[첨부 4] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 배출 실적 (졸업 및 취(창)업 실적)

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2021	2	1					김은규	박사	201603	기타			
2021	2	2					김은규	석사	201903	취업	LG 디스플레이	정규직	경기도
2021	8	1					조준형	석사	201809	기타			
2022	2	1					송석호	석사	202003	국내진학			
2022	2	2					송석호	석사	202003	취업	삼성디스플레이	정규직	경기도

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2022	2	3					송석호	석사	202003	기타			
2022	2	4					김은규	석사	202003	취업	(주) LG화학	정규직	서울
2022	2	5					송석호	박사	201603	취업	한양대학교 산학 협력단	정규직	서울
2022	8	1					문순재	석사	202003	국내진학			
2022	8	2					송석호	석사	202009	취업	삼성디스플레이	정규직	경기도

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2022	8	3					홍진표	석사	202003	국내진학			
2022	8	4					조준형	박사	201709	취업	한양대학교 산학 협력단	정규직	서울
2022	8	5					김재용	박사	201509	기타			
2023	2	1					정문석	박사	201803	취업	한국핵융합에너지 연구원	정규직	전라북도
2023	2	2					정문석	석사	202103	기타			

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2023	2	3					정문석	석사	202103	기타			
2023	2	4					홍진표	석사	202103	기타			

졸업생	2021년	구분	2월	8월	2022년	구분	2월	8월	2023년	구분	2월	전체 기간	구분	합계
		석사	1	1		석사	4	3		석사	3		석사	12
		박사	1	0		박사	1	2		박사	1		박사	5
		계	2	1		계	5	5		계	4		계	17
비취업자	2021년 2월 졸업자	석사	0	국내 진학자 소계	0	2021년 8월 졸업자	석사	0	국내 진학자 소계	0				
				국외 진학자 소계	0				국외 진학자 소계	0				
				입대자 소계	0				입대자 소계	0				
		박사	0	입대자 소계	0	박사	0	입대자 소계	0					
취(창)업	2022년 2월 졸업자	석사	3	국내 진학자 소계	1	2022년 8월 졸업자	석사	3	국내 진학자 소계	2				
				국외 진학자 소계	0				국외 진학자 소계	0				
				입대자 소계	0				입대자 소계	0				
				취(창)업 대상자	3				취(창)업 대상자	1				
				취(창)업자 소계	2				취(창)업자 소계	1				
		박사	1	입대자 소계	0	박사	1	입대자 소계	0					
				취(창)업 대상자	1			취(창)업 대상자	2					
				취(창)업자 소계	1			취(창)업자 소계	1					
		취(창)업률					75	취(창)업률					67	
		실적제출요구량												

[첨부 5-1] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여교수의 정부 연구비 수주 실적

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2020.9.1.~ 2021.2.28.	1	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사 업 / 국제연구인 력교류사업 / 해 외고급과학기술 병사업 유형1	수소화합물기반 고압상변이 및 고온초전도체 수송현상 연구	김재용	김재용			20201001	20210930	단독	274,728,000	274,728,000	274,728,000	100.00	20200913
2020.9.1.~ 2021.2.28.	2	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사 업 / 전자정보디바이 스산업원천기술개발 사업(RCMS)	2단자 수직형 사 이리스터 기반 1T-DRAM 원천 기술 개발	김은규	김은규			20200101	20201231	단독	79,000,000	43,202,193	43,202,193	100.00	20200916, 20210126
2020.9.1.~ 2021.2.28.	3	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 기초연 구실지원사업 / 기초연구실지원 사업	초고효율, 고전력 화합물반도체 소재 /소자 결합공학 연 구실	김은규	김은규			20200701	20210531	공동	458,000,000	333,000,000	223,110,000	67.00	20201007, 20201102
2020.9.1.~ 2021.2.28.	4	산업통상 자원부	산업기술 혁신사업	Forming-free a-C:Ox 기반 ReRAM 원천 기술 개발		홍진표			20200101	20201231	공동	79,000,000	78,863,250	39,431,625	50.00	20201015, 20210228
2020.9.1.~ 2021.2.28.	5	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 미래성장 동력기술개발사업 / 소재부품 산업미래성장동력-차세대시 스템반도체설계소자공정기술 개발	공정 단계 최소화를 위 한 Charge Plasma 개년 율 도입한 Dopingless Tunnel Field Transistor 개발	홍진표	홍진표			20200401	20201231	단독	75,000,000	74,913,793	74,913,793	100.00	20201021, 20210114
2020.9.1.~ 2021.2.28.	6	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 1차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	김재용			20200901	20210228	공동	160,725,000	160,725,000	40,181,250	25.00	20201118
2020.9.1.~ 2021.2.28.	7	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 1차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	김은규			20200901	20210228	공동	160,725,000	160,725,000	20,090,625	12.50	20201118

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2020.9.1.~ 2021.2.28.	8	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 1차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	문순재			20200901	20210228	공동	160,725,000	160,725,000	20,090,625	12.50	20201118
2020.9.1.~ 2021.2.28.	9	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 1차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	송석호			20200901	20210228	공동	160,725,000	160,725,000	20,090,625	12.50	20201118
2020.9.1.~ 2021.2.28.	10	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 1차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	신상진			20200901	20210228	공동	160,725,000	160,725,000	20,090,625	12.50	20201118
2020.9.1.~ 2021.2.28.	11	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 1차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	조준형			20200901	20210228	공동	160,725,000	160,725,000	20,090,625	12.50	20201118
2020.9.1.~ 2021.2.28.	12	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 1차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	홍진표			20200901	20210228	공동	160,725,000	160,725,000	20,090,625	12.50	20201118
2020.9.1.~ 2021.2.28.	13	산업통상 자원부	기관고유사업 / 한국전력공사 / 전력산업기초연구사업	웨어블 1차원 Yam 섬유소재 기반의 Piezo/Triboelectric 자가발전/Asuper-capacitor 에너지 저장 일체형 소자 핵심기술 개발	홍진표	홍진표			20200501	20210430	단독	55,000,000	18,333,700	18,333,700	100.00	20210122
2020.9.1.~ 2021.2.28.	14	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사업 / 지능형반도체신도기술개발사업 / 미래반도체신소재원천기술개발사업(자유로운형기술)	대면적/집적화 가능한 complementary SOF-MTJ 구조 기반 극 저 전력용 단위 셀 reconfigurable 소문 로직 소자 원천기술	홍진표	홍진표			20210101	20211231	단독	200,000,000	130,000,000	130,000,000	100.00	20210204

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2020.9.1.~ 2021.2.28.	15	한국연구 재단	미래소재 디스커버 리사업	전자회로의 물 리적/화학적 특 성 고신뢰성 모 사법 개발		조준형			20210104	20211203	공동	137,500,000	84,820,000	39,017,200	46.00	20210209
2020.9.1.~ 2021.2.28.	16	과학기술 정보통신 부	국제화기반조성사업 / 글로벌 R&D 기 반구축사업 / 해외우 수연구기관유치사업	한양대- HPSTAR-카네 기 글로벌 고 압연구센터	김재용	김재용			20210110	20220109	공동	623,882,000	224,659,000	139,288,580	62.00	20210224
2020.9.1.~ 2021.2.28.	17	과학기술 정보통신 부	국제화기반조성사업 / 글로벌 R&D 기 반구축사업 / 해외우 수연구기관유치사업	한양대- HPSTAR-카네 기 글로벌 고 압연구센터	김재용	조준형			20210110	20220109	공동	623,882,000	224,659,000	11,232,950	5.00	20210224
2021.3.1.~ 2022.2.28.	1	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 리더연 구지원사업 / 리더연구	집적형 Non- Hermitian 광자 공학		송석호			20210301	20220228	공동	800,000,000	800,000,000	266,666,660	33.33	20210304
2021.3.1.~ 2022.2.28.	2	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구지원 사업 / (유형1-1)중견 연구(연평균연구비 1억원 이내)	전이금속칼코겐 화합물의 전하 밀도파와 초전 도상 연구	조준형	조준형			20210301	20220228	단독	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100.00	20210309
2021.3.1.~ 2022.2.28.	3	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 중견연 구지원사업 / 중견연구(보호-육 성분야)	실리콘 반도체박막 결함제어와 TFT 신 뢰성 향상을 위한 in-situ 분석기법	김은규	김은규			20210301	20210831	단독	50,000,000	50,000,000	50,000,000	100.00	20210310
2021.3.1.~ 2022.2.28.	4	교육부	이공분야기초연 구사업 / 이공학 개인기초연구지 원사업 / 기본연 구(1년~5년)	극한환경에서의 알 칼리기반 수소다량 체 제작 및 수송특 성 분석	김재용	김재용			20210301	20210531	단독	12,500,000	12,500,000	12,500,000	100.00	20210310

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	5	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / (유형1-1)중견 연구(연평균연구비 1억원 이내)	비주기적 준안정 수 소다량체의 수송현 상과 대용량 에너지 저장매체로서의 활 용	김재용	김재용			20210301	20220228	단독	165,679,000	165,679,000	165,679,000	100.00	20210310
2021.3.1.~ 2022.2.28.	6	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / (유형1-1)중견 연구(연평균연구비 1억원 이내)	전자 상호 작용이 강한 이상한 금속 상태에 대한 적외선 분광 연구	문순재	문순재			20210301	20220228	단독	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100.00	20210310
2021.3.1.~ 2022.2.28.	7	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 중견연 구자지원사업 / 중견연구(총연구 비5억 초과)	복소-나노구 조로 이루어 진 on-chip 메 타 광소자	송석호	송석호			20210301	20220228	단독	170,000,000	170,000,000	170,000,000	100.00	20210310
2021.3.1.~ 2022.2.28.	8	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 중견연 구자지원사업 / 중견연구(총연구 비5억 초과)	홀로그래피와 양자정보이론 을 이용한 강 상관계 연구	신상진	신상진			20210301	20210531	단독	48,158,000	48,158,000	48,158,000	100.00	20210310
2021.3.1.~ 2022.2.28.	9	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / 중견후속연구 (연평균연구비 1억원 ~2억원이내)	강상관계와 양자얽힘의 홀로그래피	신상진	신상진			20210301	20220228	단독	141,827,000	141,827,000	141,827,000	100.00	20210310
2021.3.1.~ 2022.2.28.	10	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 재도약 연구 / 재도약연 구(신진연구)	준1차원 위상시스 템에 존재하는 위상 솔리톤의 동역학적 거동, 위상연산에 대한 연구	천상모	천상모			20210301	20220228	단독	31,345,000	31,345,000	31,345,000	100.00	20210310
2021.3.1.~ 2022.2.28.	11	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / (유형1-2)중견 연구(연평균연구비 1억원~2억원 이내)	인체 삽입형 의료기기 자가 충전을 위한 고신 축성 에너지 하베스팅 양극 소재 및 물성 원천 기술 연구	홍진표	홍진표			20210301	20220228	단독	224,726,000	224,726,000	224,726,000	100.00	20210310

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	12	한국연구 재단	미래소재 디스커버 리사업	전자회로의 물 리적/화학적 특 성 고신뢰성 모 사법 개발		조준형			20210104	20211203	공동	137,500,000	52,680,000	24,232,800	46.00	20210311
2021.3.1.~ 2022.2.28.	13	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	김재용			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	64,290,000	20.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	14	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	김은규			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	15	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	문순재			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	16	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	송석호			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	17	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	신상진			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	18	교육부	교육인력양성사 업 / BK21FOUR사 업 / 미래인재양 성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물 질 극한물성 교 육연구팀	김재용	정문석			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	19	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	조준형			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	20	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	천상모			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	21	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 2차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	홍진표			20210301	20220228	공동	321,450,000	321,450,000	32,145,000	10.00	20210316, 20210927
2021.3.1.~ 2022.2.28.	22	과학기술 정보통신 부	한국연구재단 부설 정보통신기획평가원 / 정보통신방송연구개발사업 / 양자센서핵심원천기술개발사업(통합이차비)	자기공명 및 넓은 시야 자력계를 위한 고체 양자 센서 개발		송석호			20210101	20211231	공동	150,000,000	150,000,000	45,000,000	30.00	20210317, 20210415
2021.3.1.~ 2022.2.28.	23	과학기술 정보통신 부	거대과학연구개발사업 / 핵융합기초연구사업 / 거점센터	핵융합재료에서의 수소동위원소 잠입과 특성 분석		김재용			20210101	20211231	공동	300,000,000	300,000,000	78,000,000	26.00	20210324
2021.3.1.~ 2022.2.28.	24	과학기술 정보통신 부	국제화기반조성사업 / 글로벌 R&D 기반구축사업 / 해외우수연구기관유치사업	한양대-HPSTAR-카네기 글로벌 고압연구센터	김재용	김재용			20210110	20220109	공동	623,882,000	399,223,000	247,518,260	62.00	20210324, 20210423, 20210910
2021.3.1.~ 2022.2.28.	25	과학기술 정보통신 부	국제화기반조성사업 / 글로벌 R&D 기반구축사업 / 해외우수연구기관유치사업	한양대-HPSTAR-카네기 글로벌 고압연구센터	김재용	조준형			20210110	20220109	공동	623,882,000	399,223,000	19,961,150	5.00	20210324, 20210423, 20210910

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	26	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / 중견연구(연평 균연구비1억~2억원이 내)	전이금속 칼코겐 화 합물 기반 태양에너 지 수확 및 저장 시 스템 개발	정문석	정문석			20210301	20220228	단독	165,674,925	165,572,170	165,572,170	100.00	20210402
2021.3.1.~ 2022.2.28.	27	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사업 / 지능형반 도체신도기술개발사업 / 미래 반도체신소재융합기술개발사 업(자유공용형기술)	대면적/집적화 가능한 complementary SOT-MTJ 구조 기반 극 저 전력용 단위 셀 reconfigurable 스핀 로직 소자 융합기술	홍진표	홍진표			20210101	20211231	단독	200,000,000	70,000,000	70,000,000	100.00	20210402
2021.3.1.~ 2022.2.28.	28	과학기술 정보통신 부	원천기술 개발사업	Spin 기반 뉴런 소자 및 회로 개 발		홍진표			20210101	20210731	공동	294,000,000	294,000,000	98,000,000	33.33	20210419
2021.3.1.~ 2022.2.28.	29	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사업 / 나노 및 소재 기술개발사업(기초과제) / 연구기반 혁신(나노기술 중 합정보 및 정척지향)	그래핀 플레 이크 인증표 준물질의 특 성분석 연구	정문석	정문석			20210301	20211231	단독	39,000,000	39,000,000	39,000,000	100.00	20210420
2021.3.1.~ 2022.2.28.	30	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심기술개발사 업 / 전자정보디바이 스산업원천기술개발 사업(RCMS)	2단자 수직형 사 이리스터 기반 1T-DRAM 원천 기술 개발	김은규	김은규			20210101	20210930	단독	54,640,000	54,486,003	54,486,003	100.00	20210428, 20211019
2021.3.1.~ 2022.2.28.	31	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 미래성장 동력기술개발사업 / 소재부품 산업미래성장동력-차세대시 스템반도체설계소자공정기술 개발	공정 단계 최소화를 위 한 Charge Plasma 개념 을 도입한 Dopingless Tunnel Field Transistor	홍진표	홍진표			20210101	20211231	단독	100,000,000	99,974,500	99,974,500	100.00	20210428, 20220204
2021.3.1.~ 2022.2.28.	32	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 기초연 구실지원사업 / 기초연구실지원 사업	초고효율, 고전력 화합물반도체 소재 /소자 결합공학 연 구실	김은규	김은규			20210601	20220228	공동	375,000,000	375,000,000	225,000,000	60.00	20210526

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	33	산업통상 자원부	산업기술혁신사 업 / 국가표준기 술력향상사업 / 국가표준기술력 향상사업	원자간력 현미경 라만분 광 및 투과도 동시 측정 을 통한 2차원 그래핀의 적층 수 측정 표준 기술 개발	정문석	정문석			20210101	20211231	단독	139,710,000	139,709,990	139,709,990	100.00	20210601, 20220211
2021.3.1.~ 2022.2.28.	34	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사업 / 지능형반 도체신도기술개발사업 / 차세 대지능형반도체기술개발사업 (신소자원천기술개발)	스커미온 동역학 및 인공지능 시냅스 소 자 상관관계 기초 연구	홍진표	홍진표			20210409	20211231	단독	110,000,000	110,000,000	110,000,000	100.00	20210603
2021.3.1.~ 2022.2.28.	35	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 나노제품 생산안전평가기술개발 및 기 업지원사업 / 나노제품 생산 안전평가기술개발 및 기업지 원사업	국제 규제대응을 위 한 탄소계 나노소재 의 유해성 시험 평 가법 개발	정문석	정문석			20210101	20211231	단독	98,706,306	98,294,200	98,294,200	100.00	20210603, 20220214
2021.3.1.~ 2022.2.28.	36	산업통상 자원부	산업기술 혁신사업	Forming-free a-C:Ox 기반 ReRAM 원천 기술 개발		홍진표			20210101	20210930	공동	54,640,000	47,668,090	23,834,045	50.00	20210611, 20210616
2021.3.1.~ 2022.2.28.	37	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 실험실 특화형 창업선 도대학 / 실험실 특화 형 창업선도대학 사업	(2021년도) 실 험실 특화형 창업선도대학 사업		정문석			20210501	20220131	공동	902,100,000	902,100,000	49,000,000	5.43	20210701
2021.3.1.~ 2022.2.28.	38	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사 업 / 미래수소원 천기술개발사업 / 미래수소원천기 술개발사업	고밀도 에너지 저장을 위한 다 공성 수소 흡탈 착 소재 개발	김재용	김재용			20210701	20211231	공동	150,000,000	150,000,000	78,000,000	52.00	20210809
2021.3.1.~ 2022.2.28.	39	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 중견연 구지원사업 / (유형1-1)중견연 구	결함공학적 접근으 로 할라이드 페로브 스카이트 소자의 효 율 및 신뢰성 향상	김은규	김은규			20210901	20220228	단독	69,810,000	69,810,000	69,810,000	100.00	20210903

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	40	산업통상 자원부	기관고유사업 / 한국탄소산 업진흥원 / C- RCMS 사업	라만 산란을 이 용한 그래핀 순 도 측정 국제 표 준 개발	정문석	정문석			20210801	20220331	단독	12,000,000	2,040,000	2,040,000	100.00	20211209
2021.3.1.~ 2022.2.28.	41	과학기술 정보통신 부	한국연구재단 부설 정보통신 기획평가원 / 정보통신방송 연구개발사업 / 양자센서핵심 원천기술개발사업(통합이지 백과)	자기공명 및 넓은 시야 자력계를 위한 고체 양 자 센서 개발		송석호			20220101	20221231	공동	150,000,000	75,000,000	22,500,000	30.00	20220204
2021.3.1.~ 2022.2.28.	42	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사 업 / 미래수소원 천기술개발사업 / 미래수소원천기 술개발사업	고밀도 에너지 저장을 위한 다 공성 수소 흡탈 착 소재 개발	김재용	김재용			20220101	20221231	공동	300,000,000	300,000,000	148,000,000	49.33	20220207
2021.3.1.~ 2022.2.28.	43	중소벤처 기업부	위탁연구개발사 업 / 위탁연구개 발사업 / 중소기업 기술혁신개발 사업	신재생에너지 효율 향상을 위한 Glove Box Application System 개발	정문석	정문석			20211101	20221031	단독	33,000,000	7,793,500	7,793,500	100.00	20220216, 20220218
2021.3.1.~ 2022.2.28.	44	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사업 / 지능형반 도체신도기술개발사업 / 차세대 지능형반도체기술개발사업 (신소재원천기술개발)	스커미온 동역학 및 인공지능 시냅스 소 자 상관관계 기초 연구	홍진표	홍진표			20220101	20221231	단독	150,000,000	75,000,000	75,000,000	100.00	20220224
2022.3.1.~ 2023.2.28.	1	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구지원 사업 / (유형1-1)중견 연구(연평균연구비 1억원 이내)	결함공학적 접근으 로 할라이트 페로브 스카이트 소자의 효 율 및 신뢰성 향상	김은규	김은규			20220301	20230228	단독	146,628,000	146,628,000	146,628,000	100.00	20220304
2022.3.1.~ 2023.2.28.	2	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구지원 사업 / (유형1-1)중견 연구(연평균연구비 1억원 이내)	비주기적 준안정 수 소다량체의 수송현 상과 대용량 에너지 저장매체로서의 활 용	김재용	김재용			20220301	20230228	단독	127,577,000	127,577,000	127,577,000	100.00	20220304

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	3	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구 구사업 / 중견연구 구자지원사업 / 중견연구(중연구 비5억 초과)	복소-나노구 조로 이루어 진 on-chip 메 타 광소자	송석호	송석호			20220301	20230228	단독	170,000,000	170,000,000	170,000,000	100.00	20220307
2022.3.1.~ 2023.2.28.	4	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / 중견후속연구 (연평균연구비 1억원 ~2억원이내)	강상관계와 양자얽힘의 홀로그래피	신상진	신상진			20220301	20230228	단독	191,439,000	191,439,000	191,439,000	100.00	20220307
2022.3.1.~ 2023.2.28.	5	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / (유형1-2)중견 연구(연평균연구비 1억원~2억원 이내)	인제 삼일형 의료기기 자가 충전을 위한 고신 속성 에너지 하베스팅 양극 소재 및 물성 원천 기술 연구	홍진표	홍진표			20220301	20230228	단독	273,378,000	273,378,000	273,378,000	100.00	20220308
2022.3.1.~ 2023.2.28.	6	중소벤처 기업부	위탁연구개발사 업 / 위탁연구개 발사업 / 중소기업 기술혁신개발 사업	신재생에너지 효율 향상을 위한 Glove Box Application System 개발	정문석	정문석			20211101	20221031	단독	33,000,000	22,465,400	22,465,400	100.00	20220308, 20221120
2022.3.1.~ 2023.2.28.	7	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구 구사업 / 리더연구 구자지원사업 / 리더연구	집적형 Non- Hermitian 광자 공학		송석호			20220301	20230228	공동	800,000,000	800,000,000	266,666,660	33.33	20220311
2022.3.1.~ 2023.2.28.	8	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사업 / 나노 및 소재 기술개발사업(기초과제) / 연구기반 혁신(나노기술 중 항장보 및 정채지향)	그래핀 플레 이크 인증표 준물질의 특 성분석 연구	정문석	정문석			20220101	20221231	단독	39,000,000	39,000,000	39,000,000	100.00	20220311
2022.3.1.~ 2023.2.28.	9	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사 업 / 중견연구자지원 사업 / (유형1-1)중견 연구(연평균연구비 1억원 이내)	수소화물 기 반의 고온 초 전도체 개발 연구	조준형	조준형			20220301	20230228	단독	147,312,000	147,312,000	147,312,000	100.00	20220311

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	10	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사업 / 중견연구자지원사업 / (유형1-1)중견연구(연평균연구비 1억원 이내)	위상물질기반 양자물성 상전이 및 양자연산을 위한 위상초전도체 연구	천상모	천상모			20220301	20230228	단독	140,875,000	140,875,000	140,875,000	100.00	20220311
2022.3.1.~ 2023.2.28.	11	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연구사업 / 기초연구실지원사업 / 기초연구실지원사업	초고효율, 고전력 화합물반도체 소재 /소자 결합공학 연구실	김은규	김은규			20220301	20230228	공동	500,000,000	500,000,000	275,000,000	55.00	20220314
2022.3.1.~ 2023.2.28.	12	산업통상 자원부	기관고유사업 / 한국탄소산업진흥원 / C-RCMS 사업	러만 산란을 이용한 그래핀 순도 측정 국제 표준 개발	정문석	정문석			20210801	20220331	단독	12,000,000	3,177,000	3,177,000	100.00	20220316,20220510
2022.3.1.~ 2023.2.28.	13	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	김재용			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	65,670,400	20.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	14	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	김은규			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	15	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	문순재			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	16	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	송석호			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	17	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	신상진			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	18	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	정문석			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	19	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	조준형			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	20	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	천상모			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	21	교육부	교육인력양성사업 / BK21FOUR사업 / 미래인재양성사업	(BK21 FOUR 3차년도) 양자물질 극한물성 교육연구팀	김재용	홍진표			20220301	20230228	공동	328,352,000	328,352,000	32,835,200	10.00	20220318, 20221024
2022.3.1.~ 2023.2.28.	22	국방부	기술개발사업 / 미래도전국방기술 연구개발사업 / 미래도전국방기술 연구개발사업	기체 상 화학 작용제 광물 담지 식별을 위한 머신러닝이 적용된 플라즈마식 유속 유가 굴곡계 기반 소형 광학 센서 개발	정문석	정문석			20220128	20221231	단독	403,333,000	403,333,000	403,333,000	100.00	20220329
2022.3.1.~ 2023.2.28.	23	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 나노제품 성능안전평가기술개발 및 기업지원사업 / 나노제품 성능안전평가기술개발 및 기업지원사업	국제 규제대응을 위한 탄소계 나노소재의 유해성 시험 평가법 개발	정문석	정문석			20220101	20221231	단독	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100.00	20220405, 20230131

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	24	과학기술 정보통신 부	한국연구재단 부설 정보통신 기획평가원 / 정보통신방송 연구개발사업 / 양자센서핵심 원천기술개발사업(총합이지 비교)	자기공명 및 넓 은 시야 자력계 를 위한 고체 양 자 센서 개발		송석호			20220101	20221231	공동	150,000,000	75,000,000	22,500,000	30.00	20220415
2022.3.1.~ 2023.2.28.	25	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 미래성장 동력기술개발사업 / 소재부품 산업미래성장동력-저세대시 스템반도체설계소자공정기술 개발	공정 단계 최소화를 위 한 Charge Plasma 개년 을 도입한 Dopingless Tunnel Field Transistor	홍진표	홍진표			20220101	20221231	단독	100,000,000	99,942,885	99,942,885	100.00	20220429, 20230130
2022.3.1.~ 2023.2.28.	26	과학기술 정보통신 부	한국연구재단 부설 정보통신 기획평가원 / 정보통신방송 연구개발사업 / 양자센서핵심 원천기술개발사업(총합이지 비교)	양자자기장센 서를 이용한 미세 불량 검 출 장치		송석호			20220401	20221231	공동	150,000,000	150,000,000	45,000,000	30.00	20220502
2022.3.1.~ 2023.2.28.	27	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사업 / 지능형반 도체신도기술개발사업 / 저세 대지능형반도체기술개발사업 (신소자원천기술개발)	스커미온 동역학 및 인공지능 시냅스 소 자 상관관계 기초 연구	홍진표	홍진표			20220101	20221231	단독	150,000,000	75,000,000	75,000,000	100.00	20220511
2022.3.1.~ 2023.2.28.	28	교육부	기관고유사업 / 서울과학기술 교R&E사업 / 서울과학기술 교R&E	2차원 나노물 질을 이용한 반도체 광전 소자 연구	정문석	정문석			20220301	20221231	단독	8,500,000	8,500,000	8,500,000	100.00	20220512
2022.3.1.~ 2023.2.28.	29	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 나노융합 혁신제품 기 술개발사업 / 나노융 합 혁신제품 기술개발 사업	나노카본 구조체 기 반 320wh(kg) 효율 85%(1000회)급 장 수명 이차전지 개발	정문석	정문석			20220101	20221231	단독	30,000,000	30,000,000	30,000,000	100.00	20220516, 20230208
2022.3.1.~ 2023.2.28.	30	과학기술 정보통신 부	이공분야기 초연구사업 / 기본연구 / 기본연구	좁은 띠 양자 물질에 대한 적외선 분광 연구	문순재	문순재			20220601	20230228	단독	50,452,000	50,452,000	50,452,000	100.00	20220613

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	31	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 인재활용확산지원사 업 / 우수연구자교류 지원사업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	김재용			20220401	20221231	공동	1,300,000,000	1,300,000,000	673,076,924	51.78	20220615
2022.3.1.~ 2023.2.28.	32	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 인재활용확산지원사 업 / 우수연구자교류 지원사업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	문순재			20220401	20221231	공동	1,300,000,000	1,300,000,000	58,076,923	4.47	20220615
2022.3.1.~ 2023.2.28.	33	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 인재활용확산지원사 업 / 우수연구자교류 지원사업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	신상진			20220401	20221231	공동	1,300,000,000	1,300,000,000	48,076,923	3.70	20220615
2022.3.1.~ 2023.2.28.	34	과학기술 정보통신 부	우수연구자 교류지원사 업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	조준형			20220401	20221231	공동	1,300,000,000	1,300,000,000	48,076,923	3.70	20220615
2022.3.1.~ 2023.2.28.	35	과학기술 정보통신 부	기관고유사업 / 과학기술일자리 진흥원 / 연구장 비산업육성(연구 장비 활용연구)	XperRAM C를 활용한 저차원 소재 연구의 광 학 특성 분석	정문석	정문석			20220501	20221231	단독	100,000,000	100,000,000	100,000,000	100.00	20220627, 20220803
2022.3.1.~ 2023.2.28.	36	과학기술 정보통신 부	거대과학연구개발사 업 / 가속기인력양성 및활용지원사업 / 가 속기인력양성및활용 지원사업	가속기 및 빔라인 미래 인재 양성 교육단	문순재	김재용			20220501	20221231	공동	118,642,000	118,642,000	7,378,400	6.22	20220704
2022.3.1.~ 2023.2.28.	37	과학기술 정보통신 부	거대과학연구개발사 업 / 가속기인력양성 및활용지원사업 / 가 속기인력양성및활용 지원사업	가속기 및 빔라인 미래 인재 양성 교육단	문순재	문순재			20220501	20221231	공동	118,642,000	118,642,000	28,228,400	23.79	20220704

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	38	산업통상 자원부	산업기술혁신사업 / 산업핵심 기술개발사업 / 최광물 소재 기반 차세대 전력반도체 기술 개발사업(R&D)	2kV급 수직형 GaN 전력소자용 에피 및 소자 핵심 원천 기 술 개발	김은규	김은규			20220401	20221231	단독	50,000,000	11,658,700	11,658,700	100.00	20220708, 20220719
2022.3.1.~ 2023.2.28.	39	과학기술 정보통신 부	원천기술개발사 업 / 차세대화합 물반도체핵심기 술개발사업 / 광 자소자	InGaAs 기반 e- SWIR PIN PD 및 SWIR APD 에피 소 재 물성평가 기술 개발	김은규	김은규			20220420	20221231	단독	70,000,000	70,000,000	70,000,000	100.00	20220726
2022.3.1.~ 2023.2.28.	40	과학기술 정보통신 부	이공분야기초연 구사업 / 중견연 구자지원사업 / (유형1-2)중견연 구	탐침 증강 라만 분 광법 기반의 2차원 반도체 무아레 초격 자 내 준입자 거동 규명	정문석	정문석			20220901	20230228	단독	159,930,000	159,930,000	159,930,000	100.00	20220927
2022.3.1.~ 2023.2.28.	41	산업통상 자원부	기관고유사업 / 한국탄소산업진 흥원 / 탄소산업 생태계 조성 및 확산사업(RCMS)	흡수분광법을 이용 한 산화 그래핀의 환원도 평가 표준기 술 개발	정문석	정문석			20220701	20221231	단독	45,000,000	35,455,037	35,455,037	100.00	20221017, 20230118
2022.3.1.~ 2023.2.28.	42	산업통상 자원부	기관고유사업 / 한국탄소산 업진흥원 / C- RCMS 사업	라만 산란을 이 용한 그래핀 순 도 측정 국제 표 준 개발	정문석	정문석			20220101	20221231	단독	20,000,000	17,667,160	17,667,160	100.00	20221019, 20230116
2022.3.1.~ 2023.2.28.	43	교육부	기관고유사업 / 한국 기초과학지원연구원 / 한국기초과학지원연 구원 연구용역사업	[서울권]핵심연구지 원센터의 국제협력 강화를 위한 대학 주도의 기초과학 기 념행사 개최	홍진표	홍진표			20220923	20221231	단독	11,110,000	11,110,000	11,110,000	100.00	20221027
2022.3.1.~ 2023.2.28.	44	중소벤처 기업부	위탁연구개발사 업 / 위탁연구개 발사업 / 중소기업 기술혁신개발 사업	신재생에너지 효율 향상을 위한 Glove Box Application System 개발	정문석	정문석			20221101	20231031	단독	33,000,000	570,900	570,900	100.00	20230220

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	45	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 인재활용확산지원사 업 / 우수연구자교류 지원사업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	김재용			20230101	20231231	공동	1,600,000,000	1,600,000,000	602,481,000	37.66	20230221
2022.3.1.~ 2023.2.28.	46	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 인재활용확산지원사 업 / 우수연구자교류 지원사업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	문순재			20230101	20231231	공동	1,600,000,000	1,600,000,000	88,995,214	5.56	20230221
2022.3.1.~ 2023.2.28.	47	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 인재활용확산지원사 업 / 우수연구자교류 지원사업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	신상진			20230101	20231231	공동	1,600,000,000	1,600,000,000	78,934,706	4.93	20230221
2022.3.1.~ 2023.2.28.	48	과학기술 정보통신 부	교육인력양성사업 / 인재활용확산지원사 업 / 우수연구자교류 지원사업(BRAIN LINK)	양자물질 극 한환경 국제 공동연구단	김재용	조준형			20230101	20231231	공동	1,600,000,000	1,600,000,000	78,934,704	4.93	20230221

정부 연구비 수주 총 입금액(원) (건축학 참여교수 정부 연구비 제외)	2020.9.1.~2021.2.28	1,153,983,041	건축학 참여교수의 정부 연구비 총 입금액(원)	2020.9.1.~2021.2.28	0
	2021.3.1.~2022.2.28.	3,623,078,278		2021.3.1.~2022.2.28.	0
	2022.3.1.~2023.2.28.	5,085,249,859		2022.3.1.~2023.2.28.	0
	계	9,862,311,178		계	0

[첨부 5-2] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여교수의 산업체(국내) 연구비 수주 실적

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축학/ 건축공 학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
										시작일	종료일						
2020.9.1.~2021.2.28.	1	삼성전자 (주)	대기업	서울	Meta OLED를 위한 신규광학 구조	송석호	송석호			20200816	20210815	단독	82,500,000	41,250,000	41,250,000	100.00	20200915
2020.9.1.~2021.2.28.	2	삼성전자 (주)	대기업	서울	신박물 질론 소자 내외 물질을 (MCM)이 제작 기반 소자 및 소자 개발	홍진표	홍진표			20200916	20210915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20201104
2020.9.1.~2021.2.28.	3	삼성전자 (주)	대기업	서울	유리표면도재 제조공정 최적화 소자신뢰성 향상용 표면 보호층 연구 및 개발	김은규	김은규			20200916	20210915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20201105
2020.9.1.~2021.2.28.	4	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	홀로그래프 미세패턴 기술을 활용한 Metasurface Optics 기술개발	송석호	송석호			20191101	20201031	단독	66,000,000	13,200,000	13,200,000	100.00	20201116
2020.9.1.~2021.2.28.	5	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	Light Field Display 구현용 Metasurface 개발	송석호	송석호			20201101	20211031	단독	66,000,000	33,000,000	33,000,000	100.00	20201214
2021.3.1.~2022.2.28.	1	삼성전자 (주)	대기업	서울	Hyperbolic Bloch Mode를 이용한 급 속 구조 결합 계측	송석호	송석호			20210101	20211231	단독	38,500,000	38,500,000	38,500,000	100.00	20210308, 20210405
2021.3.1.~2022.2.28.	2	삼성전자 (주)	대기업	서울	Meta OLED를 위한 신규광학 구조	송석호	송석호			20200816	20210815	단독	82,500,000	41,250,000	41,250,000	100.00	20210318, 20211214
2021.3.1.~2022.2.28.	3	(주)엔비 전	중소(상 장)	서울	GPQE 및 3D-folded Optics 기반 Inspection system	송석호	송석호			20200801	20210731	단독	132,000,000	66,000,000	66,000,000	100.00	20210325, 20210830
2021.3.1.~2022.2.28.	4	삼성전자 (주)	대기업	서울	유리표면도재 제조공정 최적화 소자신뢰성 향상용 표면 보호층 연구 및 개발	김은규	김은규			20200916	20210915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20210412
2021.3.1.~2022.2.28.	5	삼성전자 (주)	대기업	서울	신박물 질론 소자 내외 물질을 (MCM)이 제작 기반 소자 및 소자 개발	홍진표	홍진표			20200916	20210915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20210412
2021.3.1.~2022.2.28.	6	현대엔지 비(주)	대기업	서울	차량용 저전력 고성능 SOT 자 기센서 개발	홍진표	홍진표			20200622	20211221	단독	140,250,000	98,175,000	98,175,000	100.00	20210603, 20220114
2021.3.1.~2022.2.28.	7	엘지디스플레이 주식회사	대기업	서울	Light Field Display 구현용 Metasurface 개발	송석호	송석호			20201101	20211031	단독	66,000,000	33,000,000	33,000,000	100.00	20210614, 20211115
2021.3.1.~2022.2.28.	8	주식회사 스몰머신즈	중소(상 장)	서울	헬스판 관찰이 가능한 형광 광 학계 설계	정문석	정문석			20210801	20211031	단독	20,000,000	20,000,000	20,000,000	100.00	20210805, 20211005, 20211216

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축학/ 건축공 학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
										시작일	종료일						
2021.3.1.~2022.2.28.	9	삼성전자 (주)	대기업	서울	실리콘노드계 메모리스타 개발용역에 수직인쇄용 필름용 패턴 (P-11) 분리기 장 개발	김은규	김은규			20210916	20220915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20211115
2021.3.1.~2022.2.28.	10	삼성전자 (주)	대기업	서울	신제품 발광 소자 내외 용출 (P-11) 패터 기판 인쇄 소자 및 소자 개발	홍진표	홍진표			20210916	20220915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20211116
2021.3.1.~2022.2.28.	11	울산과학 기술원	기타	울산	1 nm3 양자터널 캐비타- 스펙트로스코피를 이용한 엑시톤 기동 농도제어	정문석	정문석			20211201	20221231	단독	42,451,000	42,451,000	42,451,000	100.00	20211215
2022.3.1.~2023.2.28.	1	삼성전자 (주)	대기업	서울	Wire형 capacitor의 다중막 증착/Coating 공정장 개발	홍진표	홍진표			20220128	20221130	단독	160,000,000	160,000,000	160,000,000	100.00	20220311, 20220708, 2020907, 20221116
2022.3.1.~2023.2.28.	2	삼성전자 (주)	대기업	서울	실리콘노드계 메모리스타 개발용역에 수직인쇄용 필름용 패턴 (P-11) 분리기 장 개발	김은규	김은규			20210916	20220915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20220411
2022.3.1.~2023.2.28.	3	삼성전자 (주)	대기업	서울	신제품 발광 소자 내외 용출 (P-11) 패터 기판 인쇄 소자 및 소자 개발	홍진표	홍진표			20210916	20220915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20220411
2022.3.1.~2023.2.28.	4	포항공과대학교 산학협력단	기타	경북	1 nm3 양자터널 캐비타- 스펙트로스코피를 이용한 엑시톤 기동 농도제어	정문석	정문석			20220301	20221231	단독	45,608,608	42,608,500	42,608,500	100.00	20220628, 20220907
2022.3.1.~2023.2.28.	5	주식회사 크레파 스테크놀러지스	중소(상 장)	경기	정전용량형 습 도 센서셀 원천 기술 개발	홍진표	홍진표			20220801	20230731	단독	88,000,000	44,000,000	44,000,000	100.00	20220826
2022.3.1.~2023.2.28.	6	삼성전자 (주)	대기업	서울	신제품 발광 소자 내외 용출 (P-11) 패터 기판 인쇄 소자 및 소자 개발	홍진표	홍진표			20220916	20230915	단독	58,300,000	29,150,000	29,150,000	100.00	20221012
2022.3.1.~2023.2.28.	7	포항공과대학교 산학협력단	기타	경북	1 nm3 양자터널 캐비타- 스펙트로스코피를 이용한 엑시톤 기동 농도제어	정문석	정문석			20230101	20231130	단독	86,809,718	45,703,718	45,703,718	100.00	20230210

산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액(원) (건축학 참여교수 산업체 연구 비 제외)	2020.9.1.~2021.2.28	145,750,000	건축학 참여교수의 국내 산업체 연구비 총 입금액(원)	2020.9.1.~2021.2.28	0
	2021.3.1.~2022.2.28.	455,976,000		2021.3.1.~2022.2.28.	0
	2022.3.1.~2023.2.28.	379,762,218		2022.3.1.~2023.2.28.	0
	계	981,488,218		계	0

[첨부 5-3] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여교수의 해외기관 연구비 수주 실적

산정 기간	연번	해외 기관명	국가명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	환산 입금액(원)	연구비 입금일
									시작일	종료일							
2021.3.1.~ 2022.2.28.	1	AOARD(미국공군)	미국	Quantitative Prediction of the Electrical Properties with Optical Measurement via Deep Neural Networks	정문석	정문석			20210301	20220922	단독	118,069,000	44,802,642	44,802,642	100.00	89,605,284	20210323
2021.3.1.~ 2022.2.28.	2	AOARD(미국공군)	미국	Identification of anti-homogenously coupled dynamical pairs for quasi-zero power computing emulation of biological neurosynaptic functions	홍진표	홍진표			20211015	20231014	단독	111,988,360	51,197,960	51,197,960	100.00	102,395,920	20211209, 20211117
2022.3.1.~ 2023.2.28.	1	AOARD(미국공군)	미국	Identification of anti-homogenously coupled dynamical pairs for quasi-zero power computing emulation of biological neurosynaptic functions	홍진표	홍진표			20211015	20231014	단독	111,988,360	60,790,400	60,790,400	100.00	121,580,800	20221108

해외기관 연구비 총 (환산) 입금액(원) (건축학 참여교수 해외기관 연구비 제외)	2020.9.1.-2021.2.28	0	건축학 참여교수의 해외기관 연구비 총 (환산) 입금액(원)	2020.9.1.-2021.2.28	0
	2021.3.1.-2022.2.28.	192,001,204		2021.3.1.-2022.2.28.	0
	2022.3.1.-2023.2.28.	121,580,800		2022.3.1.-2023.2.28.	0
	계	313,582,004		계	0