

『4단계 BK21사업』 미래인재 양성사업(과학기술 분야)
교육연구팀 자체평가보고서

접수번호	4299990114491						
사업 분야	기초과학(팀)	신청분야	물리	단위	전국	구분	교육연구팀
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야	
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류
	분류명	물리학	응집물질물리	물리학	고체물리	물리학	광학 및 양자전기학
	비중(%)	40		40		20	
교육연구 팀명	국문) 양자물질 극한물성 교육연구팀						
	영문) Studies of Quantum Materials at Extreme Conditions						
교육연구 팀장	소 속	한양대학교 자연과학대학 물리학과					
	직 위	교 수					
	성명	국문	김 재 용		전화		
		영문	Kim, Jaeyong		팩스		
				이동전화			
			E-mail	kimjy@hanyang.ac.kr			
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (209~212)	2차년도 (213~222)	3차년도 (223~232)	4차년도 (233~242)	5차년도 (243~252)	
	국고지원금	160	321	321	383	383	
총 사업기간	2020.9.1. - 2027.8.31.(84개월)						
자체평가 대상기간	2023.9.1. - 2024.8.31.(12개월)						
<p>본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21』사업 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다.</p> <p style="text-align: right;">2024년 11월 12일</p>							
작성자	교육연구팀장			김 재 용			
확인자	한양대학교 산학협력단장			변 중 무 (인)			



〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	양자물질	극한물성	온도압력
	양자특이점	초전도성	슈퍼물성
	창의적 인재	실용물리	융합적사고
교육연구팀의 비전과 목표 달성정도	본 교육연구팀은 양자물질의 시간·공간·환경 물리변수 기반 극한물성 탐구에 필요한 창의적 연구인력 양성을 목표로 교육, 연구, 국제화 분야에서 노력하여 지난 1년 동안 (2023.09~2024.08) 대학원생의 연구력 강화, 대학원 교육개편 실행, 그리고 국제화 등이 계획에 따라 잘 진행되고 있음을 확인하였음. 교육과 연구 영역별 성과 내용은 다음과 같음.		
교육역량 영역 성과	<ol style="list-style-type: none"> 교과목 개설 및 운영 현황 <ul style="list-style-type: none"> 본 사업 내용에 맞추어 대학원 교과과정을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 공통과목으로 분류하고 11과목 (29학점) 개설/운영 본 사업 참여대학원생 수 증가 <ul style="list-style-type: none"> 참여대학원생 35명 (학과대비 참여비율 47.8%, 사업 신청 시 대비 6명 증가) 대학원생 졸업: 석사 5명, 박사 8명 학위취득 신진연구인력 <ul style="list-style-type: none"> 우수한 연구성과 발표 (9편) 박사학위자 1명을 신진연구인력으로 임용 		
연구역량 영역 성과	<ol style="list-style-type: none"> 대학원생 연구 <ul style="list-style-type: none"> 지난 1년 동안 대학원생 논문 출간 20편, (IF > 5.0 논문 수: 12편) 대표논문: 위상 상전이와 마요라나 페르미온에 대한 연구 - Communication Physics 2 편 (, 제1저자) 참여교수 연구력 <ul style="list-style-type: none"> 논문 39편 출간 (IF > 5.0 논문 수: 25편) 연구비: 총 29.28억원 수주 (1인당 3.44억원) 		
달성 성과 요약	<ol style="list-style-type: none"> 교육: <ul style="list-style-type: none"> 극한물성 관련 신규과목 및 IC-PBL 과목 개설을 통한 대학원 교육 특성화 추진 참여대학원생 BK 연구성과 발표회 때 학기 시행 참여대학원생 우수논문 선정 및 성과급 지급 연구: <ul style="list-style-type: none"> 박사과정생(석박통합과정 포함) 중심의 대학원생 연구력 증가, 논문의 질적 향상 유도 참여교수 연구논문의 질적 향상: IF ≥ 5 이상 논문 64% BK 세미나 시리즈를 개설하여 매주 세계적 전문가 초빙을 통한 최신 연구결과 습득 국제화: LOI 1건 추가 체결, 온라인과 방문교류를 통한 국제교류 유지 		
미흡한 부분 / 문제점 제시	물리학 분야가 빠르게 발전하는 만큼 새로운 이론과 기술을 커리큘럼에 포함시키기 위해 교과과정을 지속적으로 보완할 필요가 있음. 이를 위해 해외 연구진과의 교류 및 협력 기회를 확대하고, 연구 및 교육 내용을 국제적으로 수준으로 이끌어갈 예정임. 국내 및 해외 연구시설 활용을 통한 연구의 시너지 효과를 증대할 예정임.		
차년도 추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 교육: 계획서에서 제시한 대로 대학원 교과과정을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 그리고 공통과목으로 운영. 대학원 입학생 증가를 위한 지속적 노력 필요 연구: <ul style="list-style-type: none"> 대학원생: 지속적인 연구력 증가 및 양적 향상 참여교수: 우수교원 확충을 위한 노력 지속 국제화: 대면/비대면 병행을 통한 국제화 교육, 연구 기초 유지 		

1. 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량

성 명	한 글	김 재 용	영 문	Kim, Jaeyong
소 속 기 관	한양대학교 자연과학대학 물리학과			

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 부임하였음. 이후, 물리학과장, 나노융합학과장, 한양대 부설 고압연구소장 등 교육-연구 관련 다양한 보직을 수행하였고, 130여 편의 SCI 논문을 출간하였음. 최근 다이아몬드 앤빌 셀을 활용한 100만 기압 단위 초고압 관련 국내 연구를 선도하고 있다고 평가받고 있음.

1 교육연구팀장의 연구 역량

비주기적 결정체의 형성과 응용에 관한 연구분야에서 김재용 교수는 1990년 ‘준결정체’가 보이는 준주기성 개념을 국내에 도입하였으며 준안정상태의 구조 및 물성 분석, 그리고 이를 응용한 수소에너지 저장연구를 수행해오고 있음. 최근에는 중국 북경고압연구소(HPSTAR, Center for High Pressure Science and Technology for Advanced Research)와 미국 카네기연구소(CIS, Carnegie Institution for Science)를 한양대학교에 유치하여 국내에서 다이아몬드 앤빌 셀을 이용한 초고압 연구분야를 선도하였음. 본 연구를 시작으로 국내에서도 수십 GPa 초고압 상태의 물성을 분석할 수 있게 되었고, 레이저 가열법을 연계하여 섭씨 수천 도에 이르는 초고압-초고온 상태의 물성을 실시간으로 분석하는 등, 소위 압력-온도를 매개로 하는 ‘극한환경’ 연구를 국내에 도입함. 2019년 8월 한양대학교부설 고압연구소를 설립하여 압력 전반에 관한 연구 및 국내외 네트워크를 구축하고 있음. 세계우수연구기관유치사업(GRDC, Global Research Development Center) 협의회장 역임, 제 10회 아시아 고압 학회를 세계고압반도체학회, 세계고압초전도학회와 함께 유치하여 2021년 11월 한국의 극한환경 연구현황을 세계에 소개하였음.

2 교육연구팀장의 교육 및 행정 역량

본 교육연구팀장은 학과 실험주임(2007.03 ~ 2008.08), 물리학과장(2008.09 ~ 2010.02), 나노융합학과장(2013.09 ~ 2016.08), GRDC-2019 협회장. 한양대-HPSTAR-CIS 고압연구센터장 (2016.08-현재), 한양대 부설 고압연구소장 (2019.08.01~현재) 등 다양하고 전문적인 교육-행정 경험을 갖추고 있음. 특히 물리학과 실험주임 시절에는 일반 물리학, 일반역학, 그리고 전자기학과 현대물리학 실험실 장비와 교육 시설을 대폭 개선하여 본 학과 현대물리학실험실이 대학교육협의회주관 학과평가에서 모범 교육 실험실로 선정되도록 노력하였고(2009), 물리학과장 시절에는 장학기금, 교육전담 교원 채용 등 학과의 학사와 행정제도를 개편하였음. 특히 학부-대학원 연계 연구논문발표회 (봄), 학과체육회 (가을), 그리고 학부생 졸업여행(1월)을 실시하여 학생-교수간 원활한 채널을 구성하고자 노력하였음. 일반인과 학생들을 대상으로 ‘금요일에과학터치’ 프로그램을 부산(2017.06)과 광주(2018.10)에서 진행하여 과학 대중화 및 고압 관련 연구를 국내에 보급하는 데 일조함. 나노융합학과장 기간 동안 공과대학 교육과정에 자연과학대학 과목들을 개설하여 자연과학과 공학이 연계된 교과과정을 수립하는 등 학제간 융합교육을 시도하였음. 이렇듯 다양하고 지속적인 교내외 교육과 행정 경험은 본 교육연구팀을 성공적으로 이끌어 갈 수 있는 원동력이라고 확신함.

3 교육연구팀장의 수행 의지

교수의 역할은 연구와 교육을 동시에 수행하여 다음 세대에게 자신이 쌓아온 지식과 경험을 전해 주는 것이라고 생각함. 그런 면에서 BK 사업을 성공적으로 운영하는 것은 교수로서 가장 의미있고 보람있는 경험이 될 것으로 확신함. 이러한 신념으로 김재용 교수는 지금까지 쌓아온 연구-교육-행정 경험과 능력을 바탕으로 본 교육연구팀이 ‘양자물질 극한물성’ 분야에서 우수한 신진 연구인력을 양성하고 세계적인 연구결과를 도출하여 극한물성 연구를 선도하는 연구와 교육의 메카가 될 수 있도록 교육자의 소명감을 가지고 최선을 다하고 있음.

2. 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-1> 교육연구팀 대학원 학과(부) 전임교수 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	학기	전체 교수 수	참여교수 수	참여비율(%)	비고
물리학과	2023년 2학기	23명	8명	34.7%	
	2024년 1학기	24명	9명	37.5%	

<표 1-2> 자체평가 대상기간(2023.9.1.~2024.8.31.) 교육연구팀 대학원 학과(부) 소속 전임교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1	송석호	2024년 1학기	전출	신임교원 전입을 위한 교체	
2	박문집	2024년 1학기	전입	신규 임용	
3	이창민	2024년 1학기	전입	신규 임용	

<표 1-3> 교육연구팀 대학원 학과(부) 대학원생 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	참여 인력 구성	대학원생 수											
		석사			박사			석·박사 통합			계		
		전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)
물리학과	2023년 2학기	12	6	50%	13	5	38.4%	45	25	55.5%	70	36	51.4%
	2024년 1학기	7	1	14.2%	14	6	42.8%	56	27	48.2%	77	34	44.1%
참여교수 대 참여학생 비율				2023년 2학기:4.5					2024년 1학기:3.7				

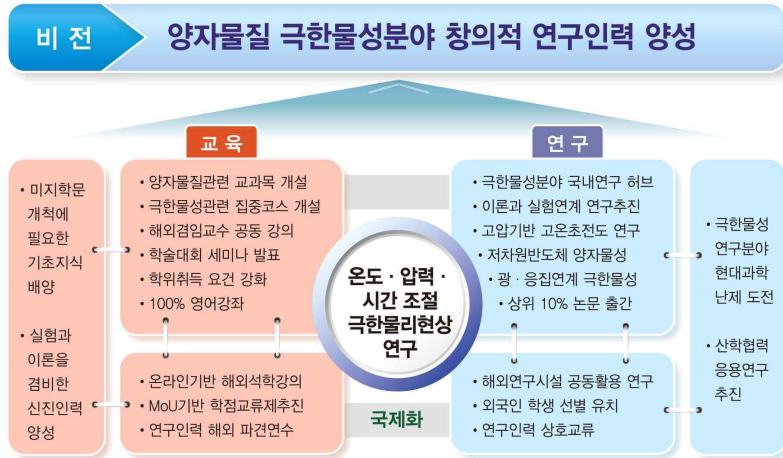
- 전임교원 전출
 - 송석호 교수: 2024년 2월 29일자 참여 종료
- 전임교원 전입
 - 박문집 교수: 2024년 3월 1일자 참여 시작
 - 이창민 교수: 2024년 3월 1일자 참여 시작

2. 교육연구팀의 비전 및 목표 달성 정도

❖ 교육연구팀의 비전 및 목표

본 교육연구팀의 비전은 극한물성 분야의 창의적 연구인재 양성으로, 다음과 같이 교육, 연구, 국제화 영역의 목표를 설정하고 지난 1년간 운영하고 있음.

- 교육: 물리학의 한계에 도전하는 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 후속 인재 양성
- 연구: 극한 물리 환경에서 시공간 비대칭성과 초전도를 포함한 양자 특이성 연구
- 국제화: 양자물질의 극한물성 연구 분야 국제허브 구축



[양자물질 극한물성 교육연구팀의 비전 개념도]

❖ 교육

📖 교육과정

본 교육연구팀의 교육목표에 맞추어, 대학원 교과과정을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 그리고 공통과목으로 개편하고, 1년 동안 아래 <표 1-4>와 같이 11과목, 29학점을 운영하였음.

<표 1-4> 운영 교과목 (2023.09~2024.08)

	기초	핵심	심화	특성화	공통과목
운영 교과목	2과목 (6학점)	1과목 (3학점)	5과목 (15학점)	1과목 (3학점)	2과목 (2학점)

📖 BK 세미나 운영

매주 BK 세미나를 개최하고 전문가들을 초청하여, 대학원생이 최신 연구 동향을 습득할 수 있도록 하였음. 2023년 9월 13일부터 2024년 8월 14일까지 총 30회 실시함. (세부내용 표<2-10> 참조)



[대면 및 비대면 BK 세미나 운영 사진]

BK 성과발표회

매년 2회(1월, 7월)의 BK 성과발표회를 통해서 대학원생들의 연구성과를 공유함. 우수 연구를 수행한 대학원생에게 최우수상, 우수상, 장려상을 수여하고 장학금을 지급하였음.

양자물질 극한물성 교육연구팀 4차년도 성과발표회				양자물질 극한물성 교육연구팀 5차년도 성과발표회			
시간	발표자	주제	지도교수	시간	발표자	주제	지도교수
15:00-15:05	박정호	Interplay between magnetism and superconductivity in 2D Semiconducting Organic Hybrid Structures: The Role of Electron Doping and Fermi Level Doping for Charge-Density-Wave	김영희	15:00-15:05	김민준	Enhancing Electrical Properties of 2D Materials: Resistor Fabrication and Annealing	김영희
15:05-15:10	정호준	Research on the growth mechanism of 2D materials	김영희	15:05-15:10	김민준	The effect of electron and magnetic properties of FeTe ₂ under pressure	김영희
15:10-15:15	김민준	The research strategy of 2D-0D	김영희	15:10-15:15	김민준	Doping evolution of the electronic properties of layered metal GdTe ₂ thinfilms	김영희
15:15-15:20	김민준	Controlled growth of the charge density wave gap in 2D/0D	김영희	15:15-15:20	김민준	Superconductivity in Antiferromagnetic FeTe ₂	김영희
15:20-15:25	김민준	Encoding the spin in the topography of stability of topological	김영희	15:20-15:25	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
15:25-15:30	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	15:25-15:30	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
15:30-15:35	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	15:30-15:35	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
15:35-15:40	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	15:35-15:40	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
15:40-15:45	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	15:40-15:45	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
15:45-15:50	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	15:45-15:50	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
15:50-15:55	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	15:50-15:55	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
15:55-16:00	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	15:55-16:00	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:00-16:05	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:00-16:05	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:05-16:10	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:05-16:10	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:10-16:15	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:10-16:15	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:15-16:20	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:15-16:20	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:20-16:25	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:20-16:25	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:25-16:30	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:25-16:30	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:30-16:35	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:30-16:35	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:35-16:40	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:35-16:40	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:40-16:45	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:40-16:45	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:45-16:50	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:45-16:50	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:50-16:55	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:50-16:55	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
16:55-17:00	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	16:55-17:00	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:00-17:05	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:00-17:05	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:05-17:10	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:05-17:10	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:10-17:15	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:10-17:15	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:15-17:20	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:15-17:20	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:20-17:25	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:20-17:25	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:25-17:30	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:25-17:30	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:30-17:35	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:30-17:35	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:35-17:40	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:35-17:40	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:40-17:45	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:40-17:45	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:45-17:50	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:45-17:50	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:50-17:55	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:50-17:55	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희
17:55-18:00	김민준	Preparation of Metal-Metalloids using PMMA/UV Composite for Air Stability	김영희	17:55-18:00	김민준	High-resolution Magnetism/Spin Microscopy	김영희

[2024년 1월 31일 4차년도 성과 발표회]

[2024년 8월 5일 5차년도 성과 발표회]



[2024년 1월 31일과 2024년 8월 5일 장학금 수여식]

BK 물리학과 심포지엄

본교 졸업생의 대학원 진학률 증가를 위해, 2024년 9월 6일~7일 심포지엄을 실시하였음. 교수, 대학원생, 학부생(약 130명)이 참여하여, 학부생들에게 대학원 프로그램에 대해 소개하였음.



[2024년 9월 6~7일 심포지엄 단체 사진]

BK 교육연구팀 워크숍

- 물리학에 관심 있는 학부생과 대학원생을 위한 BK21 워크숍을 진행함.
- 2024년 7월 4일~5일 이틀에 걸쳐서 사이언스홀에서 진행하였음.
- 참여교수, 대학원생, 학부생(총 51명)이 참여하였음.
- 참여교수 4명이 아래와 같이 응집물질 물리학에 대해서 특별 강연함.

강연 교수	천상모	문순재	이창민	박문집
강연 제목	위상물리학의 기초	양자물질 광분광학	양자물질의 시분해 동역학	위상물질의 반응이론



[2024년 7월 4일~5일 BK21 워크샵 단체 사진]

❖ 대학원생 연구 성과

- 박사과정생(석박통합과정 포함)을 중심으로 연구력 및 논문의 질적 향상을 유도함.

- IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수 4편: 연간 목표치 대비 200%
- 환산보정 IF 합 2.13: 2017 - 19 대비 64%
- 환산보정 ES 합 8.12: 2017 - 19 대비 115%
- 참여대학원생 논문 20편: 2017 - 19 연평균 (15.7편) 대비 127%

- BK 선정 평가 시 제시한 1~2단계 참여대학원생 연구실적 목표
 - IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수 14편
 - 환산보정 IF 합 매년 10% 증가
 - 환산보정 ES 합 매년 10% 증가

<표 1-5> 참여대학원생의 연구실적

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2021-2022	2017-19 연평균	1~2단계 목표 (7년) (2020.9-2027.8)
IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수	4	5	1.67	14
환산보정 IF 합	2.13	3.53	3.31	30.12
환산보정 ES 합	8.12	13.07	7.09	64.52

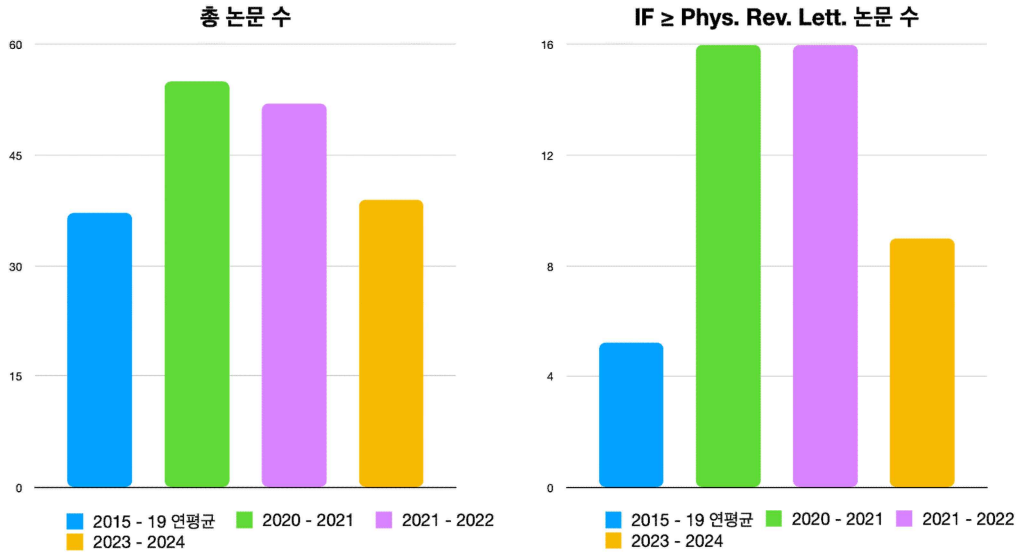
- IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2023 - 2024 기간 동안 1~2단계 목표치 연평균 대비 200%
- 환산보정 IF 합: 2023 - 2024 기간 동안 1~2단계 목표치 연평균 대비 50%
- 환산보정 ES 합: 2023 - 2024 기간 동안 1~2단계 목표치 연평균 대비 88%
- 주저자 우수 논문의 비율은 높일 필요가 있음.

❖ 참여교수 연구성과

- 🍷 참여교수들의 발표논문 39편, IF 합 285.91
- 🍷 IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 9
- 🍷 IF > 10.0 논문 수: 8편 (20.5%), IF > 5.0 논문 수: 25편 (64.1%), IF > 3.0 논문 수: 33편 (84.6%)

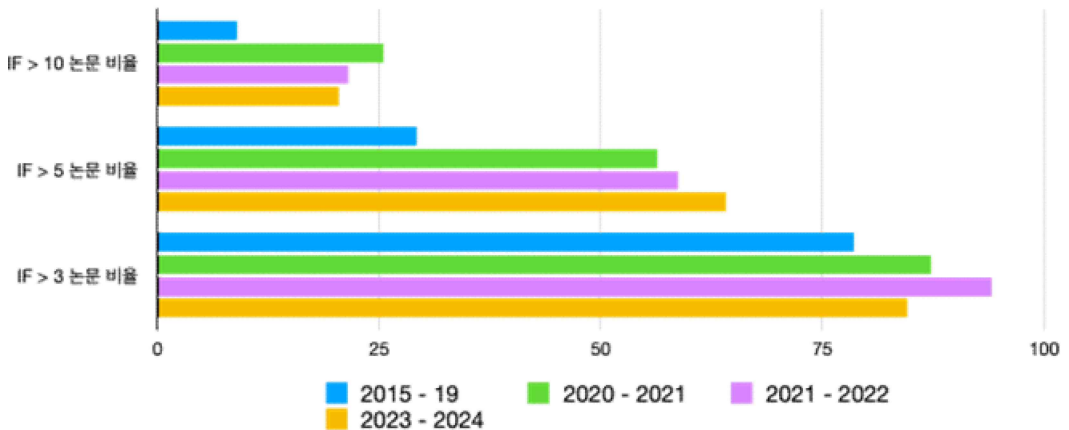
• 논문 수

- 총 논문 수: 2015 - 19년 논문 수 연평균 (37편) 대비 **105% 달성**
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 - 19 연평균 (5편) 대비 **180% 달성**



• 우수 논문 비율

- IF > 10 논문 비율 (20.5%): 2015 - 2019년 대비 **228% 달성**
- IF > 5 논문 비율 (64.1%): 2015 - 2019년 대비 **218% 달성**
- IF > 3 논문 비율 (84.6%): 2015 - 2019년 대비 **108% 달성**



• 연구성과 세부 지표

<표 1-6> 참여교수 연구실적

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2021-2022	2015-19 연평균	1~2단계 목표 (7년) (2020.9-2027.8)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	9	16	5.2	58
IF > 5 논문 비율 (%)	64	59	29	40
환산보정 IF 합	5.3	8.08	5.31	48.23
환산보정 ES 합	14.68	25.96	20.05	182.46

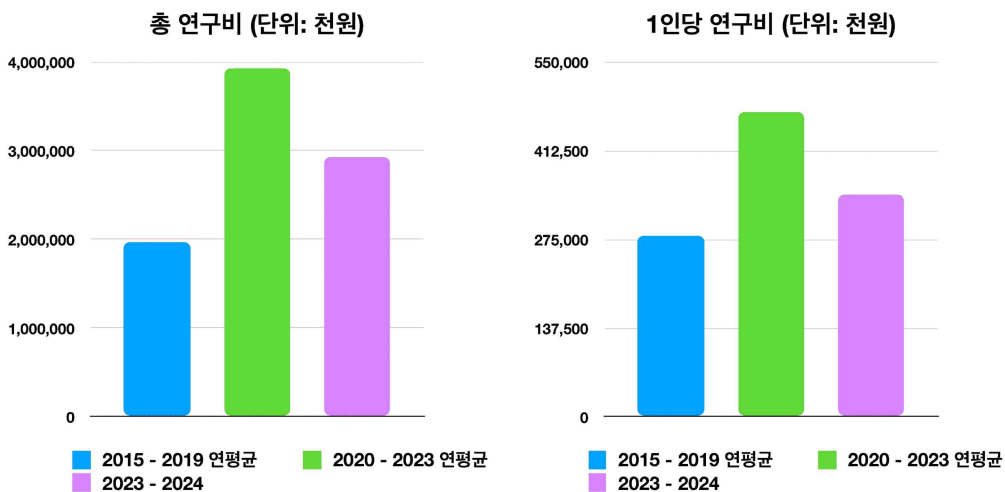
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 지난 1년 동안 9편 출간으로 1~2단계 연간 목표치 달성
- IF ≥ 5인 논문의 비율 64%: 2015-19 대비 약 2.2배이고, 목표치 (≥ 40%) 초과
- 환산보정 IF 합: 지난 1년 동안 1~2단계 연간 목표치의 77%
- 환산보정 ES 합: 지난 1년 동안 1~2단계 연간 목표치의 56%

• 연구비

<표 1-7> 참여교수 연구비 수주 실적

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2021-2022	2020-2021	2015-19 연평균
연구비 총액 (천원)	2,927,952	4,516,109	3,721,926	1,970,844
1인당 연구비 (천원)	344,464	501,789	413,547	281,549

- 2023-2024년도 연구비 총액 2,927,952,000원, 참여교수 1인당 연구비 344,464,941원
- 2015-2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 149%, 1인당 연구비 122%



❖ 국제화

📖 참여대학원생 국제 공동연구 성과

- 학회발표: 국제학술대회 27건, 국내학술대회 26건, 학회수상 실적 7건.
- 육 박사과정생은 중국 상해대학교의 G , S 교수와 국제공동연구를 통해 온도와 밀도에 따른 블랙홀 상전이를 분석하여 Phys. Rev. D에 논문을 게재하였음.
- 김 학생은 고분자공학관련 연구자인 F 박사(프랑스 Université de technologie de Compiègne 소속) 연구실을 2024년 7월 1일부터 7월 20일까지 20일 동안 장기 방문하여 분자 동역학 시뮬레이션을 이용한 고분자 구조 PVDF의 다중 규모 모델링을 수행하였음. A 박사(미국 Caltech 소속)와 D 박사(프랑스 Sorbonne Université)가 강의하는 원자론과 미세역학을 통한 모델링의 이론을 배우고, S 박사(미국 UC Berkeley 소속)와 다양한 나노구조 시스템을 위한 수치 해석 방법을 의논하였음. 특히, 외부 환경 변화를 통해 구조를 안정화시킬 수 있음을 Lammps 시뮬레이션 구현을 통해 확인했고 추가로 shear stress를 가했을 때 density, gyration radius, dipole moment가 변한다는 결과를 얻음.
- 이 학생은 NbSe₂ 물질의 초전도성과 전하 밀도 파 질서 사이의 복잡한 상호 작용을 연구하기 위하여 미국 하버드의 P 과 M 교수의 연구실에 방문하여, 다이아몬드 앤빌 셀에 전자 빔 증착 실험을 진행하였음(2024.2.22. - 2024.2.29.). 저온 전기 저항 측정 결과, 전하밀도와 상태에서는 초전도성이 억제된다는 것을 확인함. 이는 위상 상전이에서 갭이 있는 스펙트럼이 초전도성을 매개한다는 것을 시사함. 현재 관련논문을 준비 중임.
- 오 박사과정생은 중국 Yanshan University의 L 교수 연구실을 방문하여 다이아몬드 앤빌셀을 이용한 Se기반 수소화물의 180만기압의 초고압에서의 초전도성 발현을 연구하였고 결과를 Scientific Reports에 투고하였음.
- J 학생은 독일 Max-Planck연구소의 M 교수 연구실에 2023.4.1.부터 장기체류하며 U-YH, Ce-H, (LaAl)-H 등 다양한 수소화물의 200만 기압단위 초고압에서 초전도를 비롯한 전자수송현상을 연구하고 있음. 또한 유럽 ESRF 방사광시설에 2번 방문하여 초고압-초고온 환경에서 수소화물의 구조 변화에 대한 연구를 수행하였음.
- 박 학생은 2024.01.10.-02.24 동안 미국 Advanced Photon Source의 GSECARS 빔라인에서 금속 유리 Ti₄₅Zr₂₇Ni₂₀Si₈ 및 2D 반데르발스 물질 Fe₃GeTe₂의 구조적 성질을 다이아몬드 앤빌 셀과 라만 산란을 이용하여 연구하였음. 금속 기반 물질인 Ti₄₅Zr₂₇Ni₂₀Si₈은 라만 산란 세기가 약하다는 단점을 확인하였으며, 우리의 라만 산란 메커니즘을 연구하기 위해 Paris-Edinburgh 프레스를 사용하여 유리 알바이트(NaAlSi₃O₈)를 합성하고, 최대 20 GPa의 압력에서 구조적 변화를 라만 산란으로 확인함. 본 연구결과를 2024년 8월 평창에서 개최한 AOGS (Aisia Oceania Geological Society)에 발표하였음.
- 이 학생은 2024년 8월 9일부터 8월 20일까지 중국 칭황다오에 위치한 연산대학교 고압연구센터 (Center for High Pressure Science, CHiPS)를 방문하여 L 교수 연구팀과 함께 초고압에서의 그리고 고온초전도체 발굴을 위한 수소화물 형성, 그리고 초전도체의 자화현상에 관한 공동 연구를 수행하였고 결과물을 ACS Applied Energy Materials에 투고하였음.
- 박 , 최 , 김 등 학생 3명은 미국 Argonne National Laboratory - Advanced Photon Source에 한 달간 장기 방문하여 (2024 08.16-09.16) 압력하에서 다양한 수소화물과 양자물질의 특성 연구를 진행함. 이번 방문연구는 한양대학교와 APS간에 체결된 교류협정의 일환으로 수행되었음.

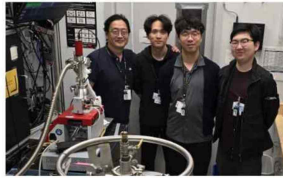


13 IDD, Students from Hanyang University

News and Announcements

13 IDD, Students from Hanyang Univ look at High-Pressure Raman and Brillouin Scattering Studies of Composite Quantum Materials

[read more](#)



Low-temperature experiments in the GSE Raman Lab

News and Announcements

Hanyang University students conduct low-temperature experiments in the GSE Raman Lab with Kagome quantum material at 30 K.

[read more](#)



참여교수의 국제 학술활동 실적

- The 1st HYU-YSU Workshop on Quantum Materials at Extreme Conditions 2024년 국제 워크샵
 - 학술대회 조직위원 활동 (조직위원장: 김재용, 조직위원: 문순재, 박문집, 이창민, 천상모)
 - 연구 분야 : 양자물질, 극한물성
- Holography 2024: Correlation and Entanglement in Quantum Matter
 - 학술대회 조직위원 활동 (조직위원장: 신상진, 조직위원: 박문집)
 - 연구 분야 : 필드 이론, 스트링 이론, 응집 물질 이론
 - 참가 규모 : 대한민국, 중국, 유럽 등에서 50여명 참여
- The 21st International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA)
 - 학술대회 조직위원 활동 (조직위원: 정문석)
 - 연구 분야 : 반도체 물리학, 나노기술, 양자 소재, 광전자공학 등 다양한 분야를 포함
 - 참가 규모 : 대한민국 포함 총 20개국 (오프라인 참가자 약 1,100여명)
- The Low-Energy Electrodynamics in Solids 2025 (부산, 2025. 6. 22-27)
 - 학술대회 조직위원 활동 (문순재, 이창민) (2023. 8. 1-2025. 6. 30)
 - 연구 분야 : 분광학, 강상관 물질, 초전도체, 저차원 물질, 위상 물질
- The 28th AIRAPT and 60th EHPRG (2023.07.23.-28)
 - 김재용 교수는 위 기간 동안 영국 Edinburgh에서 열린 제 28차 세계고압학회에서 임기 4년의 이사로 선임되었음.
 - 연구 분야 : 압력, 극한물성, 초전도
- 한-중 고압 심포지엄 개최 (2024.10.27.-31, 부산 신라스테이)
 - 학술대회 조직위원 활동 (조직위원장: 김재용, 프로그램위원: 문순재)
 - 연구 분야 : 양자물질, 극한물성
- The 1st Workshop on Quantum Materials under Extreme Conditions (2023. 06.30, 서울프레지던트호텔)
 - 학술대회 조직위원 활동 (김재용, 문순재, 천상모 주최)
 - 연구분야: 양자물질, 극한물성, 초전도
- 국제 학회 초청 강연 12회
- 미국, 중국, 베트남, 유럽 등과의 공동 연구결과 논문 9편 출간



국제 공동 연구 네트워크 추진 성과

- 해외 우수학자 겸임교수 활용: 중국 HPSTAR 소속 H , X 교수, V 교수, Yanshan University 소속 L 교수 등을 본교 특임교수 및 겸임교수로 각각 발령하여 대학원생 논문, 연구활동 지도 수행
- 기존 MOU/LOI 9건 외 미국 UCSB와 LOI 1건 신규 체결

내용: 양자물성 연구관련 학생 및 연구원 교류, 국제 공동연구, 공동심포지엄 개최

- 김재용 교수는 2024년 3월 28일 독일 Max-Planck 연구소의 M 박사 연구실을 방문하여 수소 화합물의 고압하에서의 초전도성 관련 최신 연구 결과를 공유하고 학생 교환 등 구체적인 공동연구 방안을 논의함.
- 김재용 교수는 2024년 8월 10일 중국과학원(CAS) 극한물성 관련 시설을 견학하고 고압 연구 관련 최근 연구 동향을 논의함.

❖ 교육연구팀 구성



교육연구팀 구성 체계 완성 및 운영

- 주기적 운영위원 회의를 통해 사업팀 운영 전반에 관해 분석하고 모든 참여교수가 참가하는 회의를 통해서 본 교육연구팀의 주요 안건을 의결함.
- 운영위원회 구성
본 교육팀 참여교수 중 6인(김재용 교수, 문순재 교수, 박문집 교수, 이창민 교수, 정문석 교수, 천상모 교수)을 구성하여 운영함.
- (외부) 자문위원회 구성
학과 내 비참여교수(이 교수, 윤 교수)를 위촉하여 자문과 감사를 수행함.
- 교육위원회 구성
본 교육팀 참여교수 중 5인(김재용 교수, 문순재 교수, 정문석 교수, 신상진 교수, 천상모 교수)을 구성함.



[교육연구팀의 구성]



교육연구팀 홈페이지 운영



[교육연구팀 홈페이지. <https://phybk.hanyang.ac.kr>]

❖ 교육 프로그램 개선 활동

- 본 교육연구팀은 양자물질 극한물성 분야의 창의적인 인재를 양성하기 위해 미국 라이스(Rice) 대학과 중국 길림(Jilin) 대학을 벤치마킹 대상으로 선정하였고 비교 분석을 통해 교육과정을 지속적으로 개선함.
- 교육 프로그램을 기초, 핵심, 심화, 특성화로 나누어 구성하고, 물리학의 한계에 도전하는 문제 해결 능력과 융합

적 사고를 갖춘 후속 인재를 양성할 수 있도록 하였음. (표<1-8> 참조)

- 석박사통합 및 박사 과정생의 예비시험, 종합시험 규정을 강화하고, 박사 과정생의 경우 졸업에 필요한 요건을 제1저자로 출간한 SCI급 논문 IF 합 6 이상, 해외 학회 구두 발표를 1회 이상으로 강화하였음. (내규 규정)
- 특히, 문제 해결 중심의 강의를 강화하기 위해서 IC-PBL 수업을 교과목 개발을 의결하고, 매 학기 IC-PBL 수업을 진행하고 있음. (표<1-8> 참조)

<표 1-8> 교육실적과 교과과정 편성표

구분	2022년 1학기	2022년 2학기	2023년 1학기	2023년 2학기	2024년 1학기
기초과목	고전역학	통계역학	양자물리학	전자기학	고전역학
핵심과목	고체물리학1	고체물리학2			고체물리학1
심화과목 및 IC-PBL 과목	다체계1	다체계2	위상물리1	위상광자학	다체계1
	강상관양자 물질분광학	초고압상변이와 수송현상	강상관계1	저차원반도체 물성연구	강상관양자 물질분광학
		저항변화메모리와 스핀트로닉스		초끈이론과 강상관계	
특성화과목	광학설계실습		광학실험실습		광학설계실습
공통과목	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론

❖ 교육연구팀의 비전 및 목표 달성을 위한 애로사항 등 기술

- 본 교육연구팀은 교육/연구/국제화 분야에서 제안서에 기반하여 지속적으로 활동을 하고 있음.
- 최근 연구흐름이 인공지능과 양자현상으로 전환되는 시기인 만큼, 이에 맞는 새로운 이론과 기술을 커리큘럼에 포함시키기 위해 교과과정을 지속적으로 보완할 필요가 있음.
- 산업체와의 원활한 연구 협력을 구축하기 위해, 실무적인 연구와의 연결을 강화하고 졸업생의 실무 역량 강화하기 위해 다양한 산학협력 프로그램을 확대할 필요가 있음.
- 물리학 교육과정을 글로벌 기준에 맞추어 발전시키기 위해 해외 연구진과의 교류 및 협력 기회를 확대하고, 연구 및 교육 내용을 국제적으로 수준으로 이끌어갈 예정임.

II

교육역량 영역

□ 교육역량 대표 우수성과

❖ 대학원생 연구실적

<표 2-1> 지난 1년 (2023.9.1~2024.8.31.) 참여대학원생의 연구실적

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2021-2022	2017-19 연평균	1~2단계 목표 (7년) (2020.9-2027.8)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	4	5	1.67	14
환산보정 IF 합	2.13	3.53	3.31	30.12
환산보정 ES 합	8.12	13.07	7.09	64.52

- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 4편: 연간 목표치 대비 200%
- 환산보정 IF 합 2.13: 2017 - 19 대비 64%
- 환산보정 ES 합 8.12: 2017 - 19 대비 115%
- 참여대학원생 논문 20편: 2017 -19 연평균 (15.7편) 대비 127%

- BK 선정 평가 시 제시한 1~2단계 참여대학원생 연구실적 목표
 - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 14편
 - 환산보정 IF 합 매년 10% 증가
 - 환산보정 ES 합 매년 10% 증가
 - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2023 - 2024 기간 동안 1~2단계 목표치 연평균 대비 200%
 - 환산보정 IF 합: 2023 - 2024 기간 동안 1~2단계 목표치 연평균 대비 50%
 - 환산보정 ES 합: 2023 - 2024 기간 동안 1~2단계 목표치 연평균 대비 88%
 - 단, 주저자 우수 논문의 비율은 높일 필요가 있음.

❖ 대학원생 우수 연구성과

서

- 자기조립을 이용한 반데르발스 반도체의 기판 효과 완화/Mitigating substrate effects of van der Waals semiconductors using perfluoropolyether self-assembled monolayers (NANOSCALE, IF 5.8)
- 전이금속 칼코젠 화합물(TMDC)의 특성은 기판의 유전상수에 크게 의존하며, 이는 TMDC의 활용 가능성을 제한하는 중요한 문제임. 이를 해결하기 위해 우리는 낮은 표면 에너지를 가진 퍼플루오린화폴리에테르(perfluoropolyether) 자기조립 단분자 막(self-assembled monolayer)을 사용하여 TMDC와 기판 사이의 반데르발스 간격을 넓혔음. 이를 통해 TMDC와 기판간의 상호작용을 줄였으며, 그 결과 subthreshold swing 값이 감소하고, 엑시톤의 광발광 강도가 증가하며, 기판에 의한 도핑효과가 감소하였음. 이 연구는 TMDC와 유전체 계면을 제어하는 새로운 방법을 제시하며, TMDC의 활용 가능성을 확장할 것으로 기대됨. 본 연구 결과는 Nanoscale에 게재됨.

한

- 멀티밴드 시스템에서의 숨은 카이랄 도메인 벽 상태 발현 연구/Revealing inverted chirality of hidden domain wall states in multiband systems without topological transition (COMMUNICATIONS PHYSICS, IF 5.4)
- 카이랄성(chirality)은 자연계의 기본적인 대칭성 중 하나로 위상물질에서 중요한 성질이다. 본 연구에서 이중

Su-Schrieffer-Heeger 사슬에서 카이랄 대칭을 깨뜨린 시스템에 대하여 전자 에너지 밴드 사이에 숨어있는 chiral domain wall 상태를 분석하였음. 위상학적 상전이 없이 서로 반대의 chirality를 가지는 단일 갭 상태와 이중 갭 상태 간 전이가 가능함을 확인하였고 밴드 갭 구조를 설계하여 숨은 chiral domain wall 상태를 제어할 수 있음을 보였음.

강

- 10계 분류표 외의 양자화된 분극 및 마요라나 페르미온/Quantized polarization and Majorana fermions beyond tenfold classification (COMMUNICATIONS PHYSICS, IF 5.7)
- 10계 분류표는 물리적 시스템이 가진 대칭성에 따라서 어떤 위상학적 성질을 가지는지를 나타냄. 이렇게 분류되는 위상학적인 물질들은, 양자화된 위상 숫자를 가지게 되고, 위상학적인 표면 상태를 가지게 됨. 본 연구는 분류표상 위상학적인 표면 상태가 나타날 수 없다고 알려진 대칭성을 가지는 물질을 접합하여서 경계면에서 위상학적 domain wall의 발현이 가능한 것을 확인하였음. 이는 위상 절연체의 표면에서 나타나는 양자화된 분극뿐만 아니라, 위상 초전도체의 표면에서 나타나는 것으로 알려진 Majorana 상태의 domain wall을 확인하였음.

육

- 강상관계를 위한 평균장이론: 홀로그래피적 접근/Mean field theory for strongly coupled systems: Holographic approach (JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, IF 5.0)
- 본 연구에서는 강상관 전자계를 위한 홀로그래피 평균장이론을 개발하였음. 다양한 종류의 대칭 깨짐에 의한 효과를 스펙트랄 함수를 통해 분석하였고, 추가로 특정 극한에서 모든 상호작용의 그린함수의 해석적 표현을 찾는 것에 성공함. 이로부터 그린함수의 특이점 거동에 따라 상호작용을 분류하고, 앞선 해석적 표현과 관련하여 모든 장들 간의 상호작용을 고려한 계산을 통해 앞선 표현의 타당성을 확보하였음. 본 연구는 강상관계의 물질들을 모델링하는 데 기저 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨.

김

- 적외선 분광법을 이용한 ScV₆Sn₆의 전하밀도파 갭 연구/Infrared probe of the charge density wave gap in ScV₆Sn₆ (PHYSICAL REVIEW B, IF 3.2)
- ScV₆Sn₆은 소위 HfFe₆Ge₆ 타입인 166 카고메 금속으로 다른 166 카고메 금속(예시: YV₆Sn₆)과 다르게 온도 92 K 근처에 격자 변형이 일어난다고 알려져 있는데, 이러한 격자 변형이 전하 밀도파에 의한 전자 밴드의 갭 열림 현상을 야기하는지 아직 확실하게 밝혀진 바 없음. 본 연구팀은 적외선 분광법 (Infrared spectroscopy)을 활용하여 ScV₆Sn₆의 전하밀도파의 물리적인 특성을 연구하여 전하밀도파 갭을 명확히 관측하고 원인을 규명함.

유

- 카고메 금속 ScV₆Sn₆에서 나타나는 전하밀도파의 생성 메커니즘과 동적 요동 분석/Driving mechanism and dynamic fluctuations of charge density waves in the kagome metal ScV₆Sn₆ (PHYSICAL REVIEW B, IF 3.2)
- AV₃Sb₅(A = K, Rb, Cs) 계열이 2×2×2 전하밀도파(CDW) 상을 보이는 것과 대조적으로, RV₆Sn₆(R = Sc, Y, La) 계열의 ScV₆Sn₆만이 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 평면 내 질서와 c축을 따라 단위 셀의 3배를 가진 특이한 CDW 상태를 보임. 제일원리 밀도범함수 이론 계산을 사용하여, $\sqrt{3} \times \sqrt{3} \times 2$ 및 $\sqrt{3} \times \sqrt{3} \times 3$ CDW 상은 카고메 이중층에 밴드 갭 열림을 수반하는 안-틸러 효과를 규명함.

참여교수 교육 대표 실적



극한물성분석 (김재용 교수)

본 강좌에서는 100만기압 단위의 초고압 그리고 극저온 환경에서의 물리적 특성에 대한 이론과 실험적 접근을 다루었음. 고압 실험 기술과 데이터 분석에 대한 수업이 진행되었으며, 고압 연구 분야

의 외부 전문가를 초청하여 최신 연구 동향과 실제 사례를 소개하는 특별 강연도 제공되었음. 이를 통해 학생들은 압력 연구의 실질적 적용에 대한 폭넓은 시각을 가질 수 있었음. 또한, 학생들은 학기 초에 연구 계획을 발표하고, 학기 말에는 연구 결과를 발표하는 프레젠테이션을 진행하여 동료들과 피드백을 주고받으며 연구를 개선할 기회를 가졌음. (2023년 2학기 개설)



위상양자물리학 (천상모 교수)

양자역학을 바탕으로 물질에 대한 현대적인 연구가 진행되고 있는 현실을 반영하여, 본 수업은 대학원 수준에서 다체계 물리, 위상 절연체 및 초전도 물리에 대해 소개하였음. 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 강의하였음. 양자역학에서의 위상현상 / 양자홀 효과와 위상불변량 / 양자역학에서의 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 솔리톤에 대해 강의하였음. (2023년 2학기 개설)



강상관양자물질분광학 (문순재 교수)

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 진행하였음. 본 강의는 양자물질을 연구하는 대학원생들의 분광 실험법에 대한 이해를 제공하고, 나아가 각자의 연구에 적절한 분광 실험법을 활용할 수 있는 능력을 기르는 것을 목표로 하였음. 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 진행하였음. (2024년 1학기 개설)



다체계물리 1 (천상모 교수)

최근 전세계적으로 연구되고 있는 양자물질의 다체계 현상을 연구할 수 있도록 중요한 개념과 중요한 시스템을 소개하였음. 다체계를 이루는 입자 (페르미온, 보손)의 2차 양자화를 학습하고, 상호작용이 없는 페르미온과 보손이 만족하는 양자통계현상을 찾고 이를 분석하여 보고된 결과와 비교하였음. 평균장론을 이용하여, 대칭성 붕괴 시, 자성이 발현되는 조건과 특징을 분석하여 실험과 비교하였음. 파인만 다이어그램을 학습하여 다체계 현상을 직관적으로 이해할 수 있도록 하였음. 학생들은 중간고사, 기말고사를 통해서 주요 개념과 계산법을 연습하였으며, 자신의 연구와 관련된 프로젝트를 진행한 후 보고서를 제출하였음. (2024년 1학기 개설)

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

◆ 대학원 교육과정의 전체 구성과 실적

📖 교육과정 전체 구성에 관련된 실적

- 본 교육연구팀은 극한물성 양자물질의 물리현상을 이해하고 창의적이고 독립적인 연구 능력과 사회적 소통능력을 갖춘 인재를 양성하고자 대학원 교육과정을 지속적으로 개선하고 있음.
- 기존 교육과정의 충실성, 지속성 반영
 - 교육과정은 크게 정규과목과 비정규과목으로 나누고 정규과목은 기초, 핵심, 심화, 실험 연계 과목으로 분류하여 연구에 필요한 과목을 입학시부터 곧바로 수강할 수 있게 하였음.
 - 학생들이 매 학기 기초 핵심, 심화 혹은 실험 연계 과목 중에서 각 1과목씩 선택하여 수강함으로써 연구와 교육이 유기적인 연관성을 가지고 운영될 수 있도록 하였음.
 - 학생들의 연구 참여 기회를 독려하고 전공과목 선택의 다양성을 넓히고자, 그동안 3학점 단위로 운영되었던 콜로퀴엄 과목을 1학점으로 줄여 운영하였음.
- 정규과목
 - 극한물성 양자물질 연구를 위해 정규 교과 과정을 교과과정위원회를 통해 개편하였음.
 - 기초과목: 2021년부터 역학/전자기/양자/통계과목을 한 학기에 한 과목씩 개설하였음.
 - 핵심과목: 연구에 필요한 전문 지식의 전달을 주요 목표로 하는 강의를 개설하였음.
 - 심화과목: 최신 연구 주제와 밀접하게 연계된 심화 지식을 강의하는 과목을 개설하였음.

<표 2-2> 지난 1년 (2023.9.1.~2024.8.31.) 운영 교과목

	기초	핵심	심화	특성화	공통과목
운영 교과목	2과목(6학점)	1과목(3학점)	5과목(15학점)	1과목(3학점)	2과목(2학점)

<표 2-3> 교육실적과 교과과정 편성표

구분	2022년 1학기	2022년 2학기	2023년 1학기	2023년 2학기	2024년 1학기
기초과목	고전역학	통계역학	양자물리학	전자기학	고전역학
핵심과목	고체물리학1	고체물리학2			고체물리학1
심화과목 및 IC-PBL 과목	다체계1	다체계2	위상물리1	위상광자학	다체계1
	강상관양자 물질분광학	초고압상변이와 수송현상	강상관계1	저차원반도체 물성연구	강상관양자 물질분광학
		저항변화메모리와 스핀트로닉스		초끈이론과 강상관계	
특성화과목	광학설계실습		광학실험실습		광학설계실습
공통과목	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론

❖ 대학원 정규 교과목에 대한 최근 1년간 실적

- 본 사업에 특화된 연구 인력을 양성하기 위하여 대학원 정규과목을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 공동연구과목으로 개편하였으며, 지난 1년간 11과목을 개설하였음. 매 학기 문제해결 중심의 IC-PBL 과목을 운영함. 지난 1년간의 운영 현황과 차년도 계획은 다음과 같음.

<표 2-4> 지난 1년 (2023.9.1.~2024.8.31.) 대학원 정규과목 개설 현황

구분	과목명	개설학기	학점 수	담당교수
기초과목	고전전자기학	2023년 2학기	3	남
	고전역학	2024년 1학기	3	이
핵심과목	고체물리학1	2024년 1학기	3	남
심화과목	강상관양자물질분광학	2024년 1학기	3 (IC-PBL)	문순재
	초끈이론과강상관계	2023년 2학기	3	신상진
	위상광자학	2023년 2학기	3	송석호
	저차원반도체물성연구	2023년 2학기	3	정문석
	다체계1	2024년 1학기	3 (IC-PBL)	천상모
특성화과목	광학설계실습	2024년 1학기	3	송석호
공동연구과목	첨단물리특론	2023년 2학기	1	김재용
	첨단물리특론	2024년 1학기	1	김재용

<표 2-5> 차년도 대학원 정규과목 개설 계획 (2024.9.1.~2025.8.31.)

구분	과목명	개설학기	학점 수	담당교수
기초과목	통계역학	2024년 2학기	3	남
	양자물리학	2025년 1학기	3	미정
핵심과목	고체물리학2	2024년 2학기	3	문순재
심화과목	반도체소재및물성	2024년 2학기	3	정문석
	다체계2	2024년 2학기	3 (IC-PBL)	천상모
	위상물리1	2025년 1학기	3 (IC-PBL)	천상모
	강상관계1	2025년 1학기	3	신상진
특성화과목	광학실험실습	2025년 1학기	3	송석호
공동연구과목	첨단물리특론	2024년 2학기	1	김재용
	첨단물리특론	2025년 1학기	1	김재용

❖ 학사관리 운영 및 지난 1년간의 실적

- 대학원 교육위원회 주관
본 교육연구팀장 김재용 교수가 대학원 교육위원장으로 활동하였고, 참여교수인 정문석 교수, 박문집 교수가 교육위원회에 참여하여, 대학원 학사 운영의 전반적인 업무를 관할하였음.
- 대학원생 연구력 향상을 위한 조교 부담 경감
대학원생의 조교 부담을 경감하기 위해서 대학 본부와 논의하여 교육조교 TO를 기존 14명에서 19명으로 증원하였음. 또한, 학부봉사장학생 제도를 통해서 학부생 조교를 선발하여 기초과목 이론 채점 봉사활동을 하였음.

❖ 장학금 운영 실적

본 교육연구팀과 관련된 장학금의 현황은 아래 <표 2-6>에 정리되어 있음. 본 교육연구팀은 참여대학원생이 대학 본부에서 제공하는 장학금을 받을 수 있도록 여러 가지 장학 프로그램을 적극 신청하였음. 본 교육연구팀은 물리학과 교육위원회 활동을 통해서 장학생을 선발하였음. 또한, 본 교육연구팀 내에 우수연구 장학금을 신설하여 극한물성 연구에 기여한 우수대학원생을 선발하여 BK 성과발표회에서 BK우수논문상을 수여하였음. 구체적인 장학금 운영 실적은 아래와 같음.

<표 2-6> 본 교육연구팀에서 제공하는 장학금

명칭	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 (2020년 9월 신설)	학기당 300만원	BK 참여 우수 대학원생 (본부 신설)
BK 우수논문상 (2020년 9월 신설)	최우수 (1명), 우수 (3명)	BK 참여 우수 대학원생 (본 팀내 신설)
BK 우수발표상 (2024년 8월 신설)	최우수 (1명), 우수 (1명)	BK 참여 우수 대학원생 (본 팀내 신설)

- 한기수 장학금
물리학과 동문(87학번 한기수)이 기부한 장학금으로 본교 물리학과를 졸업한 우수한 대학원 입학생 4명을 선발하여, 인당 300만원을 지원하였음.
일시: 2024.9.6.
수상자: 박 , 이 , 홍 , 김



[2024.9.6. 한기수 동문 장학금 수여식]

• 성적우수자 교육봉사 장학금

학부 3, 4학년 학부생이 자원하여 전공 핵심과목의 채점조교 업무를 수행하고, 소정의 장학금과 표창장을 받을 수 있는 교육봉사 제도를 실시하였음.

<표 2-7> 학부생 교육봉사 장학금 현황

과목명	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년
고전역학	최 , 고	조 , 변	변	박 , 김	김
전자기학	임	안 , 변	서 , 김	홍 , 전	김 , 김
양자역학	송 , 윤	최 , 하	하 , 서	임 , 변	김
열및통계물리학	류	조 , 서	안	이	김 , 박
수리물리학	안 , 윤	박 , 홍	홍	김 , 송	강 , 임

• BK-RA/TA 연구장학금 지급

매 학기 4단계 BK 교육연구팀 소속 대학원생에게 Research Assistant (RA)/ Teaching Assistant (TA) 장학금을 제공하고, 그에 알맞은 교육 프로그램을 제공하여 참여대학원생이 연구역량과 교육역량을 강화할 수 있도록 하였음.

<표 2-8> BK-RA/TA 연구장학금 현황

	2023년 2학기	2024년 1학기
BK-RA/TA 장학금	황 , 서 , 김 , 성	성 , 조 , 송

• BK 우수논문상

본 연구팀은 BK 우수논문상을 BK 운영위원회를 통하여 신설하여, 우수논문을 출간한 참여대학원생에게 장학금을 지급하고, 우수한 연구를 장려하고 있음. 수상자는 다음과 같음.

일시: 2024년 1월 31일, 수상자: 한 , 김

일시: 2024년 8월 5일, 수상자: 서 , 육 , 유



[2024년 1월 31일 장학금수여식]



[2024년 8월 5일 장학금수여식]

- BK 우수발표상(신설)

일시: 2024년 8월 5일, 수상자: 김 , 육



[최우수 발표상 상장수여식]



[우수 발표상 상장수여식]

❖ BK 성과 발표회

- 참여대학원생의 연구 의욕을 고취하고 연구 역량을 제고하기 위해, BK 운영위원회에서 매년 2회(1월, 7월)의 BK 성과발표회를 개최함. 이를 통해 대학원생들 간의 연구 결과를 공유하고, 우수 연구를 수행한 대학원생에게 최우수상, 우수상, 장려상을 수여하고 장학금을 지급함.
- 아래와 같이 2번의 성과발표회를 진행하였음.

일시: 2024년 1월 31일, 2024년 8월 5일

2023-2 BKFOUR

양자물질 극한물성 교육연구팀

4차년도 성과 발표회

2024년 01월 31일(수) 15:00

자연과학관 123호

행사일 (교육연구팀장: 김재환)			
15:00-15:05			
15:05-15:25	반 승 호 (신진연구팀)	Harnessing Persistent Photocurrents in 2D Semiconductor-Organic Hybrid Structure: The Role of Electron Trapping and Fermi Level Dynamics for Optoelectronic Memory.	정민석
15:25-15:40	오 천 우	The research summary of LK-99	김재환
15:40-15:55	김 동 욱	Infrared probe of the charge density wave gap in SrV ₆ Sn ₆	문순재
15:55-16:10	윌 태 램	Encoding the lattice in the Holography II : Stability of Topology	신상진
16:10-16:25	조 지 훈	Passivation of Metal Monochalcogenide Using PMMA/BV Composite for Air Stability	정민석
16:25-16:35	휴식		
16:35-16:50	한 상 훈	Revealing inverted reality of hidden domain wall states in multiband systems without topological transition	한상호
16:50-17:05	성 병 건	Bidirectional threshold switching induced by conductive filament in chalcogenide-based selectors for 3D crossbar array memory	홍진표
17:05-17:20	BK 우수발표상 시상		
17:20-17:30	폐회식		



[2023-2학기 성과발표회 포스터 및 프로그램]

2024-1 BKFOUR

양자물질 극한물성 교육연구팀

5차년도 성과 발표회

2024년 08월 05일(월) 15:00

자연과학관 123호

15:05-15:25	반 승 호 (신진연구팀)	Transforming Electrical Properties of 2D Materials: Persistent Photoconductivity and Amorphization	정민석
15:25-15:40	손 의	The study of electrical and magnetic properties of Fe ₃ Sn ₂ Fe ₂ under pressure	김재환
15:40-15:55	김 동 욱	Doping evolution of the electronic response of Kagome metal CuV _{1-x} Ti _x Sb ₅	문순재
15:55-16:10	홍 승 범	Superconductivity in Altermagnetism RuO ₂	백문집
16:10-16:25	속 태 환	홀로그래픽 양공칭이론에 기반한 강상온 물질의 초유도성	신상진
16:25-16:40	황 준	High-Resolution Magneto-Optic Microscopy	이창민
16:40-16:50	휴식		
16:50-17:05	서 형 진	Mitigating substrate effects of van der Waals semiconductor using perfluoropolyether self-assembled monolayers	정민석
17:05-17:20	한 영 준	Quantized Polarization and Majorana Fermions Beyond Tenfold Classification	한상호
17:20-17:35	김 동 일	A Practical Zinc Metal Anode Coating Strategy Utilizing Bulk In-BN and Improved Hydrogen Redox Kinetics	홍진표
17:35-17:50	BK 우수논문상 & 우수발표상 시상		
17:50-18:00	폐회식		



[2024-1학기 성과발표회 포스터 및 프로그램]

<표 2-9> 성과발표회 발표자와 발표 제목










2023년 2학기 성과발표회 (2024.1.31)		2024년 1학기 성과발표회 (2024.8.5)	
발표학생	제목	발표학생	제목
방 박사	Harnessing Persistent Photocurrents in 2D Semiconductor–Organic Hybrid Structure: The Role of Electron Trapping and Fermi Level Dynamics for Optoelectronic Memory	방 박사	Transforming Electrical Properties of 2D Materials: Persistent Photocurrent and Amorphization
오	The Research Summary of LK-99	손	The Study of Electrical and Magnetic Properties of Fe ₃ GaTe ₂ Under Pressure
김	Infrared Probe of the Charge Density Wave Gap in ScV ₆ Sn ₆	김	Doping Evolution of the Electronic Response of Kagome Metal Cs(V _{1-x} Ti _x) ₃ Sb ₅
육	Encoding the Lattice in the Holography II : Stability of Topology	홍	Superconductivity in Altermagnetism RuO ₂
조	Passivation of Metal Monochalcogenide Using PMMA/BV Composite for Air Stability	육	홀로그래픽 평균장이론에 입각한 강상관 물질의 토폴로지
한	Revealing Inverted Chirality of Hidden Domain Wall States in Multiband Systems without Topological Transition	황	High-Resolution Magneto-Optic Microscopy
심	Bidirectional Threshold Switching Induced by Conductive Filament in Chalcogenide-Based Selectors for 3D Crossbar Array Memory	서	Mitigating Substrate Effects of van der Waals Emiconductors Using Perfluoropolyether Self-Assembled Monolayers
		강	Quantized Polarization and Majorana Fermions Beyond Tenfold Classification
		김	A Practical Zinc Metal Anode Coating Strategy Utilizing Bulk h-BN and Improved Hydrogen Redox Kinetics

❖ BK 세미나 시리즈 개설

- 본 교육연구팀 연구분야 및 인접 분야의 최신 동향을 습득하고 차세대 학자를 발굴할 목적으로 BK세미나 시리즈를 개설함. 양자물질 연구 분야 국내외 전문가들을 초빙함.
- 양자물질 연구분야 국내외 전문가를 초청하여 총 30회의 세미나를 진행함 (<표 2-10> 참조).

<표 2-10> BK 세미나 시리즈 목록

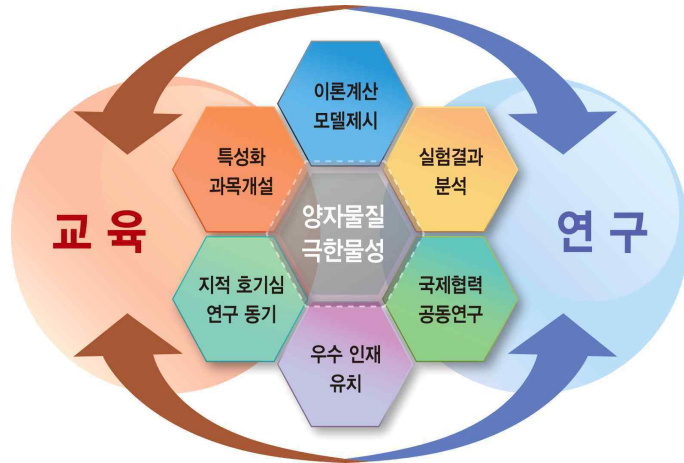
연번	일시	강연자 (소속)	제목	증빙자료
1	2023년 09월 13일	이 교수 (한양대학교)	초전도체의 이론과 실제	
2	2023년 09월 20일	홍 교수 (부산대학교)	Search for Axion Dark Matter in the Laboratory and Cosmos	
3	2023년 09월 27일	천 교수 (숭실대학교)	Bigbang Nucleosynthesis and Neutrino-Process in Core-Collapsing Supernova Explosion (CCSN)	
4	2023년 10월 04일	노 교수 (건국대학교)	On-Demand Gain-Printing for Designing Integrated Photon Sources	
5	2023년 10월 11일	임 교수 (동국대학교)	Creating Macroscopically Spin-Correlated Quantum Matter via Kondo Cloud Condensation	
6	2023년 10월 25일	박 박사 (한국전자통신 연구원)	인공지능 광 컴퓨팅	
7	2023년 11월 01일	강 교수 (서울과학기술 대학교)	중성미자 : 초기 우주의 비밀을 풀 열쇠	
8	2023년 11월 08일	유 교수 (서강대학교)	Operando Electron Microscopy Investigation of Domain Dynamics in Twisted van der Waals Materials	
9	2023년 11월 15일	이 교수 (금오공과대학교)	Quantum Confinement Effect for Various Application	
10	2023년 11월 22일	이 교수 (성균관대학교)	Flavor of Particles, as a Key for New Physics	

11	2023년 11월 29일	김 교수 (광주과학기술원)	Extreme Light for Studying Ultrafast Electron Dynamics in Matters, Attosecond Pulses	
12	2023년 12월 06일	이 교수 (경상국립대학교)	LHC에서 중성미자를 보는 법 : SND@LHC -Scattering and Neutrino Detector at the LHC	
13	2024년 03월 13일	황 교수 (한양대학교)	Nanolasers and Their Topological State Control	
14	2024년 03월 20일	심 교수 (한국과학기술원)	Anyon Fractional Statistics	
15	2024년 03월 27일	김 박사 (SK하이닉스)	DRAM 소자 기본 원리와 process integration 소개	
16	2024년 04월 03일	양 교수 (군산대학교)	Recent Development of Halide Perovskite Materials and Devices	
17	2024년 04월 17일	김 박사 (SK하이닉스)	DRAM 소자 기본 원리와 Process Integration 소개 II	
18	2024년 05월 01일	차 교수 (성균관대학교)	Semi-Metallic Electrode for 2D Electronics	
19	2024년 05월 08일	곽 교수 (이화여자대학교)	Recent Studies in Neuromorphic Engineering	
20	2024년 05월 22일	조 교수 (대구경북과학기술원)	Exciton-Polaritons in Perovskite Optical Microcavities	
21	2024년 05월 29일	박 교수 (고려대학교)	Vacuum Processable Perovskite Solar Cells	
22	2024년 06월 03일	김 박사 (Hsieh Research Group, Caltech)	Quantum Spin Nematic Phase in a Square-Lattice Iridate	

23	2024년 06월 05일	신 교수 (전북대학교)	우주의 암흑물질과 새로운 물리학의 세계	
24	2024년 06월 28일	박 박사 (HPCAT, X-ray Science Division)	APS-U and New Opportunities for High-Pressure Research at HPCAT-U Beamlines	
25	2024년 07월 01일	S 박사 (Institute for Basic Science)	Topological Phase Transition of Generalized Brillouin Zone in Hermitian and Non-Hermitian Systems	
26	2024년 07월 10일	Y 박사 (강원대학교)	Flatband Systems : A Bird's Eye View	
27	2024년 07월 11일	N 박사 (IIT Guwahati)	Novel Bosonization Techniques in One Dimension and Floquet Driving of Non-Hermitian Chern Insulator	
28	2024년 07월 11일	이 교수 (강원대학교)	Quantum Eigensolver on Extension of Optimized Binary Configurations and Recent Results on D-Wave Quantum Computer	
29	2024년 08월 14일	김 교수 (연세대학교)	Dark States of Electrons and Fermi Arcs in Cuprates	
30	2024년 08월 14일	이 교수 (강원대학교)	Numerical Approaches on 2D Hubbard Model	

❖ 교육과 연구의 선순환 구조 구축 및 연구역량의 교육적 활용 방안

극한물성 연구에 특화된 과목들이 연구 내용에 직접 적용되고 연구에서 얻은 결과들이 교과과정에 반영되는 등 교육과 연구가 선순환 구조를 유지하는 것은 첨단 연구를 수행하는 데 있어 매우 중요하다. 아래 그림은 극한물성 연구를 수행함에 있어 교육과 연구가 얼마나 직접적으로 연관되어 있는지를 보여주는 개념도임. 예를 들어, 이론 계산으로 모델을 제시하면 이를 실험 결과에 적용할 수 있고 국제 공동연구를 통하여 연구 결과를 검증하고 이를 반영하여 새로운 특성화 과목을 개설함. 우수한 논문을 발표하여 우수인재를 유치하고 이들의 지적 호기심이 다시 연구 동기를 유발하여 새로운 교과목을 개발할 수 있음. 물론 이와 반대의 경우도 고려할 수 있음. 이렇듯 양자물질 극한물성을 연구함에 있어 개설하는 모든 교과목들은 연구 결과에 직접 연결되어 선순환 구조를 이루도록 할 것임.



[교육과 연구의 선순환 구조를 나타내는 개념도]

- 연구와 교육이 선순환 구조를 이루기 위해 학교 정책으로 시행하는 대학원생 중심의 연구지원 체계를 도입하고자 함. 학생들이 연구에서 좋은 결과를 얻어야 학습할 의욕도 생기고 다시 긍정적인 의욕이 연구 동기를 유발하듯, 연구의 주역인 대학원생의 독립된 연구를 독려할 계획임.
- 2단계에서 응집물질물리 실험분야 교원을 추가 충원하여 연구력과 교육과정을 보강할 계획임.

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



[과학기술 문제 해결을 위한 교육 구성과 계획]

❖ 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 실적

📦 과학기술·산업·사회 문제해결을 위한 실험실습 프로그램

• 광학설계실습 (2024학년도 1학기)

본 교육연구팀은 과학기술 분야뿐 아니라 산업·사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는 데 의견을 모으고, 해당 교과목을 교과과정에 포함시켜 현재 운영 중이다. “광학설계실습” 강좌에서는 Virtual Lab이라는 전산모사 프로그램을 활용하여 고집적 고효율 광소자 및 반도체 소자를 설계하는 실습을 진행하였다. 강의에서는 광학설계에 필요한 기본 부품들의 특성, 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.

❖ 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 계획

🎯 대학원 교육과정에 실습 교과목 운영

🎯 공과대학과의 연계 프로그램 운영

📖 대학원 실습 교과목 운영

- 광학실험실습

- 2025학년도 1학기 운영 예정

본 교육연구팀이 소속된 물리학과는 (주)탑엔지니어링의 지원으로 자연과학관에 대규모 청정 항온항습 실험실을 구축하였음. 본 교육연구팀은 이를 적극 활용할 수 있는 IC-PBL 교과목 “광학실험실습”을 2025학년도 1학기에 개설할 예정임. 대부분의 대학에서 실험실습 교과목은 학부 교육과정에만 개설되어 있음. 하지만 본 교육연구팀은 과학기술 분야뿐 아니라 산업·사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는 데 의견을 모으고, 해당 교과목을 교과과정에 포함시켰음. 본 강의에서는 실제 연구에 사용되는 장비들을 활용함으로써 실제 대학원 과정의 연구에 도움이 되도록 하였으며, 수강생이 직접 광학시료제작/측정/분석 과정을 수행할 예정임.

📖 나노반도체공학과와의 연계 프로그램 운영

본 교육연구팀 참여교수인 홍진표 교수와 이창민 교수는 본교 나노반도체공학과 겸임교수로서 “차세대 반도체 핵심 인력 맞춤형 교육사업”의 일환으로 SK하이닉스와 산학연계 프로그램에 참여하고 있음. 또한 나노반도체학과의 효율적인 운영과 산학협력의 원활한 진행을 위하여 설립된 운영위원회에도 참여하고 있음. 산업과 직접적으로 연계된 본 학과의 교육목표는 나노미터 단위 극한 크기로 집적도가 높아진 반도체 소자의 동작 원리를 양자역학적인 측면에서 규명하는 것이며, 이에 필요한 물리학 기반 산업계 연관 젊은 인재를 교육하는 것임. 본 연계 프로그램은 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 있음. 전공분야는 양자물성을 기반으로 나노반도체소자, 나노공정, 고집적회로설계, 시스템 운영, 패키지의 분야가 있으며, 참여하는 대학원생에 대한 혜택으로는 대학원 합격과 동시에 SK하이닉스 취업, 대학원생 전원 등록금 수혜(학비 전액 및 학비보조금), SCI급 논문 인센티브 지급, 방학 중 SK하이닉스 인턴십 참여, SK하이닉스 사업장 견학(중국사업장), 개인 노트북 지급, 영어 합숙 프로그램 지원 등이 있음. 산학 공동연구를 통해 선발-교육된 물리 기반 반도체분야의 우수인력들은 졸업 전 우선적으로 SK하이닉스에 채용되고 있으며 본 연계 프로그램은 산업분야 인력 양성에 기여하고 있다고 판단함.

📖 IC-PBL 강좌 운영 계획

본 교육연구팀의 핵심 주제인 양자물질 극한물성 분야의 문제 해결을 위한 IC-PBL 강좌를 운영하였고 앞으로 확대 운영할 계획임. 해당 강좌의 구체적인 내용은 아래와 같음.

- 초고압상변이와 수송현상

- 2024학년도 2학기 운영 예정

- 주로 압력 하에서 다양한 물질들의 물성 변화를 다루며, 초고압 환경에서 발생하는 상변이와 전기적, 광학적, 구조적 특성 변화를 분석함. 수업은 토론과 학생들의 프레젠테이션을 중심으로 진행되며, 이를 통해 학생들은 초고압 실험에서 얻은 다양한 데이터를 종합적으로 분석하고, 이론과 실험 결과를 비교하며 깊이 있는 논의를 이어갈 수 있음. 다양한 측정 기법을 활용한 데이터를 바탕으로 상변이와 수송 현상에 대한 이해를 넓히는 데 중점을 두고 있음.

- 저차원반도체물리

- 2024학년도 2학기 운영 예정
- 학생들이 저차원 반도체의 혁신적인 물리 현상을 깊이 있게 이해할 수 있도록 설계됨. 강의는 최신 연구 동향을 반영하여, 학생들이 가장 앞선 연구 결과와 이론을 접할 수 있도록 구성될 예정임. 이를 위해 학생들은 그룹 스터디를 통해 최신 논문과 연구 결과를 분석하고 토론하며, 협력적인 학습 환경에서 지식을 확장할 기회를 가질 것임. 강의에서는 저차원 반도체 내부에서 발생하는 새로운 물리 현상에 대한 심도 있는 강의가 제공됨. 예를 들어, 양자 터널링, 준입자 거동, 그리고 스핀트로닉스 등을 다룰 예정임. 이러한 내용을 통해 학생들이 저차원 반도체의 복잡한 물리적 특성을 이해하고, 이를 기반으로 한 혁신적 응용 가능성을 탐구할 수 있도록 지원함.
- 다체계물리2
 - 2024학년도 2학기 운영 예정
 - 본 과목에서는 대학원 수준에서 현대적인 응집물질 물리를 다체계의 관점에서 소개하였음. 다체계 시스템의 기본 개념을 설명하고, 제2양자화, 파인만 다이어그램, 상변화 및 대칭성 붕괴, 초전도 현상을 소개하였음. 다체계 시스템의 기본개념, 페르미온 및 보손, 양자장의 양자화, 제2 양자화, 그린 함수, 란다우 페르미 액체 이론, 파인만 다이어그램, 선형 반응 이론, 전자 유동론, 상변화와 대칭성 붕괴, 파인만 경로 적분, 초전도 현상, 평균장 이론을 강의하였음. 학생들의 문제해결 능력 향상을 위한 연구 중심형 과목으로, 일반적인 강의 외에 문제를 함께 해결하고 프로젝트를 수행하는 창의형 IC-PBL 과목으로 운영하였음.



국제 교류를 통한 양자물질 극한물성 분야에 특화된 교육 개설 계획

- 과학기술 국제 계절학교 개최

대학원생들을 우수한 연구자로 양성하기 위해서는 정규 교과과정 교육뿐 아니라 해당 분야의 문제 해결에 직접적으로 도움이 되는 실험 실습 교육이 필수적임. 특히 본 교육연구팀의 교육 및 연구의 주제인 양자물질의 극한물성 연구에는 극한의 압력과 온도 그리고 자기장이 활용되기에 본 연구에 특성화된 중국 북경 고압연구센터(V 박사, L 박사), 미국 국립고자기장연구소(L), 독일 막스플랑크연구소(M 박사) 연구원들을 초청하여 온도와 압력 그리고 자기장을 기반으로 하는 새로운 물성연구를 연구원들을 대상으로 교육·훈련할 예정임.
- 국제 석학 초청 강좌 개설

최근 양자물질의 극한물성 연구분야에서 널리 주목을 받고 있는 하버드 대학 김 교수를 비롯한 국내외 석학들을 초청하여 단기강좌를 개설 예정임. 주로 방학 기간을 활용하여 진행하며 대학원생들의 연구에 실질적인 도움이 되는 주제를 선정하여 강좌를 개설할 계획임.
- 국제학회를 연계한 특성화 교육

김재용 교수는 매년 양자물질 극한물성 분야의 국제 학술대회를 조직하고 운영하고 있다. 양자물질 극한물성 연구는 최근 인공지능과 어울려 연구의 주 흐름이며 따라서 해당 분야에 대한 질 높은 교육 및 연구를 수행하기 위해서는 국내외 연구자들과의 연구성과 교류가 절대적으로 필요임. 이를 위해 본 교육연구팀은 양자물질 극한물성 분야의 국제학술대회를 지속적으로 개최할 것임. 그 예로써 극한환경-양자물질 국제워크샵 (2023.07.30), 제4회 한중고압학회 (2024.10.27-31) 등을 개최하였고, 이러한 국제심포지엄을 계속 유치할 계획임.

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-11> 교육연구팀 소속 학과(부) 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2023년 2학기	6	5	25	36
	2024년 1학기	1	6	27	34
	계	7	11	52	70
배출 (졸업생)	2023년 2학기	5	5		10
	2024년 1학기	0	3		3
	계	5	8		13

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

❖ 우수 대학원생의 확보 및 지원 계획

📖 단계별 우수 대학원생 확보 계획

- 우수 대학원생 확보 계획을 2단계로 나누어 1단계에서는 양적, 2단계에서는 질적 향상을 추구
- 1단계 기간 동안 학생 지원 수를 선별입학이 가능할 수준으로 늘리고, 2단계에서는 엄정한 학사관리를 통해 졸업에 필요한 자격미달 시 탈락도 감수하여 대학원생 질적 향상을 도모

📖 본교 졸업생 대학원 유치 계획

- 학부 논문 연계지도, 학부생 학술 활동 프로그램, 대학원 박람회, 심포지엄을 통해서 우수한 본교 졸업생을 대학원에 유치

📖 해외 우수 유학생 유치 계획

- 본 BK 프로그램을 통해 체결한 MoU를 기반으로 중국과 베트남의 우수한 연구인력을 적극 활용할 계획임. 특히 해외의 우수한 학생을 유치함으로써 재학생들과의 선의의 경쟁을 유도하고, 이를 통해 상호간의 질적 향상을 기대할 수 있고 졸업 후에 세계 곳곳에서 핵심적인 역할을 함으로써 본교의 국제적 위상을 높이는데 큰 역할을 하게 되리라 기대함. 특히 한양대학교는 우수한 외국인학생 유치에 많은 투자를 하고 있음. 예를 들어, 현재 외국인 유학생 3594명의 학부과정 유학생들이 본교에 재학 중에 있기에 이들의 대학원 입학유도를 유도하고자 함.

❖ 우수 대학원생의 확보 실적

📖 본교 졸업생의 대학원 진학률 증가

- 본교 졸업생의 대학원 진학률이 증가하고 있음.

<표 2-12> 본교 졸업생의 졸업 후 진로 및 본 대학원 진학률

년도	총졸업생	본대학원	타대학원	유학	취업	기타	본 대학원 진학률
2020년	45	7	6	1	13	18	15.6 %
2021년	28	4	7	2	2	13	14.3 %
2022년	38	8	2	0	4	24	21.1 %
2023년	37	9	4	0	7	17	24.3 %
2024년 (2월 졸업생 기준)	15	6	1	0	2	6	40.0 %

대학원 진학률 증가를 위한 심포지엄 실시

- 본교 졸업생의 대학원 진학률 향상을 위해, 2024년 9월 6일~7일 심포지엄을 실시하였음.
- 교수 (8명), 대학원생 (약 39명), 학부생 (약 79명)이 함께 참여하여, 학부생들에게 물리학과 대학원에
서 연구하는 내용을 소개하였음. 특히 전문분야에서 활동하는 졸업생초청 발표를 통하여 졸업 후
진로에 관한 현실적인 교류의 장을 제공하였음.



일자	시간	내용
9/6(금)	11:00-13:00	집합 및 이동
	13:00-18:00	체육활동 및 자유시간
	16:00-18:00	개회식 및 졸업생 강의
	18:00-20:00	만찬
9/7(토)	20:00-22:00	연구실별 포스터발표
	8:00-10:00	아침식사 및 개인정비
	10:00-11:00	교수님 질의응답, 간담회 및 심포지엄 피드백
	11:00-14:00	점심식사 및 복귀, 해산

[2024년 9월 6일~7일 심포지엄 포스터 및 프로그램]



[심포지엄 단체 사진]



[대학원생 연구실 소개 발표 사진 (첫 번째, 두 번째), 간담회 사진 (세 번째)]

물리학과 BK21 워크샵 실시

- 본교 졸업생의 대학원 진학을 향상을 위해, 2024년 7월 4일~5일 물리학과 BK21 워크샵 실시하였음.
- 교수 (5명), 대학원생 (약 16명), 학부생 (약 30명)이 함께 참여하여, 학부생들에게 물리학과 대학원에서 연구하는 내용을 소개하였음. 저녁 식사 간담회를 통해 대학원 진학과 진로 탐색에 대해 참여 교수들과 상담의 시간을 가짐.



일자	시간	내용
7/4(목)	13:50	Opening Remark
	14:00	위상물리의 기초 (천상모 교수)
	16:00	양자물질 광분광학 (문순재 교수)
7/5(금)	14:00	양자물질의 시분해 동역학 (이창민 교수)
	16:00	위상물질의 반응이론 (박문집 교수)
	18:00	Closing & 저녁식사

[2024년 7월 4일~5일 물리학과 BK21 워크샵 포스터 및 프로그램]



[BK21 워크샵 단체 사진]



[BK21 워크샵 Opening Remark (위), 워크샵 강연 (아래)]

📖 해외 우수 유학생 유치

- 한양대 외국인학생 유치사업을 통해 서 학생(박사과정)을 유치하였음.

2.3 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

〈표 2-2〉 2023년 8월 및 2024년 2월 졸업한 교육연구팀 소속 학과(부) 참여대학원생 취(창)업률 실적(단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						취창업률% (D/C)×100
		졸업자 (G)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)	
			진학자		입대자			
			국내	국외				
2023년 8월 졸업자	석사	5			0	5	3	80%
	박사	5	X		0	5	5	
2024년 2월 졸업자	석사	0			0	0	0	66.6%
	박사	3	X		0	3	2	

- 김 (2024년 2월 석사졸업) - 주식회사 엠스룩스
Display 소자관련 새로운 개념의 광학렌즈를 연구개발하고, 졸업후에 스타트업 회사인 엠스룩스에 입사하였음. Geometric-phase optics라는 4세대 광학위상 변조 개념이 적용된 신소자 개발에 큰 기여를 할 것으로 기대됨.
- 남 (2024년 2월 석사졸업) - 에이에스엠엘코리아(ASML) 유한회사
저차원 양자물질의 전자 구조에 대한 적외선 분광연구를 수행하였음. 준1차원 결정구조를 가지고 있는 루세늄 산화물의 전자밀도와 상태와 Ni이 포함된 카고계 금속의 전자 구조에 대한 연구를 주도적으로 수행하였음. 루세늄 산화물에 대한 연구 결과를 Journal of Alloys and Compounds에 게재함. 연구 결과를 한국물리학회 학술논문발표회, 한국초전도저온학회 학술대회에서 발표하였고, 2023년 10월 한국물리학회 가을학술논문발표회, 2023년 2월 한국초전도저온학회 학술대회에서 우수발표상을 수상하였음. 학위과정을 통해 배운 분광 실험에 대한 지식과 경험이 취업에 결정적인 도움이 되었음.

- 황 (2024년 2월 석사졸업) - 삼성디스플레이
Geometric-phase optics라는 4세대 광학 위상 변조 기술을 적용하여, q-plate 신규 광학소자를 연구개발 하였음. 졸업 후 삼성 디스플레이에서 이와 연관된 새로운 Display 광학소자 개발에 기여할 것으로 기대됨.
- 이 (2024년 2월 박사졸업) - 한양대학교 박사후연구원
나노광학 및 광섬유 광학 관련 새로운 소자 및 모듈 연구개발을 위한 박사후 연구원으로 취업하였음.
- 장 (2024년 2월 박사졸업) - 삼성전자
2017년 물리학과 석박통합과정으로 입학하여, 한국물리학회, 한국진공학회, ISPSA, 반도체 디스플레이 학회에 참가하며 다양한 연구 경험을 쌓았음. 2023년에는 “고속/저전력/고신뢰성의 2단자 field-free SOT-MRAM 원천 기술 개발 및 IP 확보”와 “결함 제어 기반 단일 셀 선택-메모리 이중 기능 selector-only-memory 소자 원천기술 연구” 과제에 참여하여 실질적인 연구 기여를 하였음. 이 과정에서 산화물 기반 selector 소자의 trap-filling을 이용한 문턱 전압 스위칭 연구 결과를 학술 논문으로 발표하였고, “Chalcogenide- and Oxide-based selectors for 3D stackable memory applications”이라는 졸업 논문을 제출하였음. 이러한 연구 경험은 2024년 2월 졸업과 동시에 삼성전자 취업에 도움이 되었음.
- 현 (2024년 2월 박사졸업) - 삼성전자
2017년 물리학과 석박통합과정에 입학한 후, 다양한 학회에 참가하며 연구를 지속적으로 발표하였음. 2023년에는 “고속/저전력/고신뢰성의 2단자 field-free SOT-MRAM 원천 기술 개발”과 “selector-only-memory 소자 원천기술 연구” 과제에 참여하여, Cu 층이 적층된 비정질 탄소 산화물 내에서 안정적인 Forming-Free Bipolar Resistive Switching 현상을 연구하였음. 이를 통해 학술 논문을 발표하고, “Advanced Bipolar Resistive Switching Behaviors by Nitrogen-doped and Cu Layer Stacked Amorphous Carbon Oxide”라는 졸업 논문을 제출하였음. 이러한 성과를 바탕으로 2024년 2월 졸업과 동시에 삼성전자에 취업하게 되었음.
- 한 (2024년 2월 박사졸업) - 아주대학교 박사후연구원
2018년 석박사 통합 과정으로 입학하여, 1차원 및 2차원 위상물질에 대한 다양한 연구를 수행하였음. 대표적인 1차원 위상물질인 SSH model의 다양한 변형을 통해서 근본적인 위상성질에 대한 고찰을 수행하였음. 위상학적 상태의 입자-반입자 대칭성, 새로운 손지기성(chirality)의 발현 등을 연구하였음. 이러한 경험을 바탕으로 아주대 임 교수 연구실에 박사후연구원으로 취직하여 활발한 연구를 수행하고 있음.
- 오 (2024년 2월 박사졸업) - 중국 연산대학교 박사후연구원
2019년 한양대 외국인 학생 유치 사업을 통해 입학하여, 다이아몬드 앤빌 셀을 사용한 고압 물리 분야에서 초전도체 물질에 대한 연구를 진행하였음. 고압 하에서 나타나는 물질의 상전이를 XRD 분석을 통해 연구하였으며, 상전이 시 발생하는 초전도성은 저온 전기저항 측정을 통해 확인하였음. 해당 연구 내용을 28th AIRAPT 학회에서 발표하였고, 졸업 후 중국 연산대학교에서 고압 분야의 초전도체 연구를 지속하고 있음.
- 전 (2024년 8월 박사졸업) - 한양대학교 박사후연구원

2018년 입학하여, “전이금속칼코겐화합물의 전하밀도파와 초전도상 연구”의 과제에 연구보조원으로 참여하였음. 학위과정 동안 전이금속칼코겐화합물의 전하밀도파의 미시적 메커니즘 연구와 수소화물의 결합 및 고온 초전도체에 대한 제일원리연구에 관한 연구를 진행하였음. 이와 관련하여 전자구조계산학회, 한국물리학회에 참가하여 연구내용을 발표하였고, 학위논문 내용을 Scientific Reports, New Journal of Physics 학술지에 주저자로 게재하였음. 이와 같은 경험들은 조준형 교수 그룹의 Post-Doc. 으로 진학을 하는데 직접적인 도움이 되었음.

- 유 (2024년 8월 박사졸업) - 한양대학교 박사후연구원

2020년 입학하여, “전이금속칼코겐화합물의 전하밀도파와 초전도상 연구”의 과제에 연구보조원으로 참여하였음. 학위과정 동안 Gd_2C 와 Gd_2O 및 Hf_2S , Zr_2S 전자화합물의 자성 및 토폴로지 물성에 대한 연구를 수행하였음. 이와 관련하여 전자구조계산학회, 한국물리학회에 참가하여 연구내용을 발표하였고, 학위논문 내용을 Physical Review B, Physical Review Materials, Physical Review Letters의 저명한 학술지에 주저자로 게재하였음. 이와 같은 경험들은 조준형 교수 그룹의 Post-Doc. 으로 진학을 하는데 직접적인 도움이 되었으며 올해 10월 임용 예정임.

- 야 (2024년 8월 박사졸업) - Zhongyuan University of Technology 조교수 임용예정

2019년 입학하여, “전이금속칼코겐화합물의 전하밀도파와 초전도상 연구”의 과제에 연구보조원으로 참여하였음. 학위과정 동안 여러 수소화물 들의 안정화 압력에 대한 연구를 발표하였고, ThH9, ThH18의 결합, 초전도 물성에 대한 비교 연구를 진행하였음. 이와 관련하여 전자구조계산학회, 한국물리학회에 참가하여 연구내용을 발표하였고, 학위논문 내용을 Inorganic Chemistry Physica status solidi b, 학술지에 주저자로 게재하였음. 이와 같은 경험들은 중국 정저우시의 Zhongyuan University of Technology 조교수직 임용에 직접적인 도움이 되었음.

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

❖ 참여대학원생 대표 연구실적

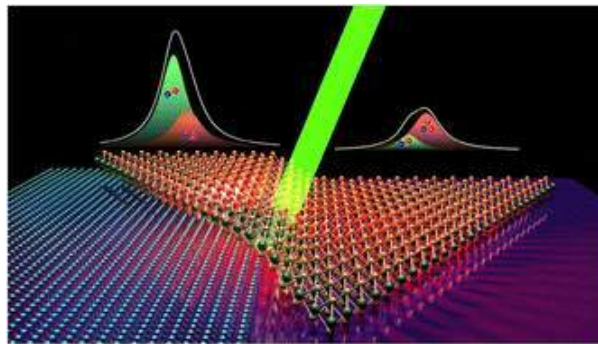


서
퍼플루오로폴리에테르 자기 조립을 이용한 반데르발스 반도체의 기판 효과 완화

Mitigating substrate effects of van der Waals semiconductors using perfluoropolyether self-assembled monolayers

NANOSCALE (IF 5.8)

전이금속 칼코젠 화합물(TMDC)의 특성은 기판의 유전상수에 크게 의존하며, 이는 TMDC의 활용 가능성을 제한하는 중요한 문제임. 이를 해결하기 위해 우리는 낮은 표면 에너지를 가진 퍼플루오린화폴리에테르 (perfluoropolyether) 자기조립 단분자 막(self-assembled monolayer)을 사용하여 TMDC와 기판 사이의 반데르발스 간격을 넓혔음. 이를 통해 TMDC와 기판간의 상호작용을 줄였으며, 그 결과 subthreshold swing 값이 감소하고, 엑시톤의 광발광 강도가 증가하며, 기판에 의한 도핑효과가 감소하였음. 이 연구는 TMDC와 유전체 계면을 제어하는 새로운 방법을 제시하며, TMDC의 활용 가능성을 확장할 것으로 기대됨. 본 연구 결과는 Nanoscale에 게재됨. (IF: 5.8, 피인용수: 1; 출처 Web of Science)

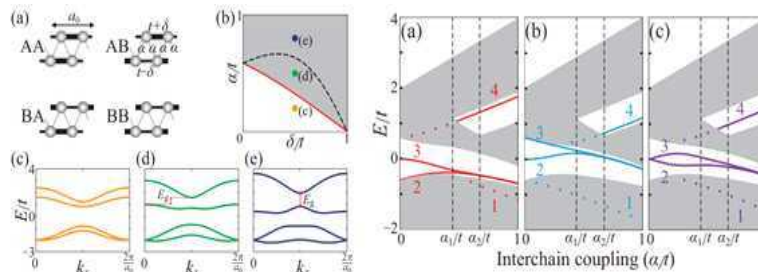


한
멀티밴드 시스템에서의 숨은 카이랄 도메인 벽 상태 발현 연구

Revealing inverted chirality of hidden domain wall states in multiband systems without topological transition

COMMUNICATIONS PHYSICS (IF 5.4)

카이랄성(chirality)은 자연계의 기본적인 대칭성 중 하나로 위상물질에서 중요한 성질이다. 본 연구에서 이중 Su-Schrieffer-Heeger 사슬에서 카이랄 대칭을 깨뜨린 시스템에 대하여 전자 에너지 밴드 사이에 숨어있는 chiral domain wall 상태를 분석하였음. 위상학적 상전이 없이 서로 반대의 chirality를 가지는 단일 갭 상태와 이중 갭 상태 간 전이가 가능함을 확인하였고 밴드 갭 구조를 설계하여 숨은 chiral domain wall 상태를 제어할 수 있음을 보였음. (IF: 5.4, 피인용수: 1; 출처 Web of Science)





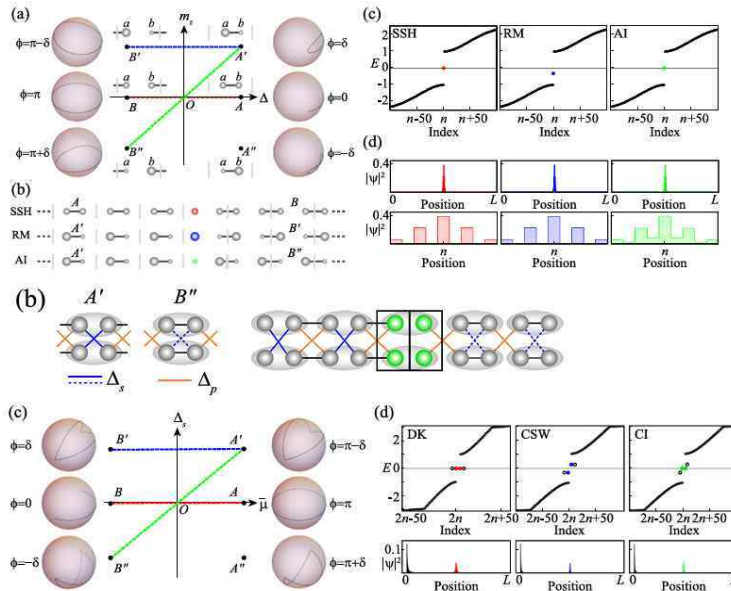
강

10계 분류표 외의 양자화된 분극 및 마요라나 페르미온

Quantized polarization and Majorana fermions beyond tenfold classification

COMMUNICATIONS PHYSICS (IF 5.4)

10계 분류표는 물리적 시스템이 가진 대칭성에 따라서 어떤 위상학적 성질을 가지는지를 나타낸다. 이렇게 분류되는 위상학적인 물질들은, 양자화된 위상 숫자를 가지게 되고, 위상학적인 표면 상태를 가지게 된다. 본 연구는, 분류표상 위상학적인 표면 상태가 나타날 수 없다고 알려진 대칭성을 가지는 물질을 접합하여서 경계면에서 위상학적 domain wall의 발현이 가능한 것을 확인하였다. 이는 위상 절연체의 표면에서 나타나는 양자화된 분극뿐 아니라, 위상 초전도체의 표면에서 나타나는 것으로 알려진 Majorana 상태의 domain wall을 확인하였다. (IF: 5.4, 피인용수: 1; 출처 Web of Science)



육

강상관계를 위한 평균장이론: 홀로그래피적 접근

Mean field theory for strongly coupled systems: Holographic approach

JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (IF 5.0)

본 연구에서는 강상관 전자계를 위한 홀로그래피 평균장이론을 개발함. 또한, 다양한 종류의 대칭깨짐에 의한 효과를 스펙트럴 함수를 통해 분석하였음. 추가로 특정 극한에서 모든 상호작용의 그린함수의 해석적 표현을 찾는 것에 성공함. 이로부터 그린함수의 특이점 거동에 따라 상호작용을 분류하였음. 앞선 해석적 표현과 관련하여, 모든 장들 간의 상호작용을 고려한 계산을 통해 앞선 표현의 타당성을 확보함. 본 연구는 강상관계의 물질들을 모델링하는데 기여 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨. (IF: 5.0, 피인용수: 0; 출처 Web of Science)

Order p. & Dims	Flat bands	Semi-metals	Order p. & Dims	Nonsingular	ω -shiftings
B_0 $d_{\text{eff}}=0$	SS, (figure 1)	SA, (figure 1)	B_0 $d_{\text{eff}}=0$	SS, SA	SS, SA
B_x $d_{\text{eff}}=1$	SA, (figure 4)	SS, (figure 4)	B_{ux} $d_{\text{eff}}=1$	SA, (figure 5)	SS, (figure 5)



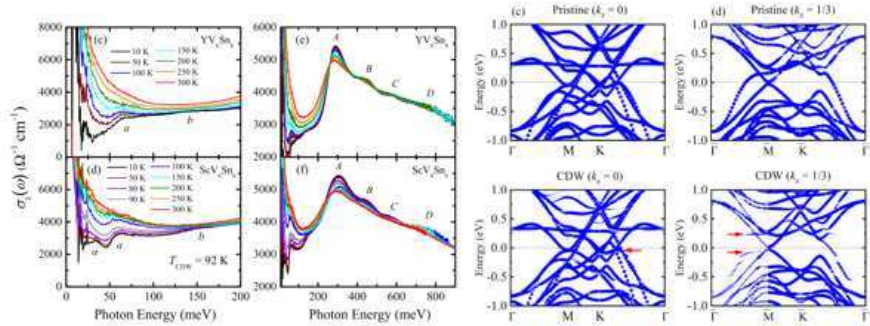
김

적외선 분광법을 이용한 ScV₆Sn₆의 전하밀도파 갭 연구

Infrared probe of the charge density wave gap in ScV₆Sn₆

PHYSICAL REVIEW B (IF 3.2)

ScV₆Sn₆은 소위 HfFe₆Ge₆ 타입인 166 카고메 금속으로 다른 166 카고메 금속(예시: YV₆Sn₆)과 다르게 온도 92 K 근처에 격자 변형이 일어난다고 알려져 있는데, 이러한 격자 변형이 전하 밀도파에 의한 전자 밴드의 갭 열림 현상을 야기하는지 아직 확실하게 밝혀진 바 없음. 본 연구팀은 적외선 분광법(Infrared spectroscopy)을 활용하여 ScV₆Sn₆의 전하밀도파의 물리적인 특성을 연구하여 전하밀도파 갭을 명확히 관측하고 원인을 규명함. (IF: 3.2, 피인용수: 6; 출처 Web of Science)



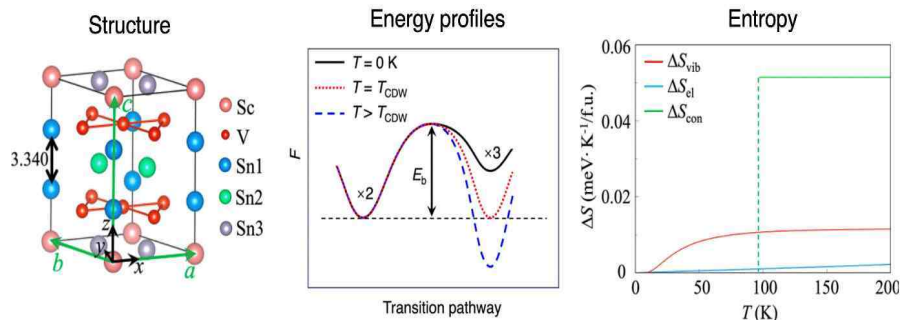
유

카고메 금속 ScV₆Sn₆에서 나타나는 전하밀도파의 생성 메커니즘과 동적요동 분석

Driving mechanism and dynamic fluctuations of charge density waves in the kagome metal ScV₆Sn₆

PHYSICAL REVIEW B (IF 3.2)

AV₃Sb₅(A = K, Rb, Cs) 계열이 전하밀도파(CDW) 상을 보이는 것과 대조적으로, RV₆Sn₆(R = Sc, Y, La) 계열의 ScV₆Sn₆만이 평면 내 질서와 c축을 따라 단위 셀의 3배를 가진 특이한 CDW 상태를 보임. 제일 원리 밀도범함수 이론 계산을 사용하여, CDW 상은 카고메 이중층에 밴드 갭 열림을 수반하는 안-텔러 효과에 의한 것임을 규명함. (IF: 3.2, 피인용수: 2; 출처 Web of Science)



❖ 참여대학원생 연구실적 향상 계획

- 🍎 BK 세미나 지속적 운영
- 🍎 BK 연구성과 발표회 개최
- 🍎 우수 논문 선정 및 성과급 지급
- 🍎 해외 우수 연구 기관과의 공동 연구 및 인적 교류 활성화
- 🍎 극한물성 연구분야 국제 계절학교 개최
- 🍎 산학협력을 통한 응용연구 활성화

• BK 세미나 지속적인 운영

BK 세미나 시리즈를 진행함으로써 참여대학원생들은 양자물질 극한물성 분야의 주요 연구 주제와 최신 연구 결과를 습득할 수 있었음. 본 교육연구팀은 참여대학원생의 연구력 향상을 위해 BK 사업 기간 동안 극한물성분야 국내외 전문가를 초빙하여 정기 세미나를 지속적으로 운영할 것임.

• 매 학기 BK 연구성과 발표회 개최

본 교육연구팀은 참여대학원생의 연구력 제고를 위해 매 학기 참여대학원생들의 연구성과 발표회를 진행하고 있음. 2023년 2학기 성과발표회는 2024년 1월 31일에, 2024년 1학기 성과발표회는 2024년 8월 5일에 진행하였음. 본 교육연구팀은 BK 사업 기간 동안 참여대학원생을 대상으로 연구성과 발표회를 지속적으로 개최할 것임.

• 매 학기 우수 논문 선정 및 성과급 지급

참여대학원생들의 연구 의욕 고취를 위해 매학기 학술활동 실적을 자체 평가하여 우수 논문을 선정하였음. 해당 학기에 IF가 3이상인 논문을 주저자로 발표한 참여대학원생에 대한 자체 평가를 통해 최우수상 1명, 우수상 1명, 장려상 2명을 선정하여 교육연구팀장 명의의 상장을 수여하였음. 성과급으로 최우수상 수상자에게는 50만원, 우수상 수상자에게는 40만원, 장려상 수상자에게는 30만원을 지급하였음. 본 교육연구팀은 BK 사업 기간 동안 참여대학원생의 학술활동 실적에 대한 평가, 우수 참여대학원생에 대한 상장 수여 및 성과급 지급을 지속적으로 시행할 것임.

• 해외 우수 연구 기관과의 공동 연구 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 발표할 것임. 해외 우수 연구진과의 공동연구 및 교류를 통해 새로운 연구 주제 개척 할 것이며, 초고속자유전자가속기, 초극단방사광가속기시설, 초고자기장, 초저온장비 등 국내에서 접근이 불가능한 연구시설 이용, 최신 연구 정보의 교환 등을 도모하여 연구의 질 향상을 달성할 것임.

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

- 참여대학원생이 활발하게 학술대회 참여. (총 53건)
- 국제학회 구두발표 5건, 국제학회 포스터 발표 22건.
- 국내학회 구두발표 10건, 국내학회 포스터 발표 16건.
- 국제학술대회 우수발표상 1건, 국내학회 우수발표상 6건.



학술대회명	참여대학원생	발표논문명
The 13th International Conference on Advanced Materials and Devices (2023.12.04.-08)	조	Dark Exciton from WSe ₂ Monolayer on the Au Micro-pillar Structures
Best Poster 수상		

국제학술대회 발표내용

연번	학술대회명 (기간)	참여 학생	발표논문명	구두/ 포스터	발표내용
1	APS 2024 March meeting (2024.03.03.-08)	강	Topological Zero-Energy Domain-Wall States in Generalized Su-SchriefferHeeger and Kitaev Chains Beyond the Topological Classification Table	구두	위상물질에서 위상숫자는 양자화된 상수값으로 주어진다. 본 연구에서는 위상학적 성질을 가지지 않는 두 물질을 접합하였을 때, 두 물질의 위상숫자의 차가 정수라면 위상학적인 경계면이 나타날 수 있다는 것을 증명하였다. 본 결과를 미국물리학회에서 구두로 발표하였다.
2	APS 2024 March meeting (2024.03.03.-08)	김	Infrared probe of the charge density wave gap in ScV ₆ Sn ₆	구두	전하 밀도와 상전이를 보이는 카고메 금속 ScV ₆ Sn ₆ 에 대한 적외선 분광 실험을 통해 전하 밀도파로 인해 나타나는 전자 구조의 변화를 관측하였고, 이론 계산과의 비교를 통해 전하 밀도와 상전이의 원인을 규명하였다. 본 연구팀 참여교수인 문순재 교수, 조준형 교수, 그리고 미국 University of California-Santa Barbara 연구진이 함께 수행한 연구로서 연구 결과를 Physical Review B에 게재함.
3	The 7th international conference on Matter and Radiation at Extremes (2024.05.13.-17)	이	Electrical transport properties of Ti ₅₃ Zr ₂₇ Ni ₂₀ quasicrystals under high pressure	구두	고압하에서의 TiZn과 수소화 TiZn의 구조 및 초전도성에 관한 연구를 발표함.
4	The 2024 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS) (2024.05.27.-31)	김	The inactivation of one-dimensional defect in WSe ₂ by regio-selective reaction of large organic ligand	구두	낮은 형성에너지와 불균일한 불포의 chalcogen vacancy를 TOPSe의 large steric hindrance를 이용해 선택적인 위치에 doping을 하여 안정성을 높이고 이를 분광학적인 실험을 통해 분석함.


5	The 2024 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS) (2024.05.27.-31)	최	Unveiling the Influence of Contact Accumulation on Localized Photocurrent Reduction in MetalSemiconductor Contact	구두	2D 물질은 뛰어난 성능과 응용 가능성에 의해 주목받고 있는데 반해, 그 신뢰성은 여전히 도전 과제이므로, 본 연구에서는 단층 MoS ₂ 를 기반 광전자 기기에 대한 쇼트키 장벽 높이(SBH)의 영향을 조사함. 국소 광전류를 측정함으로써 접촉 영역에서의 광전류의 유의미한 감소가 관찰되고, Negative SBH로 인해 발생한 반대 유도 공간 전하 영역(OI-SCR)은 국소적인 금속-절연체 전이를 유도하고, 광여기된 캐리어 재결합 과정을 방해함. 이를 통해 OI-SCR 내부에 생긴 deep trap states가 2배 느린 응답 시간을 만들어낸 다는 것을 밝혀냄.
6	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	심	Highly Nonlinear Chalcogenide-Based Nonlinear Switching for Crossbar Array Memory through Diffusion Metal-Induced Threshold Switching	포스터	확산 금속 필라멘트 형성을 통한 양방향 비선형 스위칭을 구현하여 낮은 오프 전류와 높은 비선형성을 달성함으로써 크로스바 배열의 스니크 전류 문제를 해결하는 데 기여함.
7	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	송	Performance of Go-frame Capacitive Humidity Sensor integrated with 3D Electrode Structures	포스터	고프레임 센서는 3D 전극 구조를 통해 습도 범위 전반에서 뛰어난 선형성, 안정성, 민감도를 제공하는 혁신적인 정전용량형 습도 센서 제시하였음.
8	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	김	Untreated Bulk h-BN Coating on Zn Anode: Improved Stability of Both Zn Anode and α -MnO ₂ Cathode in Aqueous Zinc Ion Batteries	포스터	h-BN을 이용한 간단한 표면 처리로 Zn 금속 음극에서 Zn 수지 형성을 억제하고, AZIB의 수명과 성능을 크게 향상시킴.
9	The 21th international symposium on the physics of	김	Highly Positive Fluorophlogopite for Enhanced Power Generation	포스터	MgF-운모를 활용한 세라믹 기반 TENG가 높은 출력과 우수한 내구성을 보여 지속 가능한 에너지 수확에 대한 실용적 가능성을 제시함.

	semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)		in Triboelectric Nanogenerators Prepared on a Flexible Ni-Cu Fabric		
10	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	강	Tuning the In-Plane Resistive Switching of CuInP_2S_6 for Non-Volatile Memory	포스터	이 연구에서는 2D 페로일렉트릭 물질인 CuInP_2S_6 의 인-플레인 저항 스위칭 특성을 조사하여 비휘발성 메모리와 신경형 컴퓨팅 응용 가능성을 탐구함. 두께, 채널 길이, 전극 유형 및 작동 조건이 CuInP_2S_6 소자의 저항 스위칭 성능에 미치는 영향을 분석하여 이 물질의 안정성과 신뢰성을 향상시키기 위한 설계 지침을 제공함.
11	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	권	Remote polarization modulation of metal monochalcogenide	포스터	감마페이즈의 InSe는 빠른 이동도의 특성을 지녀 고성능 트랜지스터의 재료로 사용된다고 보고됨. 그러나 반데르발스 슬라이딩에 의해 감마페이즈 InSe 내부 분극현상이 일어날 수 있으며 이는 전자소자의 성능을 하락시킬 수 있음을 밝혀냄. 채널 표면에 극성 폴리머를 코팅하여 이러한 분극현상을 최소화 하고 소자의 성능 하락을 방지하는대에 성공함.
12	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	김	Determining the twisted angle of Moiré 2-D material via polarized Raman spectroscopy	포스터	Strain에 의한 대칭성 붕괴를 이용하여 2차원 물질 Moiré 구조 연구에서 가장 중요한 twisted angle을 polarized Raman spectroscopy를 통해 측정하였음.
13	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	김	Persistent Photocurrent effect by Charge Trapping in 2D Semiconductor-Organic Hybrid System	포스터	이차원 반도체 물질 위에 PVP organic 물질을 도포하여 하이드리드 시스템을 구성하는 소자를 LOR/PR 패터닝 공정을 이용하여 제작. Raman, PL 측정으로 PVP에 의한 N-doping 효과를 확인하고, VPS를 통한 전기적 측정으로 빛 조사 이후 전류 레벨이 계속 유지되는 Persistent Photocurrent 현상을 증명하였음.
14	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications	김	Inactivation of the one-dimensional defect in WSe_2 by regio-selective reaction of large organic ligand	포스터	TMD의 메인 이슈로 자리잡은 산화 등의 불안정성 문제를 해결하기 위해 edge 혹은 주름등에서 발생하기 시작하는 degradation을 TOPSe물질을 통해 passivation하여 안정성을 높임.

	(ISPSA2024) (2024.06.02.-06)				
15	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	서	Mitigating substrate effects of the van der Waals semiconductors using perfluoropolyether self-assembled monolayers	포스터	이 연구에서는 전이 금속 디칼코게나이드(TMDC)의 전자 및 광학 특성이 인접한 기판의 유전율에 민감하다는 문제를 해결하기 위해, 저표면 에너지를 특징으로 하는 퍼플루오르화 폴리 에테르(PFPE) 자기조립 단분자막 (SAM)을 적용하여 TMDC와 기판 사이의 반데르발스 간격을 증가시킴으로써 상호 전기적 상호작용을 감소시켰다. 그 결과, 서브스레솔드 스윙 값이 감소하고, 엑시톤의 광발광 세기가 향상되며, 기판으로부터의 도핑 영향이 감소함을 관찰함. 이 방법은 TMDC와 절연체 간의 계면을 제어하는 새로운 접근법을 제시하며, TMDC의 응용 범위를 확장할 수 있는 가능성을 보여 줌.
16	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	염	The study of Terahertz Conductivity of Ruddlesden-Popper Perovskites	포스터	유기-무기 할라이드 페로브스카이트는 우수한 광전자 변환 특성으로 인해 태양 전지, 양자점, 발광 다이오드 등에 활용될 수 있지만, 열, 습기, 빛 등 환경적 요인으로 인한 안정성 문제가 있음. 이를 해결하기 위해 2D 페로브스카이트가 제안되었으며, 이 연구에서는 $BA_2MA_{n-1}Pbn_{3n+1}$ 형태의 2D Ruddlesden-Popper 페로브스카이트를 합성하고, 테라헤르츠 시간영역 분광법(THz-TDS)을 통해 분석함. 연구 결과는 2D 페로브스카이트의 기본 물리적 특성에 대한 이해를 높이고, 다양한 테라헤르츠 응용에서의 잠재력을 강화함.
17	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	유	Switching Dynamics in CIPS-Based Ferroelectric Field-Effect Transistors	포스터	2D tellurium channel, h-BN, Graphene, 그리고 ferroelectric 물질인 CIPS를 수직으로 Dry transfer한 FeFET의 특성확인을 통한 차세대 비휘발성 메모리로서의 가능성과 유효성 검증하였음.
18	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications	이	Transition metal dichalcogenides/Gold nanoparticle plasmonic structure through reversible	포스터	TMDCs 물질에 solution treatment를 통해서 phase transition을 유발하고 이를 이용해서 van der Waals gap에 intercalated-particle을 형성해 localized surface plasmon resonance 로 인한 영향을 확인하였음.

	(ISPSA2024) (2024.06.02.-06)		phase transition		
19	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	이	Unlocking the Potential of 2D Tellurium for p-Type FETs through Amorphization	포스터	뛰어난 소자 성능으로 연구되는 Te의 높은 오프 전류 문제를 해결하기 위해 수열 합성 2D Te의 산화를 이용해 넓은 밴드갭(~3.28 eV)을 갖는 p형 반도체인 TeO ₃ 를 제조하였음. a-TeO ₃ 상은 UV-O3 처리를 이용한 산화 공정을 통해 성공적으로 형성됨. 이 연구는 p형 반도체의 문제를 해결함으로써 2D 반도체를 이용한 전자기기 활용에 기여할 것이 기대됨.
20	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	조	Passivation of Metal Monochalcogenide Using PMMA/BV Composite for Air Stability	포스터	인듐셀레나이드는 높은 전기적 성질 때문에 주목받아 왔지만, 대기 불안정성으로 인해 이용이 많이 제한받고 있다. 이를 해결하기 위해서 폴리머와 도펀트를 혼합한 새로운 보호층을 만들고, 이를 대기중에 노출시켜가면서 인듐셀레나이드의 전기적 광학적 특성이 얼마나 오래 유지되는지 확인하고자 함.
21	The 21th international symposium on the physics of semiconductors and applications (ISPSA2024) (2024.06.02.-06)	최	Photocurrent Reduction in Localized Charge Accumulation Region of Metal-MoS ₂ Junction	포스터	금속-MoS ₂ 접촉면에서의 국소적 전하 축적 영역으로 인한 광전류 감소와 이로 인한 트랩상태의 거동을 확인함.
22	AOGS2024 - Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) (2024.06.23.-29)	박	High-Pressure Raman Scattering Studies of Ti ₄₅ Zr ₂₇ Ni ₂₀ Si ₈ Metallic Glass	포스터	다이아몬드 앤빌 셀을 사용하여 상압 및 고압(~60 GPa) 하에서 금속 유리 Ti ₄₅ Zr ₂₇ Ni ₂₀ Si ₈ 의 구조적 거동을 XRD와 라만 산란을 통해 연구한 내용을 발표하였음.
23	The 13th International Conference on Advanced Materials and Devices (ICAMD 2023) (2023.12.04.-08)	권	Elimination of unavoidable doping effects by passivation layers in InSe field-effect transistor via polymer/dopant composite treatment	포스터	부피대비 면적의 비율이 큰 2D 반도체의 특성상 산화에 취약하기 때문에 반도체 채널 표면에 패시베이션 레이어를 형성해야함. 이중에 폴리머 코팅을 통한 패시베이션은 보편적인 방법 중 하나이지만, 폴리머의 분자구조로부터 불필요한 도핑효과가 나타남. 본 연구에서는 폴리머와 도펀트를 혼합하여 이러한 불필요한 도핑효과를 제거하고 소자의 성능을 향상시킴.
24	The 13th International	김	Inactivation of the one-dimensional	포스터	긴 유기리간드를 통해 반응성이 높은 주름과 grain boundary에 도핑 및 공

	Conference on Advanced Materials and Devices (ICAMD 2023) (2023.12.04.-08)		defect in WSe ₂ by regio-selective reaction of large organic ligand		유결합을 통해 안정성을 높여 다른 TMD보다 더욱 안정성을 높임.
25	The 13th International Conference on Advanced Materials and Devices (ICAMD 2023) (2023.12.04.-08)	조	Dark Exciton from WSe ₂ Monolayer on the Au Micro-pillar Structures	포스터	WSe ₂ 단일층에서 금 마이크로 필러 구조를 이용해 복잡한 물리적 방법 없이 쉽게 다크 엑시톤을 생성하고, 이를 통해 PL 강도가 크게 향상됨과 더불어 다크 엑시톤과 밝은 엑시톤 간의 40 meV 에너지 분리를 관찰함. 이 연구는 다크 엑시톤을 상온에서 간단히 생성하는 방법을 제시하여 양자 컴퓨팅 및 광전자공학의 상용화에 기여함.
26	The 13th International Conference on Advanced Materials and Devices (ICAMD 2023) (2023.12.04.-08)	조	The removal of unintentional doping effect in polymer passivated Indium Selenide	포스터	산화에 취약한 이차원 물질을 보호하기 위해 많은 방법이 쓰이고 있음. 하지만 대표적인 방식 중 폴리머 캡핑 방식을 이용하면 이차원 물질과 폴리머 사이 계면에서 원하지 않는 화학작용이 일어날 수 있고, 그 반응이 이차원 물질에게 끼치는 악영향에 대하여 탐구함.
27	The 13th International Conference on Advanced Materials and Devices (ICAMD 2023) (2023.12.04.-08)	최	The influence of surface Schottky barriers on localized photocurrent reduction	포스터	단층 MoS ₂ 기반 광전소자에서의 금속-반도체 간 접촉분제로 인한 광전류의 거동과 특성을 확인함.

 국내학술대회 발표내용

연번	학술대회명 (기간)	참여 학생	발표논문명	구두/포스터	발표내용
1	2024 KPS Spring meeting (2024.04.23.-26)	육	Encoding the lattice in the Holography	구두	홀로그래피 이론에 격자구조를 적용하는 방법을 제시함. 이에 대한 예시로 그래핀, 할데인 모형들을 적용하여 각 모형들의 분산관계가 올바르게 적용된 것을 보였음. 또한, 보편적인 방법론에서는 관측할 수 없는 자유도가 온셸곡선에서 벗어난 것을 확인하였음. 이는 앞으로 강상관 물질들의 전자구조를 모형화하는데 기여를 할 것으로 예상됨.
2	2024 KPS Spring meeting (2024.04.23.-26)	한	Mean field theory and holographic Kondo lattice	구두	비상대론적 콘도격자 모형의 평균장 근사계산을 이용하여 절대영도에서 일차 양자상전이 발생함을 확인함. 또한, 홀로그래피의 콘도격자모

					형을 제시하여 확장된 페르미 곡면과 무거운 전자의 질량 특징을 보이는 것을 확인함. 이는 강산관계에서 올바른 콘도격자모형을 구현하는데 도움이 될 것으로 예상됨.
3	2024 KPS Spring meeting (2024.04.23.-26)	서	Holographic Lieb lattice and gapping its Dirac band	구두	기울어진 디랙 콘을 기술하는 블랙홀 솔루션을 사용하여 페르미온의 스펙트럼 함수를 계산함. 이를 통해 강산관 성질을 보이는 제 2종, 3종 디랙 준금속을 모형화 할 수 있을 것으로 예상됨.
4	2024 KPS Spring meeting (2024.04.23.-26)	강	Topological Domain-Wall States Beyond Tenfold Classification: Quantized Polarization and Majorana Fermions	구두	10계 분류표를 통해서 불가능하다고 알려진 물질의 반이 존재한다. 본 연구에서는 이러한 위상학적 성질을 가지지 않는 반에 소속되어 있는 두 계를 접합하였을때, 두 계의 위상숫자의 차가 정수라면 위상학적인 경계면이 나타날 수 있다는 것을 증명하였음. 본 결과를 2024년 한국물리학회 춘계 학술대회에서 구두로 발표하였음.
5	2024 KPS Spring meeting (2024.04.23.-26)	김	Doping evolution of the electronic response of kagome metal $Cs(V_{1-x}Ti_x)_3Sb_5$	구두	카고메 금속 $Cs(V_{1-x}Ti_x)_3Sb_5$ 의 전자구조를 적외선 분광 실험을 이용하여 연구함. Ti 도핑에 따라 나타나는 전자구조의 변화를 분석하여 반호프 특이점이 페르미 면 근처로 이동하고 이로 인해 전자 상호 작용이 증가함을 밝힘.
6	제 66회 한국진공학회 (2024.02.14.-16)	조	Oxidation of strain-relaxed monolayer transition metal dichalcogenides on zinc oxide nanorods	구두	이차원 물질이 징크옥사이드 나노로드 구조체에서 포인트 컨택으로 인하여 strain-relaxed 상태가 됨을 확인하고 그 상호아에 따른 광학적 특성 변화를 확인하여 광전소자 응용 검증에 좋을 것으로 파악됨.
7	2024년도 한국초전도저온학회 동계학술대회 (2024.01.23.-26)	강	Majorana Domain-Wall States of Generalized Kitaev Chains Beyond the Topological Classification Table	구두	위상물질에서 위상숫자는 양자화된 상수값으로 주어진다. 본 연구에서는 위상학적 성질을 가지지 않는 두 계가 접합하였을때, 두 계의 위상숫자의 차가 정수라면 위상학적인 경계면이 나타날 수 있다는 것을 증명하였음. 본 결과를 2024년 한국초전도저온학회 동계 학술대회에서 구두로 발표하였음.
8	2024년도 한국초전도저온학회 하계학술대회 (2024.08.20.-22)	강	Sub-symmetry Protected Majorana Edge States	구두	최신 연구결과에 따르면, 위상학적인 성질을 보호하는 대칭성이 깨지더라도, 부대칭성이 보호된다면, 위상학적인 경계면이 여전히 나타날 수 있다. 본 연구는 이러한 개념을 위상초전도체로도 확대하여서 부대칭성으로 보호되는 마요라나 페르미온에 대해 연구하였다.

					본 연구는 2024년 한국초전도 저온학회 하계 학술대회에서 구두로 발표하였음.
9	KPS 2023 Fall meeting (2023.10.24.-27)	강	Higher-Order Topological Superconductivity in 1T'-MoTe ₂	구두	MoTe ₂ 에서 1T' 상에서 고차위상초전도체의 경첩상태로 추정될 수 있는 특성이 관측되었다. 이를 설명하는 이론적인 모델과 계산결과들을 2023년 한국물리학회 가을 학술대회에서 구두로 발표하였음.
10	KPS 2023 Fall meeting (2023.10.24.-27)	한	Revealing inverted chirality of hidden domain wall states in multiband systems without topological transition	구두	이중 Su-Schrieffer-Heeger 사슬에서 사슬 간의 상호작용을 추가해 카이랄 대칭을 깬 특별한 모델을 고안하여 숨겨진 카이랄 도메인 벽 상태의 출현을 조사함. 단일 갭 상태에서 도메인 벽 상태와 반대 카이랄성을 보이는 숨겨진 도메인 벽 상태를 식별하였고, 갭 구조를 엔지니어링하여 숨겨진 카이랄 도메인 벽 상태를 제어하는 것을 보임. 본 결과를 2023년 한국물리학회 가을 학술대회에서 구두로 발표하였음.
11	The 66th Winter Annual conference of the Korean Vacuum Society (2024.02.14.-16)	송	Realization of highly stable and sensitive go-frame humidity sensors with a Novel 3D Electrode configurations	포스터	3D 전극을 적용한 새로운 고프레임 습도 센서가 기존 평면형 IDE 대비 향상된 민감도와 안정성을 제공하여 극한 조건에서도 높은 성능을 검증함.
12	The 66th Winter Annual conference of the Korean Vacuum Society (2024.02.14.-16)	김	Persistent Photocurrent effect by Charge Trapping in 2D Semiconductor-Organic Hybrid System	포스터	On/Off ratio와 retention time이 큰 장점을 가진 MoS ₂ 반도체 물질 위에 N-doping 효과를 주는 polyvinylpyrrolidone 물질을 코팅한 박막 트랜지스터를 제조. 이로 인한 N-doping 효과로 인해 전류 레벨 증가, 접촉 저항 감소를 통한 소자 성능 향상과 지속 광전류 현상을 이용한 응용 가능성을 보임.
13	The 66th Winter Annual conference of the Korean Vacuum Society (2024.02.14.-16)	이	Transition metal dichalcogenides/Gold nanoparticle plasmonic structure through reversible phase transition	포스터	TMDCs 물질의 bulk 상태에서 reversible phase transition 과정을 수행해서 van der Waals space에 Gold nanoparticles를 형성, 이에 따라 달라지는 광특성을 확인하였음.
14	The 66th Winter Annual conference of the Korean Vacuum Society (2024.02.14.-16)	이	Unlocking the Potential of 2D Tellurium for p-Type FETs through Amorphization	포스터	2차원 텔루륨은 미래 반도체 소재로 큰 기대를 모으고 있지만, 높은 오프전류 문제로 인해 실제 활용에 어려움을 겪어옴. 이러한 문제를 해결하기 위해 연구팀은 자외선/오존 처리를 통한 산화 공정을 도입하여 텔루륨을 산화시켜 TeOx를 제조해냄. TeOx는 3.04eV의 넓은 밴드갭을 가지며 p형 반도체 특성을 나타내는 것으로 확인됨. 이는 2차원 텔루륨의 활용 가능성을 크게 확대하고, 고성능 2차원 반도체 소자 개발에 새로운 가능성을 제시함.

15	The 66th Winter Annual conference of the Korean Vacuum Society (2024.02.14.-16)	강	Trap-assisted Photocurrent Dynamics in a Monolayer WSe ₂ with Organic Films	포스터	Polyvinylpyrrolidone (PVP)을 이용한 간단한 유기 코팅을 통해 1L-WSe ₂ 의 특성을 조정하고, 이를 통해 p형에서 n형으로 전이됨을 전기적 및 광학적 측정을 통해 확인함. 특히, 다수 캐리어 유형 전환으로 인한 지속적인 광전류(PPC) 발생을 입증하였으며, 이로 인해 광전류가 변화된 캐리어 특성과 함께 뚜렷한 동작을 보임.
16	2023 KPS Fall Meeting (2023.10.23.-27)	남	Optical study of a new kagome metal Ni ₃ M ₂ S ₂ (M = In, Tl)	포스터	Shandite 구조(M ₃ A ₂ B ₂)를 가지는 카고메 금속은 위상성을 가질 것으로 예측되었으며, shandite 카고메 금속인 Co ₃ Sn ₂ S ₂ 에서 Wely 준금속 상태가 발견된 바 있음. 본 연구는 지금까지 연구가 많이 이루어지지 않은 Ni 기반 카고메 금속 Ni ₃ In ₂ S ₂ , Ni ₃ Tl ₂ S ₂ 의 전자구조와 전하 동역학 특성을 적외선 분광 실험을 통해 분석하여, 이들 물질이 디락 금속의 특성을 보임을 밝힘.
17	2023 KPS Fall Meeting (2023.10.23.-27)	김	Optical study of kagome metal Cs(Ti _{1-x} V _x) ₃ Sb ₅	포스터	카고메 금속 CsV ₃ Sb ₅ 는 전하 밀도파를 포함한 수많은 양자 현상을 내포하고 있지만 이들의 근원은 명확하게 밝혀지지 않고 있음. CsV ₃ Sb ₅ 의 V 자리에 다른 원소를 치환함으로써 전하 밀도파 상태의 근원을 밝힐 수 있음. Cs(V _{1-x} Ti _x) ₃ Sb ₅ 에 대한 적외선 분광 실험을 수행하여 Ti 치환에 따른 전자구조의 변화를 관측함. 이를 통해 반호프 특이점으로 이루어진 페르미 면의 겹침이 전하 밀도파 상전이에 중요한 역할을 하며, Ti이 치환되면 이 겹침이 약화되고 전자 상호 작용의 효과가 증가함을 밝힘.
18	2024 KPS Spring Meeting (2024.04.23.-26)	권	Remote polarization modulation of metal monochalcogenide	포스터	InSe의 고질적인 문제인 intrinsic polarization을 CYTOP 코팅을 통해 완화시키고 이로 인한 전기적 특성의 개선 효과를 확인하였음.
19	2024 KPS Spring Meeting (2024.04.23.-26)	김	Regio-selective chemical reaction in WSe ₂ through phosphine ligand with large steric hindrance	포스터	TOPSe 처리를 통해 WSe ₂ 의 1차원 결함을 회복시키고 Stability를 향상시키고 n-type 도핑을 통해 소자의 성능을 향상시키고 이를 Raman, PL, KPFM, TA와 같은 다양한 분석법을 통해 확인하였음.
20	2024 KPS Spring Meeting	최	Defect Analysis for Field-Effect-Transis	포스터	2차원 광전소자의 재료로 각광받고 있는 전이금속 칼코겐 화합물인 MoS ₂ 와 WSe ₂ 의 결함에 대해 trapping 매

	(2024.04.23.-26)		tor Based on 2D Materials: Drain Current Transient Approach		커니즘을 이용하여 drain transient current를 통해 분석하는 방법을 제시하고 실험을 통해 유효성을 검증하였음.
21	2024 KPS Spring Meeting (2024.04.23.-26)	조	Passivation of Metal Monochalcogenide Using PMMA/BV Composite for Air Stability	포스터	기존 금속 칼코젠 화합물의 passivation layer로 많이 사용되었던 PMMA의 장기 안정성 문제를 Benzly viologen과의 복합 구조를 통해 해결하였고 전기적 광학적 특성을 통해 이를 실험적으로 검증하였음.
22	NANO KOREA 2024 (2024.06.03.-05)	권	Thermal Annealing of Lignin: Towards Biocompatible Memory Devices	포스터	Lignin을 열처리 하여 화학적 안정성과 광학적 밴드갭을 조정하여 bias stress하에서 안정적인 소자 구동을 확인하였음.
23	NANO KOREA 2024 (2024.06.03.-05)	김	Defect-selective Chemical Reaction in WSe2 through Phosphine Ligand with Large Steric Hindrance	포스터	높은 volume-to-surface ratio로부터 기인하는 1차원 defect를 TOPSe의 선택적 화학반응을 통해 화학적 안정성과 소자의 성능을 개선하였고 이를 다양한 측정을 통해 검증하였음.
24	NANO KOREA 2024 (2024.06.03.-05)	조	Oxidation of Strain-Relaxed Monolayer Transition Metal Dichalcogenides On Zinc Oxide Nanorods	포스터	ZnO nanorod를 통해 SiO ₂ 와 TMDCs 물질의 접촉면에서의 side effect를 배제한 상태에서 물질의 내재된 oxidation behavior를 분석하였음.
25	KVS SUMMER ANNUAL CONFERENCE & IFFM 2024 (2024.08.18.-21)	조	Passivating metal monochalcogenides without the modulation of electronic structure	포스터	바이올로젠 화합물의 redox-active 성질을 이용하여 폴리머 내부의 partial charge를 안정화시키고, 이를 통해 이차원 물질과 passivation layer 계면 사이에서 일어나는 polymer-induced doping을 억제함을 확인하였음.
26	KVS SUMMER ANNUAL CONFERENCE & IFFM 2024 (2024.08.18.-21)	강	Tuning the In-Plane Resistive Switching of CuInP2S6 for Non-Volatile Memory	포스터	이 연구에서는 층상 페로브스카이트 재료인 CuInP ₂ S ₆ 의 평면 저항성 전환 특성을 조사하여 비휘발성 메모리와 뉴로모픽 컴퓨팅 응용에 대한 가능성을 확인함. 두께, 채널 길이, 전극 종류 및 작동 조건이 CuInP ₂ S ₆ 소자의 성능에 미치는 영향을 분석했으며, 이 재료의 층상 결정 구조가 전자 특성 조절에 유리함을 발견함. 연구 결과는 저항성 전환 메커니즘에 대한 중요한 통찰을 제공하고, CuInP ₂ S ₆ 기반 소자의 안정성과 신뢰성을 개선할 수 있는 설계 지침을 제시함.

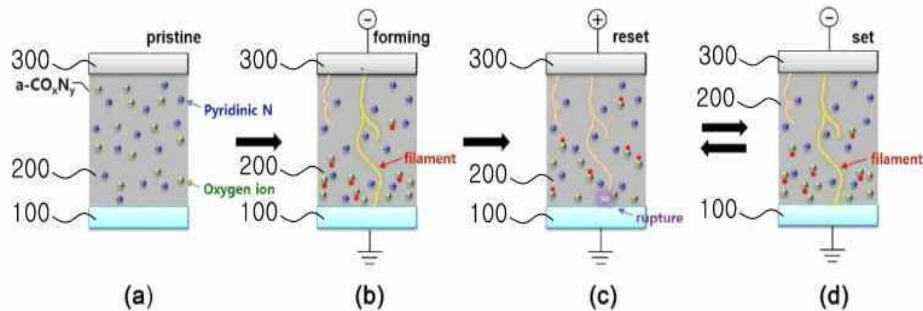
③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

◆ 참여대학원생 특허 실적 우수성

현 [등록번호 10-2602935]

카본 옥시나이트라이드를 가지는 저항변화 메모리 및 이의 제조방법에 관한 특허

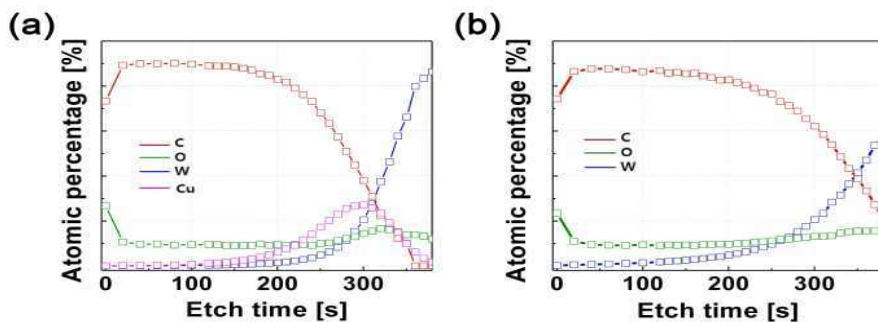
- 카본 옥시나이트라이드를 저항 변화층으로 사용하는 저항변화 메모리(ReRAM)**에 관한 것임. 이 발명은 저항 변화층에 포함된 질소 원자가 탄소와 결합하여 피리딘릭 N 또는 피롤릭 N을 형성하고, 전도성 필라멘트가 이 절연성 영역을 회피해 특정 영역에서만 형성됨. 이를 통해 필라멘트의 무작위 생성을 방지하고, 반복적인 동작에서도 높은 안정성을 유지할 수 있는 장점이 있음. 이 기술은 기존 저항변화 메모리보다 안정적인 동작 특성을 제공하여 차세대 메모리 소자로 활용 가능성이 있음.



현 [등록번호 10-2602937]

구리 박막을 가지는 저항변화 메모리에 관한 특허

- 구리 박막을 포함한 저항변화 메모리에 관한 것임. 구리층과 탄소 산화물층 계면에서 구리 산화물이 형성되어 별도의 포밍 동작 없이 저항 변화를 구현할 수 있는 기술임. 구리층의 확산을 통해 탄소-구리 산화물층에서 sp^2 결합이 증가하며, 이로 인해 셋 동작만으로도 전도성 필라멘트가 형성됨. 이를 통해 메모리 소자의 동작 안정성을 높이고, 포밍 공정을 생략함으로써 제조 비용 절감 및 소형화에 기여하는 우수한 기술적 장점이 있음.

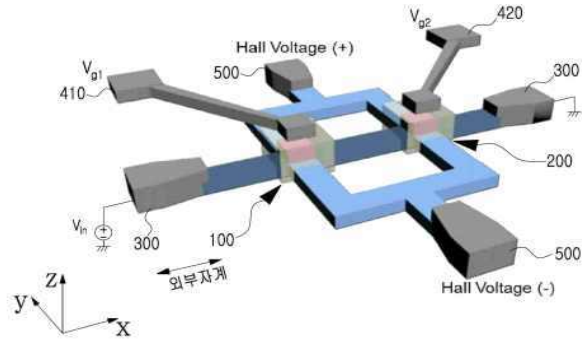


서 [등록번호 10-2618333]

이상 홀 효과를 이용하는 논리 게이트 및 이의 동작 방법에 관한 특허

- 스핀 웨도 토크를 이용한 논리 게이트에 관한 것임. 입력 전류에 의해 강자성층에 스핀 웨도 토크가 발생하며, 외부 자계와 게이트 전압을 통해 수직 자기이방성 및 홀 전압을 제어함. 이를 통해 논리 게이트 동작을 구현하며, 스핀 전류를 활용하여 전력 소모를 줄이면서도 빠르고 안정적인 스위칭이 가능함. 이 기술은 기존 논리 소자보다 높은 성능과 효율성을 제공할 수 있어, 차세대 저전

력 고성능 논리 소자에 적용될 수 있는 우수한 기술적 장점이 있음.



❖ 참여대학원생 특허 실적 향상 계획

- 2023년부터 2024년까지의 참여대학원생 특허는 3건으로 2017년부터 2019년 동안의 참여대학원생 특허 실적 (3건)과 비교했을 때 동일한 수준임.
- 산학협력 응용연구를 통한 특허실적 향상 계획
대학에서 발생한 연구 성과를 산업체 응용 연구나 기술 개발에 적용함으로써 새로운 연구 주제를 개척할 수 있고 참여 대학원생들에게는 향후 진로 모색을 위한 중요한 기회를 제공할 수 있을 것임. 본 교육연구팀은 대학원생 연구 역량 제고와 취업의 질 향상을 위해 산업체와의 교류 기회를 마련하고자 함.
- 참여대학원생 특허 2건 출원 중임.

서

금속 나노 탐침의 구조적 정보를 예측하는 장치 및 방법에 관한 특허 [출원번호 10-2023-0137442]

- 본 발명은 금속 나노 탐침의 구조적 정보를 예측하는 기술적 사상에 관한 것임. Deep neural networks (DNN)와 Convolution neural network (CNN) 기반의 머신러닝을 이용해 전기화학적 식각을 통해 제작한 금속 나노 탐침의 결과물을 예측하는 기술임. 이를 통해 금속 나노 탐침을 이용하는 탐침 증강 라만 분광학과 탐침 증강 나노 분광학 수행에 있어서 시간 및 경제성을 확보할 수 있으며 효과적인 TERS/TENS의 수행력을 끌어올릴 수 있음.

과불소계 자기조립 단분자층을 포함하는 2차원 반도체 구조체, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 전계효과 트랜지스터에 관한 특허 [출원번호 10-2024-0099596]

- 본 발명은 과불소계 자기조립 단분자층을 사용하여 기판의 표면 에너지를 낮추어 이차원 물질에게 미치는 기판의 영향을 최소화 하고자 하였음. 따라서 자기조립 단분자층인 PEPE 물질을 사용하여 표면에너지가 높은 기판 위에 있는 이차원 물질과 아닌 이차원 물질의 특성 변화를 살펴본 결과, 전계 트랜지스터에서는 SS값 감소하였고, 광학적 특성으로는 PL 증가, 기판에 의한 도핑효과 감소 등을 확인되었음.

4. 신진연구인력 현황 및 실적

◆ 신진연구인력 현황 및 실적

- Q 박사
 - 채용기간: 2021년 10월 1일 - 2023년 9월 30일
 - 연구실: 고압물리 연구실 (김재용 교수)
 - 연구논문: 초고압 하에서 WSe₂ 2차원 물질의 금속-반도체-금속 상전이에 관한 연구를 수행하여 한 편의 주저자 논문을 발표하였음.
 - The metal-semiconductor-metal transition of 2M-WSe₂ under high pressure, *Applied Materials Today*, Volume **36**, 102050 (2024).
 - Qing dong 박사는 2차원 물질인 WSe₂의 구조적 변화와 상전이, 그리고 전자수송 현상을 다이아몬드 앤빌 셀을 이용하여 초고압 하에서 연구하였음. 이 연구를 통해 압력에 따라 금속-반도체-금속 전이가 발생하는 현상을 발견하였음.
- 박 박사
 - 채용기간: 2022년 10월 1일 - 2023년 9월 30일
 - 연구실: 반도체나노광학 연구실 (정문석 교수)
 - 연구논문: 이차원 물질의 인터페이스에서 일어나는 상호작용 제어 연구와 페로브스카이트 합성을 수행하여 두 편의 주저자 논문과 네 편의 공동저자 논문을 발표하였음.
 - Electron-Phonon-Mediated Temperature-Dependent Optical Bandgap of MAPbCl_xBr_{3-x} Single Crystals, *J. Phys. Chem. C*, **127**(43), 21235-21241 (2023)
 - Mitigating substrate effects of van der Waals semiconductors using perfluoropolyether self-assembled monolayers, *Nanoscale*, **16**, 10779-10788 (2024)
 - Terahertz conductivity of high-quality indium films deposited using a substrate cooling method, *Currnet Applied Physics*, **52**, 80-84 (2023)
 - Tunable negative photoconductivity in encapsulated ambipolar tellurene for functional optoelectronic device applications, *Nano Energy*, **113**, 108552 (2023)
 - Impact of the Hexagonal Phase on Multiphoton-Absorption Properties of Mixed-Cation Halide Perovskite: FA_{0.8}MA_{0.2}PbI₃, *Advanced Optical Materials*, **12**(5), 2301824 (2024)
 - Analysis on the defect states of FA_xMA_{1-x}PbI₃ perovskite single crystals grown by inverse-temperature crystallization, *APPLIED PHYSICS A-MATERIALS SCIENCE & PROCESSING*, **130**(6), 393 (2024)
 - 박 박사는 기관 특성에 따른 이차원 물질의 특성 변화를 제어하기 위해 표면 에너지가 낮은 PEPE를 사용하고 Optical spectroscopy와 2차원 channel 물질 기반 FET 소자를 통하여 연구하였음. 이 연구를 통해 SS값 감소 및 PL 증가, 기관에 의한 도핑효과 감소 등을 확인하였음.
 - 학술대회발표:

- The 14th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (2023.06.19-22) : The preparation of transition metal dichalcogenides colloidal ink and its applications
- The 21st International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2024.06.02-06) : Transition metal dichalcogenides colloidal ink and its applications

• 방 박사

- 채용기간: 2023년 10월 1일 - 2025년 2월 29일
- 연구실: 반도체나노광학 연구실 (정문석 교수)
- 연구논문: 폴리머/이차원 간의 상호작용에 따른 광전류 지속 효과 연구를 수행하여 한 편의 주저자 논문과 한 편의 공동저자 논문을 발표하였음.
- Harnessing Persistent Photocurrent in a 2D Semiconductor-Polymer Hybrid Structure: Electron Trapping and Fermi Level Modulation for Optoelectronic Memory, *Nano Lett.* **24**(32), 9889-9897 (2024)
- Mitigating substrate effects of van der Waals semiconductors using perfluoropolyether self-assembled monolayers,

Tschang-Uh 방 박사는 이차원 물질인 WSe₂ 위에 PVP 폴리머를 코팅하여 전자가 트랩핑 되는 현상을 이차원 채널 물질 기반 광전소자와 Optical spectroscopy로 연구하였음. 이 연구를 통해 차지 트랩핑을 통한 페르미 레벨 제어로 광전류가 계속해서 지속되는 Persistent Photocurrent (PPC) 현상을 확인함.

- 학술대회발표:
 - The 21st International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2024.06.02-06) : Harnessing Persistent Photocurrent in 2D Semiconductor-Polymer Hybrid Structure: Electron Trapping and Fermi Level Modulation for Optoelectronic Memory

❖ 신진연구인력 운영 계획

- 본 교육연구팀은 Q 박사, 박 박사, 방 박사 등 총 3명의 신진연구인력을 지원하고 있으며, 차년도에도 BK 예산과 참여교수들의 연구비를 이용하여 우수한 신진연구인력을 추가로 확보할 계획임.
- 현재 국제 공동연구를 수행하고 있는 중국, 미국, 유럽 연구기관과의 교류를 통한 극한 물성 분야 우수 신진연구인력을 추가 확보할 계획임.
 - 국제 수준의 첨단 기초 및 실용 물리 연구를 위해서는 우수한 신진연구인력 확보가 필수적임.
 - 본 교육연구팀은 국제 공동연구 네트워크를 적극 활용하여 공동 연구를 수행하고 있는 해외 연구실 출신의 박사학위 소지자를 교육연구팀의 신진연구인력으로 유치하여 우수 신진연구인력을 확보하고 공동연구의 연속성을 유지할 것임.
 - 현재 MoU를 체결한 기관들로부터 우수한 인적자원을 선발할 계획임. 허난사범대학교, 린이대학교, 길림대학교, 북경고압연구소, 연산대학이 그 대상임.
 - 실제로, 김재용 교수는 현재 MoU를 체결한 길림대학교에서 최근 학위를 취득한 Q 박사를 신진연구인력으로 확보하였고 (2021년 10월 1일자 발령), 또한 린이대학교 출신 S 연구원이 2022-1학기 본 학과 석박통합과정으로 입학하였으며, T 학생이 석사과정생으로 입학하였음. 이를 기반으로 공동연구를 수행하고 있는 교수 추천을 받아 우수한 학생들을 추가로 유치할 계획임.

- 우수 신진연구인력 확보

- N 박사

채용기간: 2024년 12월 임용예정

연구주제: 양자물질에서 위상성의 분류 및 위상성질의 발견을 연구하고, 이를 통해 위상초전도체에서 발견되는 마요라나 페르미온을 이용한 양자연산을 연구할 예정이다. 또한, 열린 양자계에서 일어나는 새로운 현상에 대해서 탐색하고, 새롭게 부각되고 있는 quantum geometry에 대해서 탐색할 예정이다.

연구실: 응집물질이론연구실 (천상모 교수)

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

- 극한물성분석 (김재용 교수)

본 강좌에서는 100만기압 단위의 초고압 그리고 극저온 환경에서의 물리적 특성에 대한 이론과 실험적 접근을 다루었음. 고압 실험 기술과 데이터 분석에 대한 수업이 진행되었으며, 고압 연구 분야의 외부 전문가를 초청하여 최신 연구 동향과 실제 사례를 소개하는 특별 강연도 제공되었음. 이를 통해 학생들은 압력 연구의 실질적 적용에 대한 폭넓은 시각을 가질 수 있었음. 또한, 학생들은 학기 초에 연구 계획을 발표하고, 학기 말에는 연구 결과를 발표하는 프레젠테이션을 진행하여 동료들과 피드백을 주고받으며 연구를 개선할 기회를 가졌음. (2023년 2학기 개설)

- 위상양자물리학 (천상모 교수)

양자역학을 바탕으로 물질에 대한 현대적인 연구가 진행되고 있는 현실을 반영하여, 본 수업은 대학원 수준에서 다체계 물리, 위상 절연체 및 초전도 물리에 대해 소개하였음. 기본적으로 1) 고체 물리 (블로흐 정리, 브릴 루양 존, 에너지 밴드, 기본 반도체 물리)와 2) 양자역학 (고유상태, 고유치, 해밀토니안) 등에 대한 지식을 갖춘 대학원생을 대상으로 현대적인 위상 물리 현상을 강의하였음. 양자역학에서의 위상현상 / 양자홀 효과와 위상불변량 / 양자역학에서의 대칭성과 시간대칭성 / 블로흐 양자함수와 타이트바인딩 방법론 / 그래핀 및 위상 부도체 / 위상 불변량 및 다양한 차원에서 양자홀 효과 / 디랙 반도체와 바일 반도체 / 물질의 위상 반응과 위상학적 물리현상 / 위상 초전도체 / 위상 솔리톤 및 위상 스커미온 / 위상 스핀 솔리톤에 대해 강의하였음. (2023년 2학기 개설)

- 강상관양자물질분광학 (문순재 교수)

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 진행하였음. 본 강의는 양자물질을 연구하는 대학원생들의 분광 실험법에 대한 이해를 제공하고, 나아가 각자의 연구에 적절한 분광 실험법을 활용할 수 있는 능력을 기르는 것을 목표로 하였음. 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 진행하였음. (2024년 1학기 개설)

- 다체계물리 1 (천상모 교수)

최근 전세계적으로 연구되고 있는 양자물질의 다체계 현상을 연구할 수 있도록 중요한 개념과 중요한 시스템을 소개하였음. 다체계를 이루는 입자 (페르미온, 보손)의 2차 양자화를 학습하고, 상호작용이 없는 페르미온과 보손이 만족하는 양자통계현상을 찾고 이를 분석하여 보고된 결과와 비교하였음. 평균장론을 이용하여, 대칭성 붕괴 시, 자성이 발현되는 조건과 특징을 분석하여 실험과 비교하였음. 파인만 다이어그램을 학습하여 다체계 현상을 직관적으로 이해할 수 있도록 하였음. 학생들은

중간고사, 기말고사를 통해서 주요 개념과 계산법을 연습하였으며, 자신의 연구와 관련된 프로젝트를 진행한 후 보고서를 제출하였음. (2024년 1학기 개설)

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

❖ 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

📖 교육 프로그램의 국제화 현황

국제 교류를 통해 세미나, 교육, 연구를 꾸준히 진행하였으며, 대표적 결과를 정리하면 다음과 같음.

- 중국 HPSTAR 소속 H , X 교수, V 교수, Yanshan University 소속 L 교수 등 해외 우수학자들을 본교 특임교수, 겸임교수로 발령하여 대학원생 논문, 연구활동을 지도함.
 - 초고압을 이용한 potassium hydride 관련 연구의 경우 김재용교수는 HPSTAR 소속 V. 박사사와 지 학생의 연구를 공동으로 지도하고 있으며, 곧 연구 결과를 학술지에 투고할 예정임.
- 극한의 압력과 온도 그리고 자기장하에서 발현하는 양자물성을 공부하기위하여 IC-PBL기반 초고압 과상변이 과목을 개설하여 해외 학자들을 온라인으로 초청하여 양자물성에 관한 현재 연구현황을 학생들에게 실시간으로 전달하고 있음.

📖 국제 학회 개최

- Holography 2024: Correlation and Entanglement in Quantum Matter
 - 참여교수 : 신상진 교수 주최
 - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2024.08.10~18
 - 주관기관 : 한양대학교, APCTP, BrainLink 사업단
 - 연구 분야 : 필드 이론, 스트링 이론, 응집 물질 이론
 - 참가규모 : 대한민국, 중국, 유럽 등에서 50여명 참여
 - 학회 설명 :

이 워크숍의 목표는 필드 이론, 스트링 이론, 응집 물질 이론 분야에서 활동하는 전문가들이 모여 아이디어를 교환하고 새로운 통찰력을 발전시켜 새로운 결과와 협업을 이끌어내는 것으로, 해외 전문 연사들을 초청하여 홀로그램 원리의 최전선과 그 응용 분야인 강하게 상관된 시스템 및 양자 정보에 대해 논의하였음.



- The 21st International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA)
 - 참여교수 : 조직위원 정문석
 - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2024.06.02~06
 - 주관기관 : Semiconductor Physics Division of the Korean Physical Society (KPS)
 - 연구 분야 : 반도체 물리학, 나노기술, 양자 소재, 광전자공학 등 다양한 분야를 포함
 - 참가규모 : 대한민국 포함 총 20개국 (오프라인 참가자 약 1,100 여명)
 - 학회 설명 :

2024년 6월 2일부터 6월 6일까지 21회 International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications 학회를 유치하였음. 본 국제학술대회를 통해 대학원생들에게 연구 결과를 포스터로 발표하도록 하여, 저명학자 및 타 대학생들과 자유로운 연구 교류와 영어 발표의 기회를 제공함. 신진연구 인력들 또한 발표에 참여하여 저명 학자들 앞에서 본인의 연구를 영어로 발표하고 질의응답을 통해 연구적 사고를 발전시키는 기회를 제공함.



- 2023 가을 한국물리학회 Bilateral Exchange Session
 - 참여교수 : 김재용 교수 주최
 - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2023.10.26
 - 주관기관 : 양자물질 극한환경 국제공동연구단
 - 연구 분야 : 초고압-초저온 상태의 양자물질 물성 연구
 - 참가규모 : 한국/미국 양자물질 연구 관련 초청연사 8명, 온라인과 현장 참여자 약 100여명
 - 학회 설명 : 미국 Advanced Photon Source와 국제공동 워크샵 진행



국제 학회 개최 계획

- The 4th Korea-China Symposium on High Pressure : Quantum Materials at Extreme Conditions
 - 참여교수 : 조직위원장 김재용, 조직위원 문순재, 이창민
 - 개최국가 및 날짜 : 한국, 2024.10.27.~10.31. 예정
 - 주관기관 : 한양대학교 및 BK4-Plus
 - 연구 분야 : 양자물질 극한물성
 - 참가규모 : 한중 양자물질 극한물성 분야 전문가 20여 명과 다수의 대학원생
 - 학회 설명 : 한양대를 중심으로 한 국내 8개 대학 물리학과 교수진들과 중국 길림대학교, 연산대학교, HPSTAR의 교수들이 모여 압력-온도-자기장을 이용한 양자물질의 연구 현황을 파악하고 나아가 새로운 연구 분야를 탐색하기 위하여 기획한 학회.

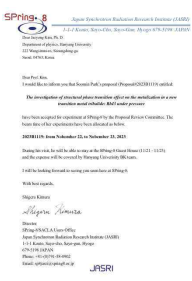

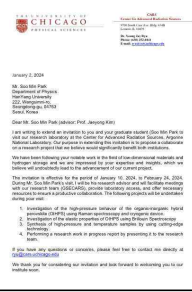


교육 프로그램의 국제화 계획

- 본 교육연구팀은 극한물성 연구를 세계에서 가장 첨단으로 수행하는 중국북경고압연구소와 길림대학 등을 비롯한 6개국 10여개 기관들과 연구와 교육 면에서 전략적 파트너십을 수립하여 국제화를 추진하고 있음.
- 해외연구기관소속 학자들의 본 학과 겸임교수 발령을 통하여 대학원생들의 연구공동지도, 학위공동논문심사, 국제화 컨설팅 관련 자문을 지속적으로 유지할 것임.
- MoU 협정체결 기관들과의 국제협력 계획
 - 중국 길림대학 (Jilin University)의 State Key Laboratory of Superhard Materials 소속 Q 박사를 본 연구팀 신진연구 인력으로 채용하여 (2021. 10월 1일자 발령) 길림대학교와의 국제교류원으로 활용하고 있음.
 - MoU기반 중국의 우수대학원생을 본 학과 대학원생으로 유치하여 국내연구 인력의 공백을 대신할 수 있도록 할 예정임.



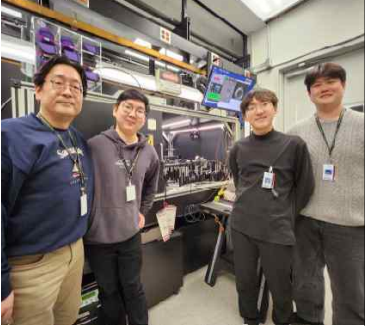

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

❖ 참여대학원생 국제공동연구 실적

<표 2-15> 참여대학원생의 국제공동연구 실적

연번	공동연구 참여자			상대국 /소속기관	국제 공동연구 주제	증빙
	참여 교수	참여 대학원생	국외 공동연구자			
1	김재용	이박	S	일본/Super Photon ring-8 GeV	고압 고온 싱크로트론 초전도체 구조 측정	
2	조준형	유	B	중국/Joint Center for Theoretical Physics, School of Physics and Electronics	First-principles study of topological properties of magnetic electrode materials	
3	김재용	박	Y	미국/Argonne National Laboratory	Metallic glass Ti ₄₅ Zr ₃₈ Ni ₂₇ Si ₈ 과 2D-van der Waals 구조 Fe _{5-x} GeTe ₂ 의 라만 산란을 이용한 구조 측정	
4	김재용	이	P	미국/Laboratory of low dimensional materials	Superconductivity of NbSe ₂ under high pressure	
5	김재용	최박	Y	미국/Argonne National Laboratory	Laser heating system을 통한 Hydrogen rich Aluminum hydride 합성과 고압에서 Magnesium telluride의 위상 전이의 라만 산란을 이용한 화학적 결합 분석	

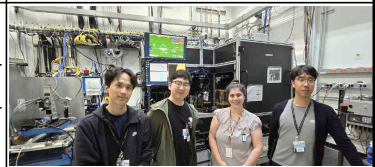
❖ 참여대학원생 국제공동연구 성과

참여대학원생 국제공동연구 성과	국제공동연구 활동사진
<p>김재용 교수 연구실의 이 , 박 학생은 초전도체 시료의 구조적 연구를 위해 2023년 11월 21일부터 23일까지 일본 SPring-8 싱크로트론의 BL10XU 빔라인에서 다이아몬드 앤빌 셀을 사용하여 ScH_2, YCe, $\text{Ti}_{53}\text{Zr}_{27}\text{Ni}_{20}$, $\text{Al}_{86}\text{Mn}_{14}$, $\text{Al}_{70.5}\text{Pd}_{21}\text{Mn}_{8.5}$, RhI_3, LaAl, $\text{Ti}_{50}\text{Zr}_{50}$ 시료에 최대 160 GPa의 압력 하에서 레이저 가열 및 XRD 측정을 진행하였음. ScH_2는 30 GPa에서 레이저 가열로 ScH_3 구조로 변했으며, YCe는 130 GPa에서 수소와 결합이 관찰되었음. $\text{Ti}_{53}\text{Zr}_{27}\text{Ni}_{20}$, $\text{Al}_{86}\text{Mn}_{14}$, $\text{Al}_{70.5}\text{Pd}_{21}\text{Mn}_{8.5}$는 XRD와 레이저 가열을 통해 상압에서 2200 K까지 가열했으나 높은 온도로 시료가 파손되었음. RhI_3는 86.6 GPa까지 압력을 높이며 구조 변화를 확인하였고, $\text{La}_{1-x}\text{Al}_x$는 x 값이 작을수록 균일한 구조를 보이는 것이 확인되었음. $\text{Ti}_{50}\text{Zr}_{50}$은 빔라인의 상태 악화 문제로 만족할 만한 결과를 얻는 데 어려움이 있었음.</p>	
<p>Jun-Hyung Cho 교수연구실의 S 학생은 topological electrifies 해외 공동연구자인 B 박사 (중국 Henan소속, Henan University) 연구실을 2024년 1월 5일부터 2월 12일까지 38일동안 방문하였으며, 제1원리 계산을 기반으로 독특한 2차원 층상 강자성 전자화물 YCl에서 시간 역전 대칭성 파괴 Weyl 반금속 상을 발견하였음. Weyl 노드를 연결하는 페르미 아크 표면 상태를 식별할 뿐만 아니라 Berry 곡률로 인한 큰 고유 비정상 홀 전도도를 예측하였고, 이러한 결과를 종합하여 PRB에 투고하였음.</p>	
<p>김재용 교수 연구실의 박 학생은 미국 APS 류 박사의 GSECARS 연구실의에서 금속 유리 $\text{Ti}_{45}\text{Zr}_{27}\text{Ni}_{20}\text{Si}_8$ 및 2D 반데르발스 물질 Fe_3GeTe_2의 구조적 성질을 다이아몬드 앤빌 셀과 라만 산란을 이용하여 연구하였음. 금속 기반 물질인 $\text{Ti}_{45}\text{Zr}_{27}\text{Ni}_{20}\text{Si}_8$은 라만 산란 세기가 약하다는 단점을 확인하였으며, 유리의 라만 산란 메커니즘을 연구하기 위해 Paris-Edinburgh 프레스를 사용하여 유리 알바이트($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)를 합성하고, 최대 20 GPa의 압력에서 구조적 변화를 라만 산란으로 확인하였음.</p>	
<p>김재용 교수 연구실의 이 학생은 NbSe_2 초전도성을 연구하는 과정에서 초전도성과 전하밀도파(CDW) 질서 사이의 복잡한 상호 작용을 연구하기 위하여 미국 하버드의 P 의 연구실에서 다이아몬드 앤빌 셀에 오차없는 전극을 부착하기 위하여 전자 빔 증착을 진행하였음. 저온 전기 저항 측정 결과, 전하밀도파 위상 내에서는 초전도성이 억제된다는 것을 확인하였으며, 이는 1차 양자 위상 전이에서 갭이 있는 변동 스펙트럼이 초전도성을 매개하거나 증가시키지 않는다는 것을 시사함.</p>	

김재용 교수 연구실의 박 과 최 학생과 문순재 교수 연구실의 김 학생은 미국 APS 류 박사의 GSECARS 연구실에서 금속 유리 $Ti_{45}Zr_{27}Ni_{20}Si_8$, 알루미늄 수소화물 AlH_3 , 카고메 구조 시료들의 온도, 압력하의 구조적 성질을 다이아몬드 앤빌 셀과 라만 산란을 이용하여 연구하였음. 라만 산란 세기가 약한 금속 기반 물질인 $Ti_{45}Zr_{27}Ni_{20}Si_8$ 을 가루 상태로 갈아 라만 세기가 강해지는 것을 확인하였으며, AlH_3 를 암모니아 보레인과 함께 고압에서 레이저 가열함으로써 추가적인 수소 결합을 유도하였음. 상온에서 티타늄이 도핑된 카고메 시료와 도핑되지 않은 카고메 시료를 측정한 이후 결과 데이터를 액체 헬륨을 사용한 저온 라만 측정 데이터와 비교함으로써 전하밀도파의 피크가 나타나는 것을 확인하였음.



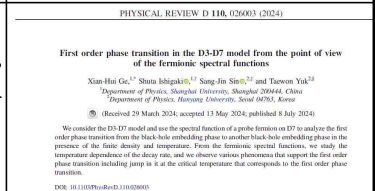
문순재 교수 연구실의 김 학생은 미국 Argonne National Laboratory에서 2024년 8월 16일부터 9월 16일까지 $Cs(V_{1-x}Ti_x)_3Sb_5$ 물질의 라만 측정을 수행하였음. Argonne National Laboratory 소속의 Y 박사와 김재용 교수님 연구실의 박 , 최 학생이 공동으로 해당 연구를 수행하였음.



정문석 교수 연구실의 김 학생은 고분자공학관련 연구자인 F 박사(프랑스 Université de technologie de Compiègne) 연구실을 2024년 7월 1일부터 7월 20일까지 20일 동안 장기 방문하여 분자 동역학 시뮬레이션을 이용한 고분자 구조 PVDF의 다중 규모 모델링을 수행하였음. A 박사(미국 Caltech)와 D 박사(프랑스 Sorbonne Université)가 강의하는 원자론과 미세역학을 통한 모델링의 이론을 배우고, S 박사(미국 UC Berkeley)와 다양한 나노구조 시스템을 위한 수치 해석 방법을 의논하여, 특히 온도 변화와 NPT, NVT 환경 변화를 통해 구조를 안정화시킬 수 있음을 Lammmps 시뮬레이션 구현을 통해 확인하였고, 추가로 shear stress를 가했을 때 density, gyration radius, dipole moment가 변한다는 결과를 얻음.



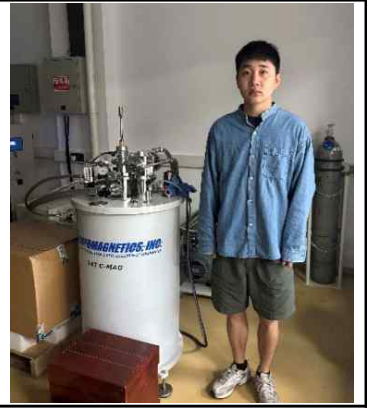
신상진 교수 연구실의 육 박사과정생은 중국 상해대학교의 G , S 교수와 공동연구를 통해 유한한 온도와 밀도에 따른 블랙홀 간의 상전이를 분석하여 Phys. Rev. D에 논문을 게재하였음.



김재용교수 연구실 지 학생은 막스 플랑크 화학 연구소의 미 박사 그룹에서 2023년 4월부터 2024년 12월까지 고온 고압 하에서 금속 수소화물을 합성하는 데 중점을 두고 이어서 전기 전달 및 구조적 특성에 대한 연구를 진행함. 칼륨, LaAl 합금, 우라늄 등의 수소화물을 탐구하며, 순수한 칼륨과 수소 가스에서 칼륨 수소화물을 합성하여 Fm-3m에서 Pm-3m으로의 구조적 상전이를 관찰함. 다양한 비율의 LaAl 합금으로 시작하여, 1:1 LaAl 합금을 선택하고, 120 GPa와 1800K를 초과하는 조건에서 보레인 암모니아를 수소원으로 사용하여 Fm-3m $LaAlH_8$ 을 합성하였으며, 우라늄 수소화물을 연구하여 레이저 가열을 사용하여 100 GPa에서 우라늄과 보란 암모니아로부터 Fm-3m UH8과 P63/mmc UH7을 합성하였음. 현재 추가 연구가 진행 중임.



김재용 교수 연구실의 이 학생은 2024년 8월 9일부터 8월 20일까지 연산대학교 린 교수 연구실과의 협업을 통해 고압 환경에서 TiZr 합금 수소화물의 XRD구조 분석 연구를 수행하였음. 이 연구는 다이아몬드 앤빌 셀을 이용해 TiZr 합금을 고압 하에서 레이저로 가열한 후, 고압에서 발생하는 구조 변화를 XRD로 측정하는 방식으로 진행되었음. 그 결과, TiZr 합금은 특정 압력 조건에서 I43d 및 I4/mmm 상으로의 상전이를 나타내는 것이 확인되었음. 이러한 상전이는 TiZr 합금 내의 초전도성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 단서를 제공하며, 이로 인해 향후 추가 연구를 통해 해당 상전이와 초전도성 사이의 구체적인 메커니즘을 규명하고자 함.



❖ 참여대학원생 국제공동연구 계획

<표 2-16> 참여대학원생의 국제공동연구 계획

연번	공동연구 참여자			상대국 /소속기관	국제 공동연구 주제 (기간)	연구설명
	참여 교수	참여 대학원생	국의 공동연구자			
1	정문석	강김이이	D	중국/Bruker Scientific Technology	IR spectroscopy analysis of co-evaporated perovskite film depending on deposition conditions (2024년 10월 중순예정)	중국 Bruker Scientific Technology사의 나노스케일 적외선 분광계 장비인 Anasys nanoIR를 사용하여 MAPbI ₃ 페로브스카이트 필름을 다양한 환경에 노출시킨 후 분자 내 결합 및 외부 입자들과의 상호작용 변화를 관찰할 예정임. 이 장비는 기존 적외선 분광법과는 다르게 AFM 팁을 이용하여 높은 공간 해상도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 화학적 매핑이 가능하여 대면적 특성 변화를 확인할 수 있어 페로브스카이트 안정성 및 균일성 연구의 근거를 강화하는 데이터를 얻기에 가장 적합하므로 본 회사의 제품을 선택함. 이러한 공동연구를 통해 얻은 적외선 매핑 데이터는 추후에 페로브스카이트의 증착 조건, Ambient 환경 영향, 열처리 공정 관련 연구에 큰 도움이 될 것으로 기대됨.

❖ 향후 추진 계획

- 극한환경에서의 양자물성 연구범위를 초고압뿐 아니라, 초저온, 초고온, 초고자기장 등 다양한 물리 변수로 확장하여 연구할 예정임. 이를 위하여 압력연구의 경우 중국고압연구소와 길림대학교 고압연구중심센터, 고자기장의 경우 미국 탈라하시에 위치한 고자기장연구소, 중국 허페이에 위치한 고자기장연구소 등과 맺은 LOI를 기반으로 국제 공동 연구 활동을 수행할 예정이며, 초저온의 경우 막스플랑크연구소의 M 박사 연구실과의 고온초전도체 발굴을 위한 포닥과 박사 과정생 파견을 통한 공동연구를 수행할 예정임. 또한 저차원물질의 양자현상을 연구하기위하여 하버드대학교 김 교수 연구실에 포스닥과 대학원생 파견을 통한 공동연구도 지속적으로 추진할 계획임.

- 이러한 연구를 위하여 연구의 핵심인 박사과정생을 중심으로 한 대학원생들을 해외공동연구기관에 장기 파견 혹은 다수의 단기 파견함으로써 지속적인 중장기 연구를 수행할 예정임.
- 중국의 경우 매년 2명 이상의 대학원생을 15일 이상 파견하여 국내에서 극한물성을 측정하기에 필요하지만 습득하지 못한 노하우를 함양하게 할 계획임.
- 참여대학원생들이 국제공동연구에서 도출한 결과물들은 국제저명학회에서 발표토록 할 것이며 특히 구두 발표 위주로 교육할 예정임 (실제로 본 사업팀은 국제학회참가의 경우 구두발표만 지원하고 있음).
- MoU 체결의 경우, 현재 충분한 기관들과 체결하고 있다고 판단하는바, 이를 기반으로 연구인력 교류와 공동연구수행, 그리고 공동학회활동을 통해 질적으로 우수한 연구성과물을 도출하도록 집중할 예정임.

□ 연구역량 대표 우수성과

❖ 참여교수 논문실적

🎨 참여교수들의 발표논문 39편, IF 합 285.91

🎨 IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 9 편

🎨 IF > 10.0 논문수: 8편 (20.5%), IF > 5.0 논문 수: 25편 (64.1%), IF > 3.0 논문 수: 33편 (84.6%)

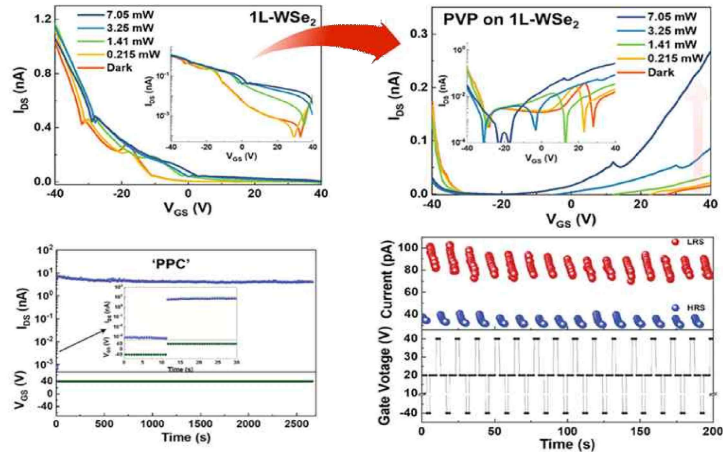
- 총 논문 수: 2015 - 2019년 논문 수 연평균 (37편) 대비 **105% 달성**
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 - 19 연평균 (5편) 대비 **180% 달성**
- **우수 논문 비율**
 - IF > 10 논문 비율 (20.5%): 2015 - 2019년 대비 **228% 달성**
 - IF > 5 논문 비율 (64.1%): 2015 - 2019년 대비 **218% 달성**
 - IF > 3 논문 비율 (84.6%): 2015 - 2019년 대비 **108% 달성**
 - 질적 우수 논문 비율 지속적 증가
- **대표 연구 성과**
 - 이차원 반도체-유기물 구조에서 지속적 광전류를 활용한 광전자 메모리: Nano Letters 24, 9889 (2024) (IF 9.6)

최근 전자기기 산업은 'More-than-Moore' 트렌드에 따라 단순한 소형화를 넘어 기능의 다양화를 추구하고 있음. 특히 ITRS 2.0에서 강조하는 이 새로운 접근법은 데이터 수집 및 정보 저장/처리 장치의 기능 통합을 목표로 함. 그러나 기존의 폰노이만 구조 기반 광전자 기억장치들은 광학 감지와 데이터 저장을 위한 센서와 메모리가 물리적으로 분리되어 있어, 에너지 소비 및 데이터 전송 속도 면에서 비효율적이었음.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 2차원 반도체 소재의 내재적 결함 준위를 활성화하는 방법에 주목함. 화학기상증착법으로 성장된 단층 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)에 폴리비닐피롤리돈(PVP)을 도포하여 하이브리드 구조를 제작함. 이 구조는 빛에 노출되었을 때 정공에서 전자로 다수 캐리어가 전환되는 독특한 현상을 보였으며, 빛이 꺼진 후에도 전류가 지속되는 '지속성 광전류(Persistent photocurrent; PPC)' 효과를 나타냄. 특히, 이 소자는 2000초 이상이라는 긴 시간 동안 PPC 효과를 유지했는데, 이는 기존 WSe₂에서는 관찰되지 않았던 현상임.

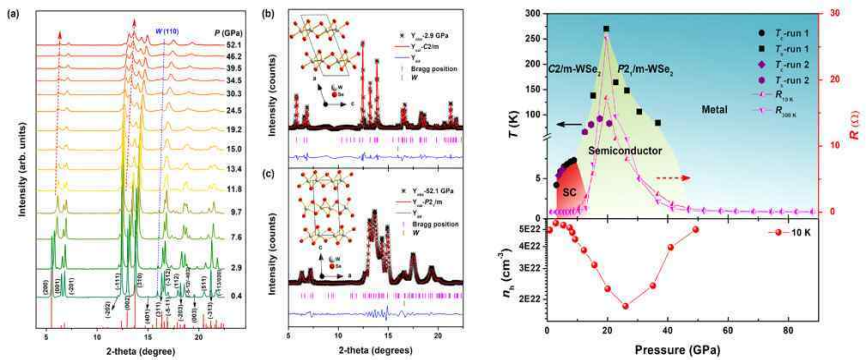
이 현상은 쇼클리-리드-홀(SRH) 모델로 설명되는 전자 트래핑 메커니즘에 기인함을 밝힘. 또한, 온도가 증가함에 따라 준-페르미 준위가 상승하여 PPC 효과가 향상되는 것을 확인하고, 433 K의 고온에서도 광전자 메모리 기능이 안정적으로 구현됨을 입증함. 본 연구는 한양대학교 혁신연구센터(IRC)와의 공동 연구로 수행되었으며, 기존의 메모리 장치들이 가진 한계를 극복하고, 더욱 효율적이고 다기능적인 전자 시스템 개발의 토대를 마련할 것으로 전망됨.

Doping → Quasi Fermi level shift → Trap site activation → PPC effect



- 압력변화에 따른 2M-WSe₂의 금속-반도체-금속 상변이 현상 연구: Applied Materials Today 36, 102050 (2024) (IF 7.2)

층상 전이금속 칼코겐화합물(TMD)에서 압력을 이용하여 새로운 물리적 특성을 유도할 수 있다는 점에 착안하여, 2M-WSe₂의 전기적 수송 특성과 구조적 진화를 연구함. 다이아몬드 앤빌 셀(DAC)을 사용해 압력을 최대 88.0 GPa까지 가하며 실험을 진행한 결과 저압에서는 시료가 초기 금속성을 나타내며, 약 3.1 GPa에서 4.2 K의 초전도성이 나타나는 것을 확인하였음. 압력이 증가함에 따라 초전도성은 사라지고, 예상치 못한 금속-반도체 전이(MST)가 약 12.5 GPa에서 관찰됨. XRD 데이터를 분석한 결과, MST는 압력에 의해 층간 구조가 단사 결정 P21/m 상으로 변형됨을 밝힘. 또한, 홀 효과 측정을 통해 MST는 상 변이로 인해 홀형 운반자 농도가 감소한 결과임을 확인함. P21/m 상은 초기에는 반도체 특성을 보이지만, 압력이 계속 가해지면서 독특한 금속 특성으로 변화하는 것을 확인함. 본 연구 결과는 TMD에서 매우 드문 금속-반도체-금속 전이를 식별한 중요한 발견으로, 층상 물질의 전자적 특성 변화에 대한 구조 의존적 조절 메커니즘에 대한 통찰을 더욱 심화시켰다는 점에서 높은 가치를 지님.

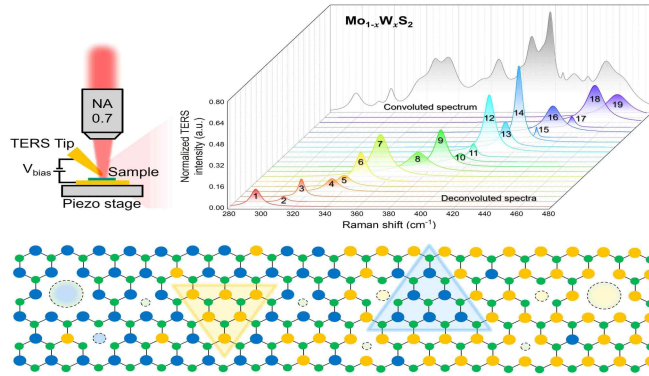


- MoS₂-WS₂ 수평 이중접합구조 계면에서 나노 스케일 합금 다중 결합 탐지: Nanophotonics 13, 1069 (2024) (IF 6.5)

본 논문은 뛰어난 물리적 특성을 토대로 다양한 저차원 반도체로 각광받는 2차원 반도체 재료의 합성 과정에서 발생하는 다중 결합 및 연속적 합금 조성 변화에 대해 탐침 증강 라만 분광법 (tip-enhanced Raman spectroscopy, TERS)을 기반으로 나노스케일 단위에서 조사한 내용을 기술하고 있음. 2차원 반도체 표면에 존재하는 다중 결합들이 물질의 전기적 밴드 구조에 큰 영향을 미치는 만큼 나노 스케일에서 결합 물리를 이해하는 것은 저차원 반도체 중 특히 2차원 반도체 재료

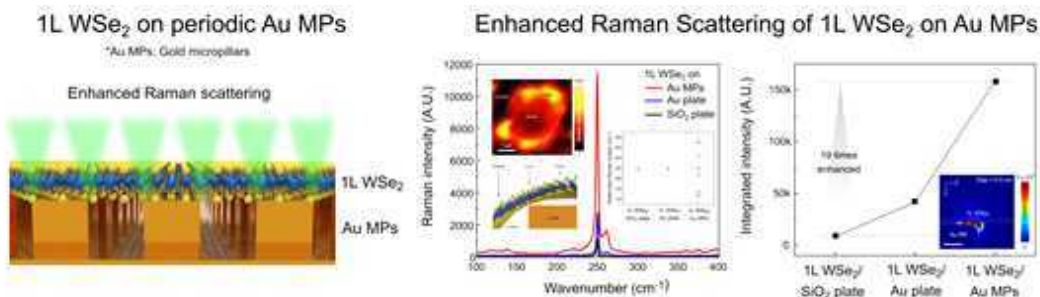
응용을 위해 반드시 선행되어야 하는 중요한 연구임.

특히 type-II 밴드 구조를 이루는 단일 층 MoS₂와 WS₂의 층상 이중 접합 계면에서 수십 나노미터 이하의 영역에 존재하는 원자 결손, 치환, 선형 결함, 나노크리스탈 형성 유무와 관련된 포논 모드를 처음으로 직접 관측 및 분석하였음. 반도체 접합 계면에서 발생하는 결함은 계면에서 이동하는 운송자의 이동도를 현저히 저하시키는 만큼 TERS를 통해 나노스케일에서 결함 관련 포논을 통해 분석한 양자물성은 추후에 2차원 반도체를 포함한 저차원 반도체 구현 시에 중요한 지식적 배경이 될 것으로 기대됨.



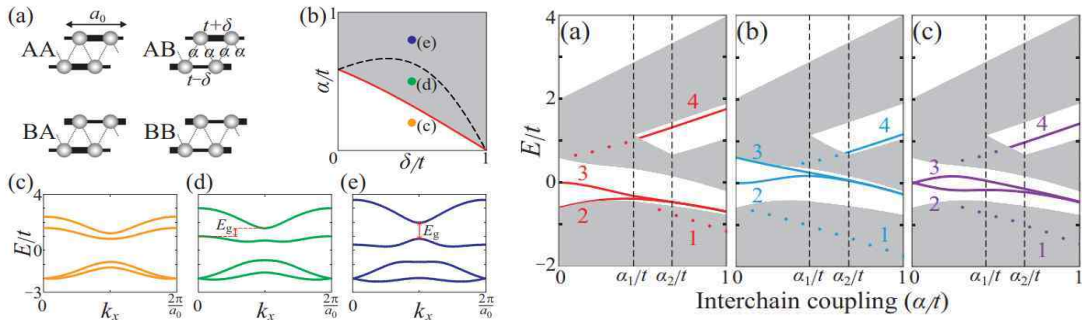
- 적층 양자 물질의 표면증강 라만 산란을 위한 구조: Applied Surface Science 646, 158823 (2024) (IF 6.3)

차세대 광센서 물질로 유망한 특성을 가진 양자물질인 전이금속칼코게나이드(TMD)를 연구하기 위해 라만 분광법은 널리 사용되고 있음. 그러나 단층(1L) TMD는 낮은 광흡수율로 인해 관찰 가능한 라만모드가 제한적임. 본 연구에서는 라만 산란을 효과적으로 향상시키고 1L TMD에서 관찰 가능한 라만 모드의 수를 늘릴 수 있는 잠재적 플랫폼을 제안함. 1L TMD에서 라만 산란을 향상시키기 위해 기존의 포토리소그래피를 사용하여 Au micropillar (MP)의 대규모 주기적 배열을 형성한 후 금 박막 증착을 통해 플랫폼을 제작하고 1L WSe₂를 Au MP에 전사하고 라만 산란을 관찰하였음. Au MP에서 1L WSe₂의 라만 강도는 SiO₂ 플레이트에서 1L WSe₂의 라만 강도보다 19배 높았으며, 일반적인 1L WSe₂에서는 검출하기 어려운 라만모드가 관찰되었음. 공초점 라만 분광 매핑은 Au MP의 가장자리에서 강한 국소 라만강화로 1L WSe₂에서 라만 산란이 증폭되는 것을 보여주었음. 이 국부적 필드 향상은 FDTD를 사용하여 이론적으로 검증됨. 이 플랫폼은 저렴한 비용, 간단한 공정, 넓은 면적 및 짧은 공정시간으로 인해 산업적 이점과 광범위한 적용 가능성을 가지고 있음. 특히 1L TMD에서 라만분광 분석을 큰 폭으로 향상시킬 수 있어, 향후 광센서, 생물학 및 화학탐지 등 다양한 응용분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대됨. 본 연구는 1L TMD의 특성 분석을 위한 새로운 플랫폼을 제시했다는 점에서 의의가 큼. 향후 이 플랫폼을 이용하여 다른 양자물질에 대한 분석 기술 개발도 가능할 것으로 보임. 또한 이 플랫폼은 저렴하고 대면적 공정이 가능해 실용화 및 산업화에도 유리할 것으로 판단됨.



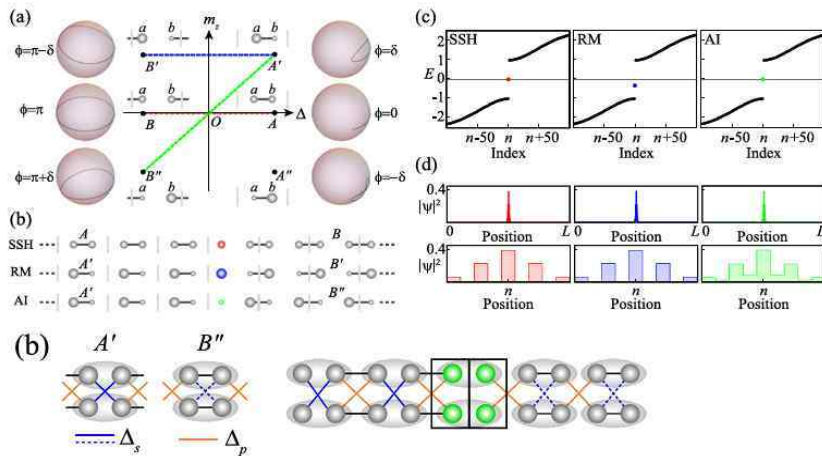
- 멀티밴드 시스템에서의 숨은 chiral domain wall 상태 발현 연구: *Communication Physics* 6, 262 (2023) (IF 5.4)

카이랄성(chirality)은 생물학적 분자부터 첨단 소재에 이르기까지 자연계에서 널리 발견되는 근본적인 대칭성 개념이나, 특정한 위상학적 시스템에서 chirality가 어떻게 발현되는지는 아직 잘 알려지지 않음. 본 연구에서는 이중 Su-Schrieffer-Heeger (SSH) 사슬에 카이랄 대칭을 깨도록 설계된 사슬 간 상호작용을 추가해 숨은 chiral domain wall 상태가 어떻게 나타나는지를 조사함. 전자 구조를 계산한 결과 단일 갭 상태와 이중 갭 상태간 전이가 위상학적 상전이 없이 일어날 수 있다는 것을 보이고 이를 상도표로 나타냄. 단일 갭 상태에서는 이중 SSH 사슬의 chiral 솔리톤과 유사한 chiral domain wall 상태가 나타나고, 이중 갭 상태에서는 단일 갭 상태의 domain wall 상태와 반대인 chirality를 가지는 숨은 domain wall 상태가 나타나는 것을 확인하였고, 밴드 갭 구조를 설계하여 숨은 chiral domain wall 상태를 제어할 수 있음을 보임. 본 연구 결과는 카이랄 대칭이 깨진 위상학적 시스템을 연구하고 다양한 시스템에서의 잠재적 응용을 위한 길을 열어줄 것으로 기대됨.



- 10계 분류표를 벗어난 양자화된 분극 및 마요라나 페르미온 발현: *Communication Physics* 7, 243 (2024) (IF 5.4)

10계 분류표는 대칭성에 따라서 위상학적 성질의 가능성을 나타냄. 이러한 분류표가 나타내는 위상학적인 물질들은 양자화된 위상 숫자와 위상학적인 표면 상태를 가지게 됨. 특히, 이 중에서 위상 초전도체는, 양자컴퓨터의 기초적인 연산 단위로 활용이 가능한 Majorana 페르미온이 표면에서 나타남. 본 연구에서는 분류표상 위상학적인 표면 상태가 나타날 수 없다고 알려진 대칭성을 가지는 물질을 접합하여, domain wall의 위상학적 특성의 여부를 연구하였음. 이는 위상 절연체의 표면에서 나타나는 양자화된 분극뿐 아니라, 초전도체를 접합하여 Majorana 상태의 domain wall이 가능하다는 것을 확인함. 본 연구의 결과는 인공적인 전자 격자, 그래핀 나노 리본 등 응집물질 시스템 외에도 위상학적 레이저 및 양자 컴퓨터에 활용이 가능할 것으로 기대됨.



- p-파 홀로그래픽 초전도체에서의 페르미 아크: *Journal of High Energy Physics* 2023, 3 (2023) (IF 5.0)

p-파 홀로그래픽 초전도체에서 페르미온 스펙트럴 함수를 조사하여 최소 결합을 가진 벡터 모델이 페르미 아크를 가진 p-파 스펙트럴 함수를 드러낸다는 것을 보임. 이는 텐서 장이 존재할 때 p-파 아크가 나타났던 이전 연구와 대조되는 결과임. 또한 운동량 의존적인 주문 매개변수, 전도도 실수 부분에서의 ω -갭과 페르미온 스펙트럴 함수를 계산함. 홀로그래픽 설정에서 페르미온 스펙트럴 갭과 라그랑지안 매개변수의 역할을 나란히 놓고 비교하여 이들 사이의 관계를 구하였으며, 결합 상수, 온도 및 화학퍼텐셜이 스펙트럴 함수에 미치는 영향을 계산함. 본 논문의 중요성은 p-파 초전도성을 가진 물질의 갭함수를 전자 간의 상호작용을 포함하여 계산함. 전자 간의 상호작용이 어떤 결과를 초래하는지에 대한 컨센서스의 부족은 강상관계 연구의 일반적 문제이며 이는 다시 계산의 프레임이 확보되지 못한 것이 주 원인임. 따라서 본 연구의 결과는 강상관계에 기초한 여러 가지 초전도체 이론의 미래에 밝은 빛을 던져줄 것임.

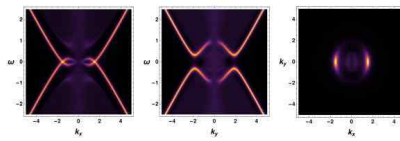


Figure 5. Fermionic spectral function for $g_0 = 1$ at $T = 0.017\mu$.

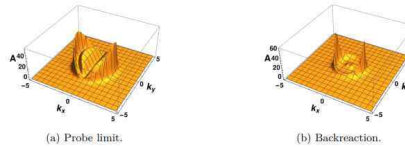


Figure 6. Comparing spectral function in probe limit and backreaction case.

- 강상관계를 위한 평균장이론: 홀로그래피적 접근 : *Journal of High Energy Physics* 6, 100 (2024) (IF 5.0)

본 연구에서는 강상관 전자계를 위한 홀로그래피 평균장이론을 개발함. 또한, 다양한 종류의 대칭 깨짐에 의한 효과를 스펙트럴 함수를 통해 분석하였음. 추가로 특정 극한에서 모든 상호작용의 그린함수의 해석적 표현을 찾는 것에 성공함. 이로부터 그린함수의 특이점 거동에 따라 상호작용을 분류하였음. 앞선 해석적 표현과 관련하여, 모든 장들 간의 상호작용을 고려한 계산을 통해 앞선 표현의 타당성을 확보함. 본 연구는 강상관계의 물질들을 모델링하는데 기여 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨.

Order p. & Dims	Flat bands	Semi-metals	Order p. & Dims	Nonsingular	ω -shiftings
\emptyset $d_{\text{eff}}=0$	SS, (Figure 1)	SA, (Figure 1)	B_0 $d_{\text{eff}}=0$	SS,SA	SS,SA
B_x $d_{\text{eff}}=1$	SA, (Figure 4)	SS, (Figure 4)	B_{ix} $d_{\text{eff}}=1$	SA, (Figure 5)	SS, (Figure 5)
B_{xy} $d_{\text{eff}}=2$	SS, (Figure 6)	SA, (Figure 6)	B_{tz} $d_{\text{eff}}=2$	SS, (Figure 7)	SA, (Figure 7)
B_{tz} $d_{\text{eff}}=3$	SA, (Figure 3)	SS, (Figure 3)	B_t $d_{\text{eff}}=3$	SA, (Figure 2)	SS, (Figure 2)

❖ 참여교수 연구비 수주실적

〈표 3-1〉 참여교수 연구비 수주 실적

	2023-2024	2021-2022	2020-2021	2015-19 연평균
연구비 총액 (천원)	2,927,952	4,516,109	3,721,926	1,970,844
1인당 연구비 (천원)	344,465	501,789	413,547	281,549

- 2023-2024년도 연구비 총액 2,927,952,000원, 참여교수 1인당 연구비 344,464,941원
- 2015-2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 149%, 1인당 연구비 122%

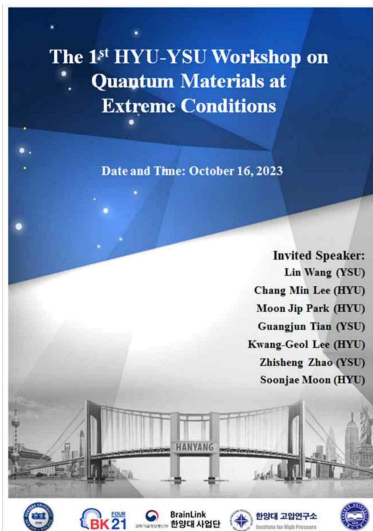
❖ 참여교수 특허실적

〈표 3-2〉 참여교수 특허 실적

	2023-2024	2021-2022	2020-2021	2015-19
국제특허 (건)	1	2	5	5
국내특허 (건)	6	6	5	2

❖ 참여교수 국제 학술활동 실적

- 국제 공동 연구를 통한 SCI 논문 9편 발표
- 국제학술대회 초청강연 12건, 조직위원 8건
- The 1st HYU-YSU Workshop on Quantum Materials at Extreme Conditions (2023.10.16.) 개최
 - 조직위원장: 김재용
 - 조직위원: 조준형, 천상모, 문순재, 이창민, 박문집
 - 참가 인원: 2개국 13명 (한양대 7명, 중국 연산대 6명) 참가.
 - 극한 환경 양자물질 분야의 해외 연구진과의 공동 연구 기회를 모색
 - 대학원생들에게 연구 결과 발표 및 해외 저명학자들과의 교류 기회 제공



- The 21st International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2024. 6. 2-6, 제주) 개최
 - 정문석 교수가 학술대회 프로그램 위원으로 활동
 - 참가 인원: 19개국 1100명 참가
 - 발표 수: 742개
 - 대학원생들에게 연구 결과 발표 및 해외 저명학자들과의 교류 기회 제공
 - 반도체 기본 물성과 응용 분야에서 공동 연구 기회 모색

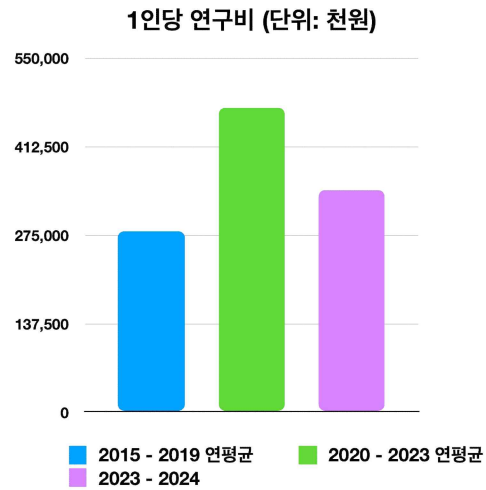
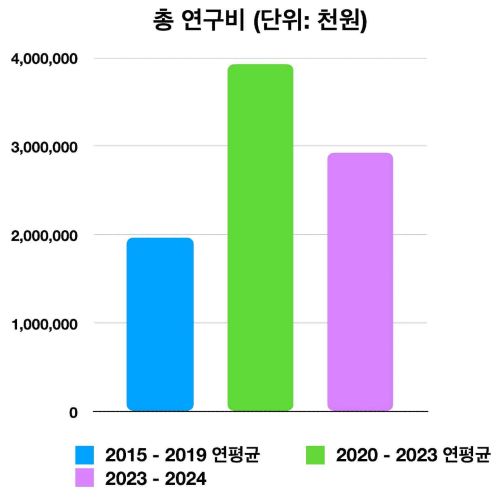


1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적

<표 3-3> 최근 1년간(2023.9.1.-2024.8.31.) 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천원)		
	3년간(2020.9.1.-2023.08.31) 실적	최근 1년간(2023.9.1.-2024.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	11,501,705	2,793,152	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	938,224	134,800	
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	111,988	0	
참여교수 수	8.3	8.5	
1인당 총 연구비 수주액	1,512,279	344,465	



- 2015-2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 149%, 1인당 연구비 122%

1.2 연구업적물

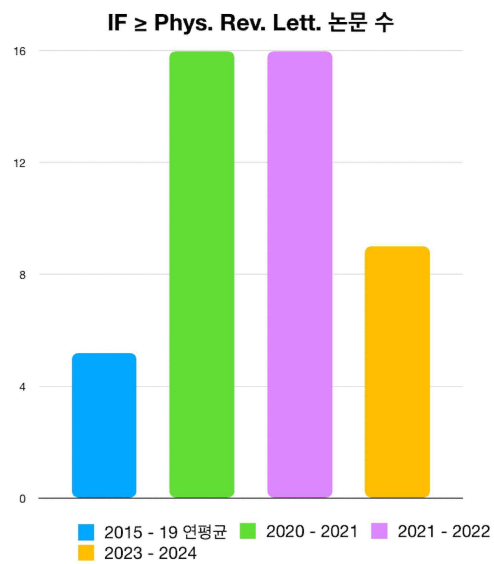
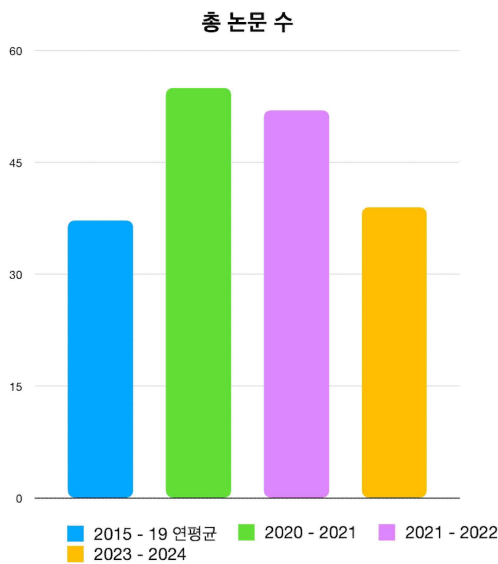
① 참여교수 연구업적물의 우수성

❖ 참여교수 연구실적

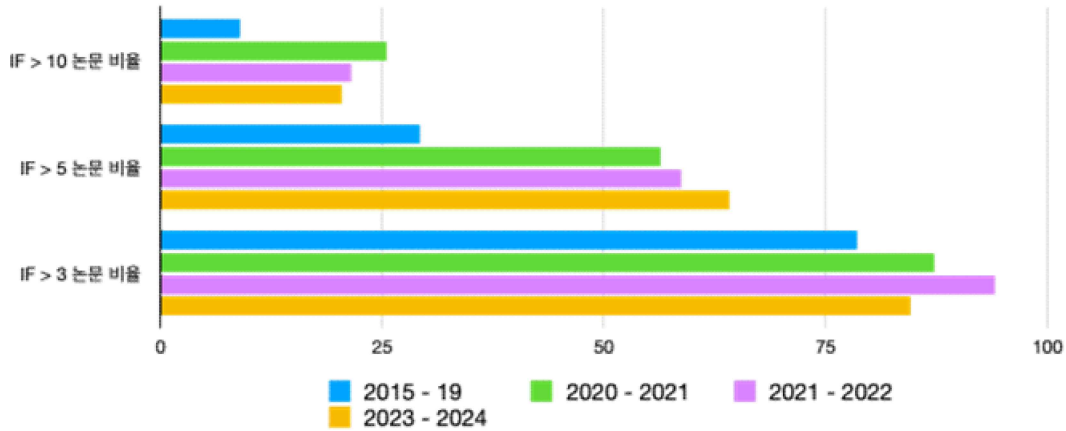
- 🎯 참여교수들의 발표논문 39편, IF 합 285.91
- 🎯 IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 9 편
- 🎯 IF > 10.0 논문수: 8편 (20.5%), IF > 5.0 논문 수: 25편 (64.1%), IF > 3.0 논문 수: 33편 (84.6%)

• 논문 수

- 총 논문 수: 2015 - 2019년 논문 수 연평균 (37편) 대비 105% 달성
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 - 19 연평균 (5편) 대비 180% 달성



• 우수 논문 비율



- IF > 10 논문 비율 (20.5%): 2015 - 2019년 대비 **228%** 달성
- IF > 5 논문 비율 (64.1%): 2015 - 2019년 대비 **218%** 달성
- IF > 3 논문 비율 (84.6%): 2015 - 2019년 대비 **108%** 달성

• 연구성과 세부지표

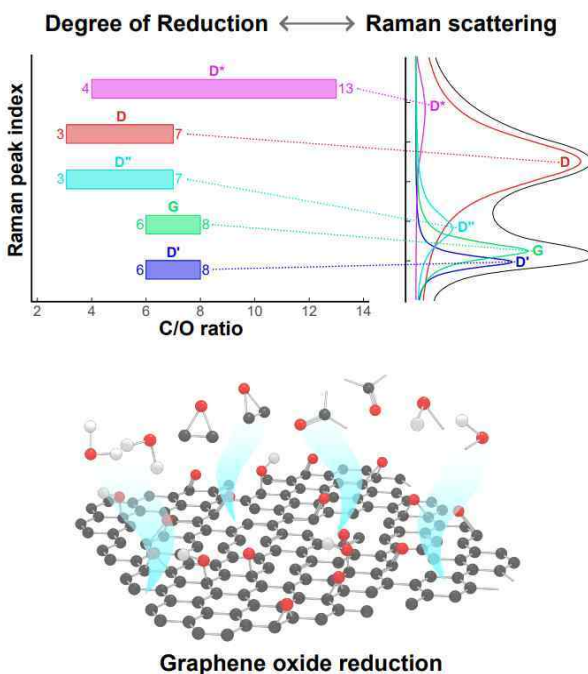
<표 3-4> 참여교수 연구 실적

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2021-2022	2015-19 연평균	1~2단계 목표 (7년) (2020.9-2027.8)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	9	16	5.2	58
IF > 5 논문 비율 (%)	64	59	29	40
환산보정 IF 합	5.3	8.08	5.31	48.23
환산보정 ES 합	14.68	25.96	20.05	182.46

- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 지난 1년 동안 9편 출간으로 **1~2단계 연간 목표치 9편 달성**
- IF ≥ 5인 논문의 비율 64%: 2015-19 대비 약 2.2배, 목표치 (**≥ 40%**) **초과 달성**
- 환산보정 IF 합: 지난 1년 동안 1~2단계 연간 목표치의 **77%**
- 환산보정 ES 합: 지난 1년 동안 1~2단계 목표치의 **56%**

② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2023.9.1.-2024.8.31.))

<표 3-5> 교육연구단의 대표업적물

연번	대표연구업적물 설명
1	<p>● 논문명: Unraveling the role of Raman modes in evaluating the degree of reduction in graphene oxide via explainable artificial intelligence</p> <p>• Nano Today 57, 102366 (2024. 8) IF: 13.2</p> <p>● 저자정보: 정문석 교수 (교신저자)</p> <p>● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성</p> <p>산화/환원 그래핀 플레이크는 저차원 반도체의 대량생산과 연관되어 있는 물질로, 기능기의 양을 조절하여 원하는 전기적 특성을 얻을 수 있음. 따라서, 기능기의 양을 정확하게 평가하기 위하여 라만 산란 분광법이 각광받고 있음. 그러나, 산화/환원 그래핀 플레이크의 라만 산란 스펙트럼은 기능기의 양에 따라 겹보기에는 큰 차이가 나타나지 않기 때문에, 사람이 이를 판단하기에는 한계가 존재함. 본 연구에서는 15,000개 이상의 라만 스펙트럼을 통해 학습된 딥러닝 모델을 활용하여 산화/환원 그래핀 플레이크의 환원 정도를 98.99 %의 높은 정확도로 평가하였음. 이후, 설명 가능한 인공지능을 통해 D* 라만 모드가 환원 정도에 강하게 기여하는지 밝혀내었음. 또한, 범밀도 함수 이론 기반 양자역학 시뮬레이션을 통해 기능기의 양이 증가할수록 D* 라만 모드의 세기가 증가한다는 것을 입증함으로써 D* 라만 모드가 산화/환원 그래핀 플레이크의 환원 정도와 밀접한 관계가 있다는 것을 이론적으로 증명하였음. 본 연구 결과는 라만 산란 분광법을 통해 산화/환원 그래핀 플레이크의 기능기의 양을 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제공할 뿐만 아니라, 데이터간의 연관관계를 설명 가능한 인공지능을 통해 밝혀냄으로써 실험과 이론의 연계를 통해 산화/환원 그래핀 플레이크의 저차원 반도체 설계의 활용을 촉진시킬 것으로 기대됨.</p> 

● 논문명: Harnessing Persistent Photocurrent in a 2D Semiconductor-Polymer Hybrid Structure: Electron Trapping and Fermi Level Modulation for Optoelectronic Memory
 • Nano Letters 24, 9889 (2024. 7) IF: 9.6

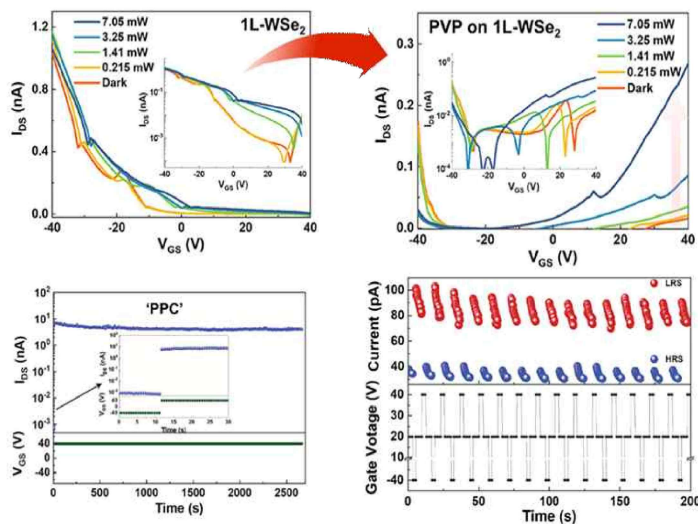
● 저자정보: 정문석 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

최근 전자기기 산업은 'More-than-Moore' 트렌드에 따라 단순한 소형화를 넘어 기능의 다양화를 추구하고 있음. 특히 ITRS 2.0에서 강조하는 이 새로운 접근법은 데이터 수집 및 정보 저장/처리 장치의 기능 통합을 목표로 함. 그러나 기존의 폰 노이만 구조 기반 광전자 기억장치들은 광학 감지와 데이터 저장을 위한 센서와 메모리가 물리적으로 분리되어 있어, 에너지 소비 및 데이터 전송 속도 면에서 비효율적이었음. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 2차원 반도체 소재의 내재적 결함 준위를 활성화하는 방법에 주목함. 화학기상 증착법으로 성장된 단층 텅스텐 디셀레나이드(WSe₂)에 폴리비닐피롤리돈(PVP)을 도포하여 하이브리드 구조를 제작함. 이 구조는 빛에 노출되었을 때 정공에서 전자로 다수 캐리어가 전환되는 독특한 현상을 보였으며, 빛이 꺼진 후에도 전류가 지속되는 '지속성 광전류(Persistent photocurrent; PPC)' 효과를 나타냄. 특히, 이 소자는 2000초 이상이라는 긴 시간 동안 PPC 효과를 유지했는데, 이는 기존 WSe₂에서는 관찰되지 않았던 현상임. 이 현상은 쇼클리-리드-홀(SRH) 모델로 설명되는 전자 트래핑 메커니즘에 기인함을 밝힘. 또한, 온도가 증가함에 따라 준-페르미 준위가 상승하여 PPC 효과가 향상되는 것을 확인하고, 433 K의 고온에서도 광전자 메모리 기능이 안정적으로 구현됨을 입증함. 본 연구는 한양대학교 혁신연구센터(IRC)와의 공동 연구로 수행되었으며, 기존의 메모리 장치들이 가진 한계를 극복하고, 더욱 효율적이고 다기능적인 전자 시스템 개발의 토대를 마련할 것으로 전망됨.

2

Doping → Quasi Fermi level shift → Trap site activation → PPC effect



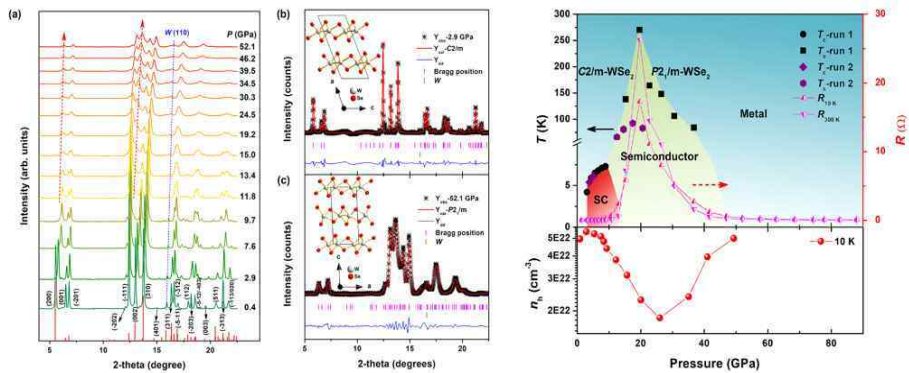
● 논문명: The metal-semiconductor-metal transition of 2M-WSe₂ under high pressure
 • **Applied Materials Today** 36, 102050 (2024. 2) IF: 7.2

● 저자정보: 김재용 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

3

층상 전이금속 칼코겐화합물(TMD)에서 고압을 통해 새로운 물리적 특성과 현상을 유도할 수 있다는 점에 착안하여, 새로운 구조의 TMD인 2M-WSe₂의 전기적 수송 특성과 구조적 진화를 연구하였음. 다이아몬드 앤빌 셀(DAC)을 사용해 압력을 최대 88.0 GPa까지 가하며 실험을 진행하였고, 저압에서는 시료가 초기 금속성을 나타내며, 약 3.1 GPa에서 4.2 K의 초전도성이 나타나는 것을 확인하였다. 압력이 증가함에 따라 초전도성은 사라지고, 예상치 못한 금속-반도체 전이(MST)가 약 12.5 GPa에서 관찰되었음. XRD 데이터의 종합 분석 결과, MST는 압력에 의해 층간 구조가 단사 결정 P21/m 상으로 변형되면서 나타나는 것으로 밝혀졌음. 또한, 홀 효과 측정을 통해 MST는 상변이로 인해 홀형 운반자 농도가 감소한 결과임을 확인하였음. P21/m 상은 초기에는 반도체 특성을 보이지만, 압력이 계속 가해지면서 독특한 금속 특성으로 변화하는 것이 확인되었음. 본 연구 결과는 TMD에서 매우 드문 금속-반도체-금속 전이를 식별한 중요한 발견으로, 층상 물질의 전자적 특성 변화에 대한 구조 의존적 조절 메커니즘에 대한 통찰을 더욱 심화시켰다는 점에서 높은 가치를 지님.



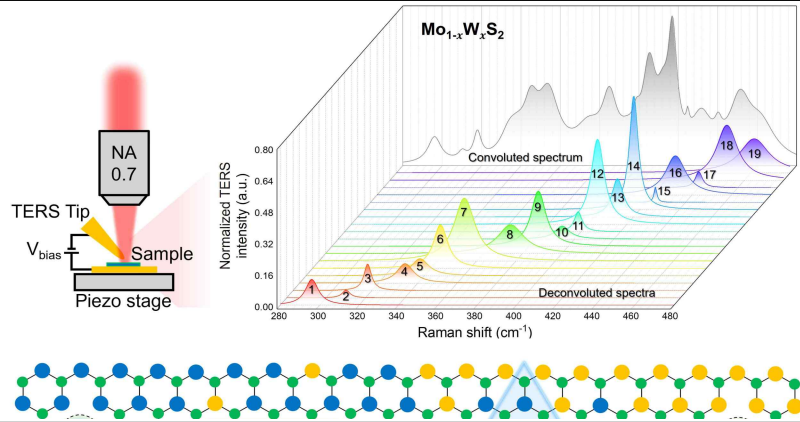
● 논문명: Probing the multi-disordered nanoscale alloy at the interface of lateral heterostructure of MoS₂-WS₂
 • **Nanophotonics** 13, 1069 (2024. 3) IF: 6.5

● 저자정보: 정문석 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

4

본 논문은 뛰어난 물리적 특성을 토대로 다양한 저차원 반도체로 각광받는 2차원 반도체 재료의 합성 과정에서 발생하는 다중 결합 및 연속적 합금 조성 변화, 즉 다양한 양자물성에 대해 탐침 증강 라만 분광법(tip-enhanced Raman spectroscopy, TERS)를 기반으로 나노스케일에서 조사한 내용을 기술하고 있음. 2차원 반도체 표면에 존재하는 다중 결합들이 소자 응용으로서 중요한 물질의 전기적 밴드 구조에 큰 영향을 미치는 만큼 나노스케일에서 결합 물리를 이해하는 것은 저차원 반도체 중 특히 2차원 반도체 재료 응용을 위해 반드시 선행되어야 하는 중요한 연구임. 특히 type-II 밴드 구조를 이루는 단일 층 MoS₂와 WS₂의 층상 이중 접합 계면에서 수십 나노미터 이하의 영역에 존재하는 원자 결손, 치환, 선형 결합, 나노크리스탈 형성 유무와 관련된 포논 모드를 처음으로 직접 관측 및 분석하였음. 반도체 접합 계면에서 발생하는 결합은 계면에서 이동하는 운송자의 이동도를 현저히 저하시키는 만큼 TERS를 통해 나노스케일에서 결합 관련 포논을 통해 분석한 양자물성은 추후에 2차원 반도체를 포함한 저차원반도체 구현 시에 중요한 지식적 배경이 될 것으로 보여짐.



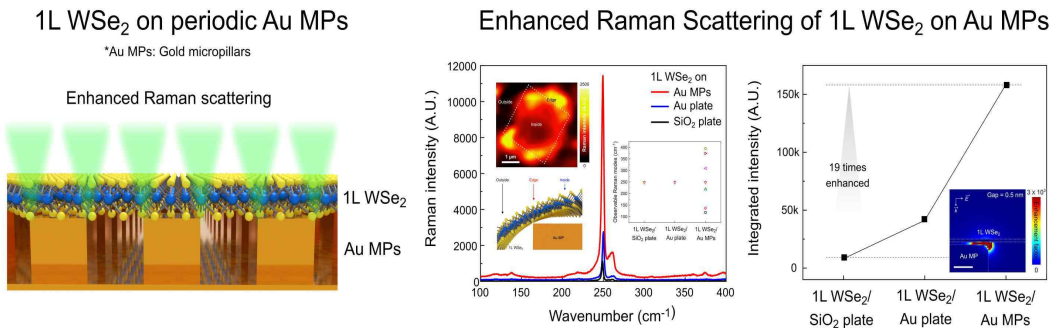
● 논문명: Platform for surface-enhanced Raman scattering in layered quantum materials
 • **Applied Surface Science** 646, 158823 (2024. 2) IF: 6.3

● 저자정보: 정문석 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

차세대 광센서 물질로 유망한 특성을 가진 양자 물질인 전이금속칼코게나이드(TMD)를 연구하기 위해 라만분광법은 널리 사용되고 있음. 그러나 단층(1L) TMD는 낮은 광흡수율로 인해 관찰 가능한 라만모드가 제한적임. 본 연구에서는 라만산란을 효과적으로 향상시키고 1L TMD에서 관찰 가능한 라만모드의 수를 늘릴 수 있는 잠재적 플랫폼을 제안함. 1L TMD에서 라만산란을 향상시키기 위해 기존의 포토리소그래피를 사용하여 Au micropillar(MP)의 대규모 주기적 배열을 형성한 후 금 박막 증착을 통해 플랫폼을 제작하고 1L WSe₂를 Au MP에 전사하고 라만산란을 관찰하였음. Au MP에서 1L WSe₂의 라만강도는 SiO₂ 플레이트에서 1L WSe₂의 라만강도보다 19배 높았으며, 일반적인 1L WSe₂에서는 검출하기 어려운 라만모드가 관찰되었음. 공초점 라만 분광 매핑은 Au MP의 가장자리에서 강한 국소라만강화로 1L WSe₂에서 라만산란이 증폭되는 것을 보여주었음. 이 국부적 필드 향상은 FDTD를 사용하여 이론적으로 검증되었음. 이 플랫폼은 저렴한 비용, 간단한 공정, 넓은 면적 및 짧은 공정시간으로 인해 산업적 이점과 광범위한 적용 가능성을 가지고 있다. 특히 1L TMD에서 라만분광 분석을 큰 폭으로 향상시킬 수 있어, 향후 광센서, 생물학 및 화학탐지 등 다양한 응용분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대됨. 본 연구는 1L TMD의 특성 분석을 위한 새로운 플랫폼을 제시했다는 점에서 의의가 크다. 향후 이 플랫폼을 이용하여 다른 양자 물질에 대한 분석 기술 개발도 가능할 것으로 보임. 또한 이 플랫폼은 저렴하고 대면적 공정이 가능해 실용화 및 산업화에도 유리할 것으로 판단됨.

5



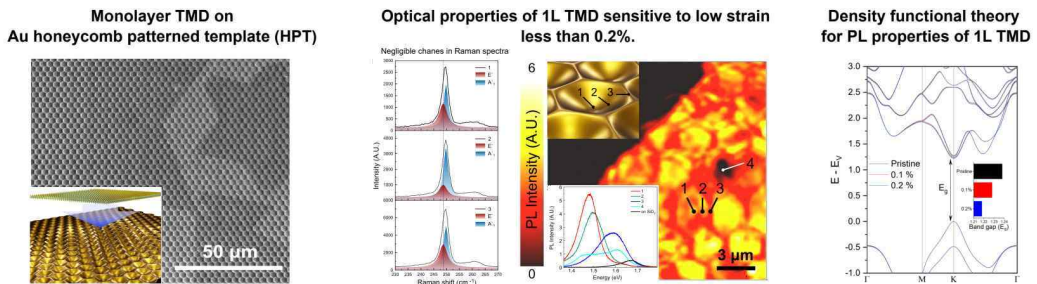
● 논문명: Strain-sensitive optical properties of monolayer tungsten diselenide
 ▪ **Applied Surface Science** 653, 159382 (2024. 4) IF: 6.3

● 저자정보: 정문석 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

대표적인 층상 양자물질인 단일층 (1L) 전이 금속 칼코게나이드(TMD)은 스트레인에 의해 광학 및 전기적 특성을 제어할 수 있어 스트레인 엔지니어링을 이용한 응용 분야 확대가 가능하다. 라만 분광과 광발광(PL) 분광은 1L TMD의 스트레인 연구에 가장 널리 사용되는 분석 도구이다. 1L TMD의 스트레인 엔지니어링에 대한 연구가 보고되었지만, 현재까지는 0.2% 이상의 스트레인을 가진 결과만 보고되었음. 1L TMD의 스트레인을 정확하게 제어하고 응용 분야를 확장하기 위해서는 낮은 스트레인에서의 광학 특성 변화를 체계적으로 연구할 필요가 있음. 본 연구에서는 금 Honeycomb patterned template (HPT)을 사용하여 0.2% 이하의 낮은 스트레인에서 민감하게 변하는 1L TMD의 광학 특성을 연구하였음. 화학 기상 증착(CVD)을 통해 성장한 1L WSe₂를 Au HPT에 전달하고 공초점 라만 및 PL 분광을 사용하여 스트레인에 의한 광학 특성 변화를 평가하였음. 흥미롭게도 스트레인에 민감한 것으로 알려진 라만 산란은 0.2% 미만의 스트레인에서 변화하지 않았지만, 1L WSe₂의 PL 특성은 낮은 스트레인에서 민감하게 변화함. 0.2%만큼 낮은 스트레인에도 민감한 1L WSe₂의 PL 특성은 밀도 함수 이론 계산을 통해 이론적으로 검증되었음. 이 결과는 1L TMD의 광학 특성을 더 낮은 스트레인 영역에서 효과적으로 제어할 수 있음을 보여줌. 특히 PL 특성의 민감한 스트레인 의존성은 1L TMD 기반 광전자 소자의 성능 향상을 위해 매우 중요한 것으로 생각됨. 향후 이러한 연구 결과를 바탕으로 1L TMD의 스트레인 엔지니어링을 통한 다양한 응용 기술 개발이 가능할 것으로 기대됨. 본 연구는 낮은 스트레인에서 1L TMD의 광학 특성 변화를 체계적으로 연구했다는 점에서 의미가 큼. 이를 통해 1L TMD의 스트레인 제어 및 응용 기술 개발에 새로운 지평을 열 수 있을 것으로 기대됨.

6



● 논문명: Revealing inverted chirality of hidden domain wall states in multiband systems without topological transition
 • **Communication Physics** 6, 262 (2023. 9) IF: 5.4

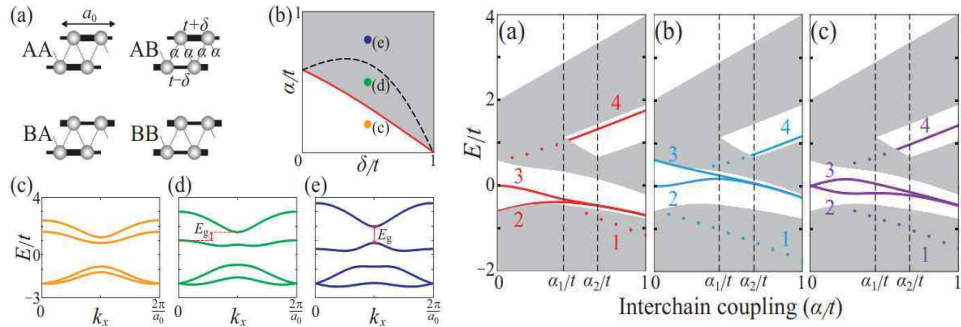
● 저자정보: 천상모 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

카이랄성(chirality)은 생물학적 분자부터 첨단 소재에 이르기까지 자연계에서 널리 발견되는 근본적인 대칭성 개념이나, 특정한 위상학적 시스템에서 chirality가 어떻게 발휘되는지는 아직 잘 알려지지 않음. 본 연구에서는 이중 Su-Schrieffer-Heeger (SSH) 사슬에 카이랄 대칭을 깨도록 설계된 사슬 간 상호작용을 추가해 숨은 chiral domain wall 상태가 어떻게 나타나는지를 조사함. 전자 구조를 계산한 결과 단일 갭 상태와 이중 갭 상태간 전이가 위상

7

학적 상전이 없이 일어날 수 있다는 것을 보이고 이를 상도표로 나타냄. 단일 갭 상태에서는 이중 SSH 사슬의 카이랄 솔리톤과 유사한 chiral domain wall 상태가 나타나고, 이중 갭 상태에서는 단일 갭 상태의 domain wall 상태와 반대인 chirality를 가지는 숨은 domain wall 상태를 나타내는 것을 확인하였으며, 밴드 갭 구조를 설계하여 숨은 chiral domain wall 상태를 제어할 수 있음을 밝힘. 본 연구 결과는 chiral 대칭이 깨진 위상학적 시스템을 연구하고 다양한 시스템에서의 잠재적 응용을 위한 길을 열어줄 것으로 기대됨.



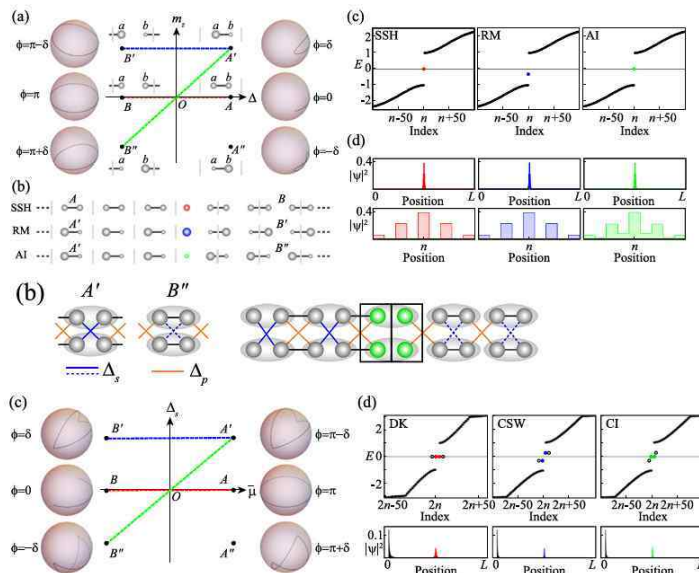
● 논문명: Quantized polarization and Majorana fermions beyond tenfold classification
 • **Communication Physics** 7, 243 (2024. 7) IF: 5.4

● 저자정보: 천상모 교수, 박문집 교수 (공동교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

10계 분류표는 대칭성에 따라서 위상학적 성질의 가능성을 나타냄. 이러한 분류표가 나타내는 위상학적인 물질들은 양자화된 위상 숫자와 위상학적인 표면 상태를 가지게 됨. 특히, 이 중에서 위상 초전도체는, 양자컴퓨터의 기초적인 연산 단위로 활용이 가능한 Majorana 페르미온이 표면에서 나타남. 본 연구에서는 분류표상 위상학적인 표면 상태가 나타날 수 없다고 알려진 대칭성을 가지는 물질을 접합하여, domain wall의 위상학적 특성의 여부를 연구하였음. 이는 위상 절연체의 표면에서 나타나는 양자화된 분극뿐 아니라, 초전도체를 접합하여 Majorana 상태의 domain wall이 가능하다는 것을 확인함. 본 연구의 결과는 인공적인 전자 격자, 그래핀 나노 리본 등 응집물질 시스템 외에도 위상학적 레이저 및 양자 컴퓨터에 활용이 가능할 것으로 기대됨.

8



● 논문명: Fermi arc in p-wave holographic superconductors
 • Journal of High Energy Physics, volume 2023, 3 (2023. 10) IF: 5

● 저자정보: 신상진 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

본 연구진은 p-파 홀로그래픽 초전도체에서 페르미온 스펙트럴 함수를 조사하였는데 최소 결합을 가진 벡터 모델이 페르미 아크를 가진 p-파 스펙트럴 함수를 드러낸다는 것을 밝힘. 이는 텐서 장이 존재할 때 p-파 아크가 나타났던 이전 연구와 대조되는 결과임. 또한 운동량 의존적인 주문 매개변수, 전도도의 실수 부분에서의 ω -갭, 그리고 페르미온 스펙트럴 함수를 계산하였음. 홀로그래픽 설정에서 페르미온 스펙트럴 갭과 라그랑지안 매개변수의 역할을 나란히 놓고 비교하여 이들 사이의 관계를 구하였으며 또 결합 상수, 온도 및 화학퍼텐셜이 스펙트럴 함수에 미치는 영향을 계산하였음. 본 논문의 중요성은 p파 초전도성을 가진 물질의 갭함수를 전자간의 상호작용을 포함하여 계산하였다는 것임. 전자간의 상호작용이 어떤 결과를 초래하는지에 대한 컨센서스의 부족은 강상관계 연구의 일반적 문제이며 이는 다시 계산의 프레임이 확보되지 못한 것이 주 원인임. 따라서 본 연구의 결과는 강상관계에 기초한 여러 가지 초전도체 이론의 미래에 밝은 빛을 던져줄 것임.

9

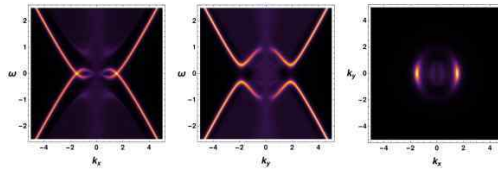


Figure 5. Fermionic spectral function for $g_v = 1$ at $T = 0.017\mu$.

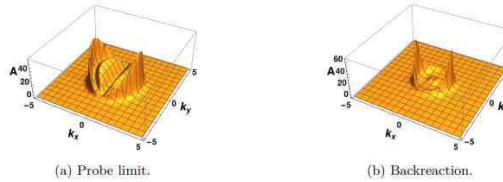


Figure 6. Comparing spectral function in probe limit and backreaction case.

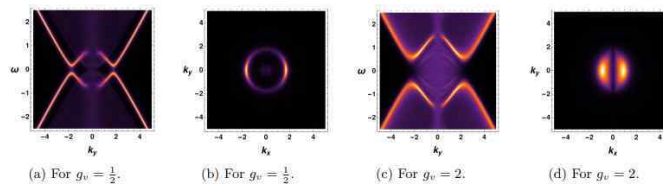


Figure 7. Dependence of the coupling constant g_v values for fixed $T = 0.017\mu$.

● 논문명: Mean field theory for strongly coupled systems: Holographic approach
 • Journal of High Energy Physics 6, 100 (2024. 6) IF: 5.0

● 저자정보: 신상진 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

본 연구에서는 강상관 전자계를 위한 홀로그래피 평균장이론을 개발함. 또한, 다양한 종류의 대칭깨짐에 의한 효과를 스펙트럴 함수를 통해 분석하였음. 추가로 특정 극한에서 모든 상호작용의 그린함수의 해석적 표현을 찾는 것에 성공함. 이로부터 그린함수의 특이점 거동에 따라 상호작용을 분류하였음. 앞선 해석적 표현과 관련하여, 모든 장들 간의 상호작용을 고려한 계산을 통해 앞선 표현의 타당성을 확보함. 본 연구는 강상관계의 물질들을 모델링

10

하는데 기저 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨.

Order p. & Dims	Flat bands	Semi-metals	Order p. & Dims	Nonsingular	ω -shiftings
$\mathbb{8}$ $d_{\text{eff}}=0$	SS, (figure 1)	SA, (figure 1)	B_0 $d_{\text{eff}}=0$	SS,SA	SS,SA
B_x $d_{\text{eff}}=1$	SA, (figure 4)	SS, (figure 4)	B_{0x} $d_{\text{eff}}=1$	SA, (figure 5)	SS, (figure 5)
B_{xy} $d_{\text{eff}}=2$	SS, (figure 6)	SA, (figure 6)	B_{0z} $d_{\text{eff}}=2$	SS, (figure 7)	SA, (figure 7)
B_{tz} $d_{\text{eff}}=3$	SA, (figure 3)	SS, (figure 3)	B_t $d_{\text{eff}}=3$	SA, (figure 2)	SS, (figure 2)

● 논문명: Infrared probe of the charge density wave gap in ScV_6Sn_6

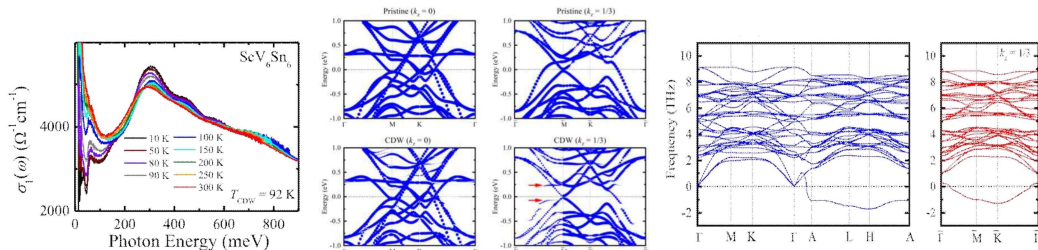
• Physical Review B 108, 205118 (2023. 11) IF: 3.2

● 저자정보: 문순재 교수, 조준형 교수 (공동교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

꼭지점을 공유하는 삼각형들의 네트워크로 이루어진 2차원 격자 구조를 가지는 카고메 금속 물질은 평평한 띠, 디락 띠, 반호프 특이점과 같은 특이한 전자구조를 지니며, 이로 인해 전하밀도파 상태, 초전도 상태, 위상 상태를 나타냄. 2019년에 발견된 카고메 금속 물질인 AV_3Sb_5 (A: 알칼리 금속)는 전하밀도파와 초전도 현상을 보여 많은 관심을 받았으며, 전하밀도파 상태의 원인에 대한 많은 연구가 진행되었음. 반호프 특이점을 보이는 띠에서 전하밀도파 갭이 형성되어, 반호프 특이점으로 이루어진 페르미 면의 네스팅이 전하밀도파 상전이의 원인으로 지목됨. 그러나 전자-포논 상호 작용이 AV_3Sb_5 의 전하밀도파 형성의 원인을 제시하는 연구결과도 다수 발표되었음. 2022년에 새로운 카고메 금속 물질인 ScV_6Sn_6 가 발견되었으며, 저항 측정과 결정 구조 측정 연구는 이 물질이 전하밀도파 상전이를 보임을 제안하였음. 그러나 이후 이루어진 광전자 분광과 광 분광 실험에서는 전하밀도파 상전이에 의한 전자구조에서의 갭 형성이 명확히 관측되지 않음. 본 연구에서는 광 분광 실험과 밀도 범함수 이론 계산을 활용하여 ScV_6Sn_6 의 전자구조에서 전하밀도파 갭이 형성됨을 확인하였음. AV_3Sb_5 의 전하밀도파 상태와는 달리 반호프 특이점을 가지는 띠가 아닌 다른 띠에서 전하밀도파 갭이 형성되고, 갭의 형성에 전자-포논 결합이 결정적인 역할을 함을 규명하였음. 본 논문은 구글 스칼라 기준 8회 피인용되었음.

11



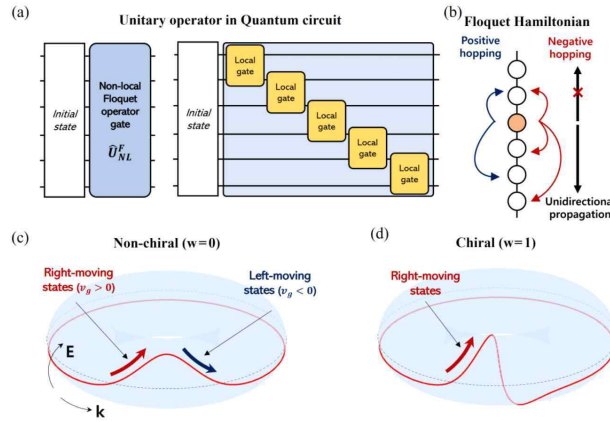
● 논문명: Floquet Chiral Quantum Walk in Quantum Computer
 • **Physical Review B** 109, L201117 (2024. 5) IF: 3.2

● 저자정보: 박문집 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

본 연구는 양자 홀 효과의 경계면 상태를 양자 컴퓨터 플랫폼에서 구현하였음. 니엘센-니노미야(Nielson-Ninomiya) 정리에 의해 손지기 상태는 홀로 존재하는 것이 금지되나, 비국소성 또는 고차원 경계에 내재된 경우 예외가 나타날 수 있음. IBM 양자 컴퓨터를 이용한 본 연구에서는 플로케 시스템을 구현하고 시간-진화 연산자가 비국소적 결합을 통해 효과적인 해밀토니안을 구성하여 손지기 파동의 비국소적 전파 특성을 입증하였음. 양자 회로 상에서 구현된 손지기 파동은 외부 섭동에 강한 안정성을 나타냈으며, 이로써 전통적 파동 현상에서의 위치 제약이 없는 독특한 성질을 보였음. 초기 상태는 특정 위치에 국한되었으며, 시간 경과에 따른 파동의 전파는 본 실험의 노이즈 시뮬레이터와 비교하여 일관된 키랄 전파 특성을 확인하였음. 이러한 연구는 손지기 양자 상태의 안정적 수송을 가능케 하여 차세대 양자 시뮬레이터 설계 및 토폴로지 기반 양자 컴퓨팅에서의 실용성을 입증하는데 도움이 될 수 있음.

12



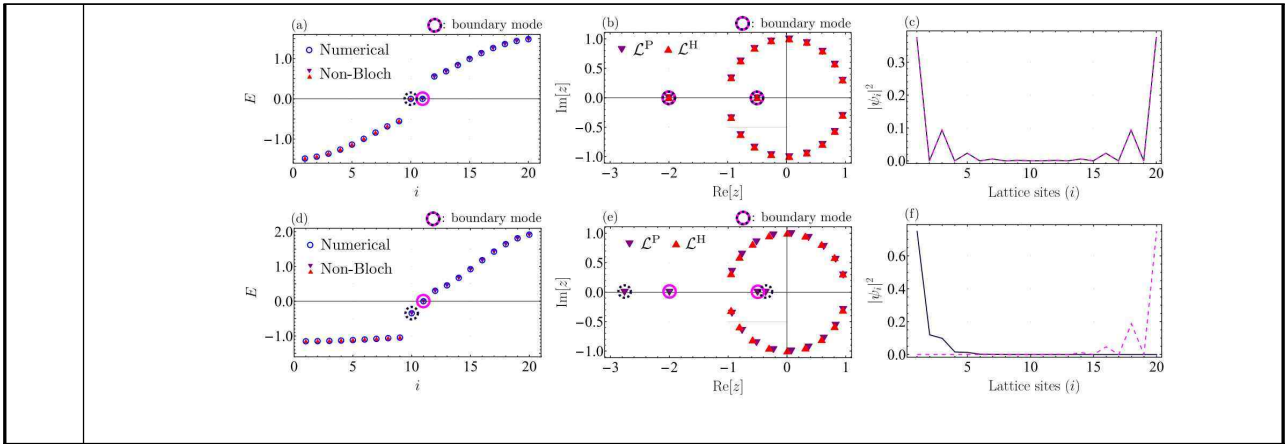
● 논문명: Non-Bloch band theory of subsymmetry-protected topological phases
 • **Physical Review B**, volume 110, 35424 (2024. 7) IF: 3.2

● 저자정보: 박문집 교수 (교신저자)

● 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

일반적인 대칭-보호 위상상(Symmetry protected topological phase)과 달리 부분 대칭 위상상(Subsymmetry protected topological phase)은 대칭성의 일부분이 깨지더라도 일부 경계 상태가 부분 대칭에 의해 보호되는 독특한 위상적 성질을 나타냄. 부분 대칭 위상상은 이론적으로 제안이 되었으나, 이를 보호하는 위상 불변량이 무엇인지 알려지지 않았음. 이를 설명하기 위해 비-블로흐 위상밴드 이론을 이용하여, 부분대칭 위상상이 비블로흐 위상 불변량을 가짐을 보이고, 이를 통해 벌크-바운더리 대응성을 수학적으로 확립하였음. 본 연구는 복소수 값을 갖는 비블로흐 운동량이 위상 전이를 결정하는 것을 확인하였고, 이와 함께 상전이 점에서 밴드 접촉점을 동반하는 밴드 터치 포인트가 나타남을 밝힘. 나아가, 부분 대칭 변형 하에서의 벌크-바운더리 대응성의 변화를 다룸으로써, 어떻게 위상학적 경계 상태를 제어하는지에 대한 심화된 이해를 할 수 있었음.

13



③ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

❖ 참여교수 특허 실적

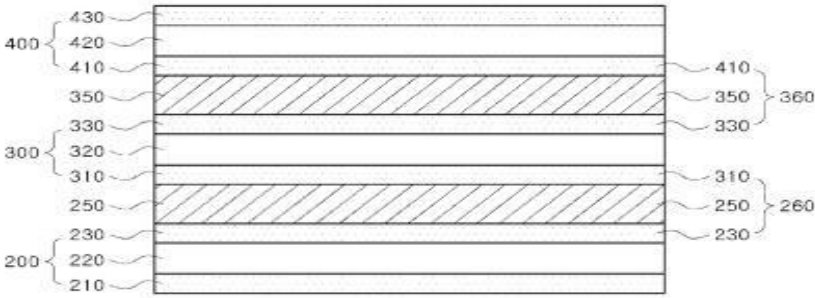
- 국제특허 1건과 국내 특허 6건을 등록하였음.
- 2020-21 특허 10건, 2021-2022 특허 8건으로 지속적으로 특허 성과를 도출하고 있음.

<표 3-6> 참여교수 특허 실적

항목	연번	등록국가	등록일자 (YYYYMMDD)	등록번호	발명의 명칭	발명인 중 참여교수 성명
국제특허	1	미국	20240227	11,917,926	SYNTHETIC ANTIFERROMAGNETIC MATERIAL AND MULTIBIT MEMORY USING SAME	홍진표
국내특허	1	대한민국	20230921	10-2583088	터널링 전계 효과 트랜지스터	홍진표
	2		20231113	10-2602935	카본 옥시나이트라이드를 가지는 저항변화 메모리 및 이의 제조방법	홍진표
	3		20231113	10-2602937	구리 박막을 가지는 저항변화 메모리	홍진표
	4		20231221	10-2618329	칼코겐 원소가 도핑된 선택 소자	홍진표
	5		20231221	10-2618333	이상 홀 효과를 이용하는 논리 게이트 및 이의 동작 방법	홍진표
	6		20240222	10-2641257	압전진동구조물이 설치된 인공혈관	홍진표

• 참여교수 국제특허 우수성

<표 3-7> 참여교수 우수 국제특허 실적

연번	국제특허 설명
1	<p>● 특허명: SYNTHETIC ANTIFERROMAGNETIC MATERIAL AND MULTIBIT MEMORY USING SAME</p> <p>● 등록국가: 미국</p> <p>● 등록일자: 2024. 2. 27.</p> <p>● 등록번호: 11,917,926</p> <p>● 참여교수: 홍진표</p> <p>● 특허 내용 요약 및 우수성</p> <p>합성 반강자성 물질 및 이를 이용한 다중 비트 메모리에 관한 것임. 스핀-궤도 토크와 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) 상호작용을 이용하여, 두 개의 강자성층이 반대 방향으로 자화되도록 설계된 구조임. RKKY 유도층이 하부 강자성층과 상부 강자성층 사이에 위치하며, 프로그램 전류에 의해 이들 자화 방향이 반대가 됨으로써 낮은 전류로 자화 반전이 가능함. 이를 기반으로 다중 비트 메모리는 합성 반강자성 물질을 수직으로 적층하여 여러 저항 단위를 구성하고, 각 저항 단위는 서로 다른 스핀 방향으로 인해 다중 상태 저장이 가능함. 이 기술은 낮은 전력 소모로 빠른 자화 반전을 구현할 수 있는 장점이 있음.</p> 

2. 산업·사회에 대한 기여도

◆ 친환경 에너지 분야 문제 해결

• 저전력 고효율 논리 게이트 개발

홍진표 교수 연구진은 스핀-궤도 토크를 이용한 논리 게이트에 관한 기술을 개발하여 국내 특허(특허번호: 10-2618333)를 등록함. 입력 전류에 의해 강자성층에 스핀-궤도 토크가 발생하며, 외부 자기장과 게이트 전압을 통해 수직 자기이방성 및 홀 전압을 제어하는 기술로서, 이를 활용하면 논리 게이트 동작을 구현할 수 있고 스핀 전류를 활용하여 전력 소모를 줄이면서도 빠르고 안정적인 스위칭이 가능함. 이 기술은 기존 논리 소자보다 높은 성능과 효율성을 제공할 수 있어, 차세대 저전력 고성능 논리 소자에 적용될 수 있는 우수한 기술적 장점이 있음.

❖ 반도체 및 광소자 분야

• 인공지능 소자 개발

반도체 산업의 발전과 더불어 인공지능 (AI) 연구가 활발하게 진행되고 있음. 하지만 현재 진행되고 있는 소프트웨어 기반의 인공지능 구현은 많은 연산이 필요하기 때문에 막대한 전력과 연산시간을 요구함. 이에 반해 인간의 두뇌는 뉴런과 시냅스라는 세포가 적은 전력과 짧은 시간으로 감각, 인지, 상호작용을 수행함. 뉴런은 앞단에서 받은 신호를 모았다가 발산하는 특성을 가지며, 시냅스는 뉴런 사이에 위치하여 뉴런이 발산한 신호의 세기를 조절하는 가중치를 부여함. 뉴런과 시냅스의 이러한 전기적 특성을 모방하는 인공지능 소자의 개발이 화두로 떠오르고 있으며 해당 기술을 선점할 경우 국내 산업에 크게 이바지할 뿐만 아니라 국제 표준화 제시 등 세계시장을 선도할 수 있어 반드시 연구가 이루어져야 하는 분야임. 홍진표 교수는 합성 반강자성 물질을 이용한 다중 비트 메모리에 관한 기술을 개발하고 미국 특허를 등록함(특허번호: 11,917,926). 본 발명은 스핀-궤도 토크와 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida (RKKY) 상호작용을 이용하여, 두 개의 강자성층이 반대 방향으로 자화되도록 설계된 구조를 바탕으로 함. RKKY 유도층이 하부 강자성층과 상부 강자성층 사이에 위치하며, 프로그램 전류에 의해 이들 자화 방향이 반대가 됨으로써 낮은 전류로 자화 반전이 가능함. 이를 기반으로 한 다중 비트 메모리는 합성 반강자성 물질을 수직으로 적층하여 여러 저항 단위를 구성하고, 각 저항 단위는 서로 다른 스핀 방향으로 인해 다중 상태 저장이 가능함. 이 기술은 낮은 전력 소모로 빠른 자화 반전을 가능하게 할 것으로 기대됨.

❖ 신물질 기반 헬스케어 분야

• 소구경 인공혈관 개발 관련 회사 창업

홍진표 교수 연구진은 신물질 기반 소구경 인공혈관 개발을 목표로 회사를 창업하였음. 심혈관 질환과 같은 만성 질환이 증가함에 따라, 고품질의 인공혈관에 대한 수요가 급증하고 있음. 이 회사는 최첨단 생체 재료와 나노기술을 활용하여, 생체 적합성이 뛰어난 소구경 인공혈관을 개발함으로써 기존 제품의 한계를 극복하고자 함. 특히, 고분자 튜브의 말단에 압전 진동 구조물을 설치함으로써 전기적 신호를 통해 진동을 발생시키는 기술을 확보하여 국내 특허를 등록함(특허 번호: 10-2641257). 본 기술은 진동을 통해 혈관과의 문합 부위에서 혈전 형성과 내막 과증식을 억제하여 혈관 개통율을 높이고 협착증을 방지할 수 있음. 특히, 소구경의 인공혈관에 적용 시 혈류 속도 저하로 인한 혈전 발생을 효과적으로 억제하는 우수한 성능을 제공할 것으로 기대됨.

2. 참여교수의 연구의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

📁 김재용 교수

- 국제고압학회(AIRAPT) 이사 선임 (2023년 7월)
- 양자물질 극한환경 국제공동연구단 단장 (2022. 4. 1. - 2024. 12. 31)
- The 1st HYU-YSU Workshop on Quantum Materials at Extreme Conditions 조직위원장 (2023. 3. 1 - 12. 31)
- 한국진공학회 이사 (2021. 1. 1 - 2024. 12. 31)
- 양자물질 극한환경 국제공동연구단 단장 (2022. 4. 1 - 2024. 12. 31)
- 국제학술대회 초청강연 5회
- 9th International Conference on Superconductivity and Magnetism

- (달라만/터키, 2024. 4. 26 - 2024. 5. 2)
- The 7th International Conference on Matter and Radiation at Extremes
(항주/중국, 2024. 5. 13 - 2024. 5. 15)
- 18th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems
(생말로/프랑스, 2024. 5. 25 - 2024. 6. 1)
- 2024 Research at High Pressure GRC
(보스톤/미국, 2024. 7. 14 - 2024. 7. 18)
- The 61st European High Pressure Research Group
(테살로니키/그리스, 2024. 8. 30. - 2024. 9. 8)

문순재 교수

- 국제학술대회 조직위원 (2023. 8. 1 - 2025. 6. 30): “The Low-Energy Electrodynamics in Solids 2025” (부산, 2025. 6. 22 - 6. 27)
- 국제학술대회 초청강연: “Quantum Materials Symposium 2024” (용평/대한민국, 2024. 2. 18 - 2. 23)

신상진 교수

- 국제학술대회 초청강연 4회
 - Collaborations on gauge/gravity duality (상해/중국, 2023. 12. 20)
 - HoloChina2024 (허난/중국, 2024. 4. 11 - 2024. 4. 15)
 - School of Frontiers in Hydrodynamics, Effective Field Theory and Holographic Duality
(길림/중국, 2024. 7. 10 - 2024. 7. 14)
 - String, Gravity, and Gravitational Waves (산둥/중국, 2024. 8. 1 - 2024. 8. 4)

이창민 교수

- 국제학술대회 조직위원 (2023. 8. 1 - 2025. 6. 30): “The Low-Energy Electrodynamics in Solids 2025” (부산, 2025. 6. 22-27)

정문석 교수

- 한국물리학회 정책실무이사 (2023. 1. 1 - 2024. 12. 31)
- 한국진공학회 총무이사 (2023. 1. 1 - 2024. 12. 31)
- ISPSA 프로그램 부위원장 (2023. 1. 1 - 2024. 6. 6)
- ICAMD 세션 체어 (2023. 1. 1 - 2023. 12. 8)

천상모 교수

- 국제학술대회 “Quantum Materials Symposium 2024” 초청강연: “Majorana Fermions in Topological Materials” (용평/대한민국, 2024. 2. 18 - 2024. 2. 23)

② 국제 공동연구 실적

<표 3-8> 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구팀 참여교수	국외 공동연구자			
1	김재용	Gu	독일/EuXFEL	MHz free electron laser x-ray diffraction and modeling of pulsed laser heated diamond anvil cell	10.1063/5.0149836
2	김재용	M.	미국/Lawrence Livermore National Laboratory	Shock compression experiments using the DiPOLE 100-X laser on the high energy density instrument at the European x-ray free electron laser: Quantitative structural analysis of liquid Sn	10.1063/5.0201702
3	김재용	B	중국/State Key Laboratory of Superhard Materials, Jilin University	The metal-semiconductor-metal transition of 2M-WSe ₂ under high pressure	10.1016/j.apmt.2023.102050
4	김재용	M	미국/High Energy Density Science Division	Diamond precipitation dynamics from hydrocarbons at icy planet interior conditions	10.1038/s41550-023-02147-x
5	김재용	H	독일/EuXFEL	Measurement bias in self-heating X-ray free electron laser experiments from diffraction studies of phase transformation in titanium	10.1063/5.0215908
6	신상진	X	중국/Shanghai University	Linear-T Resistivity from Spatially Random Vector Coupling	10.48550/arXiv.2406.11170
7	신상진	X S	중국/Shanghai University	First order phase transition in the D3-D7 model from the point of view of the fermionic spectral functions	10.1103/PhysRevD.110.026003
8	정문석	G	프랑스 / Laboratoire Lumière, nanomatériaux et nanotechnologie	Ultrahigh Photosensitivity Based on Single-Step Lay-on Integration of Freestanding Two-Dimensional Transition-Metal Dichalcogenide	10.1021/acsnano.3c10721
9	문순재	S	미국/University of California, Santa Barbara	Optical spectroscopy study on charge density wave phase of ScV ₆ Sn ₆	10.1103/PhysRevB.108.205118

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

외국 기관과의 연구자 교류를 통한 국제화는 본 학과가 발전하기 위한 3대 핵심전략 중 하나임. 국제화를 통해 거의 고착화된 국내 대학/학과 서열을 극복하고 외국 연구자들과의 교류를 넓히고 우수 인력을 확보하고 해외 우수 연구기관들과의 국제 공동연구를 통하여 세계적인 연구 성과를 도출할 수 있음. 특히 극한물성 연구처럼 국내보다 해외에 연구 인력과 인프라가 많이 구축되어 있는 현실에서는 더욱 그러함. 국내 물리학과 대학원 진학률이 저조하고 젊은 과학자가 부족한 현실에서, 양자 물질 연구를 선도하고 있는 미국과 인적자원이 풍부한 중국, 베트남과의 교류는 매우 중요함. 이러한 배경에서 본 교육연구팀은 University of California-Santa Barbara, 중국북경고압연구소, 길림대학, 연

산대학 등을 비롯한 여러 기관들과 연구와 교육면에서 전략적 파트너십을 수립하였으며, 공동 워크숍을 정기적으로 개최하고 있음.

❖ **외국 대학 및 연구 기관과의 연구자 교류 실적**

- The 2nd YSU-HYU Workshop on Quantum Materials at Extreme Conditions (2023. 12. 14 - 17)
 - 한양대, 연산대 연구자 50여 명 참여
 - 한양대 김재용, 문순재, 박문집, 이창민, 천상모 교수 발표

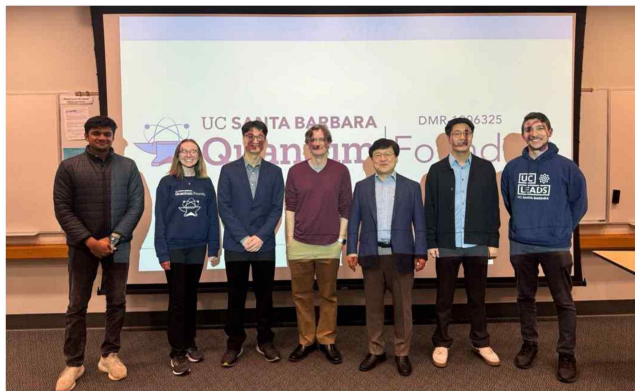


- UCSB-Hanyang University Collaborative Meeting (2024. 1. 15 - 17)
 - 양자물질에 대한 공동연구 미팅 개최 및 UCSB Quantum Foundry Center와의 공동연구 논의



UCSB & Hanyang University Collaborative Meeting
 Tuesday, January 16th, 2024
 Elings Hall, room 1601

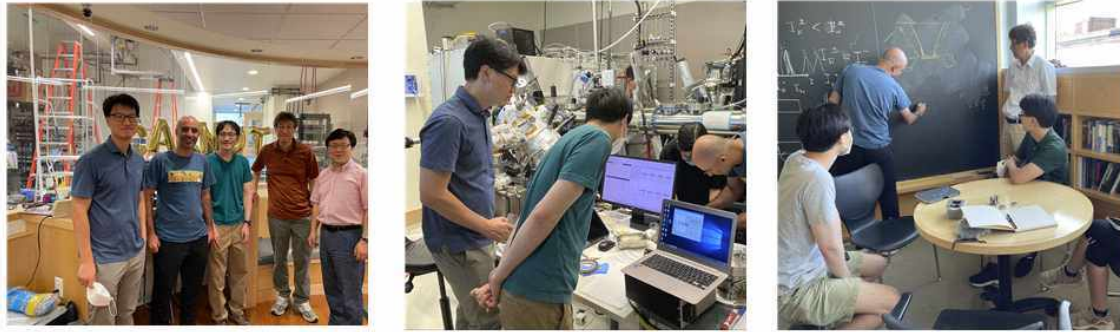
9:00 - 9:20 am	Introduction Ania Jayich & Stephen Wilson
9:20 - 9:40 am	QF Overview Ania Jayich & Stephen Wilson
9:40 - 10:00 am	Seonjae Moon
10:00 - 10:20 am	Ania Jayich
10:20 - 10:30 am	Break/Discussion
10:30 - 10:50 am	Jayoung Kim
10:50 - 11:10 am	John Harter
11:10 - 11:30 am	Changmin Lee
11:30 - 12:30 pm	Lunch and Discussion
12:30 - 2:00 pm	QF Lab Tours



- 미국 Argonne National Laboratory - Advanced Photon Source 방문연구 (2024. 8. 16 - 9. 16)
 - 박 , 최 , 김 학생을 미국 아르곤 국립연구소 Advanced Photon Source에 장기 파견하여 양자물질의 고압 특성 연구를 수행함.

	<p>Low-temperature experiments in the GSE Raman Lab</p> <p>News and Announcements</p> <p>Hanyang University students conduct low-temperature experiments in the GSE Raman Lab with Kagome quantum material at 30 K.</p>
	<p>13 IDD, Students from Hanyang University</p> <p>News and Announcements</p> <p>13 IDD, Students from Hanyang Univ look at High-Pressure Raman and Brillouin Scattering Studies of Composite Quantum Materials</p>

- Harvard University 물리학과에 신진연구인력 장기 파견 (2022.7.1. ~ 2024.6.30.)
 - 한양대학교 소속 박사후연구원 임 박사를 Harvard University 물리학과에 장기 파견함.
 - 2차원 양자물질과 고온 초전도체 이중 접합 구조에서 나타나는 양자현상에 대한 연구 수행

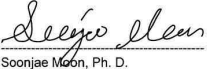
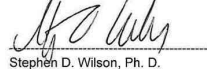


- 초고압하에서 고온 초전도체 발굴을 위한 학생파견 및 공동연구 수행 (2022.6.12. ~ 현재)
 - 김재용 교수는 독일 막스플랑크연구소 M 박사 연구실과 고온 초전도체 발굴을 위한 공동 연구를 위해 포스트닥 연구원과 대학원생을 장기파견함.

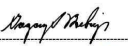





- MOU를 체결한 Yantai University 석사 졸업생 Z 학생이 한양대학교 물리학과 대학원 박사 과정에 입학함 (2023. 9. ~ 현재).
- 이 과 박 학생은 초전도체 시료의 구조적 연구를 위해 2023년 11월 21일부터 23일까지 일본 SPring-8 싱크로트론의 BL10XU 빔라인에서 다이아몬드 앤빌 셀을 사용하여 ScH_2 , YCe , $\text{Ti}_{53}\text{Zr}_{27}\text{Ni}_{20}$, $\text{Al}_{86}\text{Mn}_{14}$, $\text{Al}_{70.5}\text{Pd}_{21}\text{Mn}_{8.5}$, RhI_3 , LaAl , $\text{Ti}_{50}\text{Zr}_{50}$ 시료를 최대 160 GPa에서 레이저 가열 및 XRD 측정을 진행하였음.
- 이 학생은 NbSe_2 초전도성을 연구하는 과정에서 초전도성과 전하 밀도파 질서 사이의 복잡한 상호 작용을 연구하기 위하여 미국 하버드 대학교 김 교수 연구실에서 다이아몬드 앤빌 셀에 전극을 부착하기 위하여 전자 빔 증착을 진행하였음.
- 이 학생은 2024년 8월 9일부터 8월 20일까지 중국 칭황다오에 위치한 연산대학교 고압연구센터 (Center for High Pressure Science, CHiPS)를 방문하여 L 교수 연구팀과 함께 초고압 고온 초전도체 발굴을 위한 수소화물 형성, 그리고 초전도체의 자화현상에 관한 공동연구를 수행하였고 결과를 ACS Applied Energy Materials에 투고하였음.

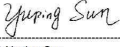
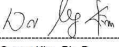


- 미국 University of California, Santa Barbara의 Quantum Foundry Center와 LOI 체결 (2024.1.16. ~ 2027.1.15.)
- 양자물질 극한물성 분야 연구원 교류 및 공동연구 수행에 대한 협력의향서 체결

University of California, Santa Barbara, USA, LOI	
내용: 양자물질 극한물성 연구관련 학생 및 연구원 교류, 국제공동연구 수행	
<p style="text-align: center;">LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN The Institute for High Pressure-HANYANG UNIVERSITY AND The University of California Santa Barbara NSF Quantum Foundry</p> <p>The University of California Santa Barbara NSF Quantum Foundry (hereafter referred to as "UCSB NSF Quantum Foundry"), having the address at Building 266, University of California, Santa Barbara, CA 93106, USA</p> <p>AND:</p> <p>The Institute for High Pressure-Hanyang University (hereafter referred to as IHP-HYU), having the address at Wangsimni-ro 222, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea;</p> <p>Conclude this Letter of Intent with respect to conducting a collaborative 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.</p> <p>1. Background</p> <p>The UCSB NSF Quantum Foundry is founded through the National Science Foundation's Q-AMASE-I Initiative under award DMR-1906325. The UCSB NSF Quantum Foundry is a next generation materials foundry that develops materials and interfaces hosting the coherent quantum states needed to power the coming age of quantum-based electronics. The mission of the UCSB NSF Quantum Foundry is to develop materials hosting unprecedented quantum coherence, train the next generation quantum workforce, and to partner with industry to accelerate the development of quantum technologies.</p> <p>The IHP-HYU was established on August 1, 2019 at the Natural Science Building in Hanyang University to study novel properties of quantum materials under high pressure. It is the first institute in Republic of Korea to study quantum materials under extreme conditions of pressure and temperature and to design new quantum materials.</p> <p>2. Intent</p> <p>It is the intent of both the UCSB NSF Quantum Foundry and the IHP-HYU to start the collaborative study with a view to commencing substantial collaborative research activities on quantum materials and to provide assistance as the parties deem necessary and reasonable. This Letter of Intent is further intended to provide a guideline for possible future collaborative projects on quantum materials.</p> <p>3. Contents of Collaborative Activities</p> <p>Both parties agree to actively promote the following activities for scientific and educational exchange and collaboration, and that both parties would be diligent in the accomplishing the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The IHP-HYU will endeavor to obtain research fund "Global Basic Research Laboratory" from the National Research Foundation of Korea for the collaborative research effort, and the UCSB NSF Quantum Foundry will assist Hanyang University to initiate a program of "Global Basic Research Laboratory" 	<p>- Once the IHP-HYU obtains a grant of "Global Basis Research Laboratory" program, the UCSB NSF Quantum Foundry will endeavor to commence a substantial collaboration and to establish 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 three (3) 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> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  Soorjae Moon, Ph. D. Vice Director Institute for High Pressure Hanyang University </div> <div style="text-align: center;">  Stephen D. Wilson, Ph. D. Co-Director UCSB NSF Quantum Foundry University of California, Santa Barbara </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> Date Jan. 16, 2024 </div> <div style="text-align: center;"> Date Jan. 16, 2024 </div> </div>


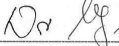


- 미국 National High Magnetic Field Laboratory 와 LOI 체결 (2022.4.1. ~ 2024.12.31.)
- 고자기장 시설을 활용한 양자물질 극한물성 분석 공동연구 수행 관련 협력의향서 체결

National High Magnetic Field Laboratory, USA, LOI	
내용: 고자기장을 이용한 극한물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행	
<p style="text-align: center;">LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN THE NATIONAL HIGH MAGNETIC FIELD LABORATORY AND HANYANG UNIVERSITY</p> <p>The National High Magnetic Field Laboratory (hereinafter referred to as "MagLab"), having the address at 1800 E. Paul Dirac Dr. Tallahassee, FL 32310-3706, USA</p> <p>AND:</p> <p>Hanyang University, having the address at 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, 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>1. Background</p> <p>The National High Magnetic Field Laboratory is facility at Florida State University, the University of Florida, and Los Alamos National Laboratory in New Mexico that performs magnetic field research in physics, biology, biotechnology, chemistry, geochemistry, biochemistry. The lab is supported by the National Science Foundation and the state of Florida and works in collaboration with private industry.</p> <p>Hanyang University is a leading education and research institution established in 1939. Korea. Hanyang University has more than 26,000 and 10,000 for undergraduate and graduate students at 22 colleges in Seoul and Ansan campuses and performs fundamental research with more than 200 million U.S. dollars.</p> <p>2. Intent</p> <p>It is the intent of both the National High Magnetic Field Laboratory and Hanyang University to start the feasibility study with a view to commencing substantial collaborative research activities on quantum materials under extreme conditions 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 and related technology.</p> <p>3. Contents of Feasibility 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 would be diligent in the accomplishing the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hanyang University will endeavor to obtain research fund "BrainLink" from the National Research Foundation of Korea for the collaborative research effort, and the National High Magnetic Field Laboratory will assist Hanyang University to initiate a program of "BrainLink" - Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, Hanyang University will provide the necessary space for the National High Magnetic Field Laboratory to begin the feasibility study. - Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, the National High Magnetic Field Laboratory will endeavor to commence a substantial collaboration and to establish "Center for Quantum Materials under Extreme Conditions" at Hanyang University or a joint research program at Hanyang University. 	<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> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  Gregory Boebinger, Ph. D. Director National High Magnetic Field Laboratory </div> <div style="text-align: center;">  Woo-Seung Kim, Ph. D. President Hanyang University </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> Date 03/02/2022 </div> <div style="text-align: center;"> Date March 03, 2022 </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  Luis Balicas, Ph. D. Research Professor, NHMFL Condensed Matter Sciences </div> <div style="text-align: center;">  Jaeyong Kim, Ph. D. Professor of Physics Department Hanyang University </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> Date 03/02/2022 </div> <div style="text-align: center;"> Date March 03, 2022 </div> </div>

- 중국 National High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Science와 LOI 체결 (2022.4.1. ~ 2024.12.31.)
- 고자기장 시설을 활용한 양자물질 극한물성 분석 공동연구 수행 관련 협력의향서 체결

National High Magnetic Field Laboratory, Chinese Academy of Science, China, LOI	
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 SCIENCES AND HANYANG UNIVERSITY</p> <p>The High Magnetic Field Laboratory of Chinese Academy of Sciences (hereinafter referred to as "CHMFL"), is located in Hefei, the capital city of Anhui province, China.</p> <p>AND:</p> <p>Hanyang University, having the address at 222 Wangsimri-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, 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>1. Background</p> <p>The CHMFL (http://www.hmfl.cas.cn), was founded on April 30th, 2008 with four divisions: high field magnet science & technology, condensed matter science, interdisciplinary biological science, and instrument and measurement development. Currently, three water-cooled magnets have been put into service: a 10 MW magnet producing 27.5 T in a 32 mm bore, a 24 MW magnet with 35 T in a 50 mm bore, and a 25.2 MW magnet producing 38.5 T in a 32 mm bore.</p> <p>Hanyang University is a leading education and research institution established in 1939, Korea. Hanyang University has more than 28,000 and 10,000 for undergraduate and graduate students at 22 colleges in Seoul and Ansan campuses and performs fundamental research with more than 200 million U.S. dollars.</p> <p>2. Intent</p> <p>It is the intent of both the CHMFL and Hanyang University to start the feasibility study with a view to commencing substantial collaborative research activities on quantum materials under extreme conditions and to providing 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 and related technology.</p> <p>3. Contents of Feasibility 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 would be diligent in the accomplishing the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hanyang University will endeavor to obtain research fund "BrainLink" from the National Research Foundation of Korea for the collaborative research effort, and the CHMFL will assist Hanyang University to initiate a program of "BrainLink" - Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, Hanyang University will provide the necessary space for the CHMFL to begin the feasibility study. 	<p>- Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, the CHMFL will endeavor to commence a substantial collaboration and to establish "Center for Quantum Materials under Extreme Conditions" at Hanyang University or 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> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Prof. Yuying Sun Director CHMFL </div> <div style="text-align: center;">  Woo-Seung Kim, Ph. D. President Hanyang University </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> Date March 07, 2022 <hr/> </div> <div style="text-align: center;"> Date March 07, 2022 <hr/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  Mingliang Tian, Ph. D. Professor CHMFL </div> <div style="text-align: center;">  Jaeyong Kim, Ph. D. Professor of Physics Department Hanyang University </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> Date March 07,2022 <hr/> </div> <div style="text-align: center;"> Date: March 03, 2022 <hr/> </div> </div>

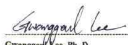


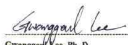


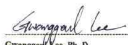


- 독일 Max Planck Society와 LOI 체결 (2022.4.1. ~ 2024.12.31.)
- 압력과 자기장, 온도를 활용한 양자물질 극한물성 분석 공동연구 수행 관련 협력의향서 체결

Max Planck Society, Germany, LOI	
내용: 양자물질 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, having the Administrative Headquarters in Munchen, Germany</p> <p>AND:</p> <p>Hanyang University, having the address at 222 Wangsimri-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, 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>1. Background</p> <p>The Max Planck Society conducts basic research in the natural sciences, life sciences, and humanities. It was founded in 1948 as a successor organization to the Kaiser Wilhelm Society and has 29 Nobel laureates in its ranks. With its 86 Max Planck Institutes and facilities, it is the international flagship for German science; in addition to institutions outside of Germany, it operates another 20 Max Planck Centers with research institutions.</p> <p>Hanyang University is a leading education and research institution established in 1939, Korea. Hanyang University has more than 28,000 and 10,000 for undergraduate and graduate students at 22 colleges in Seoul and Ansan campuses and performs fundamental research with more than 200 million U.S. dollars.</p> <p>2. Intent</p> <p>It is the intent of both the Max Planck Society and Hanyang University to start the feasibility study with a view to commencing substantial collaborative research activities on quantum materials under extreme conditions and to providing 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 and related technology.</p> <p>3. Contents of Feasibility 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 would be diligent in the accomplishing the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hanyang University will endeavor to obtain research fund "BrainLink" from the National Research Foundation of Korea for the collaborative research effort, and the Max Planck Society will assist Hanyang University to initiate a program of "BrainLink" - Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, Hanyang University will provide the necessary space for the Max Planck Society to begin the feasibility study. 	<p>- Once Hanyang University obtains a grant of "BrainLink" program, the Max Planck Society will endeavor to commence a substantial collaboration and to establish "Center for Quantum Materials under Extreme Conditions" at Hanyang University or 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> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Prof. Dr. Ulrich Pietsch Director of the Multiphase Chemistry Department at the Max Planck Institute for Chemistry </div> <div style="text-align: center;">  Woo-Seung Kim, Ph. D. Hanyang University </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> Date <hr/> </div> <div style="text-align: center;"> Date <hr/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  Mikhail Ivanovich Erements, Ph. D. Staff Scientist, Group leader Max Planck Institute </div> <div style="text-align: center;">  Jaeyong Kim, Ph. D. Professor of Physics Department Hanyang University </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> Date March 05, 2022 <hr/> </div> <div style="text-align: center;"> Date: March 03, 2022 <hr/> </div> </div>

- 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			
내용: 양자물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구, 공동심포지엄 개최			
  <p style="text-align: center;">MEMORANDUM OF UNDERSTANDING</p> <p style="text-align: center;">between</p> <p style="text-align: center;">HANYANG UNIVERSITY 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, Korea Represented by President Woo-Seung Kim</p> <p style="text-align: center;">And</p> <p style="text-align: center;">INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROPAR Rupnagar, Punjab, India Represented by Director Rajeev Ahuja</p> <p>HANYANG UNIVERSITY and INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROPAR (hereafter collectively referred to as "the parties") agree to enter into this Memorandum of Understanding (MOU) for academic cooperation and to promote the advancement of learning through exchanges and collaboration in teaching and research.</p> <p style="text-align: center;">ARTICLE I AREAS OF COOPERATION</p> <p>1.1 Within the fields of study to be mutually designated, the parties agree to the following general areas of cooperation:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Joint research in the fields of mutual interest to the parties - Exchanges of faculty, research personnel, and students between the parties for research and study - Exchanges of faculty and staff members for participation in conferences, seminars, and workshops - Exchanges of materials in education, research, publications, and academic information <p style="text-align: center;">ARTICLE II ARRANGEMENT AND FUNDING</p> <p>2.1 The implementation of any and all exchanges or study abroad programs will be discussed separately and determined by the parties by way of separate agreements. Specific initiatives may be considered and agreed upon, on a case by case basis, with consideration to the contributions and obligations of each member of the parties.</p>	<p>2.2 Each initiative shall be discussed to reach mutual agreement of the parties and shall be formalized by a signed addendum to this MOU.</p> <p>2.3 The parties acknowledge that unless otherwise agreed upon, all expenses concerning salaries, traveling, living and associated costs will be determined at the discretion and responsibility of the participant's home institution or by the participant.</p> <p style="text-align: center;">ARTICLE III EFFECT OF AGREEMENT</p> <p>3.1 This MOU will be valid for a period of five(5) years, and will automatically be renewed for additional 5-year periods, unless one of the contracting parties notifies the other in writing its intent to terminate at least three (3) months in advance of termination date</p> <p>3.2 The renewal or cessation of the MOU shall be discussed by the parties at least six (6) months 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 may do so by providing six (6) months prior written notice.</p> <p>3.4 The parties agree to review this agreement every five (5) years in order to evaluate the progress and improve the quality of the exchanges.</p> <p>3.5 This MOU shall be drawn up in two (2) copies in English. One (1) copy of this agreement will be retained at each member of the parties. Each party may rely on facsimile or electronically transmitted signature pages as if such facsimile or electronically transmitted pages were originals.</p> <p style="text-align: center;">SIGNATURES</p> <p>IN WITNESS WHEREOF, Hanyang University and Indian Institute of Technology Ropar have executed this MOU as of the date shown below.</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <p>For Hanyang University</p>  <p>Woo-Seung Kim, Ph.D. President Date: Mar. 4, 2022</p> </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <p>For Indian Institute of Technology Ropar</p>  <p>Rajeev Ahuja, Ph.D. Director Date: March 8, 2022</p> </td> </tr> </table>	<p>For Hanyang University</p>  <p>Woo-Seung Kim, Ph.D. President Date: Mar. 4, 2022</p>	<p>For Indian Institute of Technology Ropar</p>  <p>Rajeev Ahuja, Ph.D. Director Date: March 8, 2022</p>
<p>For Hanyang University</p>  <p>Woo-Seung Kim, Ph.D. President Date: Mar. 4, 2022</p>	<p>For Indian Institute of Technology Ropar</p>  <p>Rajeev Ahuja, Ph.D. Director Date: March 8, 2022</p>		

- 중국 Yantai University와 MOU 체결 (2022.4.1. ~ 2024.12.31.)
- 양자물질 극한물성 분석 공동연구를 위한 인력 교류 및 공동연구 수행 관련 협력의향서 체결

<p style="text-align: center;">Memorandum of Understanding</p> <p style="text-align: center;">Between</p> <p style="text-align: center;">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 at Yanshan University, having its principal address at No. 438 West Hebei Avenue, Qinhuangdao, Hebei Province, 066004, P.R.China, and Physics Department of Hanyang University, having its principal address at 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 04467, Republic of Korea; and collectively hereinafter referred to as "Parties" and individually as the "Party".</p> <p>This MoU is intended to form the foundation for further exchanges between the Parties and is not intended to create legally binding obligations of either Party. The specific terms of cooperation for each activity under this MoU shall be mutually discussed and agreed upon in the future, should the need arise, and shall be subject to appropriate and separate agreements, in conformity with the policies, guidelines and processes in place.</p> <p>The Parties therefore wish to state the following:</p> <p>Common Objectives and Vision</p> <p>The Parties agree to promote excellence through multidisciplinary and multi-institutional collaborations in order to build a partnership consistent with the strategic goals and values of both institutions. The present MoU aims to explore in further details the establishment of research cooperation between School of Science at Yanshan University, and Department of Physics at Hanyang University in conducting research and coordinating academic discussions on forefront research topics of high pressure physics.</p> <p>Understanding</p> <p>The Parties agree that the means for achieving the objectives of this MoU include, but are not limited to:</p>	<p>1. Mobility of professors and research personnel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exchange scientific and technical information including delivering lectures and holding joint seminars and symposia. - Invite researchers from both institutions for short or longer stays or sabbaticals in our respective laboratories to develop collaborative projects or to be trained in specialized techniques; and - Develop an exchange program for staff, doctoral students and post doctoral fellows between the two Parties. Such exchange programs shall be the subject of a separate agreement. <p>2. Application of external research funding</p> <ul style="list-style-type: none"> - Encourage scientists to develop joint research projects and make applications to national and international funding agencies, supporting work in areas of mutual interest and - Explore other opportunities for alliances between the two Parties. <p>3. Production and dissemination of knowledge</p> <ul style="list-style-type: none"> - Facilitate the application, exchange and general dissemination of research results; - Participate in seminars and academic meetings; subject to financing from an internal source or an external granting agency; and - Promote international research experience training for graduate students, post doctoral fellows and staff within each other's institutions. Part of such program could be extended to the co-supervision of trainees associated to a joint research project, with prior approval from the Parties. <p>Intellectual Property</p> <p>The MoU imposes no binding obligation on either Party (financial or otherwise): joint activities that require funding (e.g. travel and housing costs, laboratory material and supplies) should not be initiated before the necessary resources have been secured.</p> <p>Each Party agrees not to use the other's name or logo in publicity without written consent from the senior executive of the other Party or his/her designate. The Intellectual Property policies in place at each institution shall apply to the activities initiated and implemented by the respective researchers.</p> <p>Publication</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 as amicably as possible. • This MoU is established in two copies and is executed in English. <p>The parties have signified their acceptance of this MoU herein by signing below and each will retain one duplicate text of equal authenticity.</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">  <p>Gwanggeun Lee, Ph. D. Professor and Chairperson Department of Physics Hanyang University, Seoul, ROK</p> <p>Date: Dec. 26, 2020</p> </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">   <p>Wang Jiahua, Ph. D. Professor and Director School of Science Yantai University, Qinhuangdao, P.R.China</p> <p>Date: Jan. 4th.</p> </td> </tr> </table>	 <p>Gwanggeun Lee, Ph. D. Professor and Chairperson Department of Physics Hanyang University, Seoul, ROK</p> <p>Date: Dec. 26, 2020</p>	  <p>Wang Jiahua, Ph. D. Professor and Director School of Science Yantai University, Qinhuangdao, P.R.China</p> <p>Date: Jan. 4th.</p>
 <p>Gwanggeun Lee, Ph. D. Professor and Chairperson Department of Physics Hanyang University, Seoul, ROK</p> <p>Date: Dec. 26, 2020</p>	  <p>Wang Jiahua, Ph. D. Professor and Director School of Science Yantai University, Qinhuangdao, P.R.China</p> <p>Date: Jan. 4th.</p>			

Ⅲ

4단계 BK21 교육연구단(팀) 관련 언론보도 리스트

교육연구단(팀)명	양자물질 극한물성 교육연구팀
교육연구단(팀)장명	김재용

연번	구분	언론사명 /수상기관 등	보도일자/ 수상일자 등	제목/ 수상명 등	관련 URL
		주요내용 (200자 이내)			
1	성과	SBS 8시 뉴스	2023.09.08	초전도체 검증 이렇게.. 핵심은 '전기저항'	https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1007340271
		<p>한양대 고압연구소에서 LK-99의 초전도체 여부를 검증하기 위한 실험이 진행되었다. 연구팀은 LK-99를 제조하기 위해 실험을 반복했으며, X-레이를 통해 결정 구조를 확인한 결과, 기업 측 논문과 거의 일치하는 시료를 얻었다. 그러나 전기 저항을 측정된 결과, 초전도체가 가져야 할 '0'에 가까운 저항 값이 나타나지 않았고, 오히려 수천 옴의 높은 저항을 보였다. 일부 실험에서 반자성이 확인되었지만, 그것만으로는 초전도체로 확인되기 어렵다는 결론을 내렸다. (김재용 교수)</p>			
2	성과	한국경제	2023.11.15	극한조건에서 압력을 활용한 양자물성 연구	https://www.hankyung.com/article/2023111444391
		<p>한양대 물리학과 김재용 교수는 극한 조건에서 압력, 온도, 자기장을 활용하여 양자 물성을 연구하고 있다. 양자 현상은 물질의 양자 역학적 특성이 나타나는 상태로, 김 교수는 수 만 기압과 레이저를 활용해 고온·고압 조건에서 새로운 물성을 발견하고, 이를 바탕으로 양자물질을 인공적으로 설계하는 연구를 진행하고 있다. 또한, 초강도 물질 개발과 대용량 수소저장 매체 발굴 같은 신소재 연구도 함께 수행 중이다. 김 교수는 국내 최고 권위의 양자물질·물성 분야 연구자 중 한 명으로, 아시아고압학회 유치와 세계 고압학회 이사로 선출되는 등의 국제적 성과를 거두고 있다. (김재용 교수)</p>			
3	성과	뉴시스	2024.08.29	한양대 정문석 교수 연구팀, 차세대 광전자 메모리 기술 개발	https://www.newsis.com/view/NISX20240829_0002866940
		<p>“Harnessing Persistent Photocurrent in a 2D Semiconductor-Polymer Hybrid Structure: Electron Trapping and Fermi Level Modulation for Optoelectronic Memory” [Nano Letters] 표지논문 게재 보도자료 (정문석 교수)</p>			
4	성과	매일일보	2024.07.24	정문석 한양대 교수팀, 그래핀 품질 평가 기술 개발	https://m-i.kr/news/articleView.html?idxno=1143208

		<p>한양대학교 물리학과 정문석 교수 연구팀은 인공지능을 활용해 그래핀의 품질 평가 기술을 개발하고, 물리학적 상관관계를 규명하여 인공지능이 과학 문제 해결에 실질적으로 기여할 수 있는 기술을 제시하였다. (정문석교수)</p>			
5	성과	뉴데일리 경제	2024.07.24	한양대 정문석 교수팀, AI의 과학문제 해결 능력 입증	https://biz.newdaily.co.kr/site/data/html/2024/07/24/2024072400348.html
		<p>“Unraveling the Role of Raman Modes in Evaluating the Degree of Reduction in Graphene Oxide via eXplainable Artificial Intelligence” [Nano Today] 논문 게재 보도자료 (정문석교수)</p>			
6	성과	이데일리	2024.07.24	한양대, AI 활용 그래핀 품질평가 기술 개발	https://m.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02906086638957800&mediaCodeNo=257
		<p>“Unraveling the Role of Raman Modes in Evaluating the Degree of Reduction in Graphene Oxide via eXplainable Artificial Intelligence” [Nano Today] 논문 게재 보도자료 (정문석 교수)</p>			
7	성과	뉴데일리 경제	2024.07.24	한양대 정문석 교수팀, 차세대 광전자 메모리 기술 개발	https://biz.newdaily.co.kr/site/data/html/2024/08/29/2024082900002.html
		<p>“Harnessing Persistent Photocurrent in a 2D Semiconductor-Polymer Hybrid Structure: Electron Trapping and Fermi Level Modulation for Optoelectronic Memory” [Nano Letters] 표지논문 게재 보도자료 (정문석 교수)</p>			
8	성과	한양뉴스포털 뉴스H	2023.09.01	정문석 교수, 인공지능 활용해 물리학을 연구하다	https://www.newshyu.com/news/articleView.html?idxno=1011154
		<p>정문석 한양대학교 교수는 인공지능을 활용해 물리학 문제의 상관관계를 밝혀내고, 이를 양자역학으로 검증하며 과학 연구의 새로운 기술을 제시하였다. (정문석 교수)</p>			
9	성과	베리타스알파	2024.07.24	한양대 정문석 교수팀 인공지능 활용 그래핀 품질 평가 기술 개발	https://www.veritas-a.com/news/articleView.html?idxno=513832
		<p>“Unraveling the Role of Raman Modes in Evaluating the Degree of Reduction in Graphene Oxide via eXplainable Artificial Intelligence” [Nano Today] 논문 게재 보도자료 (정문석교수)</p>			

❖ 교육연구팀의 수월성 및 탁월성 달성을 위한 노력

- 본 교육연구팀의 비전인 극한물성 분야의 창의적 연구인재를 양성하기 위해서, 교육위원회를 조직하고, 교육과정과 학사과정이 계획대로 진행될 수 있도록 하였음.
- 교육목표 달성을 위한 교과과정 개편
 - 본 교육연구팀의 교육목표에 맞추어, 대학원 교과과정을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 그리고 공통과목으로 개편하고, 지난 1년간 11과목, 29학점 운영.

	기초	핵심	심화	특성화	공통과목
1년간 운영된 교과목	2과목 (6학점)	1과목 (3학점)	5과목 (15학점)	1과목 (3학점)	2과목 (2학점)

- BK 세미나를 통한 최신 연구 동향 습득
 - 매주 BK 세미나를 열고 전문가들을 초청하여, 대학원생이 최신 연구 동향을 습득할 수 있도록 하였음.
 - 2023년 9월 13일부터 2024년 8월 14일까지 총 30회 실시.



[대면 및 비대면 BK 세미나 운영 사진]

- BK 성과발표회
 - 매년 2회(1월, 7월)의 BK 성과발표회를 통해서 대학원생들의 연구를 공유하고, 우수 연구를 수행한 대학원생에게 최우수상, 우수상, 장려상을 수여하고 장학금을 지급하였음.

양자물질 극한물성 교육연구팀 4차년도 성과발표회	양자물질 극한물성 교육연구팀 5차년도 성과발표회																																																																																																								
<p>2023-2 BKFOUR 양자물질 극한물성 교육연구팀 4차년도 성과 발표회</p> <p>2024년 01월 31일(수) 15:00 자연과학관 123호</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시간</th> <th>발표자</th> <th>제목</th> <th>지도교수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15:00-15:05</td> <td>안익형 (교육연구팀장, 조교수)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15:05-15:20</td> <td>홍성준 (박사후연구원, 조교수)</td> <td>Enhancing Persistent Plasmons in 2D Semiconductor-Coupled Hybrid Structures: The Role of Exciton Trapping and Fermi Level Dynamics for Optoelectronic Memory</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>15:20-15:40</td> <td>조진우</td> <td>The research summary of KR-99</td> <td>김재홍</td> </tr> <tr> <td>15:40-15:55</td> <td>김동욱</td> <td>Infrared order of the charge density wave gap in SrTiO₃</td> <td>김종태</td> </tr> <tr> <td>15:55-16:10</td> <td>박재호</td> <td>Decoding the secrets in the Holography II: Stability of Topology</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>16:10-16:25</td> <td>조지훈</td> <td>Preparation of Novel Monochalcogenide using PROBABILE Composites for its Stability</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>16:25-16:35</td> <td>홍지</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16:35-16:50</td> <td>한경호</td> <td>Resolving oriented chirality of hidden domain wall states in multilayer systems without topological transition</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>16:50-17:05</td> <td>신영호</td> <td>Electrocaloric threshold switching induced by stochastic domain re-arrangement: toward application for 2D molecular spintronics</td> <td>홍준희</td> </tr> <tr> <td>17:05-17:20</td> <td>박우주(장학금 지원)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>17:20-17:30</td> <td>폐회식</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	시간	발표자	제목	지도교수	15:00-15:05	안익형 (교육연구팀장, 조교수)			15:05-15:20	홍성준 (박사후연구원, 조교수)	Enhancing Persistent Plasmons in 2D Semiconductor-Coupled Hybrid Structures: The Role of Exciton Trapping and Fermi Level Dynamics for Optoelectronic Memory	정영기	15:20-15:40	조진우	The research summary of KR-99	김재홍	15:40-15:55	김동욱	Infrared order of the charge density wave gap in SrTiO ₃	김종태	15:55-16:10	박재호	Decoding the secrets in the Holography II: Stability of Topology	정영기	16:10-16:25	조지훈	Preparation of Novel Monochalcogenide using PROBABILE Composites for its Stability	정영기	16:25-16:35	홍지			16:35-16:50	한경호	Resolving oriented chirality of hidden domain wall states in multilayer systems without topological transition	정영기	16:50-17:05	신영호	Electrocaloric threshold switching induced by stochastic domain re-arrangement: toward application for 2D molecular spintronics	홍준희	17:05-17:20	박우주(장학금 지원)			17:20-17:30	폐회식			<p>2024-1 BKFOUR 양자물질 극한물성 교육연구팀 5차년도 성과 발표회</p> <p>2024년 08월 05일(월) 15:00 자연과학관 123호</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시간</th> <th>발표자</th> <th>제목</th> <th>지도교수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15:00-15:05</td> <td>안익형 (교육연구팀장, 조교수)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15:05-15:25</td> <td>홍성준</td> <td>Enhancing Optical Properties of 2D Materials: Precise Placement and Identification</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>15:25-15:45</td> <td>조지훈</td> <td>The study of electrical and magnetic properties of topological spin junctions</td> <td>김종태</td> </tr> <tr> <td>15:45-15:55</td> <td>김동욱</td> <td>Optical evolution of the electronic response of topological metal CoV₂(C₆₀)₂</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>15:55-16:15</td> <td>홍성준</td> <td>Superconductivity in Aberration-Free K₂IrO₆</td> <td>박만준</td> </tr> <tr> <td>16:15-16:25</td> <td>조지훈</td> <td>홀로그래피 광결정체의 광학적 양자점 및 광자 결정의 특성 연구</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>16:25-16:40</td> <td>홍준희</td> <td>High-Resolution Magnet-Optical Microscopy</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>16:40-16:50</td> <td>홍지</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16:50-17:05</td> <td>박지민</td> <td>Resolving oriented chirality of van der Waals heterostructures using perfluoropolymer-ink transfered molecules</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>17:05-17:20</td> <td>김정호</td> <td>Quantum Population and Migration Features Beyond Tunnel Classification</td> <td>정영기</td> </tr> <tr> <td>17:20-17:35</td> <td>홍성준</td> <td>2D Material-Free Hybrid Hetero-Structure: Utilizing Bulk & 2D and Improved High-T_c Superconductivity</td> <td>홍준희</td> </tr> <tr> <td>17:35-17:45</td> <td>박우주(장학금 지원)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>17:45-18:00</td> <td>폐회식</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	시간	발표자	제목	지도교수	15:00-15:05	안익형 (교육연구팀장, 조교수)			15:05-15:25	홍성준	Enhancing Optical Properties of 2D Materials: Precise Placement and Identification	정영기	15:25-15:45	조지훈	The study of electrical and magnetic properties of topological spin junctions	김종태	15:45-15:55	김동욱	Optical evolution of the electronic response of topological metal CoV ₂ (C ₆₀) ₂	정영기	15:55-16:15	홍성준	Superconductivity in Aberration-Free K ₂ IrO ₆	박만준	16:15-16:25	조지훈	홀로그래피 광결정체의 광학적 양자점 및 광자 결정의 특성 연구	정영기	16:25-16:40	홍준희	High-Resolution Magnet-Optical Microscopy	정영기	16:40-16:50	홍지			16:50-17:05	박지민	Resolving oriented chirality of van der Waals heterostructures using perfluoropolymer-ink transfered molecules	정영기	17:05-17:20	김정호	Quantum Population and Migration Features Beyond Tunnel Classification	정영기	17:20-17:35	홍성준	2D Material-Free Hybrid Hetero-Structure: Utilizing Bulk & 2D and Improved High-T _c Superconductivity	홍준희	17:35-17:45	박우주(장학금 지원)			17:45-18:00	폐회식		
시간	발표자	제목	지도교수																																																																																																						
15:00-15:05	안익형 (교육연구팀장, 조교수)																																																																																																								
15:05-15:20	홍성준 (박사후연구원, 조교수)	Enhancing Persistent Plasmons in 2D Semiconductor-Coupled Hybrid Structures: The Role of Exciton Trapping and Fermi Level Dynamics for Optoelectronic Memory	정영기																																																																																																						
15:20-15:40	조진우	The research summary of KR-99	김재홍																																																																																																						
15:40-15:55	김동욱	Infrared order of the charge density wave gap in SrTiO ₃	김종태																																																																																																						
15:55-16:10	박재호	Decoding the secrets in the Holography II: Stability of Topology	정영기																																																																																																						
16:10-16:25	조지훈	Preparation of Novel Monochalcogenide using PROBABILE Composites for its Stability	정영기																																																																																																						
16:25-16:35	홍지																																																																																																								
16:35-16:50	한경호	Resolving oriented chirality of hidden domain wall states in multilayer systems without topological transition	정영기																																																																																																						
16:50-17:05	신영호	Electrocaloric threshold switching induced by stochastic domain re-arrangement: toward application for 2D molecular spintronics	홍준희																																																																																																						
17:05-17:20	박우주(장학금 지원)																																																																																																								
17:20-17:30	폐회식																																																																																																								
시간	발표자	제목	지도교수																																																																																																						
15:00-15:05	안익형 (교육연구팀장, 조교수)																																																																																																								
15:05-15:25	홍성준	Enhancing Optical Properties of 2D Materials: Precise Placement and Identification	정영기																																																																																																						
15:25-15:45	조지훈	The study of electrical and magnetic properties of topological spin junctions	김종태																																																																																																						
15:45-15:55	김동욱	Optical evolution of the electronic response of topological metal CoV ₂ (C ₆₀) ₂	정영기																																																																																																						
15:55-16:15	홍성준	Superconductivity in Aberration-Free K ₂ IrO ₆	박만준																																																																																																						
16:15-16:25	조지훈	홀로그래피 광결정체의 광학적 양자점 및 광자 결정의 특성 연구	정영기																																																																																																						
16:25-16:40	홍준희	High-Resolution Magnet-Optical Microscopy	정영기																																																																																																						
16:40-16:50	홍지																																																																																																								
16:50-17:05	박지민	Resolving oriented chirality of van der Waals heterostructures using perfluoropolymer-ink transfered molecules	정영기																																																																																																						
17:05-17:20	김정호	Quantum Population and Migration Features Beyond Tunnel Classification	정영기																																																																																																						
17:20-17:35	홍성준	2D Material-Free Hybrid Hetero-Structure: Utilizing Bulk & 2D and Improved High-T _c Superconductivity	홍준희																																																																																																						
17:35-17:45	박우주(장학금 지원)																																																																																																								
17:45-18:00	폐회식																																																																																																								

[2024년 1월 31일 4차년도 성과 발표회]

[2024년 8월 5일 5차년도 성과 발표회]



[2024년 1월 31일과 2024년 8월 5일 장학금수여식]

• 물리학과 심포지엄 개최

본교 졸업생의 대학원 진학을 향상을 위해, 2024년 9월 6일~ 7일 심포지엄을 실시하였음.
교수, 대학원생, 학부생(약 130명)이 참여하여, 학부생들에게 대학원 프로그램에 대해 소개하였음.



[2024년 9월 6~7일 심포지엄 단체 사진]

❖ 대학원생 연구 성과의 우수성

- IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수 4편: 연간 목표치 대비 200%
- 환산보정 IF 합 2.13: 2017 - 19 대비 64%
- 환산보정 ES 합 8.12: 2017 - 19 대비 115%
- 참여대학원생 논문 20편: 2017 -19 연평균 (15.7편) 대비 127%

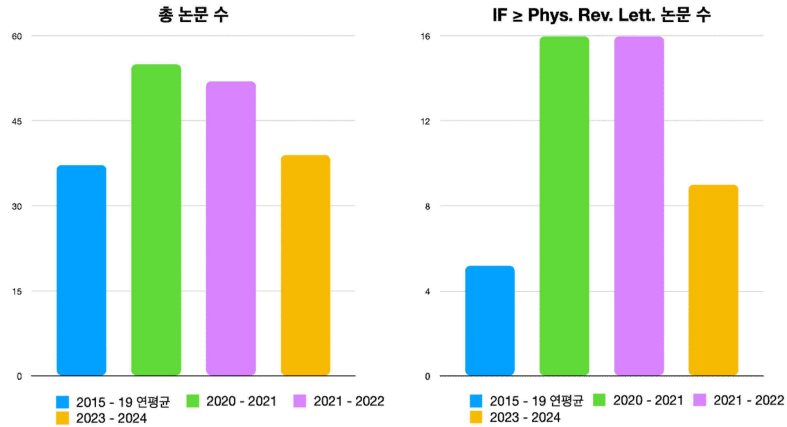
- BK 선정 평가 시 제시한 1~2단계 참여대학원생 연구실적 목표
 - IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수 14편
 - 환산보정 IF 합 매년 10% 증가
 - 환산보정 ES 합 매년 10% 증가
- 참여대학원생의 연구실적을 통해 본 교육연구팀 참여대학원생의 연구역량이 계획한 대로 향상되고 있음을 알 수 있음. 다만, 주저자 우수 논문의 비율을 높일 필요가 있음.

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2017-19 연평균	1~2단계 목표 (7년) (2020.9-2027.8)
IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수	4	1.67	14
환산보정 IF 합	2.13	3.31	30.12
환산보정 ES 합	8.12	7.09	64.52

❖ 참여교수 논문실적의 우수성

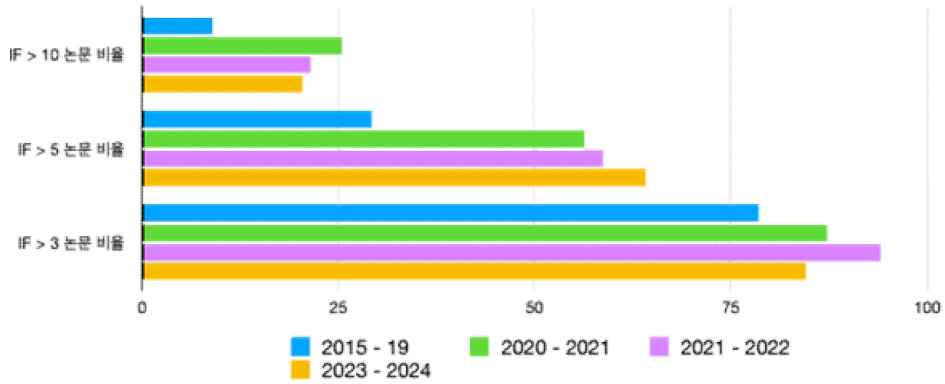
- 참여자교수들의 발표논문 39편, IF 합 285.91
- IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수: 9 편
- IF > 10.0 논문수: 8편 (20.5%), IF > 5.0 논문 수: 25편 (64.1%), IF > 3.0 논문 수: 33편 (84.6%)

- 총 논문 수: 2015 - 2019년 논문 수 연평균 (37편) 대비 105%
- IF \geq Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 - 19 연평균 (5편) 대비 180%



• 우수 논문 비율

- IF > 10 논문 비율 (20.5%): 2015 - 2019년 대비 228%
- IF > 5 논문 비율 (64.1%): 2015 - 2019년 대비 218%
- IF > 3 논문 비율 (84.6%): 2015 - 2019년 대비 108%



• 연구성과 세부지표

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2021-2022	2015-19 연평균	1~2단계 목표 (7년) (2020.9-2027.8)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	9	16	5.2	58
IF > 5 논문 비율 (%)	64	59	29	40
환산보정 IF 합	5.3	8.08	5.31	48.23
환산보정 ES 합	14.68	25.96	20.05	182.46

- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 지난 1년 동안 9편 출간으로 1~2단계 연간 목표치 9편 달성.
- IF ≥ 5인 논문의 비율 64%: 2015-19 대비 약 2.2배, 목표치 (≥ 40%) 초과.

❖ 참여교수 연구비 수주실적

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2021-2022	2020-2021	2015-19 연평균
연구비 총액 (천원)	2,927,952	4,516,109	3,721,926	1,970,844
1인당 연구비 (천원)	344,464	501,789	413,547	281,549

- 2023-2024년도 연구비 총액 2,927,952,000원, 참여교수 1인당 연구비 344,464,941원
- 2015-2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 149%, 1인당 연구비 122%

❖ 참여교수 특허실적

	지난 1년 (2023.9-2024.8)	2020-2021	2015-19
국제특허 (건)	1	5	5
국내특허 (건)	6	5	2

❖ 참여교수들의 활발한 국제 학술활동 실적 달성

- 국제 공동 연구를 통한 SCI 논문 9편 발표
- 국제학술대회 초청강연 12건, 조직위원 8건
- The 1st HYU-YSU Workshop on Quantum Materials at Extreme Conditions 2024년 국제 워크샵
 - 학술대회 조직위원 활동 (조직위원장: 김재용, 조직위원: 문순재, 박문집, 이창민, 천상모)
 - 연구 분야 : 양자물질, 극한물성
- The 2nd YSU-HYU Workshop on Quantum Materials at Extreme Conditions (2023. 12. 14 - 17)
 - 한양대, 중국 연산대 연구자 50여 명 참여
 - 한양대 김재용, 문순재, 박문집, 이창민, 천상모 교수 발표
- Holography 2024: Correlation and Entanglement in Quantum Matter
 - 학술대회 조직위원 활동 (조직위원장: 신상진, 조직위원: 박문집)
 - 연구 분야 : 필드 이론, 스트링 이론, 응집 물질 이론
 - 참가 규모 : 대한민국, 중국, 유럽 등에서 50여명 참여
- The 21st International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA)
 - 학술대회 조직위원 활동 (조직위원: 정문석)
 - 연구 분야 : 반도체 물리학, 나노기술, 양자 소재, 광전자공학 등 다양한 분야를 포함
 - 참가 규모 : 대한민국 포함 총 20개국 (오프라인 참가자 약 1,100 여명)
- 국제 공동연구를 위한 대학원생 해외 기관 파견
 - 하버드 대학교, 막스플랑크 연구소, 연산대학교 고압연구센터, SPring-8, 아르곤 국립 연구소 등

- 외부 평가위원 1: 교수, 광주과학기술원 물리광학과
- 외부 평가위원 2: 교수, 부산대학교 물리학과
- 내부 평가위원 1: 교수, 한양대학교 화학과

평가 등급 분류표 (절대평가, 5단계 Likert 척도 등급)

등급	의미	종합점수
매우 우수 (S)	전반적으로 사업내용, 목표달성도, 사업성과 등이 성공적으로 추진 (목표량을 90%이상 달성)	90점 이상
우수 (A)	부분적으로 사업내용, 목표달성도, 사업성과 등이 성공적으로 추진 (목표량을 80%이상 달성)	80점 이상
보통 (B)	사업내용, 목표달성도, 사업성과 등이 적절하게 추진(목표량의 70%이상 달성)	70점 이상
미흡 (C)	부분적으로 사업내용, 목표달성도, 사업성과 등의 개선·보완 필요 (목표량을 60%이상 달성)	60점 이상
매우 미흡 (D)	전반적으로 사업내용, 목표달성도, 사업 성과 등의 개선·보완 필요(목표량을 50% 이상 달성)	60점 미만

부분	평가 지표	평가등급
비전 및 목표	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 교육연구팀장의 연구·교육·행정 역량 ◎ 교육연구팀 참여인력 구성 및 현황의 적절성 ◎ 교육연구팀의 비전 및 목표 대비 실적 ◎ 신청서에 작성된 저명대학 벤치마킹 대상과의 비교 분석 ◎ 교육연구팀의 비전 및 목표 달성의 애로점에 대한 자체 노력 <p>□ 비전 및 목표 부문 평가 의견</p> <p>교육연구팀 보고서의 전체적인 내용에서 교육연구팀장의 뛰어난 행정역량이 돋보이며, 연구팀의 비전 및 목표 달성을 위해 다방면에서 연구팀을 효과적으로 운영한 점이 확인됨. 벤치마킹 대상의 비교분석이 제시되어 있지 않으나, 일년간의 업적으로 평가를 하는 점은 적절하지 않은 것으로 판단됨.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡
교육역량	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획 ◎ 과학기술산업사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획 ◎ 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적 ◎ 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획 ◎ 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성 ◎ 참여대학원생 연구실적(논문, 학술대회, 특허, 취창업)의 우수성 ◎ 신진연구인력 현황 및 실적 ◎ 참여교수의 교육역량 대표실적 ◎ 교육의 국제화 전략(프로그램의 국제화 전략, 국제공동연구 현황 및 계획) <p>□ 교육역량 부문 평가 의견</p> <p>교과과정개편 및 BK 세미나, 성과발표회, 물리심포지엄 개최등을 통해 대학원들의 참여를 통한 연구단 발전을 도모한 점이 돋보임. 특히 해외 방문/교류를 통한 국제화 전략은 뛰어난 결과를 도출하고 있는 것으로 평가됨. 참여학생들의 환산보정 IF가 다소 줄어든 점은 학생논문에서 주저자의 역할이 적다는 점이어서 대학원 학생중심의 논문참여유도가 필요하다고 사료됨. 자대학생의 대학원진출이 늘어나고 있는 점은 고무적인 면으로 평가됨. 참여학생들의 특허실적이 돋보임.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡
연구역량	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 참여교수의 연구비 수주 실적 ◎ 참여교수 연구업적물의 우수성 ◎ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 ◎ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성 ◎ 참여교수의 산업·사회에 대한 기여도 ◎ 참여교수의 연구 국제화 현황(학술활동, 국제 공동연구, 교류 실적 및 계획) <p>□ 연구역량 부문 평가 의견</p> <p>참여교수의 우수논문업적은 목표를 초과달성한 것으로 확인되며 연구비수주도 상승한 것으로 평가됨. 대표 연구성과의 경우 관련학계에서 인정받는 뛰어난 업적으로 확인됨. 참여교수들의 활발한 국제화 활동(국제학회 개최, 국제 교육프로그램, 상호방문)이 돋보이며 뛰어난 국제공동연구실적을 도출하고 있는 것으로 확인됨.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡
종합평가 의견		
<p>교육연구팀 보고서의 전체적인 내용에서 교육연구팀장의 뛰어난 행정역량이 돋보이며, 연구팀의 비전 및 목표 달성을 위해 다방면에서 연구팀을 효과적으로 운영한 점이 확인됨. 교과과정개편 및 BK 세미나, 성과발표회, 물리심포지엄 개최등을 통해 대학원들의 참여를 통한 연구단 발전을 도모한 점이 돋보임. 특히 해외 방문/교류를 통한 국제화 전략은 뛰어난 결과를 도출하고 있는 것으로 평가됨. 참여교수의 우수논문업적은 목표를 초과달성한 것으로 확인되며 연구비수주도 상승한 것으로 평가됨.</p>		
외부 평가위원	성명	종합 평가 등급 매우 우수

부문	평가 지표	평가등급	
비전 및 목표	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 교육연구팀장의 연구·교육·행정 역량 ◎ 교육연구팀 참여인력 구성 및 현황의 적절성 ◎ 교육연구팀의 비전 및 목표 대비 실적 ◎ 신청서에 작성된 저명대학 벤치마킹 대상과의 비교 분석 ◎ 교육연구팀의 비전 및 목표 달성의 애로점에 대한 자체 노력 <p><input type="checkbox"/> 비전 및 목표 부문 평가 의견</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구팀의 구성의 적절하고 비전 및 목표 대비 실적은 양호함. - 벤치 마킹 대학의 현재 상홍들에 대한 점검이 필요하고 변화하는 외부 환경에 대한 고찰이 추가되면 좋을 것으로 판단됨. - 국제화 성과는 탁월함 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡 	
교육역량	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획 ◎ 과학기술산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획 ◎ 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적 ◎ 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획 ◎ 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성 ◎ 참여대학원생 연구실적(논문, 학술대회, 특허, 취창업)의 우수성 ◎ 신진연구인력 현황 및 실적 ◎ 참여교수의 교육역량 대표실적 ◎ 교육의 국제화 전략(프로그램의 국제화 전략, 국제공동연구 현황 및 계획) <p><input type="checkbox"/> 교육역량 부문 평가 의견</p> <ul style="list-style-type: none"> - 평가지표의 대부분이 정량적, 정성적 목표치를 달성하였다고 판단됨. 특히 사업단 단장을 중심으로 다양한 국제화 프로그램을 운영하고 소기의 성과도 이루었다고 판단됨. - 학생 연구 역량부분에 다소 부족한 성과지표 관한 대응 방안이 필요함 - 표2.4에 언급한 대학원 교과목에 편성표에 있는 양자물리학의 강의가 개설되어 있지 않아 보임. 해당 사업단의 주제에는 고전물리학보다는 양자물리학의 개선 순위가 앞서야 할 것으로 판단됨. (표2.5에 개설 예정이라고 되어 있지만) - 참여대학원생들의 특허실적은 특히 돋보임. 또한 다양한 형태의 학생연구원 중심의 국제협력도 돋보임. 이러한 협력과 이를 통해 얻어진 결과물(연구성과)들을 연계성 있게 기술할 수 있으면 좋을 것 같음. 	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡 	
연구역량	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 참여교수의 연구비 수주 실적 ◎ 참여교수 연구업적물의 우수성 ◎ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 ◎ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성 ◎ 참여교수의 산업·사회에 대한 기여도 ◎ 참여교수의 연구 국제화 현황(학술활동, 국제 공동연구, 교류 실적 및 계획) <p><input type="checkbox"/> 연구역량 부문 평가 의견</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구성과물은 평이하다고 판단됨. 특허는 특정 참여교원에 집중되어 있지만, 양적인 우수성은 확보되었다고 판단됨. 실제 활용 가능한 특허 (기초연구 기반에서)로 진행될 수 있으면 더 좋을 것으로 판단됨. - 국제협력성과는 탁월하다고 판단됨. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 매우 우수 <input checked="" type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡 	
종합평가 의견			
<ul style="list-style-type: none"> - 도전적으로 제시한 목표를 체계적으로 달성하려는 노력이 돋보임. - 벤치마킹 대학의 현재 상황 및 변화 되는 상황을 지속적으로 모니터링하고 그 변화를 반영해서 해당 사업단의 목표를 재성절할 수 있다면 더욱 좋을 것 같음 - 국제화 부분은 학생 및 교수모두 탁월하다고 판단됨. 이러한 국제화 교류의 성과가 교육 및 연구 역량 향상에 어떻게 기여하고 있는지에 (혹은 성과가 무엇인지)에 대한 고찰이 추가되면 좋을 것으로 판단됨. 			
외부 평가위원	성명 <input style="width: 100px;" type="text"/>	종합 평가 등급	매우우수

부문	평가 지표	평가등급
비전 및 목표	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 교육연구팀장의 연구·교육·행정 역량 ◎ 교육연구팀 참여인력 구성 및 현황의 적절성 ◎ 교육연구팀의 비전 및 목표 대비 실적 ◎ 신청서에 작성된 저명대학 벤치마킹 대상과의 비교 분석 ◎ 교육연구팀의 비전 및 목표 달성의 애로점에 대한 자체 노력 <p><input type="checkbox"/> 비전 및 목표 부문 평가 의견</p> <p>교육연구팀의 비전 및 목표를 지향하는 방향으로 체계적으로 교육연구팀이 운영되고 있다고 사료됨.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡
교육역량	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획 ◎ 과학기술산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획 ◎ 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적 ◎ 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획 ◎ 참여대학원생의 취(창)업의 실적 우수성 ◎ 참여대학원생 연구실적(논문, 학술대회, 특허, 취창업)의 우수성 ◎ 신진연구인력 현황 및 실적 ◎ 참여교수의 교육역량 대표실적 ◎ 교육의 국제화 전략(프로그램의 국제화 전략, 국제공동연구 현황 및 계획) <p><input type="checkbox"/> 교육역량 부문 평가 의견</p> <p>참여대학원생의 연구성과가 우수하며, 참여대학원생을 위한 비교과 프로그램이 잘 운영되고 있음.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡
연구역량	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 참여교수의 연구비 수주 실적 ◎ 참여교수 연구업적물의 우수성 ◎ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 ◎ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성 ◎ 참여교수의 산업·사회에 대한 기여도 ◎ 참여교수의 연구 국제화 현황(학술활동, 국제 공동연구, 교류 실적 및 계획) <p><input type="checkbox"/> 연구역량 부문 평가 의견</p> <p>참여교수의 연구비 수주실적, 연구 업적이 모두 우수함.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 매우 우수 <input type="checkbox"/> 우수 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 미흡 <input type="checkbox"/> 매우 미흡
종합평가 의견		
<p>교육연구팀의 비전 및 목표를 지향하는 방향으로 체계적으로 교육연구팀이 운영되고 있다고 사료됨. 참여대학원생의 연구성과가 우수하며, 참여대학원생을 위한 비교과 프로그램이 잘 운영되고 있음. 참여교수의 연구비 수주실적, 연구 업적이 모두 우수함.</p>		
내부 평가위원	성명	종합 평가 등급
		매우 우수