『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				
				팩스				
	성명 영문	Kim, Jaeyong		이동전화				
				E-mail	kimjy@hanyang.ac.kr			
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 ('20.9~'21.2)	2차년도 ('21.3~'22.2)	3차년도 ('22.3~'23.2)				
	국고지원금	160	321	321				
총 사업기간	2020.9.1. - 2027.8.31.(84개월)							
자체평가 대상기간	2021.9.1. - 2022.8.31.(12개월)							

본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21』사업 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다.

2022년 10월 05일

작성자	교육연구팀장	김 재 용 (인)
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 물리변수기반 극한물성 탐구에 필요한 창의적 연구인력 양성을 목표로 교육, 연구, 국제화분야에서 노력하였던 바, 지난 1년 동안 (2021.09~2022.08) 대학원생의 연구력 강화, 대학원교육개편 실행, 그리고 코로나-19 상황에서도 국제화 유지 등이 계획에 따라 잘 진행되고 있음을 확인하였음. 교육과 연구 영역별 성과 내용은 다음과 같음.		
교육역량 영역 성과	1. 교과목 개설 및 운영현황 ▪ 본 사업내용에 맞추어 대학원교과 과정을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 공통과목으로 분류하고 11과목 (29학점) 개설/운영 2. 본 사업 참여대학원생 수 증가 ▪ 참여대학원생 35명 (학과대비 참여비율 55.5%, 사업 신청 시 대비 6명 증가) ▪ 대학원생 졸업: 석사 7명, 박사 3명 학위취득 3. 신진연구인력 임용: 박사학위자 2명을 신진연구인력으로 임용		
연구역량 영역 성과	1. 대학원생 연구 ▪ 지난 1년 동안 대학원생 논문 출간 15편, (IF > 5.0 논문 수: 7편) ▪ 대표논문: 광학적 위상학적 공진 모드 연구 - Physical Review Letters (이기영, 제 1 저자) 2. 참여교수 연구력 ▪ 논문 52편 출간 (IF > 5.0 논문 수: 31편) ▪ 연구비: 총 45.16억원 수주 (1인당 5.01억원)		
달성 성과 요약	1. 교육: ▪ 극한물성관련 신규과목 및 IC-PBL 과목 개설을 통한 대학원교육 특성화 추진 ▪ 참여대학원생 BK 연구성과 발표회 매학기 시행 ▪ 참여대학원생 우수논문 선정 및 성과급 지급 2. 연구: ▪ 박사과정생(석박통합과정 포함) 중심의 대학원생 연구력 증가, 논문의 질적 향상 유도 ▪ 참여교수 연구논문, 연구비 지속적 증가 ▪ BK세미나 시리즈를 개설하여 매주 세계적 전문가 초빙을 통한 최신 연구결과 습득 3. 국제화: MoU 추가 체결, 온라인과 방문교류를 통한 국제교류 유지		
미흡한 부분 / 문제점 제시	본 교육연구팀이 목표로 하고 있는 중국, 미국, 유럽, 그리고 동남아시아권 유수기관들과의 국제교류사업이 코로나사태로 인해 직접 방문을 통한 교류가 거의 불가능하였음. 최근 방역지침의 완화에 따라 방문교류와 온라인 방식을 병행하여 국제화를 추진하고 있으며, 앞으로 극한물성연구의 국제 허브로서 기반을 다지기 위한 여러 가지 활동을 추진할 계획임.		
차년도 추진계획	1. 교육: 계획서에서 제시한대로 대학원 교과 과정을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 그리고 공통과목으로 운영. 대학원 입학생 증가를 위한 지속적 노력 필요. 2. 연구: ▪ 대학원생: 지속적인 연구력 증가 및 양적 향상 ▪ 참여교수: 우수교원 확충을 위한 노력 지속 3. 국제화: 대면/비대면 병행을 통한 국제화 교육, 연구 기조 유지		

I 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표

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, 한양대부설 고압연구소장 등 교육-연구 관련 다양한 보직을 수행하였고, 130 여 편의 SCI 논문을 출간하였음. 최근 다이아몬드 앤빌셀을 활용한 백만기압 단위 초고압 관련 국내 연구를 선도하고 있다고 평가 받고 있음.

1 교육연구팀장의 연구 역량

비주기적 결정체의 형성과 응용에 관한 연구분야에서 김재용교수는 1990년 '준결정체'가 보이는 준주기성 개념을 국내에 도입하였으며 준안정상태의 구조 및 물성분석, 그리고 이를 응용한 수소에너지 저장연구를 수행해오고 있음. 최근에는 중국 북경고압연구센터 (HPSTAR, Center for High Pressure Science and Technology for Advanced Research)와 미국 카네기연구소 (CIS, Carnegie Institution for Science)를 한양대학교에 유치하여 국내에서 다이아몬드 앤빌셀을 이용한 초고압 연구분야를 선도하였음. 본 연구를 시작으로 국내에서도 수십 GPa 초고압상태의 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 아시아고압학회를 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), 한양대부설 고압연구소장 (2019.08.01~현재) 등 다양하고 전문적인 교육-행정 경험을 갖추고 있음. 특히 물리학과 실험주임 시절에는 일반물리학, 일반역학, 그리고 전자기학과 현대물리학 실험실장비와 교육 시설을 대폭 개선하여 본 학과 현대물리학 실험실이 대학교육협의회주관 학과평가에서 모범 교육 실험실로 선정되도록 노력하였고 (2009), 물리학과장시절에는 장학기금, 교육전담교원채용 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 과학대중화 및 고압관련 연구를 국내에 보급하는데 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 수행의지

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	전체교수 수	참여교수 수	참여비율(%)	비고
물리학과	2021년 2학기	21명	9명	42.8%	
	2022년 1학기	23명	9명	39.1%	

<표 1-2> 최근 1년간(2021.9.1.~2022.8.31.) 교육연구팀 대학원 학과(부) 소속 전임교수 변동내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1	김은규	2022년 1학기	전출	정년퇴임	

<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	2021년 2학기	15	11	73.3%	12	3	25%	42	18	42.8%	69	32	46.3%
	2022년 1학기	17	12	70.5%	12	4	33.3%	34	19	55.8%	63	35	55.5%
참여교수 대 참여학생 비율		2021년 2학기:3.28			2022년 1학기:2.73								

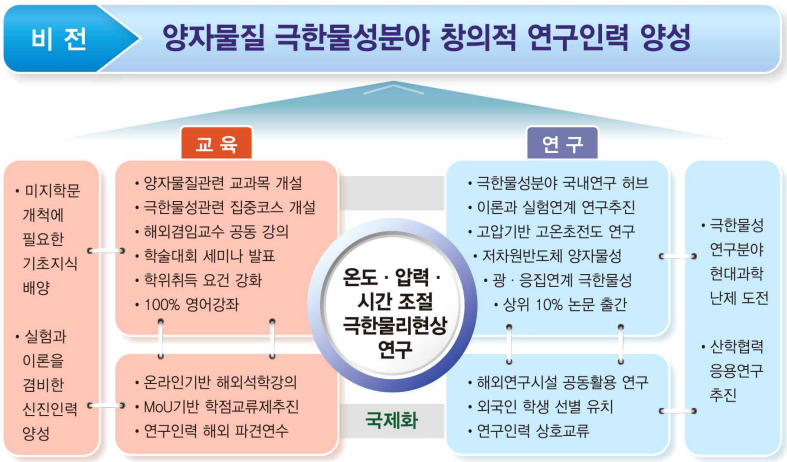
- 전임교원 전출
  - 김은규 교수: 2022년 8월 정년퇴임

2. 교육연구팀의 비전 및 목표 달성정도

교육연구팀의 비전 및 목표

본 교육연구팀의 비전은 극한물성분야의 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 물리환경에서 시공간 비대칭성과 초전도를 포함한 양자특이성 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 (2021.09~2022.08)

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

BK 세미나 운영

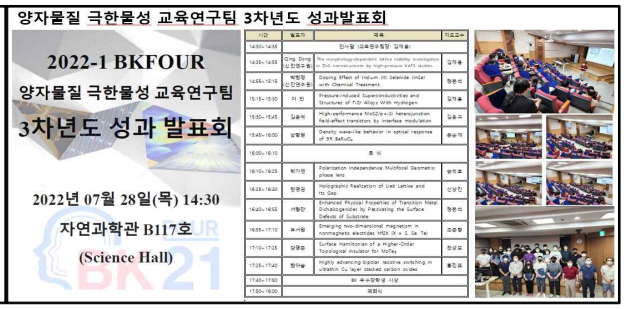
매주 BK 세미나를 개최하고 전문가들을 초청하여, 대학원생이 최신 연구 동향을 습득할 수 있도록 하였음. 2021년 9월 2일부터 2022년 6월 8일까지 총 42회 실시함. (세부내용 표<2-10> 참조)

[대면 및 비대면 BK 세미나 운영 (코로나 방역 지침 준수함)]

BK 성과발표회

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

[2022년 1월 18일 2차년도 성과 발표회]



[2022년 1월 18일과 2022년 7월 28일 장학금수여식]

BK 물리학과 심포지엄

본교 졸업생의 대학원 진학률 증가를 위해, 2022년 9월 16일~17일 심포지엄을 실시하였음. 교수, 대학원생, 학부생(약 130명)이 참여하여, 학부생들에게 대학원에 대해 소개하였음.

[2022년 9월 16~17일 심포지엄 단체 사진]

대학원생 연구 성과

- 박사과정생(석박통합과정 포함) 중심을 통한 연구력 및 논문의 질적 향상을 유도함.

> **IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 5편**
> **환산보정 IF 합 3.53: 2017 – 19 대비 7% 증가**
> **환산보정 ES 합 13.07: 2017 – 19 대비 84% 증가**
> **참여대학원생 논문 15편: 2017 –19 연평균 (15.7편) 과 비슷한 수준**

- BK 선정 평가 시 제시한 1단계 참여대학원생 연구실적 목표
  - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 6편
  - 환산보정 IF 합 매년 10% 증가
  - 환산보정 ES 합 매년 10% 증가

<표 1-5> 참여대학원생의 연구실적

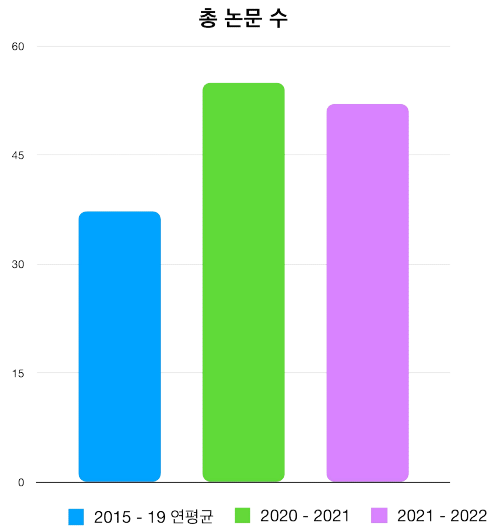
	지난 1년 (2021.9-2022.8)	2017-19 연평균	1단계 목표 (2.5년) (2020.9-2023.2)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	5	1.67	6
환산보정 IF 합	3.53	3.31	10.92
환산보정 ES 합	13.07	7.09	23.40

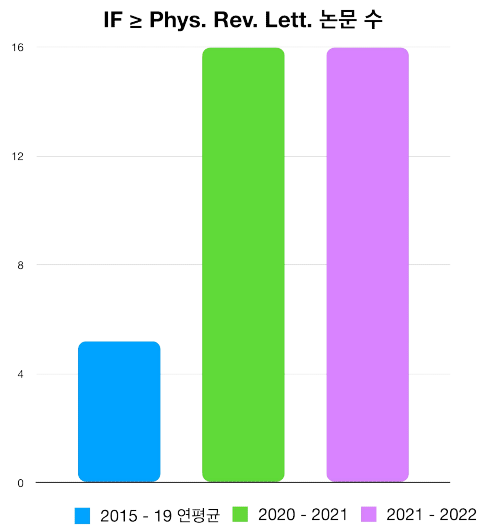
- 환산보정 IF 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 65% 달성**
- 환산보정 ES 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 124% 달성**

참여교수 연구성과

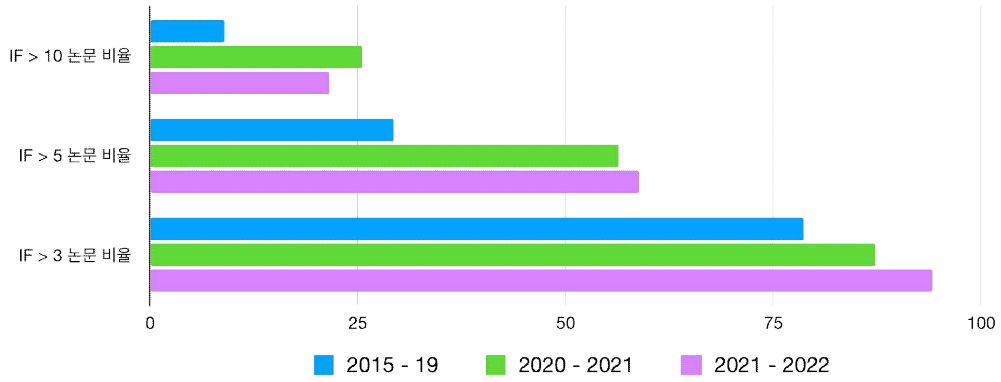
- **참여교수들의 발표논문 52편, IF 합 307.04**
- **IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 16**
- **IF > 10.0 논문수: 11편 (21.1%), IF > 5.0 논문 수: 31편 (59.6%), IF > 3.0 논문 수: 49편 (94.2%)**

- **논문 수**
  - 총 논문 수: 2015 – 2019년 논문 수 연평균 (37편) 대비 **40% 증가**. 전년도 (55편)와 비슷한 수준.
  - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 – 19 연평균 대비 **207% 증가**. 전년도 (16편)와 같음.





- **우수 논문 비율**
  - IF > 10 논문 비율 (21%): 2015 – 2019년 대비 **144% 증가.**
  - IF > 5 논문 비율 (59%): 2015 – 2019년 대비 **103% 증가. 목표치 (≥ 40%) 초과.**
  - IF > 3 논문 비율 (94%): 2015 – 2019년 대비 **19% 증가.**
  - 질적 우수 논문 비율 지속적 증가.



- **연구성과 세부지표**

<표 1-6> 참여교수 연구실적

	지난 1년 (2021.9-2022.8)	2015-19 연평균	증감 (%)	1단계 목표(~ 2023)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	16	5.2	+207	28
IF > 5 논문 비율 (%)	59	29	+103	35
환산보정 IF 합	8.08	5.31	+52	17.52
환산보정 ES 합	25.96	20.05	+29	66.17

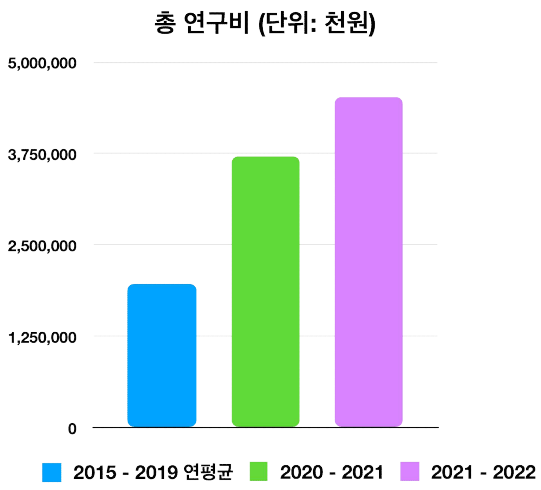
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2020 - 2022 기간 동안 32편 출간으로 **1단계 목표치 (28편) 초과 달성**.
- IF ≥ 5인 논문의 비율 59%: 2015-19 대비 약 2배, 2020-21과 비슷한 수준. 목표치 **(≥ 40%) 초과.**
- 환산보정 IF 합: 2020 - 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 93% 달성.**
- 환산보정 ES 합: 2020 - 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 71% 달성.**

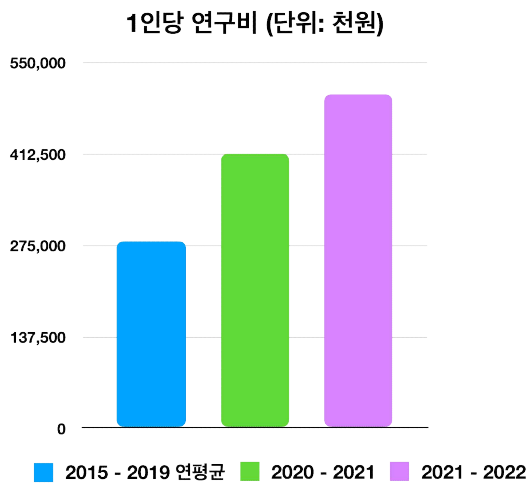
- **연구비**

<표 1-7> 참여교수 연구비 수주 실적

	지난 1년 (2021.9-2022.8)	2020-2021	2015-19 연평균
연구비 총액 (천원)	4,516,109	3,721,926	1,970,844
1인당 연구비 (천원)	501,789	413,547	281,549

- 2021 - 2022년도 연구비 총액 4,516,109,674원, 참여교수 1인당 연구비 501,789,964원.
- 2017 - 2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 129% 증가, 1인당 연구비 78% 증가.
- 전년도 (2020 - 2021) 대비 연구비 총액 21% 증가, 1인당 연구비 21% 증가.
- 해외 연구비 수주: 미국 공군 연구소 (Asian Office of Aerospace Research and Development) 본 교육연구팀 참여교수인 홍진표 교수가 미공군연구소로부터 우수 평가를 받아 수주한 과제임.



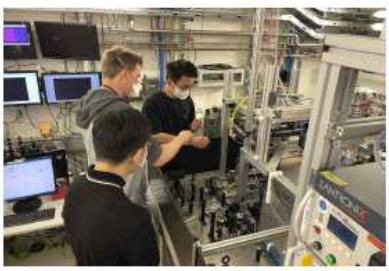


- 2017 - 2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 129% 증가, 1인당 연구비 총액 78% 증가.
- 전년도 (2020 - 2021) 대비 연구비 총액 21% 증가, 1인당 연구비 총액 21% 증가.

국제화

참여대학원생 국제공동연구 성과

- 학회발표: 국제학술대회 22건, 국내학술대회 18건, 학회수상 실적 2건.
- 박사과정생은 중국 Yanshan University의 교수 연구실을 28일 동안 방문하여 다이아몬드 앤빌셀을 이용한 C_{60} m-xylene의 초고압에서의 물성연구 수행 후, 결과물을 2022.01, Nano Research (IF:8.897)에 게재하였음.
- 학생은 미국 Advanced Photon Source에 고압을 이용한 방사광가속기시설 빔타임에 2021.08-22.07 기간 동안 4회 선정되어 초고압에서의 수소화물 구조분석에 관한 연구를 수행하였음.
- 학생은 유럽자유전자방사광가속기 실험에 13개국으로 형성된 유럽연구팀과 공동으로 실험에 온라인으로 참여하여 (2022.06.10.-12) 초고압-초고온에서의 텅스텐과 질소 반응을 나노단위에서 실시간으로 측정, 분석하였고 관련연구를 논문작성 중에 있음.
- 학생은 독일 함부르크에 위치한 PETRA-III 방사광가속기연구소에 신청한 빔타임이 선정되어 (2022.07.06.-11) Se, Ln, Mg,를 기반으로하는 초고압 수소화물의 구조분석관련 연구를 수행하였고, 결과를 논문준비 중에 있음.



- 연구인력 파견: 박사과정생은 북경에 위치한 중국고압연구소 (Center for High Pressure Science and Technology for Advanced Research)를 방문하여 박사 연구팀과 함께 초고압에서의 그리고 고온초전도체 발굴을 위한 수소화물 형성, 그리고 초전도체의 자화현상에 관한 공동연구를 수행하고 있음.

참여교수의 국제 학술활동 실적

- The 10th Asian Conference on High Pressure Research [2021.11.21-25]
  - 학술대회 위원장 및 조직위원 활동 (김재용, 문순재, 조준형, 천상모 교수 주최)
  - 연구 분야 : 압력, 극한물성, 초전도
- 한양대-길림대-평지아대 심포지엄
  - 김재용, 문순재, 천상모 교수 주최
  - 연구 분야 : 양자물질, 극한물성
- The 1st Workshop on Quantum Materials under Extreme Condition
  - 김재용, 문순재 교수 주최
  - 연구분야: 양자물질, 극한물성, 초전도
- The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2022)
  - 정문석 교수가 조직위원으로 참여
  - 연구 분야 : 반도체, 저차원 물질, 인공지능, 양자정보, 에너지 소재, 광소재
- Holography 2022 : quantum matter and spacetime
  - 신상진 교수가 APCTP와 함께 주최
  - 연구 분야 : 홀로그래피, 강상관계, 양자정보
- 미국, 중국, 베트남, 유럽 등과의 공동연구결과 논문 11편 출간

국제공동 연구네트워크 추진 성과

- 해외우수학자 겸임교수 활용: 중국 HPSTAR 소속 교수, 교수, Yanshan University 소속 교수 등을 본교 특임교수, 겸임교수로 각각 발령하여 대학원생 논문, 연구활동 지도 수행
- 본 제안서 제출 시 6건 외 MoU 1건, 막스프랑크연구소 등과 LOI 2건 신규 체결
  내용: 양자물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구, 공동심포지엄 개최
- MoU 기반 해외우수인력 유치:
  - 중국 Linyi University와 맺은 MoU를 기반으로 교수 추천으로 2022.3월 학기부터 학생을 석박통합과정으로 유치함.
  - 학생 (중국 Yantai University 2022.05 졸업)을 국내 우수연구학생 유치프로그램으로 석사과정으로 유치함.
  - 김재용 교수는 중국 Yanshan 대학교 물리학과 박사과정생을 교환학생으로 유치하여 수소화물 초전도체관련 공동연구를 수행하였음 (2021.10.01.-2022.05.31.).
  - 중국 길림대학교 물리학과소속 박사를 2021.10.01.부터 본 교육연구팀 신진연구인력으로 활용하여 두 기관의 국제공동연구의 가교역할을 수행하고 있음.

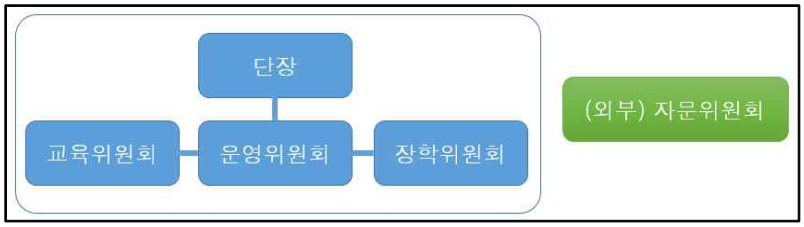
교육연구팀 구성

교육연구팀 구성 체계 완성 및 운영

- 주기적 운영위원 회의를 통한 사업팀 운영전반에 관한 분석 및 모든 참여교수가 참가하는 회의를 통해서 본 교육연구팀의 주요 안건을 의결하고 회의록을 작성함.
- 운영위원회 구성
  본 교육팀 참여교수 4인(김재용 교수, 문순재 교수, 정문석 교수, 천상모 교수)을 구성하여 운영함.
- (외부) 자문위원회 구성
  비참여교수(교수, 교수)를 위촉하여 자문과 감사를 수행함.

• 교육위원회 구성

본 교육팀 참여교수 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]

벤치마킹 대상과의 비교 분석

본 교육 연구팀은 교육과 연구 관점에서 미국 라이스 (Rice) 대학과 중국 길림 (Jilin) 대학을 벤치마킹 대상으로 선정하였고 비교 분석을 통해 수립한 목표를 지난 1년간 아래와 같이 점검함.

• 교육 프로그램을 기초, 핵심, 심화, 특성화로 나누어 구성하고, 물리학의 한계에 도전하는 문제해결 능력과 융합적 사고를 갖춘 후속 인재를 양성할 수 있도록 하였음. (표<1-8> 참조)

• 석박사(박사포함)과정생의 예비시험, 종합시험 규정을 강화하고, 박사과정생의 경우 졸업에 필요한 요건을 제1저자로 출간한 SCI급 논문 IF 합 6이상, 해외 학회 구두 발표를 1회 이상으로 강화하였음. (내규 규정)

• 특히, 문제해결중심의 강의를 강화하기 위해서 IC-PBL수업을 교과목 개발을 의결하고, 2021년 2학기 대학원 교육과정부터 새로운 IC-PBL수업을 추가하였음. (표<1-8> 참조)

<표 1-8> 교육실적과 교과과정 편성표

구분	2021년 1학기	2021년 2학기	2022년 1학기	2022년 2학기	2023년 1학기
기초과목	양자물리학	전자기학	고전역학	통계역학	양자물리학
핵심과목			고체물리학1	고체물리학2	
심화과목 및 IC-PBL 과목	위상물리2	위상광자학	다체계1	다체계2	위상물리1
	강상관계1	저차원반도체 물성연구	강상관양자 물질분광학	초고압상변이와 수송현상	강상관계1
		초끈이론과 강상관계		저항변화메모리와 스핀트로닉스	
특성화과목	광학실험실습		광학설계실습		광학실험실습
공통과목	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론	첨단물리특론

교육연구팀의 비전 및 목표 달성을 위한 애로사항 등 기술

- 본 교육연구팀은 코로나-19 상황에도 불구하고 교육/연구/국제화 부분에서 제안서에 기반하여 지속적으로 활동을 하고 있음.
- 대면과 비대면을 병행하여 통한 국제공동연구를 진행하고 있으며, 상황이 여의치 않은 경우 해외연사를 온라인으로 초청하여 진행하였음.
- 코로나 상황이 완화되면, 극한물성분야의 전문가 초청, 국제공동연구 활성화, 국제여름학교 개최 등 본 교육연구팀의 목표인 극한물성분야에서 국제 허브가 되도록 프로그램을 진행해나갈 계획임.
- 코로나-19 상황이 호전되더라도 당분간은 학생들 동원한 대규모 공식행사를 진행하기에는 아직 부담스러운 상황인만큼, 온라인과 개인 네트워크를 활용하여 지속적으로 연구 및 교육활동이 유지해 갈 계획임,

II 교육역량 영역

□ 교육역량 대표 우수성과

대학원생 연구 실적

<표 2-1> 지난 1년 (2021.9.1.~2022.8.31.) 참여대학원생의 연구실적

	지난 1년 (2021.9-2022.8)	2017-19 연평균	1단계 목표 (2.5년) (2020.9-2023.2)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	5	1.67	6
환산보정 IF 합	3.53	3.31	10.92
환산보정 ES 합	13.07	7.09	23.40

- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 5편
- 환산보정 IF 합 3.53: 2017 – 19 대비 7% 증가
- 환산보정 ES 합 13.07: 2017 – 19 대비 84% 증가
- 참여대학원생 논문 15편: 2017 -19 연평균 (15.7편) 과 비슷한 수준

- BK 선정 평가 시 제시한 1단계 (3년 간) 참여대학원생 연구실적 목표
  - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 6편
  - 환산보정 IF 합 매년 10% 증가
  - 환산보정 ES 합 매년 10% 증가
  - 환산보정 IF 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 65% 달성**
  - 환산보정 ES 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 124% 달성**

대학원생 우수 연구 성과

- 광학적 위상학적 공진 모드 연구 (Physical Review Letters, IF 9.185)
- 본 연구에서는 위상학적 접합 모드는 공진모드의 에너지를 경계로 집속시키는 에너지 Funneling 효과를 수반한다는 것을 입증하였다. 이러한 위상 메타표면 접합은 고효율의 지향적 광학빔 출사를 통해 OLED나 color filter에서 발생하는 원치 않는 diffraction loss를 줄이고 효율적 소자 동작을 보장하는 원리를 제시하였다.

- 양자 임계점 근방에서 이상한 금속과 위상 액체에 대한 연구 (Journal of High Energy Physics, IF 6.379)
- 양자 임계점(QCP) 근처의 페르미온 스펙트럼에 대한 스칼라 condensation을 고려하여 금속에서 절연체로의 phase transition이 있으며 위상적으로 보호되는 페르미온 Zero mode가 존재함을 발견하였다. 또한, T-linear resistivity를 갖는 strange metal phase가 horizon을 가지고 있는 중력에 대해 온도가 충분히 높을 때 나타남을 보였다. Phase boundary들을 상태 밀도에 따라 계산하여 QCP 근처의 위상 다이어그램 구조에 대한 통찰을 제공하였다. 이러한 발견에 힘입어 이후 여러 가지 물질에서 일어나는 양자상전이점 부근에서의 페르미온 spectrum이 모두 같은 물리학에 의해 나타날 것인가를 확인하려는 실험 물리학자들과의 공동연구를 계획하고 있다.

- 고압 (25 GPa)하에서 C_{60} 구조체의 전기적, 구조적 특성 연구 (NANO RESEARCH, IF 10.269)
- 소위 buckyball로 알려진 C_{60} 구조체는 전기적 기계적 성질이 잘 알려져 있으나, 압력에 대한 물성변화는 아직 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 압력을 50 GPa 까지 인가하면서 전기적 특성과 구조변형을 자세히 분석하였다. 그 결과 압력이 25 GPa 까지는 금속성을 보이다가 이후에는 반도체성을 띄게 되고 비교적 안정한 구조체로 알려진 C_{60} buckyball은 40 GPa 이후부터는 구조가 허물어지기 시작하여 결국 비정질형태로 변환됨을 확인하였다. 하지만 가해준 압력을 제거하였을 경우, 다시 원형으로 복구되었고 이는 C_{60} 구조체의 탄성이 매우 높다는 점을 시사한다.

- 2차원 물질인 MoS_2를 이용한 field-effect transistor의 성능 분석 (NANO RESEARCH, IF 10.269)
- MoS_2는 n-type 특성을 지닌 전형적인 2차원 층상구조 물질 중 하나이다. 일반적으로 MoS_2는 절연층에 의한 성능이 감소하는 현상이 나타난다. 본 연구에서 MoS_2를 SiO_2/p+-Si 기판 위에 junction field-effect transistor를 제작해서 MoS_2와 절연층인 SiO_2가 겹치는 비율에 따라 소자 성능을 분석하였다. MoS_2와 절연층이 겹치는 부분이 없는 경우 소자의 성능이 가장 뛰어났다. 그리고 절연층의 비율이 늘어날수록 성능이 감소하는 것으로 분석되었으며, 소자의 안정성 또한 하락하는 것으로 분석되었다. 2차원 물질인 MoS_2의 성능과 절연체의 연관성을 분석하여 소자의 성능의 개선 가능성을 제시하였다.

참여교수 교육 대표 실적

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 제고하고, 더 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. (2022년 1학기 개설)

다체계물리 1 (천상모 교수)

최근 전세계적으로 연구되고 있는 양자물질의 다체계 현상을 연구할 수 있도록 중요한 개념과 중요한 시스템을 소개하였다. 다체계를 이루는 입자 (페르미온, 보존)의 제 2 양자화를 학습하고, 상호작용이 없는 페르미온과 보존이 만족하는 양자통계현상을 찾고 이를 분석하여 보고된 결과와 비교하였다. 평균장론을 이용하여, 대칭성 붕괴 시, 자성이 발현되는 조건과 특징을 분석하여 실험과 비교하였다. 파인만 다이어그램을 학습하여 다체계 현상을 직관적으로 이해할 수 있도록 하였다. 학생들은 중간고사, 기말고사를 통해서 주요 개념과 계산법을 연습하였으며, 자신의 연구와 관련된 프로젝트를 진행한 후 보고서를 제출하였다. (2022년 1학기 개설)

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

대학원 교육 과정의 전체 구성과 실적

교육 과정 전체 구성에 관련된 실적

- 본 교육연구팀은 극한물성 양자물질의 물리현상을 이해하고 창의적이고 독립적인 연구능력과 사회적 소통능력을 갖춘 인재를 양성하고자 1차 년도에 마련한 대학원 교육과정을 2차 년도에는 보완하여 운영하였다.
- 기존 교육과정의 충실성, 지속성 반영
  - 교육과정은 크게 정규과목과 비정규과목으로 나누고 정규과목은 기초, 핵심, 심화, 실험연계과목으로 분류하여 연구에 필요한 과목을 입학 시부터 곧바로 수강할 수 있게 하였음.
  - 학생들이 매 학기 기초 핵심, 심화 혹은 실험연계과목 중에서 각 1과목씩 선택하여 수강함으로써 연구와 교육이 유기적인 연관성을 가지고 운영될 수 있도록 하였음.
  - 학생들의 연구 참여 기회를 독려하고 전공과목 선택의 다양성을 넓히고자, 그 동안 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 (2021.9.1.~2022.8.31.) 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	2021년 1학기	2021년 2학기	2022년 1학기	2022년 2학기	2023년 1학기
기초과목	양자물리학	전자기학	고전역학	통계역학	양자물리학
핵심과목			고체물리학1	고체물리학2	
심화과목 및 IC-PBL 과목	위상물리2	위상광자학	다체계1	다체계2	위상물리1
	강상관계1	저차원반도체 물성연구	강상관양자 물질분광학	초고압상변이와 수송현상	강상관계1
		초끈이론과 강상관계		저항변화메모리와 스핀트로닉스	
특성화과목	광학실험실습		광학설계실습		광학실험실습
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, 공통연구과목으로 개편하였으며, 지난 1년간 11과목을 개설하였음. 특히, 2차 년도에는 IC-PBL 과목을 새로 추가하여 문제해결중심의 교과목을 개설하였다. 지난 1년간의 운영현황과 차년도 계획은 다음과 같음.

<표 2-4> 지난 1년 (2021.9.1.~2022.8.31.) 정규과목 개설 현황

구분	과목명	개설학기	학점 수	담당교수
기초과목	고전전자기학	2021년 2학기	3	
	고전역학	2022년 1학기	3	
핵심과목	고체물리학1	2022년 1학기	3	
심화과목	강상관양자물질분광학	2022년 1학기	3 (IC-PBL)	
	초끈이론과강상관계	2021년 2학기	3	
	위상광자학	2021년 2학기	3	
	저차원반도체물성연구	2021년 2학기	3	
	다체계1	2022년 1학기	3 (IC-PBL)	
특성화과목	광학설계실습	2022년 1학기	3	
공통연구과목	첨단물리특론	2021년 2학기	1	
	첨단물리특론	2022년 1학기	1	

<표 2-5> 정규과목 개설 계획 (2022.9.1.~2023.8.31.)

구분	과목명	개설학기	학점 수	담당교수
기초과목	통계역학	2022년 2학기	3	
	양자물리학	2023년 1학기	3	
핵심과목	고체물리학2	2022년 2학기	3	
심화과목	반도체소재및물성	2022년 2학기	3	
	다체계2	2022년 2학기	3 (IC-PBL)	
	위상물리1	2023년 1학기	3 (IC-PBL)	
	강상관계1	2023년 1학기	3	
특성화과목	광학실험실습	2023년 1학기	3	
공통연구과목	첨단물리특론	2022년 2학기	1	
	첨단물리특론	2023년 1학기	1	

학사관리 운영 및 지난 1년간의 실적

- 대학원 교육위원회 주관
  연구팀장 김재용 교수가 대학원교육위원장으로 활동하였고, 참여 교수인 문순재 교수, 정문석 교수가 교육 위원회에 참여하여, 대학원 학사 운영의 전반적인 업무를 관할하였음.

- 대학원생 연구력 향상을 위한 조교 부담 경감
  코로나로 인해 온라인 실험 수업과 거리두기 단계별 실험 수업을 진행해야하는 상황을 해결하기 위하여, 본부와 논의하여 교육조교 TO를 기존 14명에서 19명으로 증원하였음. 또한, 학부봉사장학생 제도를 통해서 학부생 조교를 지난 1년간 9명을 선발하여 기초과목 이론 채점 봉사활동을 하였음. 이러한 방식으로 대학원생 조교 부담을 줄여나가고 있음. 학부봉사장학생은 1학기에는 학생이 선발되었고, 2학기에는 이 선발되었음.

장학금 운영 실적

본 연구팀과 관련된 장학금의 현황은 아래 <표 2-6>에 정리되어 있음. 본 교육연구팀은 참여 대학원생이 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 극한물성연구에 기여한 우수대학원생을 선발하여 BK성과발표회에서 BK 우수논문상을 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)

- 한기수 장학금
  물리학과동문 (87학번 한기수)이 기부한 장학금으로 본교 물리학과를 졸업한 우수한 대학원 입학생 4명을 선발하여, 300만원씩을 지원하였음. 본 교육연구팀에서 3명 선발.
  일시: 2022.9.16.
  수상자:

[2022.9.16. 한기수 동문 장학금 수여식]

- 성적우수자 교육봉사 장학금

  학부 3, 4학년 학부생이 자원하여 전공코어과목의 채점조교업무를 수행하고, 소정의 장학금과 표창장을 받을 수 있는 교육봉사제도를 실시하였음.

<표 2-7> 학부생 교육봉사 장학생 현황

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

- BK-RA/TA 연구장학금 지급

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

<표 2-8> BK-RA/TA 연구장학금 현황

	2021년 2학기	2022년 1학기
BK-RA/TA 장학금		

- BK 우수논문상

  본 연구팀은 BK 우수논문상을 BK 운영위원회를 통하여 신설하여, 우수논문을 출간한 참여대학원생에게 장학금을 지급하고, 우수한 연구를 장려하고 있음. 2차년도 수상자는 다음과 같음.

  일시: 2022년 1월 18일, 수상자:

  일시: 2022년 7월 28일, 수상자:

[2022년 1월 18일 장학금수여식]

[2022년 7월 28일 장학금수여식]

❖ BK 성과 발표회

- 참여 대학원생의 연구 의욕을 고취하고 연구 역량을 제고하기 위해, BK 운영위원회에서 매년 2회(1월, 7월)의 BK 성과발표회를 개최함. 이를 통해 대학원생들의 연구 결과를 공유하고, 우수 연구를 수행한 대학원생에게 최우수상, 우수상, 장려상을 수여하고 장학금을 지급함.
- 그 동안 2번의 성과 발표회를 진행하였고, 6명의 우수 대학원생에게 상장 및 장학금을 수여하였음.
  일시: 2022년 1월 18일, 수상자:
  일시: 2022년 7월 28일, 수상자:

시간	발표자	제목	지도교수
14:00~14:05	인사말 (교육연구팀장: 김재용)		
14:05~14:15	오중영	Structure study of selenium hydride by X-ray diffraction under high pressure	김재용
14:15~14:25	김윤석	High-Performance MoS2/p+-Si Heterojunction Field-Effect Transistors by Interface Modulation	김은규
14:25~14:35	김동욱	The origin of suppression of insulator-metal transition in Sr3Ir1-xMnx(2)O7	문순재
14:35~14:45	김선호	Multilayered Geometric-phase Gratings	송석호
14:45~14:55	육태원	Fermionic Perspective Of Holographic Superconductor	신상진
14:55~15:05	박현정 (연구교원)	Controllable Surface Oxidation and Doping Effect of InSe Using Polymer Passivation	정문석
15:05~15:15	유서원	Interlayer Exchange Interaction Driven Topological Phase Transition in Antiferromagnetic Electride Gd2O	조준형
15:15~15:25	한상훈	Symmetry-Protected Solitons and Bulk-Boundary Correspondence in Generalized Jackiw-Rebbi Models	전상모
15:25~15:35	현다솔	highly stable forming-free bipolar resistive switching in Cu layer stacked amorphous carbon oxide_transition between C-C bonding complexes.	홍진표
15:35~15:55	BK 우수장학생 시상		
15:55~16:00	폐회식		

[2021-2학기 성과발표회 포스터 및 온오프라인 발표]

시간	발표자	제목	지도교수
14:30~14:35	인사말 (교육연구팀장: 김재용)		
14:35~14:55	Qing Dong (신진연구원)	The morphology-dependent lattice stability investigation in ZnS nanostructures by high-pressure XAFS studies	김재용
14:55~15:15	박현정 (신진연구원)	Doping Effect of Indium (III) Selenide (InSe) with Chemical Treatment	정문석
15:15~15:30	이 빈	Pressure-induced Superconductivities and Structures of TiZr Alloys With Hydrogen	김재용
15:30~15:45	김윤석	High-performance MoS2/p+-Si heterojunction field-effect transistors by interface modulation	김은규
15:45~16:00	남형원	Density wave-like behavior in optical response of 9R $BaRuO_3$	문순재
16:00~16:10	휴 식		
16:10~16:25	박가영	Polarization Independence Multifocal Geometric phase lens	송석호
16:25~16:40	한영권	Holographic Realization of Lieb Lattice and Its Gap	신상진
16:40~16:55	서형찬	Enhanced Physical Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Passivating the Surface Defects of Substrate	정문석
16:55~17:10	유서원	Emerging two-dimensional magnetism in nonmagnetic electrides Hf2X (X = S, Se, Te)	조준형
17:10~17:25	강명중	Surface Hamiltonian of a Higher-Order Topological Insulator for $MoTe_2$	전상모
17:25~17:40	현다솔	Highly advancing bipolar resistive switching in ultrathin Cu layer stacked carbon oxides	홍진표
17:40~17:50	BK 우수장학생 시상		
17:50~18:00	폐회식		

[2022-1학기 성과발표회 포스터 및 오프라인 발표]

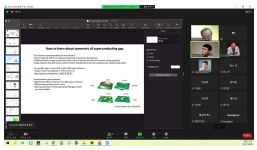
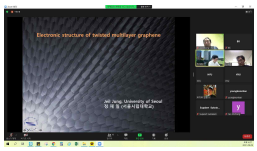
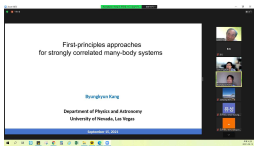
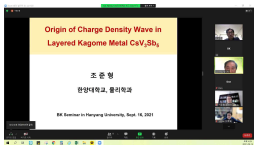
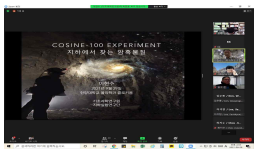
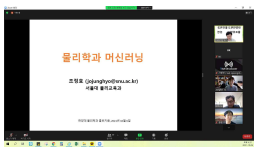
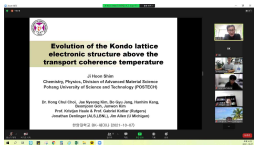
<표 2-9> 성과발표회 발표자와 발표 제목

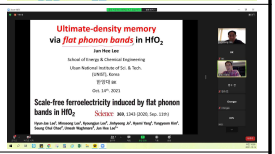
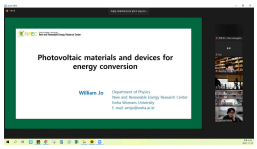
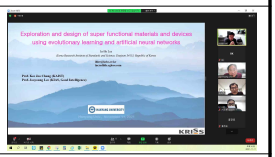
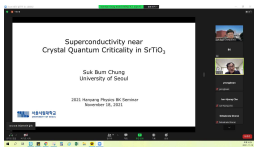
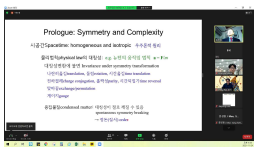
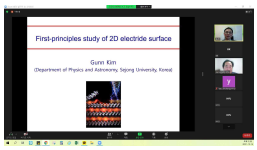
2021년 2학기 성과 발표회 (2022.1.18)		2022년 1학기 성과발표회 (2022.7.28)	
발표학생	제목	발표학생	제목
	Structure study of selenium hydride by X-ray diffraction under high pressure	박사	The morphology-dependent lattice stability investigation in ZnS nanostructures by high-pressure XAFS studies
	High-Performance MoS_2/p^+-Si Heterojunction Field-Effect Tranistors by Interface Modulation	박사	Doping Effect of Indium (II) Selenide (InSe) with Chemical Treatment
	The origin of suppression of insulator-metal transition in $Sr_3(Ir_{1-x}Mn_x)_2O_7$		Pressure-induced Superconductivities and Structures of TiZr Alloys With Hydrogen
	Multilayered Geometric-phase Gratings		High-Performance MoS_2/p^+-Si Heterojunction Field-Effect Tranistors by Interface Modulation
	Fermionic Perspective Of Holographic Superconductor		Density wave-like behavior in optical response of 9R $BaRuO_3$
	Controllable Surface Oxidation and Doping Effect of InSe Using Polymer Passivation		Polarization Independence Multifocal Geometric phase lens
	Interlayer Exchange Interaction Driven Topological Phase Transition in Antiferromagnetic Electride Gd_2O		Holographic Realization of Lieb Lattice and Its Gap
	Symmetry-Protected Solitons and Bulk-Boundary Correspondence in Generalized Jackiw-Rebbi Models		Enhanced Physical Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Passivating the Surface Defects of Substrate
	Highly stable forming-free bipolar resistive switching in Cu layer stacked amorphous carbon oxide_transition between C-C bonding complexes.		Emerging two-dimensional magnetism in nonmagnetic electrides Hf_2X (X = S, Se, Te)
			Surface Hamiltonian of a Higher-Order Topological Insulator for $MoTe_2$
			Highly advancing bipolar resistive switching in ultrathin Cu layer stacked carbon oxides

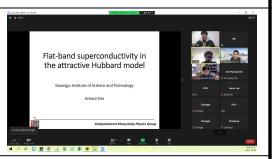
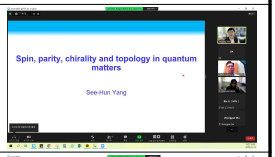
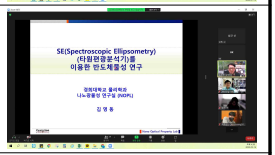
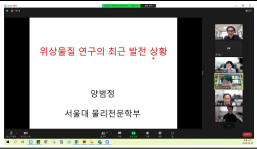
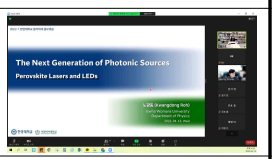
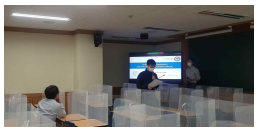
BK 세미나 시리즈 개설

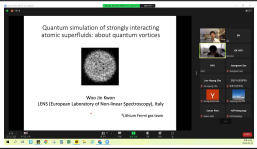
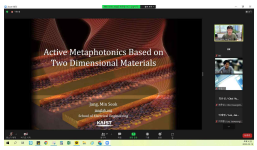
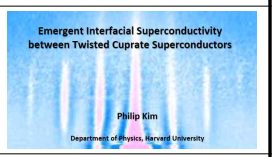
- 본 교육연구팀 연구분야 및 인접 분야의 최신 동향을 습득하고 차세대 학자를 발굴할 목적으로 BK세미나 시리즈를 개설함. 양자물질 연구 분야 국내외 전문가들을 초빙함.
- 양자물질 연구분야 국내외 전문가를 초청하여 총 42회의 세미나를 진행함 (<표 2-10> 참조).

<표 2-10> BK 세미나 시리즈 목록

연번	일시	강연자 (소속)	제목	증빙자료
1	2021년 09월 02일		Unconventional superconductivity in heavy fermion UTe_2 and topological semimetal YPtBi	
2	2021년 09월 08일		비틀린 그래핀 다중층의 물리적 성질	
3	2021년 09월 09일		Electronic structure of twisted multilayer graphene	
4	2021년 09월 14일		Superconductivity and Structural Changes in Tantalum Disulfide under Ultrahigh Pressure	
5	2021년 09월 15일		First-principles Approaches for Strongly Correlated Many-body Systems	
6	2021년 09월 16일		Origin of Charge Density Wave in Layered Kagome Metal CsV_3Sb_5	
7	2021년 09월 29일		지하에서 찾는 암흑물질 - COSINE experiment	
8	2021년 10월 06일		물리학과 머신러닝	
9	2021년 10월 07일		Evolution of the Kondo lattice electronic structure above the transport coherence temperature	

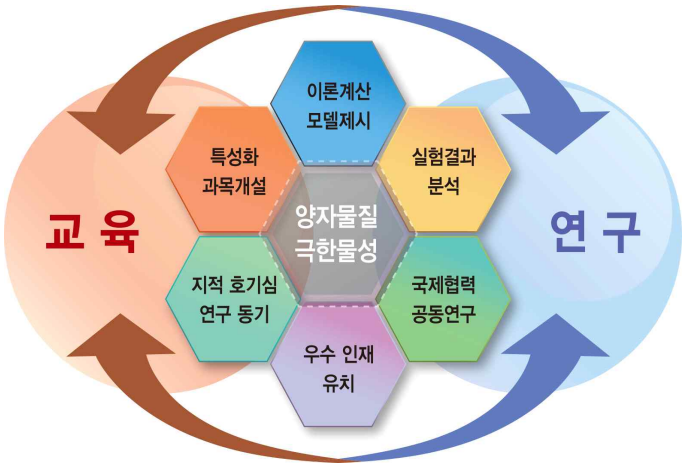
10	2021년 10월 13일		Antisymmetric interlayer exchange coupling in magnetic multilayers	
11	2021년 10월 14일		Ultimate-density memory via flat phonon bands in HfO_2	
12	2021년 10월 27일		Functional rare earth ion defects and the related phenomena	
13	2021년 11월 03일		Optical spectroscopy of 2-dimensional van der Waals materials	
14	2021년 11월 10일		Photovoltaic materials and devices for energy conversion	
15	2021년 11월 11일		Exploration and design of super functional materials and devices using evolutionary learning and artificial neural networks	
16	2021년 11월 17일		Valley Polarization and Exciton Hall Effect in Transition Metal Dichalcogenides	
17	2021년 11월 18일		Superconductivity near ferroelectric quantum critical point in $SrTiO_3$	
18	2021년 11월 24일		2021년 노벨상: 복잡계의 물리	
19	2021년 12월 01일		Inverse Photoemission Spectroscopy for Direct Measurement of Energy Gaps in OLED Materials	
20	2021년 12월 02일		Non-magic angle twisted bilayer graphene: Double layer 2DEG with strong coupling	
21	2021년 12월 16일		First principles study of two dimensional Gd_2C electrides	

22	2021년 12월 22일		Ultrafast and helicity-controlled optical investigation on a charge-density wave Weyl semimetal $(TaSe_4)_2I$	
23	2021년 12월 30일		Flat band superconductivity in the attractive Hubbard model	
24	2022년 01월 03일		Giant Jahn-Teller distortion in geometrically frustrated infinite layer lattice	
25	2022년 01월 13일		Spin, parity, chirality and topology in quantum matters	
26	2022년 03월 16일		Ellipsometry를 이용한 반도체 시스템의 비파괴 분석연구	
27	2022년 03월 23일		New horizons of nano-spectroscopy and -imaging	
28	2022년 03월 30일		Recent progress in the study of topological phases	
29	2022년 04월 06일		Flat-surface-assisted physical phenomena occurring in metal thin film	
30	2022년 04월 12일		Experimental manifestation of electronic characteristics of quantum matter via advanced electron spectroscopy	
31	2022년 04월 13일		The Next Generation of Photonic Sources - Light-Emitting Devices	
32	2022년 04월 19일		Coexistence of ordered states and two-phase superconductivity in the heavy-fermion superconductor $CeRh_2As_2$	
33	2022년 04월 26일		Novel Superconducting Phases in Unconventional Superconductors: FFLO state and Ising Superconductivity	

34	2022년 04월 27일		First-principles Study of Electronic Properties of Mixed dimensional 2D/3D Heterostructures	
35	2022년 04월 29일		Investigation of Quantum Effects in Quantum Magnetic Materials	
36	2022년 05월 03일		Photoinduced ultrafast dynamic phenomena in strongly correlated electron system	
37	2022년 05월 04일		10th anniversary of Higgs discovery: past, present and future	
38	2022년 05월 10일		Quantum simulation of strongly interacting atomic superfluids: about quantum vortices	
39	2022년 05월 11일		A Hidden Symmetry: Massive Neutrinos at the Energy Frontier	
40	2022년 05월 18일		Active metaphotonics based on two dimensional materials	
41	2022년 05월 24일		Toward realization of novel superconductivity based on twisted van der Waals Josephson junction in cuprates	
42	2022년 06월 08일		반도체와 함께한 40년	

교육과 연구의 선순환 구조 구축 및 연구역량의 교육적 활용 방안

극한물성 연구에 특화된 과목들이 연구내용에 직접 적용되고 연구에서 얻은 결과들이 교과과정에 반영되는 등 교육과 연구가 선순환구조를 유지하는 것은 첨단연구를 수행하는데 있어 매우 중요함. 아래 그림은 극한물성연구를 수행함에 있어 교육과 연구가 얼마나 직접적으로 연관되어 있는지를 보여주는 개념도임. 예를 들어, 이론계산으로 모델을 제시하면 이를 실험결과에 적용할 수 있고 국제공동연구를 통하여 연구결과를 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 연구결과에 직접 연결되어 선순환 구조를 이루도록 할 것임.



[교육과 연구의 선순환 구조를 나타내는 개념도]

- 연구와 교육이 선순환 구조를 이루기 위해 학교정책으로 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

과학기술산업사회문제해결을 위한 실험실습 프로그램

- 광학설계실습 (2022학년도 1학기)

본 교육연구팀은 과학기술 분야 뿐 아니라 산업·사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는데 의견을 모으고, 해당 교과목을 교과과정에 포함시켰으며, 현재 운영 중이다. “광학설계실습” 강좌에서는 Virtual Lab 이라는 전산모사 프로그램을 활용하여 고집적 고효율 광소자 및 반도체 소자를 설계하는 실습을 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

본 교육연구팀이 소속된 물리학과는 ㈜ 의 지원으로 자연과학관에 대규모 청정 항온항습 실험실을 구축하였음. 본 교육연구팀은 이를 적극 활용할 수 있는 IC-PBL 교과목 "광학실험실습"을 2023학년도 1학기에 개설할 예정임. 대부분의 대학에서 실험실습 교과목은 학부 교육과정에만 개설되어 있음. 하지만 본 교육연구팀은 과학기술 분야 뿐 아니라 산업·사회 분야의 문제 해결에 직접적으로 연관되는 실험실습 과목이 대학원 교육과정에도 필요하다는데 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.

나노반도체학과와의 연계 프로그램 운영

본 교육연구팀 참여교수인 홍진표 교수는 2007년 6월부터 본교 나노반도체 공학과 겸임교수로서 "차세대 반도체 핵심 인력 맞춤형 교육사업"의 일환으로 와 산학연계 프로그램에 참여하고 있음. 또한 나노반도체학과의 효율적인 운영과 산학협력의 원활한 진행을 위하여 설립된 운영위원회에도 참여하고 있음. 산업과 직접적으로 연계된 본 학과의 교육목표는 나노미터단위 극한 크기로 집적도가 높아진 반도체 소자의 동작원리를 양자역학적인 측면에서 규명하는 것이며, 이에 필요한 물리학기반 산업계 연관 젊은 인재를 교육하는 것임. 본 연계프로그램은 융합과목 이수를 통하여 국내의 반도체 산업 및 전자소자 산업계는 물론이고 관련 과학기술계 및 학계에 이바지할 수 있는 나노반도체소자, 회로 및 재료분야의 우수한 전문 인력을 양성해오고 있음. 전공분야는 양자물성을 기반으로 나노반도체소자, 나노공정, 고집적회로설계, 시스템 운영, 패키지의 분야가 있으며, 참여하는 대학원생에 대한 혜택으로는 대학원 합격과 동시에 취업, 대학원생 전원 등록금 수혜 (학비 전액 및 학비보조금), SCI급 논문 인센티브 지급, 방학 중 인턴십 참여, 사업장 견학 (중국사업장), 개인 노트북 지급, 영어 합숙 프로그램 지원 등이 있음.

산학 공동연구를 통해 선발-교육된 물리기반 반도체분야의 우수인력들은 졸업 전 우선적으로 에 채용되고 있으며 본 연계 프로그램은 산업분야 인력 향성에 기여 하고 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

- 2022학년도 2학기 운영 예정
- 압력과 온도는 물질의 물성을 결정하는 중요한 물리변수이다. 이와 관련된 최근 관련연구내용을 소개할 예정이다. 특히 100만기압 단위의 매우 높은 압력에서 온도를 조절하면, 초전도, 초에너지, 초강도 등 완전히 새로운 물성을 관측할 수 있기에 본 과목에서는 초고압-초고온, 초고압-초저온 등 극한 상황에서 발현하는 물성을 공부하고자 하며 특히 최신 연구결과들도 함께 논의할 것임. 본 과목을 통하여 양자물질과 양자현상을 이해하기위해 극한영역의 온도-압력-자기장을 (<10 mK, >100 GPa, >20 Tesla) 활용한 최근 연구내용을 학습 함. 또한 국제적으로 본 분야에서 우수한 연구/교육 활동을 수행하는 하버드, 막스플랑크 연구소를 포함한 국내외 저명교수를 초빙하여 "극한환경연구" 분야의 세계적 연구 흐름을 파악하고자 함.

• 저차원반도체물리

- 2022학년도 2학기 운영 예정
- 최근 산업기술의 급격한 발전으로 인해 나타나는 기존의 전통적인 반도체를 이용한 기술의 한계를 극복하기 위해 벌크 반도체가 아닌 양자점, 나노선, 2차원 반데르발스 물질과 같은 저차원 반도체에 대한 관심이 집중되고 있다. 이 과목에서는 저차원 반도체의 기초 물성 및 응용 예시에 대해 학습을 하고 향후 저차원 반도체의 발전방향에 대해 최근 논문들을 이용해 토의할 예정이다. 또한 연구기관이나 산업계의 전문가들을 초빙해 현장의 의견을 들어 실무적인 경험의 폭을 넓힐 수 있도록 하며, 이를 통해 대학원생들의 연구 결과와 실제 산업계의 이슈와의 간극을 좁히는데 그 목표를 둔다.

• 다체계 2

- 2022학년도 2학기 운영 예정
- 최근 전세계적으로 연구되고 있는 위상물질, 위상초전도체, 양자물질의 다체현상을 학생들이 이해하고 연구할 수 있도록 중요한 개념과 중요한 시스템을 소개할 계획이다. 다체계를 이루는 입자(페르미온, 보존)의 제2양자화를 학습하고, 전자계가 만족하는 통계적인 물리량을 유도할 수 있게 한다. 3차원 금속 및 반도체, 2차원 GaAs/$Ga_{1-x}Al_xAs$ Heterostructure에서 전자들의 거동을 다체계 이론을 사용하여 분석하고, 실제 실험과 비교해본다. 평균장론을 이용하여, 대칭성 붕괴 시, 초전도 현성이 발현되는 조건과 특징을 분석하고 실제 실험과 비교한다. 그린 함수 계산을 통해서 다체계 시스템에서 계산할 수 있는 물리량을 계산하고 실제 실험과 비교해본다. 상변화와 대칭성 붕괴를 이해하고, 이를 최근 연구가 활발하게 진행되고 있는 양자 물질에 적용해 본다.

• 위상물리 1,2

- 2023학년도 1학기와 2학기 운영 예정
- 양자 역학 이후에 물질에 대한 현대적인 연구가 진행되고 있으며, 특히, 이 수업은 대학원 수준에서 다체계 물리, 위상 절연체 및 초전도 물리에 대한 소개를 진행하고자 한다. 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 강의할 예정이다. 양자 역학에서 위상현상 / 양자홀 효과와 위상불변량 / 양자 역학에서 대칭성과 시간대칭성 / 블로흐 양자함수와 타이트바인딩 방법론 / 그래핀 및 위상 부도체 / 위상 불변량 및 다양한 차원에서 양자홀효과 / 디락 반도체와 바일 반도체 / 물질의 위상 반응과 위상학적 물리현상 / 위상 초전도체 / 위상 솔리톤 및 위상 스커미온 / 위상 스핀 솔리톤을 강의할 예정이다.

• 극한물성분석

- 2023학년도 2학기 운영 예정
- 물리학에서 온도와 압력을 변수로 물성을 조절할 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. IC-PBL 로 운영될 본 과목은 초고온, 초저온, 초고압 등을 발생시킬 수 있는 실험실에서의 여건을 검토하고 극한조건에서 발생하는 양자현상을 이해할 것이다. 주요 내용으로는 1) 압력과 온도를 매개로 하는 연구, 2) 초전도성과 초강도, 그리고 초에너지장 등을 중심으로 하는 극한환경 연구관련 최근 내용 소개 할 것임. 운영방식은 주제별 팀을 정하고 세미나형식 주제 발표형식도 병행할 것이다.

국제 교류를 통한 양자물질 극한물성 분야에 특화된 교육 개설 계획

- 과학기술 국제 계절학교 개최

  대학원생들을 우수한 연구자로 양성하기 위해서는 정규교과 과정 교육 뿐 아니라 해당 분야의 문제 해결에 직접적으로 도움이 되는 실험실습 교육이 필수적이다. 특히 본 교육연구팀의 교육 및 연구의 주제인 양자물질의 극한물성 연구에는 극한의 압력과 온도 그리고 자기장이 활용되기에 본 연구에 특성화된 중국 북경 고압연구센터(박사, 박사), 미국고자기장연구소 (., 독일막스프랑크 연구소 (박사) 연구원들을 초청하여 온도와 압력 그리고 자기장을 기반으로하는 새로운 물성연구를 연구원들을 대상으로 교육·훈련할 예정이다.

- 국제 석학 초청 강좌 개설

  현 코로나 상황이 호전되어 외국석학을 자유롭게 초청할 수 있는 상황이 조성되는 즉시, 최근 양자물질의 극한물성 연구분야에서 널리 주목을 받고 있는 하버드대학 교수를 비롯한 국내외 석학들을 초청하여 단기강좌를 개설 예정이다. 주로 방학 기간을 활용하여 진행하며 대학원생들의 연구에 실질적인 도움이 되는 주제를 선정하여 강좌를 개설할 계획이다.

- 국제학회를 연계한 특성화 교육

  김재용 교수는 매년 양자물질 극한물성 분야의 국제 학술대회를 조직하고 운영하고 있다. 양자물질 극한물성 연구는 현재 새롭게 태동하고 있는 분야이며 해당 분야에 대한 질 높은 교육 및 연구를 수행하기 위해서는 국내외 연구자들과의 연구 성과 교류가 절대적으로 필요하다. 이를 위해 본 교육연구팀은 양자물질 극한물성 분야의 국제학술대회를 지속적으로 개최할 것이다. 그 첫 번째 행사로써 하버드-MIT-HYU를 연계하여 올해 12월 2일 미국 하버드대학교 현지에서 “Korea-US Workshop for Quantum Materials at Extreme Condition “을 개최하기로 하였으며 다수의 대학원생을 참여토록 할 예정이다.

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)	2021년 2학기	11	3	18	32
	2022년 1학기	12	4	19	35
	계	23	7	37	67
배출 (졸업생)	2021년 2학기	4	1		5
	2022년 1학기	3	2		5
	계	7	3		10

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 입학을 유도하고자 함.

우수 대학원생의 확보 실적

본교 졸업생의 대학원 진학률 증가

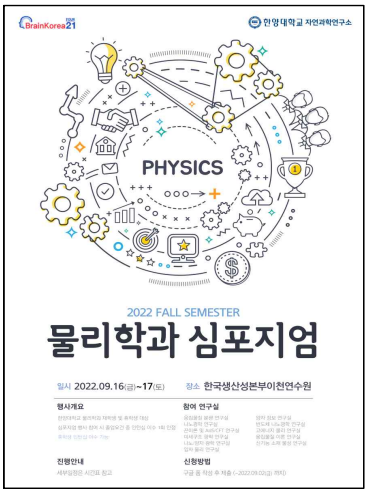
- 본교 졸업생의 대학원 진학률이 증가하고 있음.

<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 (2월 졸업생 기준)	32	7	2	0	4	21	21.9 %

대학원 진학률 증가를 위한 심포지엄 실시

- 본교 졸업생의 대학원 진학률 증가를 위해, 2022년 9월 16일~17일 심포지엄을 실시하였음.
- 교수 (10명), 대학원생 (약 20명), 학부생 (약 110명)이 함께 참여하여, 학부생들에게 물리학과 대학원에서 연구하는 내용을 소개하였음. 특히 전문분야에서 활동하는 졸업생초청 발표를 통하여 졸업 후 진로에 관한 현실적인 교류의 장을 제공하였음.



일자	시간	내용
9/16(금)	13:00-15:30	집합 및 이동
	15:30-18:00	체육활동 및 자유시간
	18:00-19:00	저녁식사
	19:00-21:30	개회식 및 졸업생 강의
	21:30-22:00	휴식
	22:00-23:30	연구실별 포스터발표
9/17(토)	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

[2022년 9월 16일~17일 심포지엄 포스터 및 프로그램]

[심포지엄 단체 사진]

[졸업생 연사의 발표 사진 (위), 대학원생 연구실 소개 발표 사진 (아래)]

해외 우수 유학생 유치

- 한양대 외국인학생 유치사업을 통해 학생들을 유치하였음.
- 김재용교수 연구실은 중국 길림대학교 물리학과, State Key Laboratory of Superhard Materials 소속 박사과정생을 장기유치하여 고압수소화물관련 국제공동연구를 수행하였음 (2021.10.01. -2022.05.31)

2.3 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

<표 2-2> 2021년 8월 및 2022년 2월 졸업한 교육연구팀 소속 학과(부) 참여대학원생 취(창)업률 실적(단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						취(창)업률(%) (D/C)×100
		졸업자 (G)	비취업자(B) 진학자 국내	비취업자(B) 진학자 국외	비취업자(B) 입대자	취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)	
2021년 8월 졸업자	석사	4	1	-	-	2	1	66.6%
	박사	1			-	1	1	
2022년 2월 졸업자	석사	3	1	-	-	-	-	
	박사	2			-	-	-	

- (2022년 2월 석사졸업) - 삼성디스플레이

2020년 석사과정 장학생으로 입학하여, 학위과정 동안 기하학적 위상(geometric phase)을 이용한 다초점 렌즈를 제작, 설계, 특성 평가 등의 연구를 수행하였음. 새로운 광학소자인 GPOE에 대한 연구경험은 2022년 졸업과 동시에 취업한 LG 디스플레이 사의 AR/VR glass display, 3D display 및 inspection 연구에 직접적인 도움이 되었음.

- (2022년 2월 석사졸업) - 한양대학교 진학

- (2022년 2월 박사졸업) - 한양대학교 박사후연구원

2022년 박사학위 졸업 후 박사후연구원으로 본 대학에 취업하였음. 박사후연구원으로서 지원할 수 있는 우수한 신진연구자를 위한 세종과학펠로우십 연구과제에 선발되어 책임자로서 과제를 수행하고 있음. "위상메타표면에서 빛 조작의 새로운 자유도 개발을 통한 차세대 집적광학 소자 응용"이라는 주제로 앞으로 5년간 지원을 받을 예정임. 기존 보존계에서 관측 불가능한 비보존 위상 성질들 조사할 수 있 는 실질적 탐구 플랫폼을 제안하였다. 새로운 비보존계 위상성질 발견과 관련된 기술적 원천성 획득을 추구하고 있으며, 경계 상태를 이용한 광소자 소형화, 위상 견고성에 기반한 고효율 동작, 복 소수 밴드의 위상량 조작을 통한 spectral anomaly 및 방향선택성(chirality) 획득과 같은 실질적 광기능을 통해 차세대 집적형 광소자가 직면한 문제 해결을 추구하고 기능 향상에 혁신을 이룰 수 있는 연구를 수행 중임.

- (2022년 2월 석사졸업) - 한양대학교 석사후연구원

2022년 2월 석사 학위 후 기초연구실 사업에 연구원으로 참여하여, 석사학위과정동안 진행했던 CoO_x 박막의 소자응용에 대한 연구를 지속하고 있으며, 논문투고 및 특허출원 준비 중에 있음.

- (2022년 8월 석사졸업) - 한양대학교 박사과정진학

2020년 한양대학교 물리학과 대학원에 석사과정으로 입학하여 Mn 이온이 치환된 이리듐 산화물 $Sr_3Ir_2O_7$의 전자 구조에 대한 적외선 분광 연구를 수행함. 석사 과정의 연구를 통해 전이금속 원소의 원자가 상태의 에너지가 이리듐 산화물의 물성을 결정하는 중요한 요소인 스핀-궤도 결합의 크기를 결정하는데 중요한 역할을 함을 밝힘. 박사과정으로 진학하여 최근 응집물질물리학계의 많은 관심을 받고 있는 카고메 물질을 연구할 계획임.

- (2022년 8월 박사졸업) - 한양대학교 박사후연구원

조준형 교수 그룹 고체물성이론연구실의 포닥으로 임용함.

- (2022년 8월 석사졸업) - 삼성디스플레이

2020년 석사과정으로 입학하여, 기하학적 위상(geometric phase)을 이용한 새로운 개념의 광소자 제작, 설계, 특성 평가 등의 연구수행에 참여하였음. 2022년 졸업과 동시에 취업한 삼성 디스플레이 사의 AR/VR glass display, 3D display 및 inspection 연구에 직접적인 도움이 되었음.

- (2022년 8월 석사졸업) - 한양대학교 박사과정진학

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

참여대학원생 연구실적

<표 2-14> 참여대학원생 연구실적

	지난 1년 (2021.9-2022.8)	2017-19 연평균	1단계 목표 (2.5년) (2020.9-2023.2)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	5	1.67	6
환산보정 IF 합	3.53	3.31	10.92
환산보정 ES 합	13.07	7.09	23.40

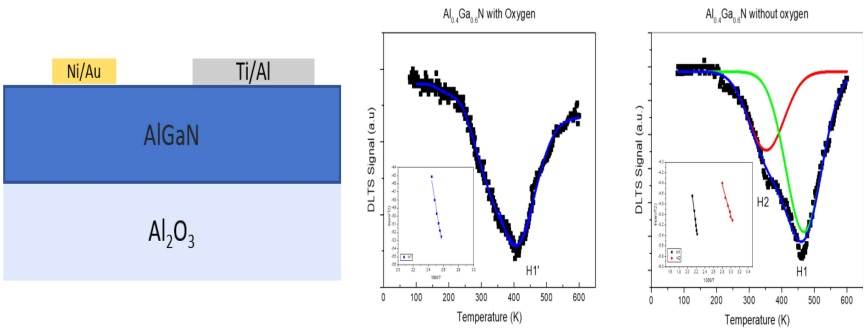
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 5편
- 환산보정 IF 합 3.53: 1단계 목표치의 32% 달성. 2017 – 19 대비 7% 증가
- 환산보정 ES 합 13.07: 1단계 목표치의 56% 달성. 2017 – 19 대비 84% 증가
- 참여대학원생 논문 15편: 2017 -19 연평균 (15.7편) 과 비슷한 수준 (5% 감소)

- BK 선정 평가 시 제시한 1단계 참여대학원생 연구실적 목표
  - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 6편
  - 환산보정 IF 합 매년 10% 증가
  - 환산보정 ES 합 매년 10% 증가
- 참여대학원생의 연구실적을 통해 본 교육연구팀 참여대학원생의 연구역량이 계획한 대로 향상되고 있음을 알 수 있음.

참여대학원생 대표 연구실적

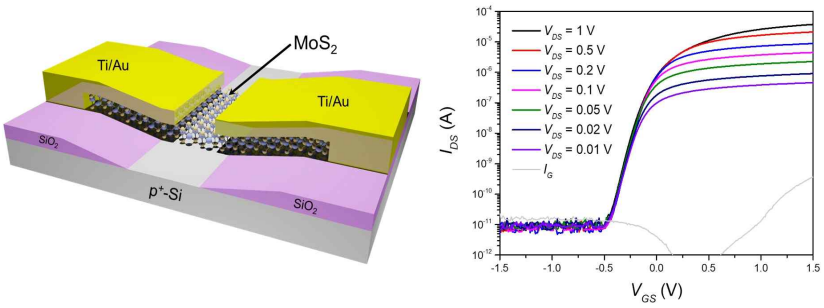
Effect of oxygen on defect states of $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ layers grown by hydride vapor phase epitaxy
JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH AND TECHNOLOGY-JMR&T (IF 6.267)

AlGaN은 큰 밴드갭을 가진 물질로써 HEMT 등의 초고속 소자에 매우 중요한 물질임. 본 연구에서 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 물질을 hydride vapor phase epitaxy 방법으로 사파이어 기판에 성장시킴. 성장시키는 공정중에 산소의 공급여부에 따라 2가지 조건으로 $Al_{0.4}Ga_{0.6}N$ 층을 성장시키고 물성을 분석함. 특히 deep level transient spectroscopy 분석법을 통해 결함 분석 결과, 모든 경우에서 hole trap이 나타났고, 산소를 공급한 경우가 결함이 더 적은 좋은 퀄리티의 성장이 가능한 것으로 확인됨. 본 연구 결과는 Journal of Materials Research and Technology에 게재됨. (IF: 6.267, 피인용수: 0; 출처 Google Scholar)



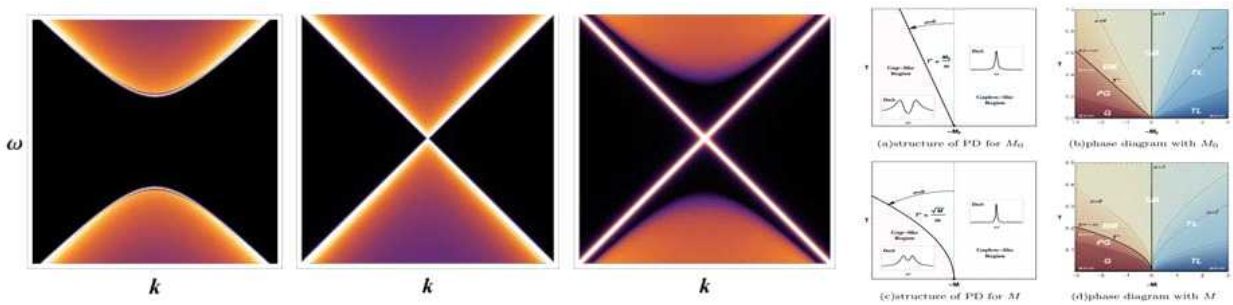
High Performance MoS_2/p+-Si heterojunction field-effect transistors by interface modulation
NANO RESEARCH (IF 10.269)

MoS_2는 n-type 특성을 지닌 전형적인 2차원 층상구조 물질 중 하나임. 일반적으로 MoS_2는 절연층에 의한 성능이 감소하는 현상이 나타남. 본 연구에서 MoS_2를 SiO_2/p+-Si 기판 위에 junction field-effect transistor를 제작해서 MoS_2와 절연층인 SiO_2가 겹치는 비율에 따라 소자 성능을 분석함. MoS_2와 절연층이 겹치는 부분이 없는 경우 소자의 성능이 가장 뛰어났음. 그리고 절연층의 비율이 늘어날수록 성능이 감소하는 것으로 분석되었으며, 소자의 안정성 또한 하락하는 것으로 분석됨. 이는 2차원 물질인 MoS_2의 성능과 절연체의 연관성을 분석하여 소자의 성능의 개선 가능성을 제시함. 본 연구결과는 Nano Research에 게재됨. (IF: 10.269, 피인용수: 0; 출처 Google Scholar)



The emergence of strange metal and topological liquid near quantum critical point in a solvable model
JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS (IF 6.379)

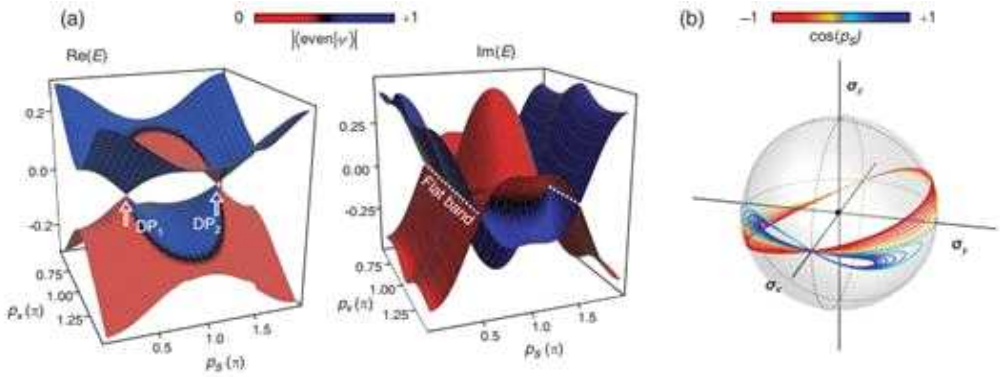
양자 임계점(QCP) 근처의 페르미온 스펙트럼에 대한 스칼라 condensation을 고려하여 금속에서 절연체로의 phase transition이 있으며 위상적으로 보호되는 페르미온 Zero mode가 존재함을 발견하였음. 또한, T-linear resistivity을 갖는 strange metal phase가 horizon을 가지고 있는 중력에 대해 온도가 충분히 높을 때 나타남을 보였음. phase boundary들을 상태 밀도에 따라 계산하여 QCP 근처의 위상 다이어그램 구조에 대한 통찰을 제공함. 이러한 발견에 힘입어 이후 여러 가지 물질에서 일어나는 양자상전이점 부근에서의 페르미온 spectrum이 모두 같은 물리학에 의해 나타날 것인가를 확인하려는 실험물리학자들과의 공동연구를 계획하고 있음. (IF: 6.379, 피인용수: 2; 출처 Google Scholar)



Synthetic Topological Nodal Phase in Bilayer Resonant Gratings
PHYSICAL REVIEW LETTERS (IF 9.185)

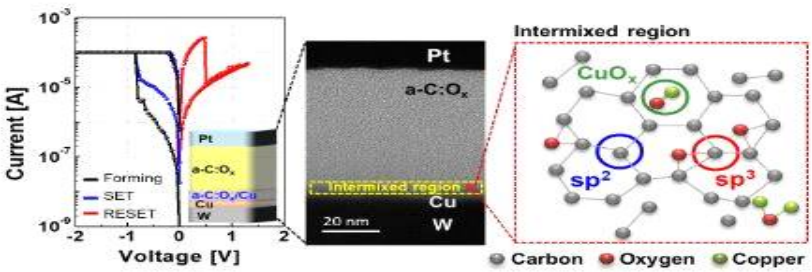
위상학적 접합 모드는 공진모드의 에너지를 경계 로 집속시키는 에너지 Funneling 효과를 수반한다는 것을 입증하였다. 이러한 위상 메타표면 접합은 고효율의 지향적 광학빔 출사를 통해 OLED나 Color

filter에서 발생하는 원치 않는 diffraction loss를 줄이고 효율적 소자 동작을 보장하는 원리를 제시하였다. (IF: 9.185, 피인용수: 0; 출처 Google Scholar)



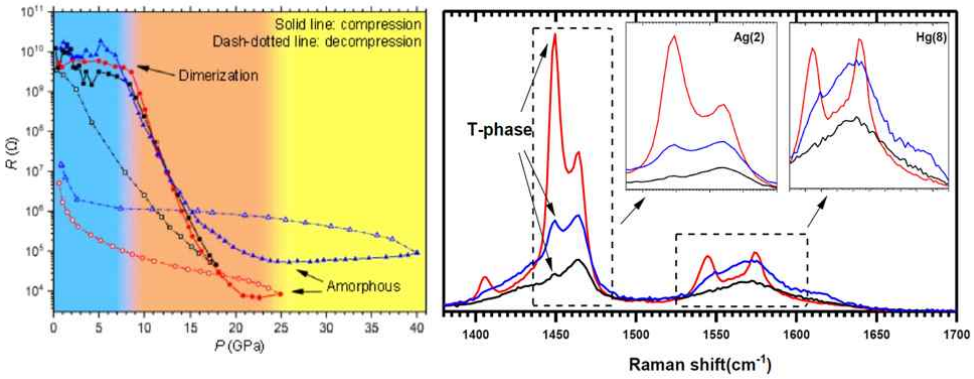
Highly Stable Forming-Free Bipolar Resistive Switching in Cu Layer Stacked Amorphous Carbon Oxide: Transition between C-C Bonding Complexes
ADVANCED ELECTRONIC MATERIALS (IF 7.633)

차세대 비휘발성 메모리중 저항변화메모리로 a-COx기반 ReRAM은 빠른 스위칭 스피드와 높은 on/off ratio로 연구가 진행되어오고 있으나 filament 타입이 가지는 forming 과정이 불가피하여 전기적/열적 문제점을 가지고 있다. 이에 따라 Cu insert layer을 통해 간단히 Sp_2-Sp_3의 결합율을 조절하면 원하는 정도만큼 forming voltage 조절가능하며 이를 통해 reliability 향상에 도움을 준다. (IF: 7.633, 피인용수: 0; 출처 Google Scholar)



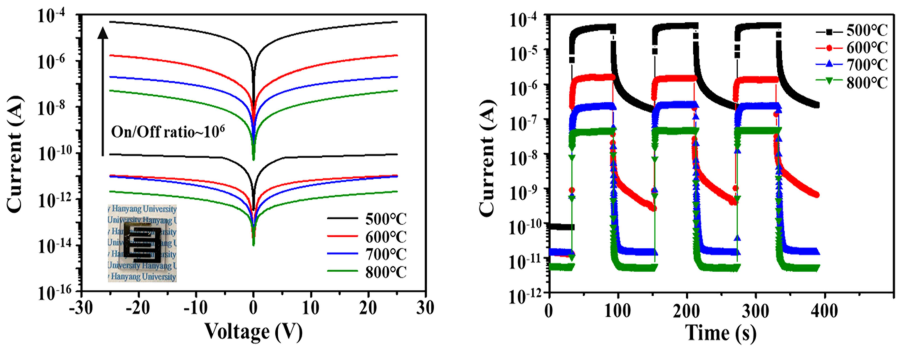
Tunable electrical properties of C_{60}•m-xylene and the formation of semiconducting ordered amorphous carbon clusters under pressure
NANO RESEARCH (IF 10.269)

소위 buckyball로 알려진 C_{60} 구조체는 전기적 기계적 성질이 잘 알려져 있으나 압력에 대한 물성변화는 아직 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 다이아몬드앤빌셀을 이용하여 압력을 50 GPa까지 인가하면서 전기적특성과 구조변형을 자세히 분석하였다. 그 결과 압력이 25 GP단계까지는 금속성을 보이다가 이후에는 반도체성을 띄게 되고 비교적 안정한 구조체로 알려진 C_{60} buckyball은 40 GPa 이후부터는 구조가 허물어지기 시작하여 결국 비정질형태로 변환됨을 확인하였다. 하지만 가해준 압력을 제거하였을 경우, 다시 원형으로 복구되었고 이는 C_{60} 구조체의 탄성이 매우 높다는 점을 시사하였다. (IF: 10.269, 피인용수: 2; 출처 Google Scholar)



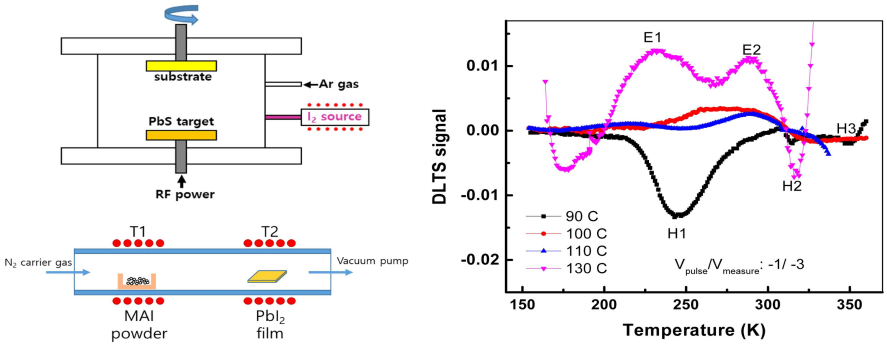
Post-annealing effects on Si-doped Ga_2O_3 photodetectors grown by pulsed laser deposition
JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS (IF 6.371)

Ga_2O_3는 산화물 반도체 물질 중 하나로, 차세대 전력반도체 또는 deep-UV 광검출 소자로 각광받고 있음. 본 연구에서 실리콘이 도핑된 Ga_2O_3 타겟을 사용하여 pulsed laser deposition 방법으로 금속-반도체-금속 형태의 254nm deep-UV 광검출 소자를 제작함. 이때 Ga_2O_3 박막을 열처리 조건을 500℃부터 800℃ 까지 100℃ 간격으로 조건을 다르게 진행하여 각각의 특성을 분석함. 그 결과, 광반응도는 열처리 조건이 500℃인 경우가 가장 좋은 특성을 보인 반면, 반대로 광반응속도 특성은 열처리 조건이 800℃인 경우가 가장 좋은 특성을 보임. 본 연구결과는 열처리 조건에 따른 광검출 소자의 성능을 분석한 것으로, Journal of Alloys and Compounds에 게재됨. (IF: 6.371, 피인용수: 10; 출처 Google Scholar)



Optimization of optoelectrical properties during synthesizing methylammonium lead iodide perovskites via a two-step dry process
JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH AND TECHNOLOGY-JMR&T (IF 6.267)

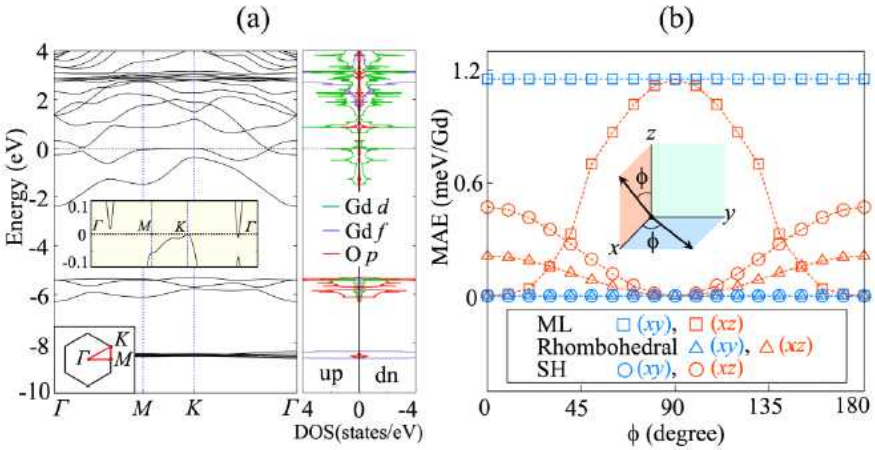
페로브스카이트는 실리콘보다 뛰어나고, 가격이 싼 태양전지 물질로 주목받고 있는 물질임. 본 연구는 $MAPbI_3$ 페로브스카이트 박막을 ITO가 코팅된 유리기판에 성장시켜 광소자를 제작함. 특히 성장시킬 때 PbI_2 박막을 먼저 RF magnetron sputtering법을 성장시킨 후 MAI 증기에 노출시키는 two-step 방법을 적용함. 또한, 증기에 노출시키는 과정에서 먼저 성장시킨 PbI_2 박막의 가열 온도를 90℃에서 130℃까지 다르게 하며 소자를 제작, 페로브스카이트 박막의 결함과 태양전지 성능의 연관성을 분석함. 가열 온도가 110℃일 때 결함이 가장 적었으며, 광반응도가 가장 뛰어난 것으로 분석됨. 본 연구 결과는 Journal of Materials Research and Technology에 게재됨. (IF: 6.267, 피인용수: 0; 출처 Google Scholar)



Interlayer Exchange Interaction Driven Topological Phase Transition in Antiferromagnetic Electride Gd_2O

PHYSICAL REVIEW B (IF 3.908)

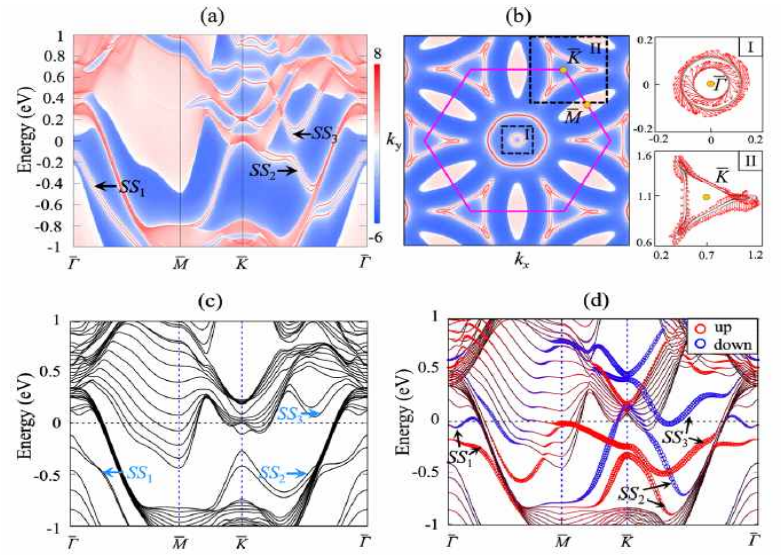
전자화물을 이온 결정의 특별한 종류로써 격자간 영역에 존재하는 잉여의 전자가 자유전자처럼 행동한다. 본 연구에서는 층상 Ca_2N형 구조를 가진 Gd_2O가 2D AFM 전극체이며, 각 단층(ML)은 평면 내 FM과 평면 외 AFM 슈퍼 교환 상호 작용을 가지고 있다고 예측한다. 단순한 육각형 격자로 인한 기저 상태는 비대칭 자기 대칭으로 보호되는 질량 없는 디랙 페르미온과 디랙 페르미온을 가진다. 본 연구의 결과는 PHYSICAL REVIEW B에 게재되었다. (IF: 3.908, 피인용수: 1; 출처 Google Scholar)



Emerging two-dimensional magnetism in nonmagnetic electrides Hf_2X (X = S, Se, Te)

PHYSICAL REVIEW B (IF 3.908)

최근 2차원(2D) 자석의 실험 발견은 원자적으로 얇은 자기 시스템을 찾기 위한 활발한 연구 활동을 촉발시켰다. 본 연구에서 우리는 3원자 결합 Hf-X-Hf 층으로 구성된 비자성 층상 전해질 Hf_2X(X = S, Se, Te)의 단층(ML)과 몇 개의 층, 그리고 표면에서 2D 자성의 출현을 예측하였다. 그 결과 표면 강자성은 Hf_2X(001)에서 강한 스핀 편광 위상 표면 상태를 발생시켜 음이온 전자, 2D 자기 및 밴드 위상이 서로 얽혀 있음을 보여준다. 본 연구의 결과는 PHYSICAL REVIEW B에 게재되었다. (IF: 3.908, 피인용수: 0; 출처 Google Scholar)



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

• 매학기 BK 연구성과 발표회 개최

본 교육연구팀은 참여대학원생의 연구력 제고를 위해 매학기 참여대학원생들의 연구성과 발표회를 진행하고 있음. 2021년 2학기 성과발표회는 2022년 1월 18일에, 2022년 1학기 성과발표회는 2022년 7월 28일에 진행하였음. 본 교육연구팀은 BK 사업 기간 동안 참여대학원생을 대상으로 연구성과 발표회를 지속적으로 개최할 것임.

• 매학기 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 공동 연구 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 40건)
- 국제학회 구두발표 7건, 국제학회 포스터 발표 15건.
- 국내학회 구두발표 10건, 국내학회 포스터 발표 8건.
- 국제학술대회 우수발표상 2건.

학술대회명	참여대학원생	발표논문명
10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Pressure-induced the Purification of Cs_4PbBr_6 from $CsPbBr_3$ Impurity
Best Presentation 수상		

학술대회명	참여대학원생	발표논문명
10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Compressional Behavior of Potassium Hydrides Using X-ray and Raman Spectroscopic
Best Poster 수상		

국제학술대회 발표내용

연번	학술대회명 (기간)	참여 학생	발표논문명	구두/ 포스터	발표내용
1	The 15th Asia Pacific Physics Conference (2022.08.21.-26)		Discovery of topological magnetic electrides Gd_2C and Gd_2O	구두	2D 층상 강자성 전자화물 Gd_2C에서 시간 대칭성이 깨진 바일 반금속 상을 발견하였으며, 2D 층상 반강자성 전자화물 Gd_2O는 질량이 없는 디랙 페르미온과 무거운 디랙 페르미온을 가진다. 이 두 결과는 2022년 8월 제 15회 아시아 태평양 물리학 회의에서 구두로 발표되며, 각각 Physical Review Letters(IF: 9.185)과 Physical Review B(IF: 3.908)에 게재함.
2	10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Electrical Properties and Structure Transition of Tetragonal Polymeric C60 under High Pressure	구두	C60 폴리머구조체의 압력변화에 따른 구조와 수성현상을 연구하였음. 본 연구결과는 국제공동연구의 일환으로 중국 HPSTAR 소속인 교수팀과 수행하였음.

3	10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Phase Transition, Dissociation and Re-polymerization of Ammonium Azide under High Temperature and High Pressure	구두	수소다량 함유체로 알려진 ammonia boranie (NH_3BH_3)는 고압 하에서 수소화합물을 형성할 때 사용되지만 아직까지 금속물질과의 반응성과 수소방출조건에 대해서는 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 압력과 온도변화에 따른 ammonia boraine의 수소방출조건을 연구하였음.
4	10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Structural Changes of Potassium under High Pressure of Hydrogen	구두	Potassium 원소를 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 수소분위기에서 80 GPa까지 가압한 후 구조변화를 방사광가속기 시설을 활용하여 측정/분석 하였음.
5	10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Pressure-induced Large Anomalous Hall Effects in a Layered Van der Waals Ferromagnet $CrSiTe_3$	구두	압력변화에 따른 $CrSiTe_3$ 2차원물질을 비정상 홀현상을 연구하였음.
6	10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Contribution of Hydrogen for Superconducting Temperatures of TiZr Alloys under High Pressure	구두	수소저장매체로 알려진 TiZr 합금의 압력변화에 따른 초전도현상을 측정하였는바, 압력증가에 따라 초전도 온도가 12 K 까지 증가함을 측정하였음.
7	The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022.07.17.-21)		Electrical Properties of TFSI-treated Molybdenum Disulfide	구두	MoS_2 반도체 물질에 TFSI 처리에 의한 전기적 성능 변화 연구함.
8	International Union of Materials Research Society-International Conference in Asia (2021.10.03.-08)		Optoelectrical properties of methylammonium lead iodide perovskites synthesized by a two-step dry process	포스터	2단계 건식 공정을 통해 합성된 $MaPbI_3$(methylammonium lead iodide) 페로브스카이트 박막의 결함상태와 광전기적 특성을 조사하였음.

9	International Conference on Advanced Electromaterials (2021.11.09.-12)		Defect States and Electrical Properties of $Al_xGa_{1-x}N$ Grown under Various Growth Conditions by Hydride Vapor Phase Epitaxy	포스터	Hydride vapor phase epitaxy로 성장시킨 $Al_xGa_{1-x}N$ 박막의 결함 상태 미 전기적 특성 조사하였음.
10	International Conference on Advanced Materials and Devices (2021.12.06.-10)		Analysis of carrier transport from amorphous IGZO thin film transistors by drain current transients	포스터	스퍼터링 기법으로 성장시킨 IGZO 박막을 활용한 Thin-film transistor의 drain current의 transient를 조사하여 박막 내 Thermal activation energy를 조사하였음.
11	5th International Workshop on Ultraviolet Materials and Devices (2022.05.23.-26)		Effect of oxygen incorporation in $Al_xGa_{1-x}N$ layers grown by hydride vapor phase epitaxy	포스터	Hydride vapor phase epitaxy로 $Al_xGa_{1-x}N$ 박막 성장시 산소 주입량에 따른 박막 상태 변화 및 결함 상태 분석하였음.
12	The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022.07.17.-21)		Contact engineering of a-IGZO thin-film transistors by using doped interlayer	포스터	IGZO TFT의 전극 영역에 Electrical resistivity를 조절한 동종의 중간층을 삽입하여 소자 성능 변화를 조사하였음.
13	The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022.07.17.-21)		Structural selectivity with post-thermal annealing and resistive switching characteristics of cobalt oxide film	포스터	Cobalt oxide의 annealing 조건에 따른 Resistivity switching parameter의 변화를 조사하였음.
14	12th international conference on Advanced materials and devices		Manipulation of spin orbit torque efficiency in HM/FM frame by	포스터	Heavy metal/CoFeB/MgO 수직자기이방성 구조의 상단에 gate oxide로 HfO_x를 증착하여 자성특성은 유지하면서, SOT efficiency를 조절할 수 있음을 밝혔음. SOT에 영향을 주는 두

	(2021.12.06.-10)		HfO_x gate oxide layer		가지 효과인 계면효과(라쉬바효과)와 스핀궤도상호작용에 의한 SHE 중에서, gate oxide에 인가된 전압은 SHE에 영향을 주어 스핀궤도상호작용에 영향을 가하여 유효자기장이 줄어들었으며, 이에 따라 SOT에 의한 전류의 흐름을 제어할 수 있음을 확인하였음.
15	10th Asian Conference on High Pressure Research (2021.11.21.-25)		Infrared spectroscopic study on the electronic structure of the bilayered perovskite $Sr_3(Ir_{1-x}Mn_x)_2O_7$	포스터	스핀-궤도 결합과 전자 상호 작용에 의해 유도되는 유효총각운동량 1/2 모트 절연상을 보이는 이리듐 산화물 $Sr_3Ir_2O_7$에 Mn이 도핑될 때 나타나는 전자 구조의 변화를 적외선 분광 실험을 활용하여 연구함. 이를 통해 Mn 이온과 Ir 이온의 에너지 차이가 스핀-궤도 결합의 변화를 억제함을 밝힘. 이 연구는 University of California, Santa Barbara 대학의 교수 그룹과 공동으로 수행함. 해당 결과를 The 10th Asian Conference on High Pressure Research에서 발표하였으며, Scientific Reports에 투고 예정임.
16	10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Compressional Behavior of Potassium Hydrides Using X-ray and Raman Spectroscopic (Best Poster 수상)	포스터	Potassium 원소를 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 수소분위기에서 80 GPa까지 가압한 후 라만분광법을 이용하여 potassium 과 수소와의 분자반응을 측정하였다. 본 연구는 미국 Argonne National Laboratory 연구실 그룹과 공동연구로 진행되었음.
17	10th Asian Conference on High Pressure Research (2022.11.21.-25)		Symmetry-protected solitons and bulk-boundary correspondence in generalized Jackiw-Rebbi models	포스터	일반화된 시간역전, 입자-반입자, 카이랄 대칭 연산자를 이용해 1차원 전자계인 SSH, RM 모델과 준1차원 double-chain 모델에서의 솔리톤 state간에서와 기저상태간의 변환성질을 보임. 또한 카이랄 솔리톤의 재분화를 통해 2개의 subsoliton으로 나뉘어지는 결과를 분석하였음.
18	The 15th Asia Pacific Physics Conference (2022.08.21.-26)		Surface Hamiltonian of a higher-order topological insulator for $MoTe_2$	포스터	고차위상 부도체의 bulk Hamiltonian을 통해서 표면의 Hamiltonian을 구한다. 이를 통해서 고차위상 부도체에서 zero energy state의 실공간에서의 위치를 파악 할 수 있다. 꼭짓점에 존재하는 zero energy point들을 샘플의 모양을 변형하여서 꼭지점을 면으로 변화시켰을 때의 모습을 통해서 표면 Hamiltonian에서 확인한 내용과 일치함을 확인할 수 있다. 마지막으로 위상숫자를 통해서 이러한 시스템이 위상학적임을 보인다.

19	APS MARCH MEETING 2022 (2022.03.14.-18)		Structures and Transport Properties of Hydrogenated TiZr Alloys under High Pressure	포스터	대용량수소저장매체로 알려진 TiZr합금에 흡수되는 수소원자의 양과 압력에 따른 구조변화를 수송특성과 연계하여 연구하였고, 수소의 양과 압력 변화에 따른 초전도현상도 최초로 측정하였음.
20	12th international conference on Advanced materials and devices (2021.12.06.-10)		Terahertz conductivity of high-quality Indium film by low temperature deposition	포스터	열화학기상증착(CVD)에서 기판 냉각 공정을 이용하여 제조된 인듐 필름은 매우 균일한 표면 모폴로지를 형성하며 무질서 또는 결함 없이 깨끗한 반데르발스(vdW) 계면을 제공함. 여기에서 주사전자현미경과 테라헤르츠 시간영역 분광기를 이용하여 상온과 저온(~100K) 기판에서 증착된 In 막의 형태와 테라헤르츠 복합 전도도를 각각 비교하였고, 그 결과 상온에서 증착된 인듐 막은 테라헤르츠 전도도가 상대적으로 낮은 분절된 입상 형태를 보인 반면, 저온에서 증착된 In막은 ~30 nm 두께 이상의 금속 특성을 수행하는 상호 연결된 막 형태를 보임. 이 결과는 기판 냉각 방법이 고품질 금속 필름 및 금속 접촉 응용 분야의 제조에 유망하다는 것을 시사함.
21	12th international conference on Advanced materials and devices (2021.12.06.-10)		Large Area Passivation Effect of Surface Defects at SiO_2	포스터	전이 금속 디칼코게나이드(TMD)와 같은 2D 물질의 광학 및 전기적 특성은 기판의 표면 결함에 민감함. 널리 사용되는 유전체 기판인 이산화규소는 2D 물질에 대한 불균일성을 유발하는 전하 웅덩이를 가지고 있기에, h-BN 또는 Al_2O_3와 같은 고품질 유전체 재료가 균질하고 향상된 특성을 위해 적용되었음. PFPE(Perfluorinated Polyether) 중 하나인 S10은 코팅재로 상업적으로 사용되는데, 그것은 표면 전하 웅덩이를 부동태화할 수 있고 또한 S10의 불소 원자로 인해 약한 p 도핑 효과를 제공할 수 있음. 여기에서 SiO_2 기판에서 표면 전하 웅덩이에 대한 패시베이션의 손쉬운 방법을 보고함. 표면 패시베이션 및 p 도핑의 효과는 TMD의 광발광(PL) 매핑에 의해 확인되었고, S10 코팅 영역의 TMD는 균일한 PL 강도를 향상시켰음. (MoS_2의 경우 6배).

22	The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022.07.17.-21)		Enhanced Physical Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Passivating the Surface Defects of Substrate	포스터	전이 금속 디칼코게나이드(TMD)와 같은 2D 물질의 광학 및 전기적 특성은 기판의 표면 결함에 민감함. 널리 사용되는 유전체 기판인 이산화규소는 2D 물질에 대한 불균일성을 유발하는 전하 웅덩이를 가지고 있기에, h-BN 또는 Al_2O_3와 같은 고품질 유전체 재료가 균질하고 향상된 특성을 위해 적용되었음. PFPE(Perfluorinated Polyether) 중 하나인 S10은 코팅재로 상업적으로 사용되는데, 그것은 표면 전하 웅덩이를 부동태화할 수 있고 또한 S10의 불소 원자로 인해 약한 p 도핑 효과를 제공할 수 있음. 여기에서 SiO_2 기판에서 표면 전하 웅덩이에 대한 패시베이션의 손쉬운 방법을 보고함. 표면 패시베이션 및 p 도핑의 효과는 TMD의 광발광(PL) 매핑에 의해 확인되었고, S10 코팅 영역의 TMD는 균일한 PL 강도를 향상시켰음. (MoS_2의 경우 6배).

국내학술대회 발표내용

연번	학술대회명 (기간)	참여 학생	발표논문명	구두/ 포스터	발표내용
1	KPS Spring meeting (2022.04.20.-22)		Rhombohedral Stacked multilayer graphene in holography	구두	강상관계에서 중요한 개념 중 하나인 플랫밴드가 생성되는 여러 고체 구조 중 하나인 ABC-stacked multilayer graphene이 홀로그래피에서 감마xy 상호작용을 통해 구현될 수 있음을 밝혔고, 본 결과를 2022.04.21에 한국 물리학회에서 구두로 발표 하였음.
2	KPS Fall meeting (2021.10.20.-22)		Holographic Flat Band	구두	강상관계에서 중요한 개념 중 하나인 플랫밴드를 홀로그래피 차원에서 구체화 할 수 있는 여러가지 방안들을 제시하였으며 이를 스펙트럼 함수를 통해 보였다. 또한 이를 2021.10.22에 한국 물리학회에서 구두로 발표하였음.
3	KPS Fall meeting (2021.10.20.-22)		Competition of two interaction in holographic lifshitz fermion spectral function	구두	홀로그래픽 리프시츠 페르미온에서 두 가지 다른 인터렉션이 존재할 때 위상변화가 일어날 수 있음을 보이고 이중 B_{5t}와 B_x의 컴피티션이 구리기반 초전도체를 설명 할 수 있다는 가능성을 보였으며 이를 2021.10.22에 한국 물리학회에서 구두로 발표하였음

4	KPS Spring meeting (2022.04.20.-22)		“Photoemission in holographic superconductors” Revisited	구두	홀로그래피에서 마요라나 페르미온을 구현하여 홀로그래피에서 초전도체 모델을 구현하였으며 이를 2021.10.22에 한국 물리학회에서 구두로 발표하였음.
5	KPS Spring meeting (2022.04.20.-22)		Holographic Realization of Lieb Lattice and Its Gap	구두	강상관계에서 중요한 개념 중 하나인 플랫밴드가 생성되는 여러 고체 구조 중 하나인 리엣 격자 구조가 홀로그래피에서 바운더리 감마xy인 믹스드-퀀타이제이션을 통해 구현될 수 있음을 밝혔고, 본 결과를 2022.04.21에 한국 물리학회에서 구두로 발표 하였음.
6	KPS fall meeting (2021.10.20.-22)		X-Ray diffraction study of selenium hydride to 182 GPa	구두	Selenium 수소화물을 합성하기 위하여 다이아몬드 앤빌셀을 이용하여 182 GPa까지 가압하였고, 흥미롭게도 Se의 경우 저압에서 형성된 수소화물이 100 GPa이상 초고압으로 가압할수록 수소원자가 분리되는 현상을 연구하였다. 본 실험은 독일 방사광가속기연구소 PETRA-III 시설을 활용한 국제공동연구 결과이다.
7	제62회 한국진공학회 동계정기학술대회 (2022.02.16.-18)		Pressure-induced phase transitions in Hydrogenated TiZr Alloys	구두	수소저장매체로 알려진 TiZr 합금의 압력변화에따른 초전도현상을 측정하였는바, 압력 증가에 따라 증가하는 초전도현상은 수소화물의 경우 오히려 수소함량에 증가함에 따라 초전도 온도가 저하됨을 측정하였음.
8	제62회 한국진공학회 동계정기학술대회 (2022.02.16.-18)		Cryo-adsorption of hydrogen on imogolite	구두	다공성매체인 이모골라이트의 수소저장매체로 활용을 위하여 저온-고압에서의 수소 등온흡착곡선 측정과 분석을 통해 총 수소저장량을 측정하였음.
9	KPS Spring Meeting (2022.04.20.-22)		Terahertz conductivity of high-quality Indium film by low temperature deposition	구두	열화학기상증착(CVD)에서 기판 냉각 공정을 이용하여 제조된 인듐 필름은 매우 균일한 표면 모폴로지를 형성하며 무질서 또는 결함 없이 깨끗한 반데르발스(vdW) 계면을 제공함. 여기에서 주사전자현미경과 테라헤르츠 시간영역 분광기를 이용하여 상온과 저온(~100K) 기판에서 증착된 In 막의 형태와 테라헤르츠 복합 전도도를 각각 비교하였고, 그 결과 상온에서 증착된 인듐 막은 테라헤르츠 전도도가 상대적으로 낮은 분절된 입상 형태를 보인 반면, 저온에서 증착된 In막은 ~30 nm 두께 이상의 금속 특성을 수행하는 상호 연결된 막 형태를 보임. 이 결과는 기판 냉각 방법이 고품질 금속 필름 및 금속 접촉 응용 분야의 제조에 유망하다는 것을 시사함.

10	KPS Spring Meeting (2022.04.20.-22)		Enhanced Physical Properties of Transition Metal Dichalcogenides by Passivating the Surface Defects of Substrate	구두	전이 금속 디칼코게나이드(TMD)와 같은 2D 물질의 광학 및 전기적 특성은 기판의 표면 결함에 민감함. 널리 사용되는 유전체 기판인 이산화규소는 2D 물질에 대한 불균일성을 유발하는 전하 웅덩이를 가지고 있기에, h-BN 또는 Al_2O_3와 같은 고품질 유전체 재료가 균질하고 향상된 특성을 위해 적용되었음. PFPE(Perfluorinated Polyether) 중 하나인 S10은 코팅재로 상업적으로 사용되는데, 그것은 표면 전하 웅덩이를 부동태화할 수 있고 또한 S10의 불소 원자로 인해 약한 p 도핑 효과를 제공할 수 있음. 여기에서 SiO_2 기판에서 표면 전하 웅덩이에 대한 패시베이션의 손쉬운 방법을 보고함. 표면 패시베이션 및 p 도핑의 효과는 TMD의 광발광(PL) 매핑에 의해 확인되었고, S10 코팅 영역의 TMD는 균일한 PL 강도를 향상시켰음. (MoS_2의 경우 6배).
11	제 29회 한국반도체학술대회 (2022.01.24.-26)		Interface modulation for high performance of MoS_2/p+-Si junction field-effect transistors	포스터	MoS_2/p+-Si heterojunction FET 소자의 계면 최적화를 통한 소자의 성능 극대화
12	KPS Fall Meeting (2021.10.20.-22)		Growth and characterization of copper oxide thin films with different oxygen flow during RF magnetron sputtering	포스터	Copper oxide 박막을 스퍼터링 기법으로 성장시킬 시, 산소 분압의 변화를 주어 박막의 특성 변화를 조사하였음.
13	KPS Fall Meeting (2021.10.20.-22)		Optical characteristics of Ga_2O_3 thin films by oxygen plasma-assisted pulsed laser deposition	포스터	Pulsed laser deposition법으로 성장시에 산소 플라즈마 유무에 따른 Ga_2O_3 박막의 특성 변화를 관측함.
14	제62회 한국진공학회 동계정기학술대회 (2022.02.16.-18)		Fabrication and characterization of p-CuO_x/n-Si heterojunction diodes with various oxygen flow by RF magnetron sputtering	포스터	스퍼터링 기법으로 성장시킨 Copper oxide 박막과 n-type으로 도핑된 실리콘 박막의 p-n junction을 활용한 diode 특성을 조사하였음.

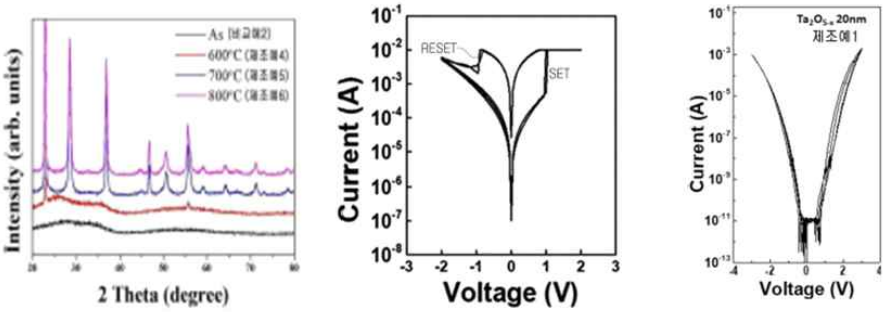
15	제62회 한국진공학회 동계정기학술대회 (2022.02.16.-18)		β-Ga_2O_3 solar-blind photodetectors by oxygen plasma-assisted pulsed laser deposition with various RF power	포스터	Plasma-Assisted Pulsed Laser deposition 법으로 성장시킨 Ga_2O_3 solar-blind photodetector의 광,전기적 특성 조사하였음.
16	한국자기학회 동계 학술대회 (2021.11.24.-26)		Exploring spin orbit torque efficiency of A15 phase W_3Ta heavy metal	포스터	Heavy metal/CoFeB/MgO 수직자기이방성 구조에서 SOT efficiency는 Heavy metal에 따라 그 크기가 달라짐. A15 phase 결정의 heavy metal 중 텅스텐과 탄탈럼의 합금 3:1 비율에서 스핀홀전도도가 가장 크다고 계산된 이론논문을 실험을 통해 압력과 스퍼터파워를 조절하여 A15 phase의 박막을 얻을 수 있음을 밝혔으며, Heavy metal/CoFeB/MgO 구조에서 W3Ta의 수직자기이방성이 발현되는 열처리온도를 확인하고 이를 VSM측정을 통해 확인함. Heavy metal에 따른 spin orbit torque efficiency를 측정하여 단일금속 텅스텐과 탄탈륨에 비해 향상됨을 확인하였음.
17	제63회 한국진공학회 하계정기학술대회 (2022.08.17.-19)		Resistive switching behavior of CuO_x films deposited by RF magnetron sputtering	포스터	스퍼터링 기법으로 성장시킨 Copper oxide 박막의 저항변화 메모리 특성 연구함.
18	제63회 한국진공학회 하계정기학술대회 (2022.08.17.-19)		Area-selective doping on MoS_2 transistors using 1,2 dichloroethane solution	포스터	1,2 dichloroethane solution를 이용한 MoS_2 트랜지스터의 선택적 도핑 연구함.

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

참여대학원생 특허 실적 우수성

다결정 금속 산화물층을 포함하는 선택소자 및 이를 포함하는 크로스포인트 메모리에 관한 특허 [등록번호 10-2314162]

- 최근 연구 중인 2단자 선택소자는 칼코겐원소의 전하트랩을 이용한 trap-assisted-hopping 또는 절연체의 에너지밴드를 조절한 tunneling conduction 을 이용하지만, 전자는 칼코겐 원소가 열에 취약하다는 단점이 있으며 후자는 동작전압을 조절하기 어렵다는 문제가 있음. 본 발명이 설명하는 선택소자는, 금속산화물층에 동종 또는 이종 원소를 삽입하고 결정화를 진행하여 다결정을 형성하고 이러한 산화물층은 grain-boundary를 통해 전도성을 얻음. 삽입되는 원소의 종류와 양을 통해 산화물층의 결정성을 조절할 수 있으며 이는 전도성 또한 조절가능함을 의미함. 본 발명은 기존 터널링 선택소자와는 다르게 동작전압 조절이 가능하면서도 높은 열적안정성을 가지고 있으며 차세대 메모리소자와 연결하여 크로스포인트 구조의 메모리로의 적용을 가능하게 함.



참여대학원생 특허 실적 향상 계획

- 참여대학원생 특허 1건으로 2017년에서 2019년 동안의 참여대학원생 특허 실적 (3건)과 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.

4. 신진연구인력 현황 및 실적

신진연구인력 현황 및 실적

- 박사

  채용기간: 2021년 10월 1일 - 2022년 9월 30일

  연구실: 반도체나노광학 연구실 (정문석 교수)

  연구논문: 반데르발스 물질인 이황화텅스텐에 폴리머를 사용하여 도핑효과와 패시베이션 효과에 대한 연구를 수행하였고 공동저자로 논문을 발표하였음.

  Interface Trap Suppression and Electron Doping in Van der Waals Materials Using Cross-Linked Poly(vinylpyrrolidone),

  , ACS Appl. Mater. Interfaces 55489-55497, 13 (2021)

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

  학술대회발표:

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

- 박사

  채용기간: 2021년 10월 1일 - 2022년 9월 30일

  연구실: 고압물리 연구실 (김재용 교수)

  연구논문: 압력을 208 GPa까지 가해가면서 2H-TaS_2의 전기전도특성을 측정한 결과 약 86 GPa에서 예상치 않았던 9.6 K의 초전도현상이 발견되었으며 이는 type-II에 해당하는 초전도라 여겨진다. 압력을 추가로 올림에 따라 157 GPa에서 최대 16.4 K에서 초전도 현상을 관측하였다. 이는 TMD 물질어서 얻어진 가장 높은 초전도 전이온도에 해당한다 X-ray와 홀효과 측정결과 이러한 높은 초전도성은 구조변화와 홀이동밀도가 증가함에 따른 것이라고 분석되었다. 본 연구는 중국 길림대학교 그리고 미국 Argonne National Laboratory 연구진과 이루어진 국제공동연구결과이다.

  The morphology-dependent lattice stability investigation in ZnS nanostructures by high-pressure XAFS studies 논문 accepted.

신진연구인력 운영 계획

- 본 교육연구팀은 박사, 박사 등 2명의 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 신진연구인력 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 연구

실 출신의 박사학위 소지자를 교육연구팀의 신진연구인력으로 유치하여 우수 신진연구인력을 확보하고 공동연구의 연속성을 유지할 것임.

- 현재 MoU를 체결한 기관들로부터 우수한 인적자원을 선발할 계획임. 허난사범대학교, 린이대학교, 길림대학교, 북경고압연구센터, 연산대학이 그 대상임.
- 실제로, 김재용 교수는 현재 MoU를 체결한 길림대학교에서 최근 학위를 취득한 박사를 신진연구인력으로 확보하였고 (2021년 10월 1일자 발령), 또한 린이대학교 출신 연구원이 2022-1학기 본 학과 석박통합과정으로 입학하였으며, 학생을 석사과정생으로 입학하였음. 이를 기반으로 공동연구를 수행하고 있는 교수 추천을 받아 우수한 학생들을 추가로 유치할 계획임.

• 우수 신진연구인력 확보

- 박사

  채용기간: 2022년 10월 1일 - 2023년 9월 30일

  연구주제: 용액 공정 기반 2차원 전이금속 디칼코게나이드의 대면적 합성 및 응용소자, 할라이드 페로브스카이트 단결정 합성 및 특성분석, 2차원 반도체의 화학적 처리에 따른 특성변화분석 및 응용소자

  연구실: 반도체나노광학연구실 (정문석 교수)

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

• 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 제고하고, 더 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 진행하고 2022년 1학기에 진행되었음.

• 다체계물리 1 (천상모 교수): 최근 전세계적으로 연구되고 있는 양자물질의 다체계 현상을 연구할 수 있도록 중요한 개념과 중요한 시스템을 소개하였음. 다체계를 이루는 입자(페르미온, 보존)의 제2양자화를 학습하고, 상호작용이 없는 페르미온과 보존이 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. 2022년 1학기에 진행되었음.

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

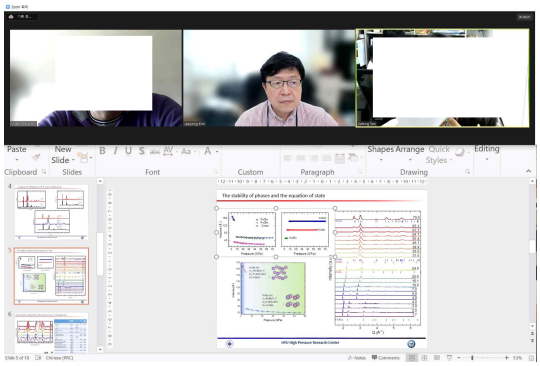
교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

교육 프로그램의 국제화 현황

코로나19에도 불구하고, 비대면 방식과 대면 방식을 병행하여, 세미나, 교육, 연구를 꾸준히 진행하였으며, 대표적 결과를 정리하면 다음과 같음.

- 중국 HPSTAR 소속 교수, 교수, Yanshan University 소속 교수 등 해외 우수학자들을 본교 특임교수, 겸임교수로 발령하여 대학원생 논문, 연구활동을 지도함.

- 초고압을 이용한 potassium hydride 관련 연구의 경우 김재용교수는 HPSTAR 소속 박사와 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 양자물성에관한 현재 연구현황을 학생들에게 실시간으로 전달하고 있음.

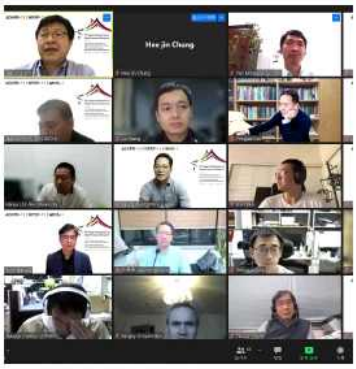
국제 학회 개최

10th Asian Conference on High Pressure Research

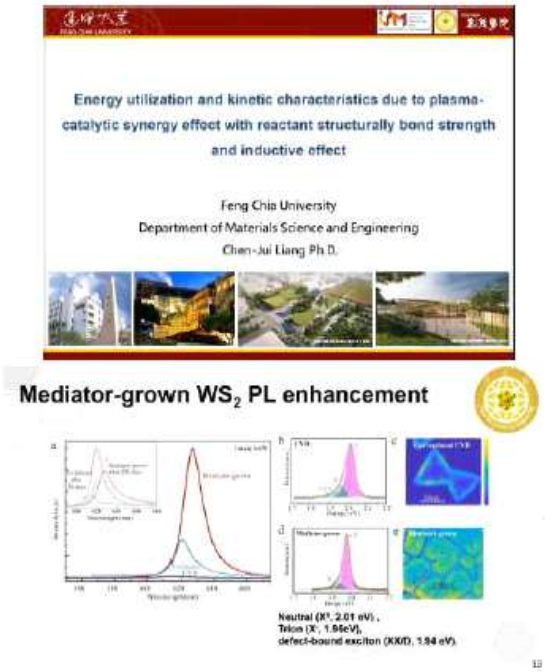
- 참여교수 : 김재용, 문순재, 조준형, 천상모 교수 주최
- 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2021.11.21~25
- 주관기관 : BK4, 진공학회, APCTP, 한양대 고압연구소
- 연구 분야 : 양자물질, 극한물성, 초전도
- 참가규모 : 세계 18개국 (320 여명 참석, 논문 297편 발표)
- 학회 설명 :

(1) 2021년 11월 21일부터 11월 25일까지 10th Asian Conference on High Pressure Research 학회를 개최하였음. 본 국제학술대회는 19th International Conference on High Pressure Semiconductor Physics와 3rd International Workshop on High Pressure Study on Superconductors와 연계하여 진행됨. 김재용 교수가 조직위원장을 맡고 있으며, 문순재 교수, 조준형 교수, 천상모 교수가 조직위원으로 활동함. 본 국제학술대회를 통해서 대학원생들은 연구 결과를 발표와 해외 저명학자들과의 교류의 연구 결과를 발표하는 기회를 부여하여 해외 저명학자들과의 교류와 영어발표의 기회를 제공하였음.

(2) 압력과 온도를 주제로 하는 극한물성분석과 신물질 설계를 목표로 2000년 이후 매 2년마다 개최해 온 압력관련 전문 학회임. 특히 이번 제 10학회는 코로나기간을 고려하여 대면과 비대면을 겸용으로 운영하였고 아시아권뿐 아니라 미국과 유럽등 다양한 국가에서 연구자들이 참여하였음. 본 학회 개최를 계기로 국내의 압력관련 연구를 세계에 소개하는 계기가 되었음.



- 한양대-길림대-펑지아대 심포지엄
  - 참여교수 : 김재용, 문순재, 정문석, 천상모 교수 주최
  - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2021.11.17
  - 주관기관 : BK4-Plus
  - 연구 분야 : 양자물질, 극한물성
  - 참가규모 : 한중-대만 3개국 56명 (13편 발표)
  - 학회 설명 : 한-중 고압연구 활성화의 일환으로 길림대-펑지아대-한양대를 연계하는 다자간 공동 심포지엄.



- The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2022)
  - 참여교수 : 정문석 교수 주최
  - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2022.7.17~21
  - 주관기관 : 한국물리학회 반도체물리학분과
  - 연구 분야 : 반도체, 저차원 물질, 인공지능, 양자정보, 에너지 소재, 광소재
  - 참가규모 : 19개국 1087명 (국내 989명, 해외 98명) 참가
  - 학회 설명 : 반도체, 저차원 물질, 인공지능, 양자정보, 에너지 소재, 광소재 분야의 최신 연구를 교류하는 국제학회였음. 대학원생들의 연구 결과를 발표하는 기회를 부여하였으며, 해외 저명학자들과 교류할 수 있는 기회를 제공하였음.

- Holography 2022 : quantum matter and spacetime
  - 참여교수 : 신상진 교수 주최
  - 개최국가 및 날짜 : 대한민국, 2022.8.11~19
  - 주관기관 : APCTP (Asia Pacific Center for Theoretical Physics)
  - 연구 분야 : 홀로그래피, 강상관계, 양자정보
  - 참가규모 : 한국과 중국, 미국등 약 9개국의 총연사 32명(온라인 참가자 약 230여명)
  - 학회 설명 : 본 국제 학술대회를 통해서 해외 저명 학자들 간의 지식교류와 정보전달이 제공되었음.

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

[Holography 2022 학회 일정표]

국제 학회 개최 계획

- Korea-US symposium for quantum material at extreme quantum conditions
  - 참여교수 : 김재용, 문순재, 신상진, 조준형 교수가 주최
  - 개최국가 및 날짜 : 미국, 2022.12.02. 예정
  - 주관기관 : 한양대학교 및 BK4-Plus
  - 연구 분야 : 양자물질극한물성
  - 참가규모 : 한미간 양자물질 극한물성분야 전문가 20여명과 다수의 대학원생
  - 학회 설명 : 한양대를 중심으로 한 국내 7개 대학 물리학과 교수진들과 미국 하버드, MIT대학 물리, 화학분야 교수들이 모여 압력-온도-자기장을 이용한 양자물질의 연구현황을 파악하고 나아가 새로운 연구 분야를 탐색하고자 기획한 학회

교육 프로그램의 국제화 계획

- 본 교육연구팀은 극한물성 연구를 세계에서 가장 첨단으로 수행하는 중국북경고압연구소와 길림대학 등을 비롯한 6개국 10여개 기관들과 연구와 교육면에서 전략적 파트너쉽을 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 박사를 본 연구팀 신진연구 인력으로 채용하여 (2021. 10월 1일자 발령) 길림대학교와의 국제교류원으로 활용하고 있음.
  - Yanshan 대학교의 교수 연구실의 대학원생을 김재용 교수 연구실에 파견하여 공동연구를 수행할 예정이며, 학위취득 후 신진연구 인력으로 활용하였음

(2021.10.01.-2022.05.31.).

- MoU기반 중국의 우수대학원생을 본 학과 대학원생으로 유치하여 국내연구 인력의 공백을 대신할 수 있도록 할 예정임.

• 2021년 10월 Fudan University, Feng Chia University (대만) 들을 연계한 공동심포지엄 개최하였음.

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

참여대학원생 국제공동연구 실적

<표 2-15> 참여대학원생의 국제공동연구 실적

연번	공동연구 참여자			상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	증빙
	참여 교수	참여 대학원생	국외 공동연구자			
1	김재용			중국/ Yanshan University	Tunable electrical properties of C_{60}•m-xylene and the formation of semiconducting ordered amorphous carbon clusters under pressure	10.1007/s12274-022-4092-1
2	김재용			체코/ Czech Academy of Science	Low-Dimensional Single-Cation Formamidinium Lead Halide Perovskites ($FA_{m+2}Pb_mBr_{3m+2}$): From Synthesis to Rewritable Phase-Change Memory Film	10.1002/adfm.202011093
3	김재용			중국/ Yangzhou University, Yanshan University, HPSTAR	Dehydro-Diels—Alder reaction and diamondization of bowl-shaped clusters $C_{18}Te_3Br_4(Bu\text{-}O)_6$	10.1007/s12274-022-4215-8

참여대학원생 국제공동연구 성과

• 박사과정생은 중국 Yanshan University의 교수 연구실을 28일 동안 방문하여 다이아몬드 앤빌셀을 이용한 C_{60} m-xylene의 초고압에서의 물성연구 수행 후, 결과물을 2022.01, Nano Research (IF:8.897)에 게재하였음.

• 학생은 미국 Advanced Photon Source에 고압을 이용한 방사광가속기시설 빔타임에 2021.08-22.07 기간 동안 4회 선정되어 초고압에서의 수소화물 구조분석에 관한 연구를 수행하였음.

2021.11.13 - 15 (APS-13BMC)

APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report

Printed date: 09/23/2022

PEN: 13-BMC-2021-90 **Experiment ID:** 248745 (GUP)
BM Start Date: 11/13/2021 09:00 AM **BM End Date:** 11/15/2021 08:00 AM
Spokesperson: Yan **GUP ID:** 75667
Title: The polymerization reaction of ammonia and helium under high pressure

Spokesperson

The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF.

Name	Institution	Phone
Jiafeng Yan	Hanyang University	+821025071722

As the designated spokesperson for the experiment I acknowledge that the above statement is true. This is an electronic signature

2022.3.24 - 26 (APS-16BMD)

APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report

Printed date: 09/23/2022

PEN: 16-BMD-2022-0324 **Experiment ID:** 253700 (GUP)
BM Start Date: 03/24/2022 08:00 AM **BM End Date:** 03/26/2022 08:00 AM
Spokesperson: Yan **GUP ID:** 77235
Title: The pressure-induced metal-semiconductor transition observed in 2M-WSe2

Spokesperson

The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF.

Name	Institution	Phone
Jiafeng Yan	Hanyang University	+821025071722

As the designated spokesperson for the experiment I acknowledge that the above statement is true. This is an electronic signature

2022.3.26 - 28 (APS-13BMC)

APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report

Printed date: 09/23/2022

PEN: 13-BMC-2022-22 **Experiment ID:** 253633 (GUP)
BM Start Date: 03/26/2022 08:00 AM **BM End Date:** 03/28/2022 08:00 AM
Spokesperson: Yan **GUP ID:** 72548
Title: Polymerization of Nitrogen in NH4N3+N2 at High Pressures

Spokesperson

The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF.

Name	Institution	Phone
Dongzhou Zhang	University of Hawaii at Manoa	626-297-1018

Materials Hazards

Material	Qty	Tox	Bio	Flam	Rad	Carcin	Corro	Oxid	Expl	Nano	Othe	Disp	Lab
AgMo6Te6	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
BiSb	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
NH4N3	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Re6Se8Cl2	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
RhI3	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Se	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
W	1 mg	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

2022.6.21 - 23 (APS-13BMC)

APS ESAF - Experiment Hazard Control Plan Report

Printed date: 09/23/2022

PEN: 13-BMC-2022-45 **Experiment ID:** 257501 (GUP)
BM Start Date: 06/21/2022 08:00 AM **BM End Date:** 06/23/2022 08:00 AM
Spokesperson: Yan **GUP ID:** 78829
Title: The investigation of metal-semiconductor transition in 1T′-WSe2 under pressure

Spokesperson

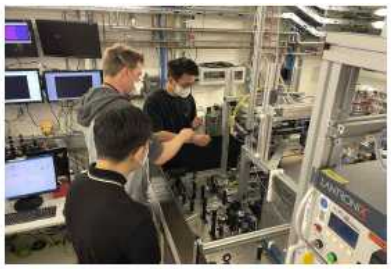
The information on this hazard control plan is accurate and complete. All materials/samples to be used and hazards have been identified. All users are listed. Activities are restricted to the scope of work declared in the ESAF.

Name	Institution	Phone
Jiafeng Yan	Hanyang University	+821025071722

Materials Hazards

Material	Qty	Tox	Bio	Flam	Rad	Carcin	Corro	Oxid	Expl	Nano	Othe	Disp	Lab
LaAl		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
MnTe		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
WSe2		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
violet phosphorus		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

- 학생은 유럽자유전자방사광가속기 실험에 13개국으로 형성된 유럽연구팀과 공동으로 실험에 온라인으로 참여하여 (2022.06.10.-12) 초고압-초고온에서의 텅스텐과 질소 반응을 나노단위에서 실시간으로 측정, 분석하였고 관련연구를 논문작성 중에 있음.
- 학생은 독일 함부르크에 위치한 PETRA-III 방사광가속기연구소에 신청한 빔타임이 선정되어 (2022.07.06.-11) Se, Ln, Mg,를 기반으로하는 초고압 수소화물의 구조분석관련 연구를 수행하였고, 결과를 논문준비 중에 있음.



- 학생은 중국 허난대학교에서 교수와 함께 이트륨 초전도 물성 및 2차원 수소화물 HfH_{10}에 대한 공동연구를 수행하였고, 논문준비 중임.
- 연구인력 파견: 박사과정생은 북경에 위치한 중국고압연구소 (Center for High Pressure Science and Technology for Advanced Research)를 방문하여 박사 연구팀과 함께 초고압에서의 그리고 고온초전도체 발굴을 위한 수소화물 형성, 그리고 초전도체의 자화현상에 관한 공동연구를 수행하고 있음.

참여대학원생 국제공동연구 계획

<표 2-16> 참여대학원생의 국제공동연구 계획

연번	공동연구 참여자			상대국 /소속기관	국제 공동연구 주제 (기간)	연구설명
	참여 교수	참여 대학원생	국외 공동연구자			
1	정문석			프랑스/University of Technology ot Troyes	레이저 간섭을 이용한 나노구조제작 혹은 미정 (2023년 1월 예정)	프랑스 University of Technology of Troyes 소속 교수와 2023년 1월 교환학생으로 공동지도 및 공동연구(레이저 간섭을 이용한 나노구조 제작)를 수행할 예정임.
2	신상진			미국/Harvard univ	cuprate twisting in holographic approach (2022.11.1.~11.15)	그래핀의 트위스팅은 flat band를 주며 이는 DFT로 잘 설명된다. 강상관계인 cuprate 초전도체를 비틀어 플랫밴드를 만들면 쿨롱상호작용이 더 들어가므로 전자상호간의 전기력을 기술하는 이론이 필요하게 된다. 우리는 홀로그래피 이론에 의해 플랫밴드를 만들고 이로부터 오는 물성을 기술하려고 한다.
3	송석호			미국/North Carolina State University	geometric-phase optics (미정)	기하학적 위상 (Geometric-Phase: GP), 혹은 Pancharatnam-Berry phase 라고도 하는 광학위상 변조 방식을 사용하여, 수 mm 두께를 갖는 새로운 형태의 광학소자인 Geometric-Phase Optical Elements (GPOE)를 연구하고자 한다. 단일 GP 층의 두께를 조정하거나 서로 다른 두께를 갖는 여러 개의 GP layer을 적층하여, 다양한 GPOE 렌즈를 연구하고, optical bench 측정 실험을 통하여 다초점 특성을 검증한다.
4	김재용			중국/HPSTAR	초고압-고온에서의 W-N의 구조분석 특성 분석 (2022.09.07.~11.30)	텅스텐과 질소가 초고압-초고온에서 반응하는 상전이현상을 초고속으로 분석하는 공동연구 수행
5	김재용			독일/Max-Plank Instiution	초고압 수소화물의 고온초전도특성 연구 (2022.11.01.~2023.02.28.)	200만기압 이상의 초고압에서 발현하는 200K이상 고온초전도체 혹은 100만기압에서 발현하는 중온초전도체 발굴을 위한 공동연구수행

향후 추진 계획

- 극한환경에서의 양자물성 연구 범위를 초고압뿐 아니라, 초저온, 초고온, 그리고 초고자기장등 다양한 물리변수를 가용하여 연구할 것이다. 이를 위하여, 압력연구의 경우 중국고압연구소와 길림대학교 고압연구중심센터, 고자기장의 경우 미국 탈라하시에 위치한 고자기장연구소, 중국 허페이에 위치한 고자기장연구소 등과 맺은 LOI를 기반으로 국제공동 연구활동을 수행할예정이며, 초저온의 경우 막스플랑크연구소의 박사 연구실과의 고온초전도체 발굴을 위한 포닥과 박사과정생 파견을 통한 공동연구를 수행할 예정이다. 또한 저차원물질의 양자현상을 연구하기위하여 하버드대학교 교수 연구실에 포스트닥과 대학원생 파견을 통한 공동연구도 추진 중이다.
- 이러한 연구를 위하여 연구의 핵심인 박사과정생을 중심으로한 대학원생들을 해외공동연구기관에 장기 혹은 다수의 단기파견함으로써 지속적인 중장기 연구를 수행할 예정이다.

- 중국의 경우 해외방문 후 자가격리가 해제되는 상황이 만족되는 즉시, 매년 2명 이상의 대학원생을 15일 이상 파견하여 국내에서 극한물성을 측정하기에 필요하지만 습득하지 못한 노하우를 함양하게 할 계획이다.
- 참여대학원생들이 국제공동연구에서 도출한 결과물들은 국제저명학회에서 발표토록 할 것이며 특히 구두발표위주로 교육할 예정이다 (실제로 본 사업팀은 국제학회참가의 경우 구두발표만 지원하고 있음).
- MoU 체결의 경우, 현재 충분한 기관들과 체결하고 있다고 판단 하는바, 이를 기반으로 연구인력 교류와 공동연구수행, 그리고 공동학회활동을 통해 질적으로 우수한 연구성과물을 도출하도록 집중 할 예정이다.

Ⅲ 연구역량 영역

□ 연구역량 대표 우수성과

◆ 참여교수 논문실적

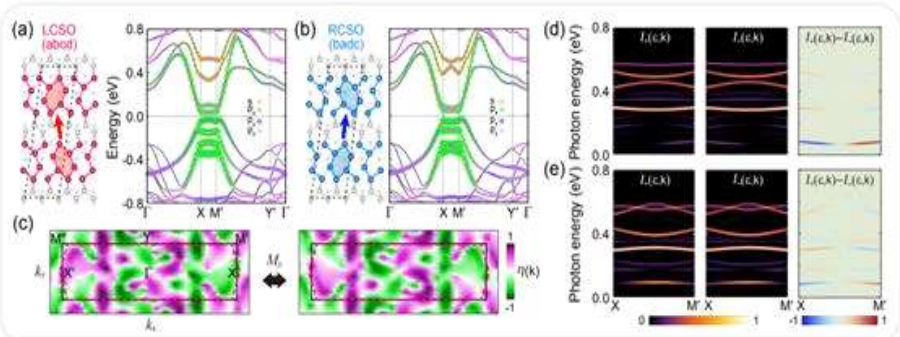
- 참여교수들의 발표논문 52편, IF 합 307.04
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 16
- IF > 10.0 논문수: 11편 (21.1%), IF > 5.0 논문 수: 31편 (59.6%), IF > 3.0 논문 수: 49편 (94.2%)

- 총 논문 수: 2015 – 2019년 논문 수 연평균 (37편) 대비 **40% 증가**. 전년도 (55편)와 비슷한 수준.
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 – 19 연평균 대비 **207% 증가**. 전년도 (16편)와 같음.
- **우수 논문 비율**
  - IF > 10 논문 비율 (21%): 2015 – 2019년 대비 **144% 증가**
  - IF > 5 논문 비율 (59%): 2015 – 2019년 대비 **103% 증가. 목표치 (≥ 40%) 초과**
  - IF > 3 논문 비율 (94%): 2015 – 2019년 대비 **19% 증가**
  - 질적 우수 논문 비율 지속적 증가

- **대표 연구 성과**

  - **준일차원 전하밀도파 물질의 원형 이색성 발견**: Phys. Rev. Lett. 128, 046401 (2022) (IF 9.185)

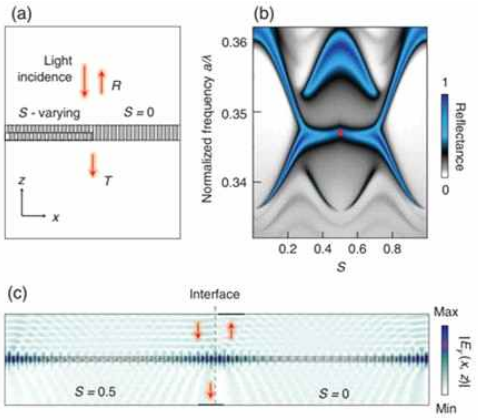
이 연구에서 우리는 DFT와 이론 계산을 사용하여, 준1차원 전하밀도파동(CDW)와 원형편광 사이의 빛과 물질의 상호작용을 분석함. Si(111) 표면의 자체 조립(self-assemble)된 인듐 나노 와이어는 자발적인 거울 대칭성 붕괴에 의해서 기하학적 손지기성질(chirality)을 가지는 4개의 중첩된 CDW 구조를 가짐. 이러한 기하학적 손지기성(chirality)은 준 1차원 전하밀도파동 구조를 1차원 체인 방향에 수직으로 쌓은 경우에 자연스럽게 광학 활성 (optical activity) 현상을 보일 수 있음. 실제로, 우리는 왼쪽 및 오른쪽 손지기 적층 순서가 뚜렷한 원형 이색성 (circular dichroism) 반응을 나타내는 반면 비손지기(non-chiral) 적층 순서는 원형 이색성을 나타내지 않는다는 것을 발견함. 이러한 광학 응답은 CDW 적층 순서의 거울 대칭의 존재에 기인한다는 것을 밝힘.



  - **이중층 공진 격자 구조에서 2차원 위상 노드 상의 나노광자 표현 제시**: Phys. Rev. Lett. 128, 053002 (2022) (IF 9.185)

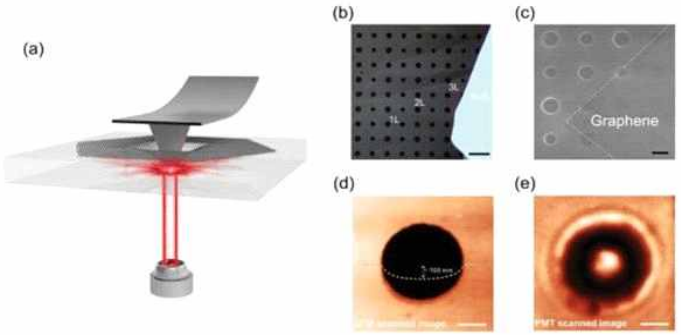
위상 반금속과 수직 비대칭 광자 격자 사이의 수학적 유추를 사용하여 층간 이동이 2차원 위상 노

드 위상을 생성하기 위한 추가 운동량 차원을 시뮬레이션한 결과를 보여줌. 토폴로지상 중요하지 않은 영역에서 복잡한 갭리스 밴드 구조와 국부화된 에지 상태를 생성하는 두 개의 노드 포인트를 보여주는 이론적 모델과 엄격한 수치 분석을 제시하고, 단순한 저차원 광자 구조에서 고차원 위상 효과를 생성하기 위한 실용적인 아이디어를 제안함.



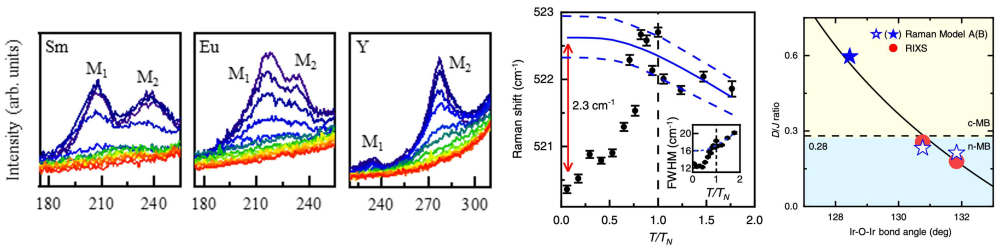
- **원자 두께를 가지는 물질의 특성 변화를 효과적으로 측정하는 실험 방법 제안**: Adv. Mater. 34, 2200946 (2022) (IF 32.086)

원자간력현미경(AFM)-라만 분광 측정 도구를 사용하여 6.1%의 매우 높은 이축 변형률 하에서 부유 그래핀의 라만 산란을 측정함. 평평한 상단과 구멍 모양을 갖도록 가공된 AFM 팁을 사용한 nanoindentation을 통해 Raman 신호를 획득할 수 있을 만큼 충분히 큰 변형된 그래핀 영역을 생성함. 동시에, 레이저 광은 그래핀 멤브레인의 변형된 평평한 영역에 집중됨. 그래핀의 G 밴드와 2D 밴드의 라만 신호는 각각 282 cm^{-1}와 684 cm^{-1}만큼 적색편이를 보이며, 이는 그래핀에서 전례가 없는 일임. 본 연구에서 개발한 측정 기술은 초고 변형률에서 원자적으로 얇은 재료의 물리적 특성 변화를 측정하는 효과적인 방법을 제공함.



- **위상 마그논 상전이 현상의 실험적 발견**: Phys. Rev. Lett. 127, 267203 (2021) (IF 9.185)

위상 특성은 응집 물질 물리 학계의 많은 관심을 받고 있음. 최근에는 전자의 스핀으로 이루어진 계의 위상 특성에 대한 관심이 높아지고 있음. 부도체 자성 물질의 마그논 (magnon) 밴드 구조가 위상 특성을 가질 경우, 전하를 띠지 않는 마그논의 특성으로 인해 에너지 손실이 없는 스핀 수송 현상이 나타날 수 있다. 이는 학문적으로 흥미로운 연구 주제일 뿐 아니라 스핀트로닉스 소자로에도 활용될 수 있음. 본 연구에서는 라만 산란 분광 실험을 통해 반강자성 부도체인 $Y_2Ir_2O_7$, $Eu_2Ir_2O_7$, $Sm_2Ir_2O_7$의 마그논 밴드 구조를 연구하여, $R_2Ir_2O_7$에서 희토류 원소의 종류에 따라 마그논 밴드의 위상 상전이가 일어남을 발견함. 본 연구 결과는 $R_2Ir_2O_7$가 마그논 밴드의 위상 특성 제어가 가능한 물질군임을 보임으로써 이들 물질의 마그논 밴드 위상 특성에 대한 실험 연구를 촉진시킬 것으로 기대됨.



참여교수 연구비 수주실적

<표 3-1> 참여교수 연구비 수주 실적

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

- 2021-2022년도 연구비 총액 4,516,109,674원, 참여교수 1인당 연구비 501,789,964원
- 2017-2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 129%증가, 1인당 연구비 78% 증가
- 전년도 (2020-2021) 대비 연구비 총액 21% 증가, 1인당 연구비 21% 증가
- 해외 연구비 수주: 미국 공군 연구소 (Asian Office of Aerospace Research and Development)
  - 연구주제: Identification of anti-ferromagnetically coupled skyrmion pairs for quasi zero power computing: emulation of biological neuron/synapse functions
  - 본 교육연구팀 참여교수인 홍진표 교수가 미공군연구소로부터 우수 평가를 받아 수주한 과제임.

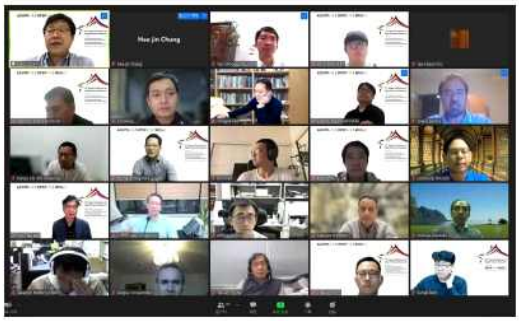
참여교수 특허실적

<표 3-2> 참여교수 특허 실적

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

참여교수 국제 학술활동 실적

- 국제 공동 연구를 통한 SCI 논문 11편 발표
- 국제학술대회 기조강연 1건, 초청강연 5건, 조직위원 6건
- 10th Asian Conference on High Pressure Research (2021. 11. 21-25) 개최
  - 조직위원장: 김재용 교수
  - 조직위원: 조준형 교수, 천상모 교수, 문순재 교수
  - 참가 인원: 18개국 275명 (국내 97명, 해외 178명) 참가.
  - 발표 수: 237개 (구두 213개, 포스터 24개)
  - 양자물질 극한물성 분야의 해외 연구진과의 공동 연구 기회를 모색
  - 대학원생들에게 연구 결과 발표 및 해외 저명학자들과의 교류 기회 제공



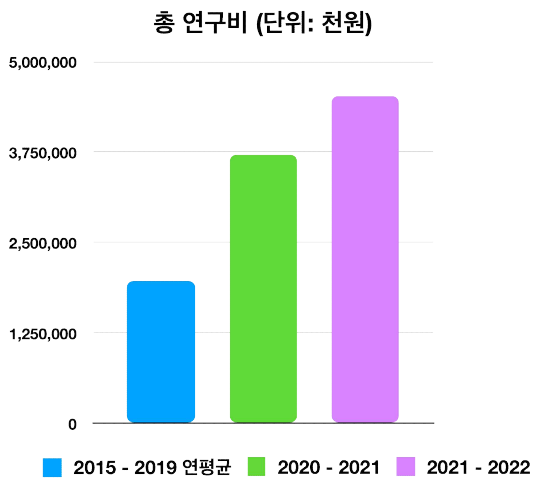
- The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022. 7. 17-21, 제주) 개최
  - 정문석 교수가 학술대회 총무로 활동
  - 참가 인원: 19개국 1087명 (국내 989명, 해외 98명) 참가.
  - 발표 수: 773개 (구두 366개, 포스터 407개)
  - 대학원생들에게 연구 결과 발표 및 해외 저명학자들과의 교류 기회 제공
  - 양자물질 기초 물성과 응용 분야에서 공동 연구 기회 모색

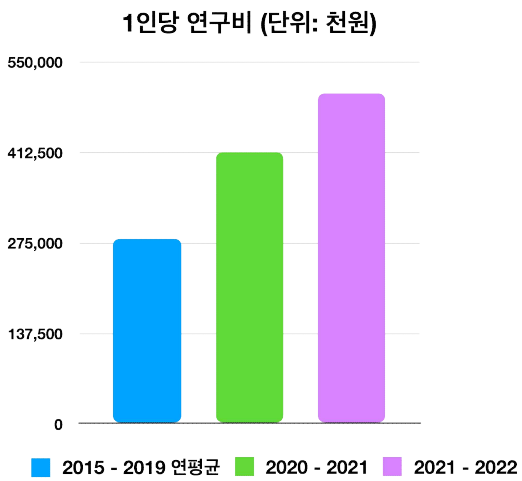
1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적

<표 3-3> 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천원)		
	3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 실적 (선정평가 보고서 작성내용)	최근 1년간(2021.9.1.~2022.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	5,167,763.861	4,055,550,606	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	744,770	409,361,108	
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	0	51,197,960	
참여교수 수	7	9	
1인당 총 연구비 수주액	844,647.694	501,789,964	





- 2017-2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 129%증가, 1인당 연구비 78% 증가
- 전년도 (2020-2021) 대비 연구비 총액 21% 증가, 1인당 연구비 21% 증가

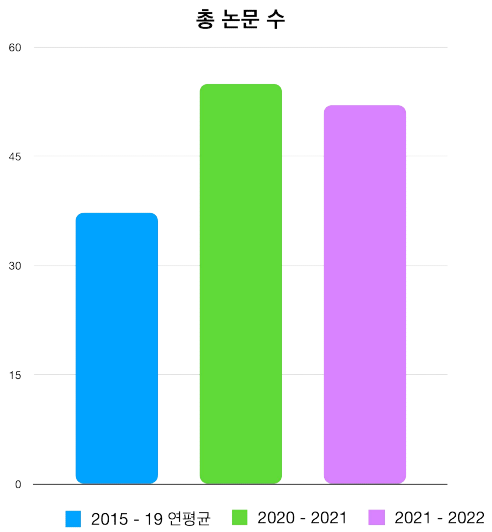
1.2 연구업적물

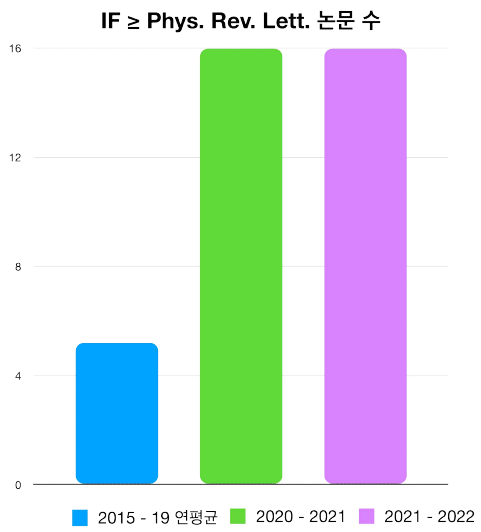
① 참여교수 연구업적물의 우수성

참여교수 연구실적

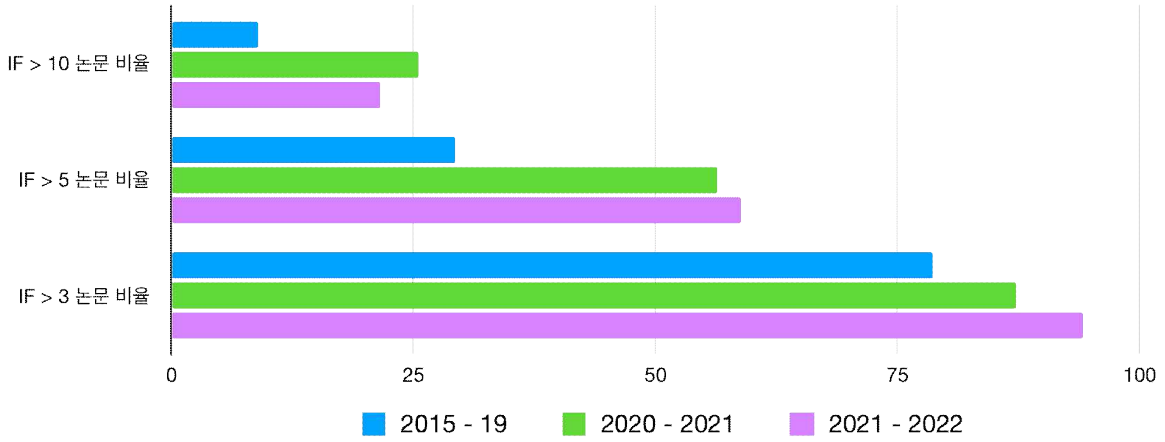
- 참여교수들의 발표논문 52편, IF 합 307.04
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 16
- IF > 10.0 논문수: 11편 (21.1%), IF > 5.0 논문 수: 31편 (59.6%), IF > 3.0 논문 수: 49편 (94.2%)

- **논문 수**
  - 총 논문 수: 2015 – 2019년 논문 수 연평균 (37편) 대비 **40% 증가**. 전년도 (55편)와 비슷한 수준.
  - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 – 19 연평균 대비 **207% 증가**. 전년도 (16편)와 같음.





• **우수 논문 비율**



- IF > 10 논문 비율: 2015 – 2019년 대비 **144% 증가**, 전년도 대비 소폭 감소
- IF > 5 논문 비율: 2015 – 2019년 대비 **103% 증가. 목표치 (≥ 40%) 초과**, 전년도 대비 소폭 증가
- IF > 3 논문 비율: 2015 – 2019년 대비 **19% 증가**, 전년도 대비 소폭 증가
- 질적 우수 논문 비율 지속적 증가

• 연구성과 세부지표

<표 3-4> 참여교수 연구 실적

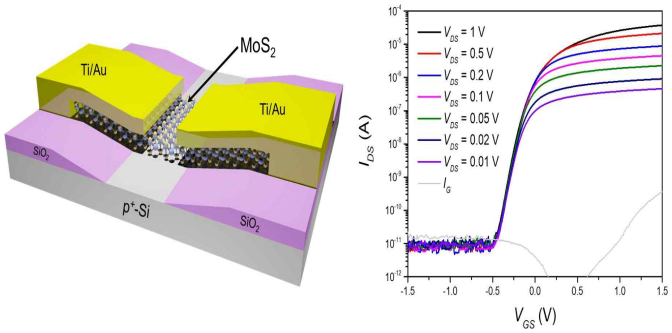
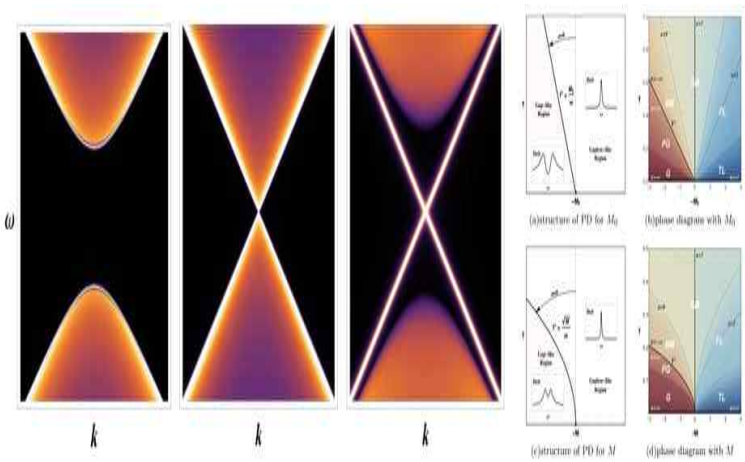
	2021-2022	2015-19 연평균	증감 (%)	1단계 목표(~ 2023)	2020-2021
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	16	5.2	+207	28	16
IF > 5 논문 비율 (%)	59	29	+103	35	56
환산보정 IF 합	8.08	5.31	+52	17.52	8.35
환산보정 ES 합	25.96	20.05	+29	66.17	21.57

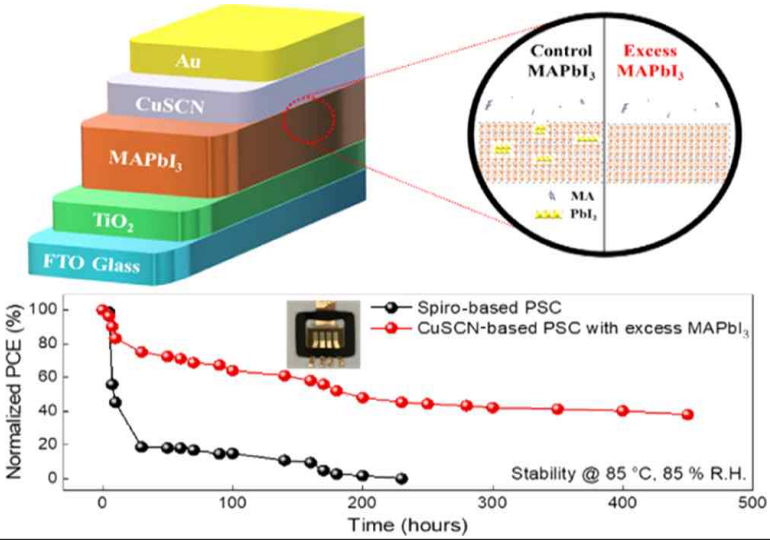
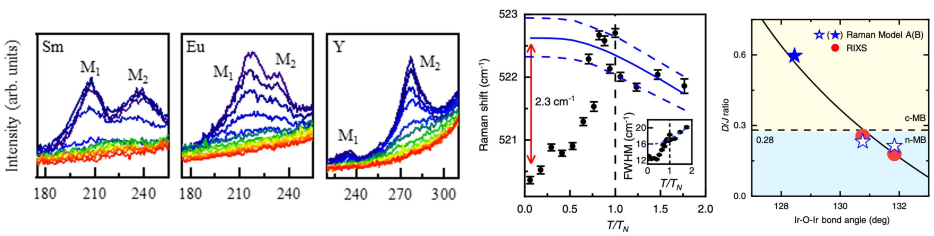
- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2020 – 2022 기간 (32편) 동안 **1단계 목표치 (28편) 초과 달성**
- IF ≥ 5인 논문의 비율 59%: 2015 – 19 대비 약 2배, 2020-21과 비슷한 수준. 목표치 **(≥ 40%) 초과**
- 환산보정 IF 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 93% 달성**
- 환산보정 ES 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 71% 달성**

② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2021.9.1.-2022.8.31.))

<표 3-5> 교육연구단의 대표업적물

연번	대표연구업적물 설명
1	◉ 논문명: High Performance MoS_2/p+-Si heterojunction field-effect transistors by interface modulation • NANO RESEARCH, (2022. 4), IF:10.269

	◎ 저자정보: 김은규 교수 (교신저자) ◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성 MoS_2는 n-type 특성을 지닌 전형적인 2차원 층상구조 물질 중 하나임. 일반적으로 MoS_2는 절연층에 의한 성능이 감소하는 현상이 나타남. 본 연구에서 MoS_2를 SiO_2/p+-Si 기판 위에 junction field-effect transistor를 제작해서 MoS_2와 절연층인 SiO_2가 겹치는 비율에 따라 소자 성능을 분석함. MoS_2와 절연층이 겹치는 부분이 없는 경우 소자의 성능이 가장 뛰어났음. 그리고 절연층의 비율이 늘어날수록 성능이 감소하는 것으로 분석되었으며, 소자의 안정성 또한 하락하는 것으로 분석됨. 본 연구는 2차원 물질인 MoS_2의 성능과 절연체의 연관성을 분석하여 소자 성능의 개선 가능성을 제시함. 
2	◎ 논문명: The emergence of strange metal and topological liquid near quantum critical point in a solvable model • JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, volume 2021, 207 (2021. 11) IF: 6.379 ◎ 저자정보: 신상진 교수 (교신저자) ◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성 양자 임계점(QCP) 근처의 페르미온 스펙트럼에 대한 스칼라 condensation을 고려하여 금속에서 절연체로의 phase transition이 있으며 위상적으로 보호되는 페르미온 Zero mode가 존재함을 발견하였음. 또한 T-linear resistivity을 갖는 strange metal phase가 horizon을 가지고 있는 중력에 대해 온도가 충분히 높을 때 나타남을 보였음. Phase boundaries들을 상태밀도에 따라 계산하여 QCP 근처의 위상 다이어그램 구조에 대한 통찰을 제공함. 이러한 발견에 힘입어 이후 여러 가지 물질에서 일어나는 양자상전이점 부근에서의 페르미온 spectrum이 모두 같은 물리학에 의해 나타날 것인가를 확인하려는 실험물리학자들과의 공동연구를 계획하고 있음. 

3	◎ 논문명: Methylammonium Compensation Effects in $MAPbI_3$ Perovskite Solar Cells for High-Quality Inorganic CuSCN Hole Transport Layers • **ACS Applied Materials & Interfaces**, volume **14**, 5203 (2022. 2) IF: 10.383 ◎ 저자정보: 홍진표교수 (공동교신저자) ◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성 페로브스카이트 태양전지용 정공추출 물질로 사용할 수 있는 CuSCN과 페로브스카이트 층인 $MAPbI_3$와의 관계를 분석하였다. CuSCN 후 어닐링에서 $MAPbI_3$ 층의 MAI + PbI_2로의 해리 및 분해를 excess MAI molar ratio 방법을 이용하여 효과적으로 억제할 수 있음을 보인 연구 결과이다. 
4	◎ 논문명: Topological Magnon Band Crossing in $Y_2Ir_2O_7$ • **PHYSICAL REVIEW LETTERS**, volume **127**, 267203 (2021. 12) IF: 9.185 ◎ 저자정보: 문순재 교수 (공동교신저자) ◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성 위상 특성은 응집 물질 물리 학계의 많은 관심을 받고 있다. 최근에는 전자의 스핀으로 이루어진 계의 위상 특성에 대한 관심이 높아지고 있다. 부도체 자성 물질의 마그논(magnon) 밴드 구조가 위상 특성을 가질 경우, 전하를 띠지 않는 마그논의 특성으로 인해 에너지 손실이 없는 스핀 수송 현상이 나타날 수 있다. 이는 학문적으로 흥미로운 연구 주제일 뿐 아니라 스핀트로닉스 소자로에도 활용될 수 있다. 본 연구에서는 라만 산란 분광 실험을 통해 반강자성 부도체인 $Y_2Ir_2O_7$, $Eu_2Ir_2O_7$, $Sm_2Ir_2O_7$의 마그논 밴드 구조를 연구하였다. 반강자성 상전이 온도 이하에서 나타나는 마그논 봉우리 (peak)와 포논 모드의 에너지 변화를 분석하여, $R_2Ir_2O_7$에서 희토류 원소의 종류에 따라 마그논 밴드의 위상 상전이가 일어남을 발견하였다. 본 연구 결과는 $R_2Ir_2O_7$가 마그논 밴드의 위상 특성 제어가 가능한 물질군임을 보임으로써 이들 물질의 마그논 밴드 위상 특성에 대한 실험 연구를 촉진시킬 것으로 기대된다. 

5

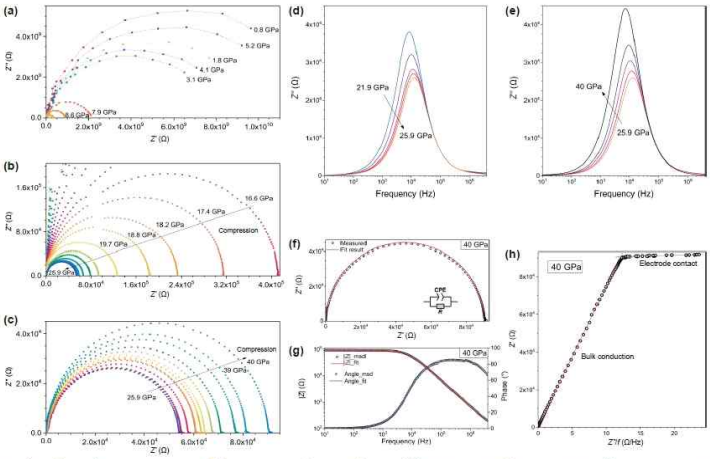
◎ 논문명: Tunable electrical properties of C60•m-xylene and the formation of semiconducting ordered amorphous carbon clusters under pressure

• NANO RESEARCH, volume 15, 3788 (2022. 1) IF: 10.269

◎ 저자정보: 김재용 교수 (공동교신저자)

◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

소위 buckyball로 알려진 C60 구조체는 전기적, 기계적 성질이 잘 알려져 있으나 압력에 대한 물성변화는 아직 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 다이아몬드앤빌셀을 이용하여 압력을 50 GPa까지 인가하면서 전기적 특성과 구조변형을 자세히 분석하였다. 그 결과 압력이 25 GPa 단계까지는 금속성을 보이다가 이후에는 반도체성을 띄게 되고 비교적 안정한 구조체로 알려진 C60 buckyball은 40 GPa 이후부터는 구조가 허물어지기 시작하여 결국 비정질형태로 변환됨을 확인하였다. 하지만 가해준 압력을 제거하였을 경우, 다시 원형으로 복구되었고 이는 C60구조체의 탄성이 매우 높다는 점을 시사하였다.



6

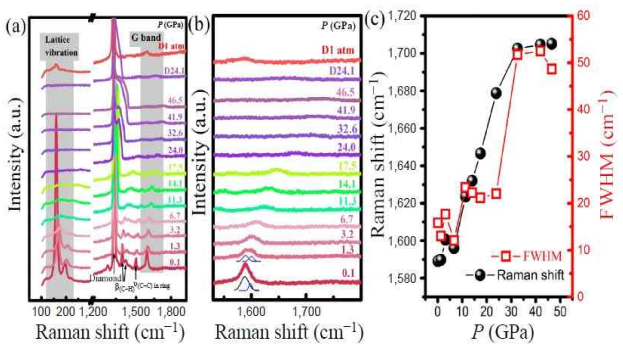
◎ 논문명: Dehydro-Diels-Alder reaction and diamondization of bowl-shaped clusters $C_{18}Te_3Br_4(Bu\text{-}O)_6$

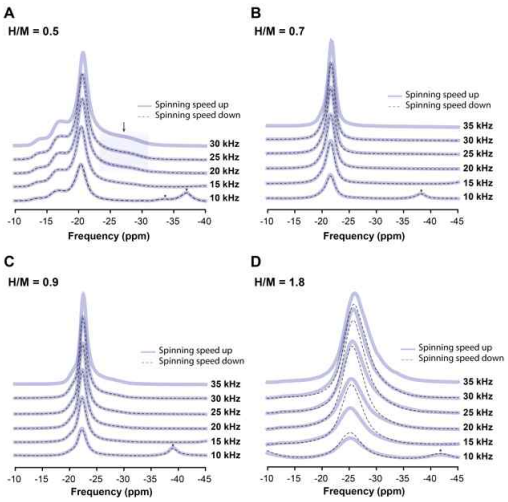
• NANO RESEARCH, volume 15, 4606 (2022. 2) IF: 10.269,

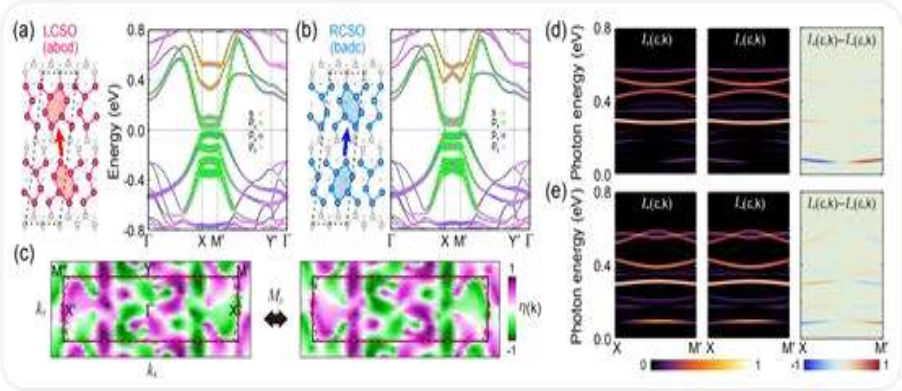
◎ 저자정보: 김재용 교수 (공동교신저자)

◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

중국 Yangzhou 대학교의 JInbo Zhang 교수와 Yanshan 대학교 Lin Wang교수들과의 국제공동연구의 일환으로 $C_{18}Te_3Br_4(Bu\text{-}O)_6$ 시료의 압력변화에 따른 전기적 수송현상, 구조적 그리고 비가역적 형상변형 특성을 연구하였다. 압력을 인가함에 따라 전기적 측성이 증가하는 이유는 입자간 골격이 줄어들면서 결정이 균일화되는 현상의 일종이라고 분석하였다.



7	◎ 논문명: Quantitative Probing of hydrogen environments in quasicrystals: by high-resolution NMR Spectroscopy ▪ **Acta Materialia**, 226, 117657 (2022.03) IF::9.209 ◎ 저자정보: 김재용 교수 (공동교신저자) ◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성 대용량수소저장매체로 알려진 TiZrN기반 준결정체는 구조적 특성과 수소가 차지하는 정확한 위치를 규명할 수 없어 아직까지 활용되지 못하였다. 수소가 가역적으로 흡수된다는 사실하에 NMR을 활용하여 격자내에서 수소원자의 껑충뜀 주기를 측정하고 수소원자 주위 원자와의 거리를 측정함으로써 비주기적 물질의 기본구조, 수소원자위치를 정확히 규명하였으며, 본 결과는 준결정체의 부분구조를 규명하는데 도움이 될것으로 기대 함. 
8	◎ 논문명: Circular Dichroism of Emergent Chiral Stacking Orders in Quasi-One-Dimensional Charge Density Waves • **PHYSICAL REVIEW LETTERS**, volume **128**, 046401 (2022. 1) IF: 9.185 ◎ 저자정보: 천상모 교수 (공동교신저자) ◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성 이 연구에서 우리는 DFT와 이론 계산을 사용하여, 준1차원 전하밀도파동(CDW)와 원형편광 사이의 빛과 물질의 상호작용을 분석하였다. Si(111) 표면의 자체 조립(self-assemble)된 인듐 나노 와이어는 자발적인 거울 대칭성 붕괴에 의해서 기하학적 손지기성질(chirality)을 가지는 4개의 중첩된 CDW 구조를 가진다. 이러한 기하학적 손지기성(chirality)은 준 1차원 전하밀도파동 구조를 1차원 체인 방향에 수직으로 쌓은 경우에 자연스럽게 광학 활성 (optical activity) 현상을 보일 수 있다. 실제로, 우리는 왼쪽 및 오른쪽 손지기 적층 순서가 뚜렷한 원형 이색성 (circular dichroism) 반응을 나타내는 반면 비손지기(non-chiral) 적층 순서는 원형 이색성을 나타내지 않는다는 것을 발견했다. 이러한 광학 응답은 CDW 적층 순서의 거울 대칭의 존재에 기인한다는 것을 밝혔다. 우리의 발견은 CDW 손지기 적층 순서가 원형 편광을 사용한 주사 터널링 현미경 (STM) 측정에서 관찰될 수 있을 것을 시사한다.

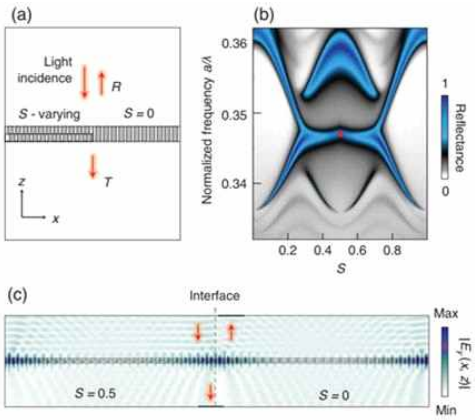


[그림] (a,b) 준1차원 전자계에 존재하는 새로운 손지기 위상질서. 왼쪽손지기 적층질서 (left-chiral stacking order)와 오른쪽손지기 적층질서 (right-chiral stacking order)의 기학학적 구조와 밴드 구조. (c) 브릴루안존에서 계산된 회전편광 지도(circular polariation map). (d,e) 밴드 간 광학적 전이 확률(interband optical transition rate)과 광학적 이색등방성(circular dichroism).

9

- 논문명: Synthetic Topological Nodal Phase in Bilayer Resonant Gratings
  - **PHYSICAL REVIEW LETTERS**, volume **128**, 053002 (2022. 2) IF: 9.185
- 저자정보: 송석호 교수 (공동교신저자)
- 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

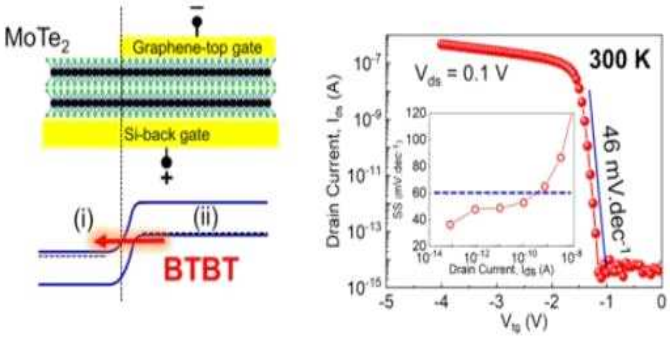
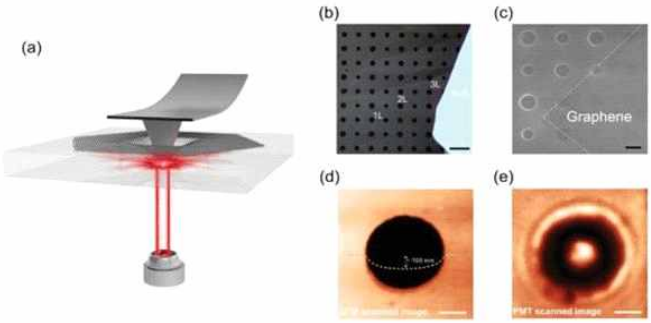
  이중층 공진 격자 구조에서 2차원 위상 노드 상의 나노광자 표현을 제시함. 위상 반금속과 수직 비대칭 광자 격자 사이의 수학적 유추를 사용하여 층간 이동이 2차원 위상 노드 위상을 생성하기 위한 추가 운동량 차원을 시뮬레이션한결과를 보여줌. 토폴로지상 중요하지 않은 영역에서 복잡한 갭리스 밴드 구조와 국부화된 에지 상태를 생성하는 두 개의 노드 포인트를 보여주는 이론적 모델과 엄격한 수치 분석을 제시하고, 단순한 저차원 광자 구조에서 고차원 위상 효과를 생성하기 위한 실용적인 아이디어를 제안함.



10

- 논문명: Gate-controlled $MoTe_2$ homojunction for sub-thermionic subthreshold swing tunnel field-effect transistor
  - **NANO TODAY**, volume **40**, 101263 (2021. 10) IF: 18.962
- 저자정보: 정문석 교수 (교신저자)
- 논문 내용 요약 및 논문의 우수성

  바닥 금속 접점과 결함이 없는 폴리머 기판을 가진 $MoTe_2$ 동종접합 기반 TFET를 개발하였다. 전달 특성은 무시할 수 있는 히스테리시스와 함께 300K에서 4 decade 동안 36.4mV

	dec^{-1}의 서브열이온 최소 SS와 46mV dec^{-1}의 SS 평균을 보여주었다. 특히 0.6V(실리콘 기술의 경우 0.7V)의 더 작은 공급 전압이 TFET에서 실현되었다.. 또한, 우리 장치는 ~108의 우수한 온/오프 전류 비율, 몇 개월 이상의 기간 동안 강한 공기 안정성 및 m = 0.21의 본체 계수인 볼츠만 미만 한계를 나타낸다. 이 연구는 반 데르 발스 이종구조 어셈블리에 대한 전략을 보여주고 TFET 연구의 상당한 진전을 설명한다. 
11	◎ 논문명: Raman Scattering Measurement of Suspended Graphene under Extreme Strain Induced by Nanoindentation • ADVANCED MATERIALS, volume 34, 2200946 (2022. 5) IF: 32.086 ◎ 저자정보: 정문석 교수 (공동 교신저자) ◎ 논문 내용 요약 및 논문의 우수성 원자간력현미경(AFM)-라만 분광 측정 도구를 사용하여 6.1%의 매우 높은 이축 변형률 하에서 부유 그래핀의 라만 산란 측정을 하였다. Nanoindentation은 평평한 상단과 구멍 모양을 갖도록 가공된 AFM 팁을 사용하여 수행되어 Raman 신호를 획득할 수 있을 만큼 충분히 큰 변형된 그래핀 영역이 생성된다. 동시에, 레이저 광은 그래핀 멤브레인의 변형된 평평한 영역에 집중된다. 그래핀의 G 밴드와 2D 밴드의 라만 신호는 각각 282 cm^{-1}와 684 cm^{-1}만큼 적색편이를 보이며, 이는 그래핀에서 전례가 없는 일이다. 이 측정 기술은 초고 변형률에서 원자적으로 얇은 재료의 물리적 특성 변화를 측정하는 효과적인 방법을 제공한다. 

③ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

참여교수 특허 실적

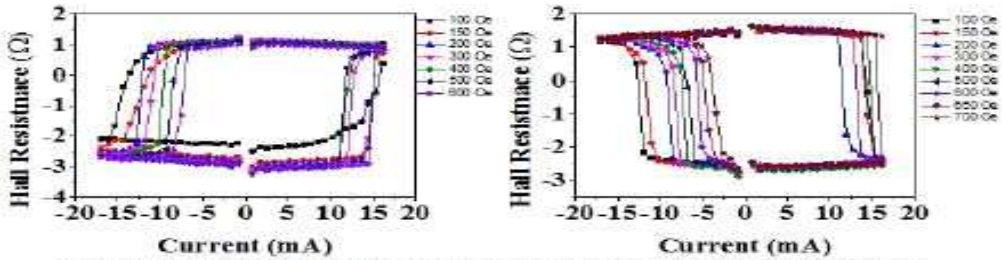
- 국제특허 2건과 국내 특허 6건을 등록하였음.
- 2020-21 특허 10건, 2021-2022 특허 8건으로 지속적으로 특허 성과를 도출하고 있음.

<표 3-6> 참여교수 특허 실적

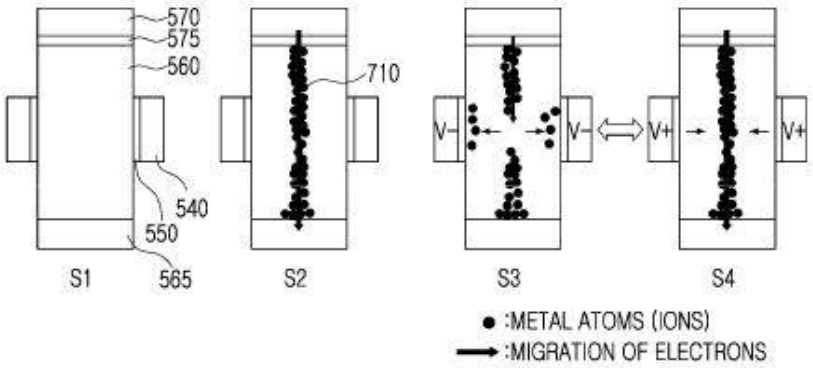
항목	연번	등록국가	등록일자 (YYYYMMDD)	등록번호	발명의 명칭	발명인 중 참여교수 성명
국제특허	1	중국	20220318	ZL201780054237.X	THREE-AXIS MAGNETIC SENSOR	홍진표
	2	미국	20220222	11,258,009	SWITCHING ATOMIC TRANSISTOR AND METHOD FOR OPERATING SAME	홍진표
국내특허	1	대한민국	20210915	10-2304793	2단자 사이리스터 메모리 소자의 제조방법	김은규
	2		20220406	10-2385151	수직자기이방성을 갖는 mtj 구조 및 이를 포함하는 자성소자	홍진표
	3		20211012	10-2314142	스위칭 원자 트랜지스터 및 이의 동작방법	홍진표
	4		20220124	10-2356235	칼코게나이드 반도체 및 이를 구비하는 박막트랜지스터	홍진표
	5		20211015	10-2315910	자기 터널 접합 소자 및 이의 동작 방법	홍진표
	6		20211012	10-2314162	다결정 금속 산화물층을 포함하는 선택소자 및 이를 포함하는 크로스포인트 메모리	홍진표

• **참여교수 국제특허 우수성**

<표 3-7> 참여교수 우수 국제특허 실적

연번	국제특허 설명
1	◉ 특허명: THREE-AXIS MAGNETIC SENSOR ◉ 등록국가: 중국 ◉ 등록일자: 2022. 3. 18. ◉ 등록번호: ZL201780054237.X ◉ 참여교수: 홍진표
	◉ 특허 내용 요약 및 우수성 기존 자기센서는 in-plane magnetic anisotropy를 이용해 x,y축의 평면의 자계를 감지함. x,y축의 자계방향을 감지하기 때문에 x,y,z축의 자계를 감지하기 위해서는 각각 방향에 해당하는 소자들이 필요함. 본 연구는 SOT-MTJ구조를 이용해 수직자기이방성특성을 이용한 소자를 이용함. SOT-MTJ구조가 단일 박막에 적층구조로 되어있어, SOT 특성의 층에서는 수직자기이방성을 가진 강자성체의 자화방향이 외부에서 인가된 전류방향과 외부자계의 상호작용인 SOT에 의해 변화되고 이는 홀저항 또는 홀전압의 변화의 결과를 나타냄. 이를 통해 SOT 특성층은 x,y축 방향의 자계를 감지할 수 있음. 박막의 상단부의 MTJ 특성층에서는 고정층과 자유층의 자화방향이 평행 또는 반평행 상태에 따라 흐르는 전류의 차이를 만들어낼 수 있고, 이는 TMR로 나타남. MTJ의 고정층과 자유층은 수직자기이방성의 특성을 갖고, z축 방향의 자기장에 따라 자유층의 자화방향 스위칭이 일어나게 됨. 이에 따라 z축 방향의 자계를 감지할 수 있음. 본 발명은 단일 소자로 x,y,z,축을 감지할 수 있다는 점과 기존 자기센서의 각 x,y,z축에 필요한 소자에 비해 복잡한 회로구성을 단순화시킬 수 있다는 점에서 차별성을 지님. SOT-MTJ특성은 저전력으로 구동가능하다는 장점이 있으며 차후 자동차 전장부문과 모바일부문의 센서 영역에서 파급효과가 있을 것으로 전망됨.  [x(왼쪽), y(오른쪽)축에 가해진 외부자기장에 대한 Spin Orbit Torque 신호변화] SOT 기반 소자의 외부 자기장에 따른 신호 변화를 보여준다. 외부 자기장이 변화함에 따라, Hall resistance가 스위칭 되는 포인트가 달라지는데, 이 전류를 측정함으로써 x,y 축에 대한 외부자기장을 감지 할 수 있다.
2	◉ 특허명: SWITCHING ATOMIC TRANSISTOR AND METHOD FOR OPERATING SAME ◉ 등록국가: 미국 ◉ 등록일자: 2022. 2. 22. ◉ 등록번호: 11,258,009 ◉ 참여교수: 홍진표
	◉ 특허 내용 요약 및 우수성

기존 전계 트랜지스터는 소자의 소형화가 고도화됨에 따라 누설전류가 증가하고 on/off가 되지 않는 문제가 커지고 있음. 본 연구는 이온 거동을 통해 절연체 내부의 전도성 통로를 원자 수준으로 컨트롤하여 트랜지스터의 역할을 수행하도록 제작하였음. 더불어 본 소자는 gate의 전압이 소실된 이후에도 on/off state를 유지할 수 있어 전력감소와 비휘발성 메모리 소자로 응용도 가능함. 본 발명은 현재 수 nm 수준의 공정에서 난항을 겪는 트랜지스터 및 2단자 선택 소자로서의 응용에도 활용될 수 있으며 이는 하드웨어 수준의 인공지능 소자 개발에도 활용될 수 있을 것으로 기대됨.



2. 산업·사회에 대한 기여도

친환경 에너지 분야 문제 해결

- 저전력 고효율 자기 센서

홍진표 교수 연구실은 SOT 기능을 통한 고기능성 자기 센서를 개발하였으며, 이를 국제 특허로 등록하였음 (등록번호 ZL201780054237.X). 이 결과는 기존의 복잡한 회로 구성을 단일 소자로 대체할 수 있다는 점에서 차별성을 지니며, 공정의 간소화와 소비전력 및 공정비용의 절감을 가져올 수 있을 것으로 기대됨. 스마트 자동차 시장뿐 아니라 IOT 시대에서 핵심 기술이 될 것으로 전망되는 웨어러블 센서 및 홈인터넷에 탑재되는 센서의 영역까지 파급효과가 있을 것으로 전망됨.

- 고에너지 밀도 수소에너지 저장매체 발굴 연구 수행

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

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

반도체 및 광소자 분야

- 인공지능 소자 개발

반도체 산업의 발전과 더불어 사람이 하는 감각과 인지, 상호작용 등을 따라할 수 있는 인공지능 (AI) 연구가 활발하게 진행되고 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 뉴런사이에 위치하여 뉴런이 발산한 신호의 세기를 조절하는 웨이팅(weighting)을 부여함. 뉴런과 시냅스의 이러한 전기적 특성을 모방하는 인공지능 소자의 개발이 화두로 떠오르고 있으며 해당 기술은 선점할 경우 국내 산업에 크게 이바지 할 뿐만 아니라 국제 표준화 제시 등 세계시장을 선도할 수 있어 반드시 연구가 이루어져야 하는 분야임.

홍진표 교수는 이온 거동을 통해 절연체 내부의 전도성 통로를 원자 수준으로 제어하여 트랜지스터의 역할을 수행할 수 있는 소자에 대한 연구 결과로 국제 특허 (등록 번호 11,258,009)를 등록하였음. 본 결과는 전계 트랜지스터가 소형화됨에 따라 누설 전류가 증가하고 on/off가 되지 않는 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대됨. 또한 본 소자는 게이트 전압이 가해지지 않았을 때도 on/off 상태를 유지할 수 있어 저전력 비휘발성 메모리 소자로 응용이 가능함. 더 나아가, 본 발명은 현재 수 nm 수준의 공정에서 난항을 겪는 트랜지스터 및 2단자 선택 소자와 하드웨어 수준의 인공지능 소자 개발에도 활용될 수 있을 것으로 기대됨.

- 반도체 분야 분석 관련 회사 창업

정문석 교수 연구진은 자동화 공정 개발을 통하여 높은 재현성 및 생산성을 가지는 금속 나노 탐침 개발 및 이를 이용한 scanning probe microscope (SPM)/라만 시스템을 결합한 tip-enhanced Raman scattering (TERS) 장비를 개발하는 것을 목표로 2022년 2월에 주식회사 표준분석랩을 창업하였음. 본 기술의 사업화는 ① 금속 나노 탐침 상품화, ② 금속 나노 탐침을 이용한 TERS 장비, ③ TERS 장비를 활용한 반도체, 배터리 및 탄소 분야에 대한 분석 서비스 제공의 세 가지 단계로 추진할 계획임.

2. 참여교수의 연구의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

김은규 교수

- 2022년 국제학술대회 명예회장: “The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022)” , Jeju, Korea (2022. 7. 17-21)

김재용 교수

- 2021년 국제학술대회 조직위원장 (2021. 1. 1 - 12. 31): Conference Chair, “10th Asian Conference on High Pressure Research” , Virtual (2021. 11. 21-25), Online
  - The 19th International Conference on High Pressure Semiconductor Physics, The 3rd International Conference on High Pressure Study on Superconductors와 연계
  - 저차원 물질, 극한 물성, 위상 특성, 반도체, 수화물, 고압 바이오 물리, 계산 물리 등의 10개 세션으로 구성
  - 미국, 유럽, 일본, 중국 등 18개국 275명 (국내 97명, 해외 178명) 참가.
  - 기조연설 : “Structural Changes of Potassium under High Pressure of Hydrogen”

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

문순재 교수

- 2021년 국제학술대회 조직위원 (2021. 1. 1 - 12. 31): "10th Asian Conference on High Pressure Research", Virtual (2021. 11. 21-25), Online
- 2021년 국제학술대회 초청강연: "Low-Energy Interband Transition of Correlated Metal $SrVO_3$ in Ultraclean Limit", "10th Asian Conference on High Pressure Research", Virtual (2021. 11. 21-25), Online
- 2022년 국제학술대회 조직위원 (2021. 9. 28 - 2022. 08. 26): "The 15th Asia Pacific Physics Conference", Online

신상진 교수

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

정문석 교수

- 국제학술대회 조직위원: 총무, "국제반도체물성심포지움" (2020. 3. 1 - 2022. 7. 21)
  - 정문석 교수가 학술대회 총무로 활동
  - 참가 인원: 19개국 1087명 (국내 989명, 해외 98명) 참가
  - 발표 수: 773개 (구두 366개, 포스터 407개)
  - 대학원생들에게 연구 결과 발표 및 해외 저명학자들과의 교류 기회 제공
  - 양자물질 기초 물성과 응용 분야에서 공동 연구 기회 모색
- 국제학술대회 "Asia Pacific Near-field Optics" 초청강연: "Investigation of Defects in 2D Nanomaterials with Vibrational Nanoscopy" Fukuoka, Japan (2022. 7. 30)
- 국내학술대회 "Nano Korea" 초청강연: "Quality Evaluation of 2-D nanomaterials with Raman scattering" (2022. 7. 7)
- 국제학술대회 "RPGR2021" 초청강연: "Quality Evaluation of Graphene with Raman Scattering" (2021. 10. 12)

조준형 교수

- 2021년 국제학술대회 조직위원 (2021. 1. 1 - 12. 31): "10th Asian Conference on High Pressure Research", Virtual (2021. 11. 21-25), Online.

천상모 교수

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

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	문순재		미국 / Boston College	Topological Magnon Band Crossing in Y2Ir2O7	10.1103/PhysRevLett.127.267203
2	김재용		중국/Yanshan University,Yangzhou University	Tunable electrical properties of C60•m-xylene and the formation of semiconducting ordered amorphous carbon clusters under pressure	10.1007/s12274-022-4092-1
3	김재용		중국/Yanshan University,Yangzhou University	Dehydro-Diels-Alder reaction and diamondization of bowl-shaped clusters C18Te3Br4 (Bu-O)6	10.1007/s12274-022-4215-8
4	정문석		베트남/Phenikaa University	Gate tunable photoresponse of a two-dimensional p-n junction for high performance broadband photodetector	10.1016/j.apmt.2021.101285
5	정문석		베트남/Phenikaa University	InterfaceTrapSuppressionandElectronDopinginVanderWaals MaterialsUsingCross-LinkedPoly(vinylpyrrolidone)	10.1021/acsami.1c12968
6	정문석		베트남/Phenikaa University	Large-Area MoS2 via Colloidal Nanosheet Ink for Integrated Memtransistor	10.1002/smtd.202100558
7	정문석		베트남/Phenikaa University	Gate-controlled MoTe2 homojunction for sub-thermionic subthreshold swing tunnel field-effect transistor	10.1016/j.nantod.2021.101263
8	정문석		미국/ Old Dominion University	Probing Pathways of Conductive Filaments of FAMAPbI3 with Controlled FA Composition Using Conductive Atomic Force Microscopy	10.1021/acs.jpcc.1c07183
9	정문석		미국/ Old Dominion University	Investigation of Cation Exchange Behaviors of FAxMA1−xPbI3 Films Using Dynamic Spin-Coating	10.3390/ma14216422
10	김재용		유럽/Eu-XFEL	Novel experimental setup for megahertz X-ray diffraction in a diamond anvil cell at the HED instrument of the Eu-XFEL	10.1107/S1600577521002551
11	김재용		유럽/Eu-XFEL	X-ray Free Electron Laser-Induced Synthesis of ε-Iron Nitride at High Pressures	10.1021/acs.jpclett.1c00150

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

외국기관과의 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 우수인력을 확보하여 해외 우수연구기관들과의 국제공동연구를 통하여 세계적인 연구성과를 도출할 수 있음. 특히 극한물성연구처럼 국내보다 해외, 특히 중국에 연구인력과 인프라가 많이 구축되어 있는 현실에서는 더욱 그러함. 국내 물리학과 대학원 진학률이 저조하고 젊은 과학자가 부족한 현실에서, 인적자원이 풍부한 중국, 베트남과의 교류는 매우 중요. 이러한 배경에서 본 사업팀은 중국북경고압연

구소와 길림대학 등을 비롯한 여러 기관들과 연구와 교육면에서 전략적 파트너쉽을 수립하였으며, 공동 워크샵을 정기적으로 개최하고 있음.

외국 대학 및 연구 기관과의 연구자 교류 실적

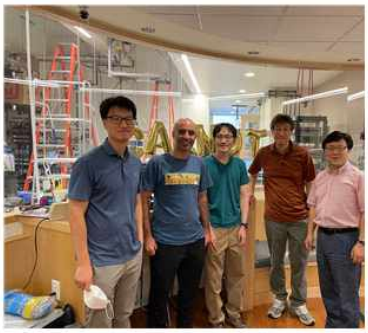
- 한양대-길림대-펑지아대 심포지움 개최 (2021. 12. 17)
  - 한양대 3명, 길림대 3명, 펑지아대 3명 연사 참여
  - 한양대 문순재 교수, 정문석 교수, 조준형 교수 발표

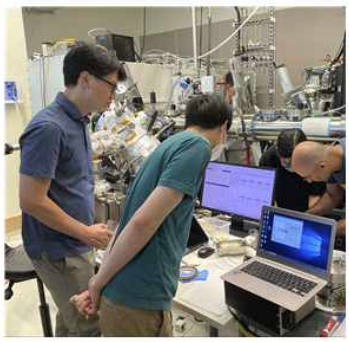
List of Attendees

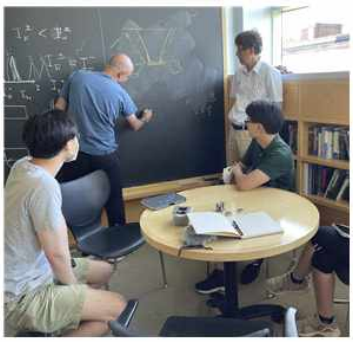
No.	Name	Title	Presentation Title
1	JEONG, Mun Seok	Professor, Department of Physics, HYU	Exploring the Physics of 2D Nanomaterials with Vibrational Nanoscopy
2	CHO, Jun-Hyung	Professor, Department of Physics, HYU	High-Tc superconductivity in rare earth hydrides at high pressures
3	MOON, Soonjae	Professor, Department of Physics, HYU	Low-Energy Interband Transition of Correlated Metal SrVO3 in Ultraclean Limit
4	*Hongjian, ZHAO*	Professor, International Center for Computational Method and Software, JLU	Ferroelectric, Magnetic and Multiferroic Materials: Phenomenological Theory and Materials by Design
5	*Yu, XIE*	Professor, International Center for Computational Method and Software, JLU	*Ab Initio* Electronic Structure Calculations using A Real-Space Chebyshev-Filtered Subspace Iteration Method
6	*Hanyu, LIU*	Professor, International Center for Computational Method and Software, JLU	Computational Design of High-Temperature Superconducting Hydrides under High Pressure
7	LO, Shih-Shou	Professor, Department of Photonics, FCU	From ZnO Nanostructure to Lithium Niobate Nanostructure
8	LIANG, Chen-Jui	Associate Professor, International School of Technology and Management, FCU	Energy utilization and kinetic characteristics due to plasma-catalytic synergy effect with reactant structurally bond strength and inductive effect.
9	CHIU, Sheng-Kuei	Assistant Professor, Department of Materials Science and Engineering, FCU	Exceeding the quality of exfoliated WS2 through mediator-assisted synthesis at multi-wafer scale

- Harvard University 교수 초청 워크샵
  - 양자물질 창발현상에 대한 워크샵 한양대에서 개최 (2022.5.24.)

- Harvard University 물리학과에 신진연구인력 장기 파견 (2022.7.1. ~ 2023.6.30.)
  - 한양대학교 소속 박사후연구원 박사를 Harvard University 물리학과에 장기 파견함.
  - 2차원 양자물질과 고온 초전도체 이종 접합 구조에서 나타나는 양자현상에 대한 연구 수행

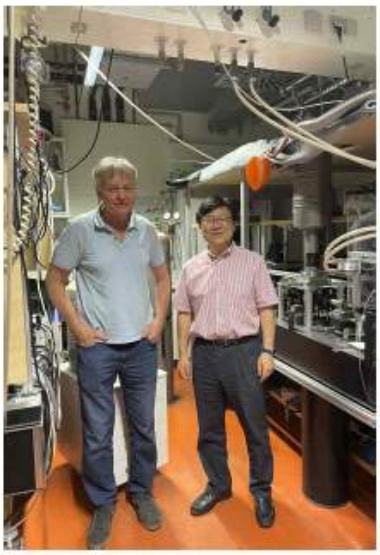






• 초고압하에서 고온초전도체 발굴을 위한 학생파견 및 공동연구 수행

- 김재용 교수는 독일 막스플랑크연구소 박사 연구실을 방문하여 (2022.06.12.) 고온초전도체 발굴을 위한 공동연구의 일환으로 포스트닥 연구원과 대학원생을 장기파견하기로 함.



• 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 (체결날짜: 2022.03.2.)

내용: 고자기장을 이용한 극한물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행

LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN THE NATIONAL HIGH MAGNETIC FIELD LABORATORY AND HANYANG UNIVERSITY

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

AND:

Hanyang University, having the address at 222 Wangsimri-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Korea;

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.

1. Background

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, bioengineering, chemistry, geochemistry, biochemistry. The lab is supported by the National Science Foundation and the state of Florida and works in collaboration with private industry.

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.

2. Intent

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.

3. Contents of Feasibility Activities

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:

- 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.

4. Term of Validity of this Letter of Intent

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.

5. Modification

Any modification or amendment of this Letter of Intent shall be made on the basis of mutual written understanding.

6. Authentic Text

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.

• 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

내용: 고자기장을 이용한 극한물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행

LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION
BETWEEN
HIGH MAGNETIC FIELD LABORATORY
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES
AND
HANYANG UNIVERSITY

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.

AND:

Hanyang University, having the address at 222 Wangsimri-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Korea;

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.

1. Background

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.

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.

2. Intent

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.

3. Contents of Feasibility Activities

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:

- 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.
- 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.

4. Term of Validity of this Letter of Intent

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.

5. Modification

Any modification or amendment of this Letter of Intent shall be made on the basis of mutual written understanding.

6. Authentic Text

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.

• 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 (체결날짜: 2022.03.5.)

내용: 양자물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구 수행

LETTER OF INTENT FOR COLLABORATION BETWEEN
Max Planck Society
AND
HANYANG UNIVERSITY

The Max Planck Society, having the Administrative Headquarters in Munchen, Germany

AND:

Hanyang University, having the address at 222 Wangsimri-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Korea;

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.

1. Background

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.

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.

2. Intent

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 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.

3. Contents of Feasibility Activities

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:

- 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.
- 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.

4. Term of Validity of this Letter of Intent

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.

5. Modification

Any modification or amendment of this Letter of Intent shall be made on the basis of mutual written understanding.

6. Authentic Text

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.

• 인도 Indian Institute of Technology Ropar와 MOU 체결 (2022.4.1. ~ 2024.12.31.)

- 양자물질 극한물성 분석 공동연구를 위한 인력 교류 및 공동연구 수행 관련 협력의향서 체결

Indian Institute of Technology Ropar, India MoU (체결날짜: 2022.03.8.)

내용: 양자물성 연구관련 학생 및 연구원교류, 국제공동연구, 공동심포지엄 개최

MEMORANDUM OF UNDERSTANDING

between

HANYANG UNIVERSITY
222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, Korea
Represented by President Woo-Seung Kim

And

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROPAR
Rupnagar, Punjab, India
Represented by Director Rajeev Ahuja

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.

ARTICLE Ⅰ
AREAS OF COOPERATION

1.1 Within the fields of study to be mutually designated, the parties agree to the following general areas of cooperation:
- 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

ARTICLE Ⅱ
ARRANGEMENT AND FUNDING

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.

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.

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.

ARTICLE Ⅲ
EFFECT OF AGREEMENT

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

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.

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.

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.

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.

SIGNATURES

IN WITNESS WHEREOF, Hanyang University and Indian Institute of Technology Ropar have executed this MOU as of the date shown below.

• 중국 Yantai University와 MOU 체결 (2022.4.1. ~ 2024.12.31.)

- 양자물질 극한물성 분석 공동연구를 위한 인력 교류 및 공동연구 수행 관련 협력의향서 체결

Memorandum of Understanding
Between
School of Science, Yanshan University, Qinhuangdao, P.R. China
and
Department of Physics, Hanyang University, Seoul, Korea

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".

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.

The Parties therefore wish to state the following:

Common Objectives and Vision

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.

Understanding

The Parties agree that the means for achieving the objectives of this MoU include, but are not limited to:

1

1. Mobility of professors and research personnel
   - 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.

2. Application of external research finding
   - 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.

3. Production and dissemination of knowledge
   - 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.

Intellectual Property
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.

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.

Publication
The Parties shall jointly publish the results.

2

Terms and Validity
- 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.

The parties have signified their acceptance of this MoU herein by signing below and each will retain one duplicate text of equal authenticity.

3

• MoU를 체결한 길림대학 (Jilin University)의 State Key Laboratory of Superhard Materials 소속 박사를 본 연구팀 신진연구인력으로 채용 (2021. 10. ~ 현재).

• MoU 협정체결 기관인 Yanshan 대학교의 교수 연구실의 대학원생을 김재용 교수 연구실에 파견하여 공동연구를 수행함.

외국 대학 및 연구 기관과의 연구자 교류 계획

- 사업참여 대학원생 석사과정 학생을 프랑스 Université de Technologie de Troyes에 장기 파견하여 레이저 간섭 리소그라피 기법을 활용하여 이차원 반도체 소자의 나노 구조 패턴 제작에 대한 공동연구를 수행할 예정임 (2023.1.15. ~ 2023.2.12.).
- 사업참여 대학원생인 석사과정 학생을 미국 Harvard University 물리학과에 파견하여 twisted cuprate 이종 구조에 대한 공동연구를 수행할 예정임 (2022.11.1. ~ 2022.11.15.).
- 사업참여 대학원생 박사과정 학생을 독일 Max-Planck Institute의 교수 그룹에 장기 파견하여 고압-고온 초전도체 발굴을 위한 공동연구를 수행할 예정임 (2022.11.1. ~ 2023.2.28.)
- 사업참여 대학원생 박사과정 학생을 중국고압연구소 (북경)과 Yanshan 대학교에 장기 파견하여 초고압에서 수소화물의 고온 초전도 현상 및 텅스텐 질소와의 반응에 대한 공동연구를 수행 중임 (2022.9.7. ~ 2022.11.23.).
- Korea-US symposium for quantum material at extreme quantum conditions 개최 예정 (2022.12.02.). 한양대를 중심으로 한 국내 7개 대학 물리학과 교수진들과 미국 하버드, MIT대학 물리, 화학분야 교수들이 모여 압력-온도-자기장을 이용한 양자물질의 연구현황을 파악하고 나아가 새로운 연구 분야를 탐색할 예정임.
- 본 교육연구팀은 그동안 활발히 수행해 온 저차원시료 제작과 분석, 압력과 온도 그리고 시간 스케일에서의 국제공동연구 모멘텀을 더욱 가속화 할 예정임.
- 국제교류의 핵심은 인력과 연구시설이니 만큼, 그동안 쌓아온 상호신뢰를 기반으로 해외 대형연구시설을 활용하여 국제교류를 지속할 예정임.
- 본 교육연구팀의 강점은 양자물질 극한물성을 연구하기에 필요한 응집물질물리와 광과학 분야 최우수 교수들과 우수한 대학원생들이 단일팀을 이루어 시료를 자체적으로 제작하고 이론과 실험이 융합된 연구를 할 수 있는 있다는 것임. 본 교육연구팀은 이러한 우리만의 장점을 바탕으로 중국 일본등 주변국들이 보유한 첨단 측정장비들을 공동으로 활용하고 아시아기반 국제협력 체제를 구축함으로써 양자물질 극한물성분야 교육과 연구의 메카가 될 것임.
- 중국의 경우, 현재 본 교육연구팀이 MoU 기반 공동연구를 수행하고 있는 북경고압연구센터, 길림대학 교들과의 교류를 더욱 활발히 하여, 압력과 온도 전반에 걸친 공동 연구를 지속할 것임. 특히 서울에서 상해, 북경, 장춘에 이르는 시간은 웬만한 국내 이동 시간보다 짧아 활발한 교류를 유지할 수 있음.
- 1950년대부터 시작하여 극한연구 분야의 뿌리가 깊고 연구의 범위가 넓은 일본의 경우, J-PARC, SPring-8을 비롯한 대형연구시설들과 우수한 인적 자원을 보유하고 있음. 온도 · 압력 · 시간을 매개로 하는 극한물성 연구 분야가 활성화되어 있는 동경대학, 나고야대학, 오사카대학, 도호쿠대학 등의 물리학과와의 공동연구 네트워크를 코로나상황이 안정되는데로 구축할 것임.
- 미국 카네기연구소와의 연구협력을 더욱 증진할 것이고, 유럽과 미국 여러 곳의 가속기시설들을 이용한 실험에 학생들이 직접 참여하여 세계최고수준의 연구를 주도적으로 수행할 수 있도록 국제협력을 더욱 강화해 갈 것임.
- 아직 극한연구가 활성화되어 있지 않은 베트남을 포함한 인도, 태국, 싱가폴, 말레이시아 기관들과의 국제공동연구를 개척하여 해외 유학생들을 다양화 할 것임.
- 교육연구팀 모든 참여교수들은 최소 1개 해외기관 연구실과의 개별적인 1:1 공동연구 네트워크를 구성하여 학생들을 장기파견 시키고 이로부터 우수한 결과를 도출하도록 할 계획임.
- 해외 우수연구기관 연구실과의 공동연구를 통하여 해외 현지국가에서 제공하는 국제협력 프로그램, 예를 들어 NSF, DARPA 등에 적극적으로 참여하여 해외연구비를 수주할 계획임.
- 국제적으로 연구업적이 훌륭한 연구자를 특임 혹은 학과 겸임교수로 발령하여 학생들에게 양질의 강의를 제공하고 첨단연구결과를 실시간으로 접할 수 있도록 할 계획임.

- 결론적으로, 국제화를 통하여 본 교육연구팀은 중국과 일본, 그리고 유럽 연구팀들과의 국제공동연구를 주도하고 베트남, 태국 대학들과의 관계를 포함하고, 미국과 유럽국 기관들과의 교류를 증진시켜 극한물성 연구분야에서 세계 최고 수준의 교육연구팀이 될 수 있도록 교수와 학생 모두 노력할 것임.

Ⅲ 4단계 BK21 교육연구단(팀) 관련 언론보도 리스트

교육연구단(팀)명	양자물질 극한물성 교육연구팀
교육연구단(팀)장명	김 재 용

연번	구분	언론사명 /수상기관 등	보도일자/ 수상일자 등	제목/ 수상명 등	관련 URL
		주요내용 (200자이내)			
1	성과	정보통신신문	2021.10.23	저전력 초고속 소자 개발	https://www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=90116
		세계적 학술지 '나노 투데이' 게재 보도자료, 기존 반도체 소자의 한계를 뛰어넘는 새로운 소자의 개발 (정문석 교수)			
2	성과	한양뉴스포털/ 전자신문	2022.02.24	딱정벌레 구별 원리로 꿈의 솔리톤 소자 기술 길 연다	http://www.newshyu.com/news/articleView.html?idxno=1005164 , https://www.etnews.com/20220221000029
		PRL 논문 게재 보도 자료, 원편광(빛의 전기장의 진동방향이 시간에 따라 일정하게 변하는 현상) 이색성이 전하밀도파의 나선상 적층배열에 따라 달라지는 것을 최초로 확인했다고 21일 밝혔다. (천상모 교수)			

Ⅳ 교육연구단(팀) 자체평가 결과

교육연구팀의 수월성 및 탁월성 달성을 위한 노력

- 본 교육연구팀의 비전인 극한물성분야의 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

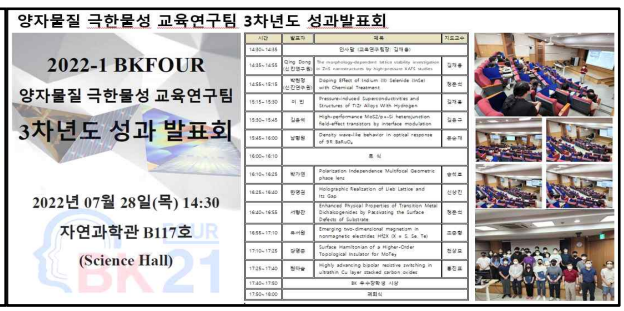
  매주 BK 세미나를 열고 전문가들을 초청하여, 대학원생이 최신 연구 동향을 습득할 수 있도록 하였음. 2021년 9월 2일부터 2022년 6월 8일까지 총 42회 실시.

[대면 및 비대면 BK 세미나 (코로나 방역 지침 준수함)]

- BK 성과발표회

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

[2022년 1월 18일 2차년도 성과 발표회]



[2022년 7월 28일 3차년도 성과 발표회]

[2022년 1월 18일, 2022년 7월 28일 장학금수여식]

• 물리학과 심포지엄 개최

본교 졸업생의 대학원 진학률 증가를 위해, 2022년 9월 16일~17일 심포지엄을 실시하였음.

교수, 대학원생, 학부생(약 130명)이 참여하여, 학부생들에게 대학원에 대해 소개하였음.

[2022년 9월 16~17일 심포지엄 단체 사진]

대학원생 연구 성과의 우수성

- **IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 5편**
- **환산보정 IF 합 3.53: 2017 – 19 대비 7% 증가**
- **환산보정 ES 합 13.07: 2017 – 19 대비 84% 증가**
- **참여대학원생 논문 15편: 2017 -19 연평균 (15.7편) 과 비슷한 수준**

• BK 선정 평가 시 제시한 1단계 (2.5년) 참여대학원생 연구실적 목표

- IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 6편
- 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.

	지난 1년 (2021.9-2022.8)	2017-19 연평균	1단계 목표 (2.5년) (2020.9-2023.2)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	5	1.67	6
환산보정 IF 합	3.53	3.31	10.92
환산보정 ES 합	13.07	7.09	23.40

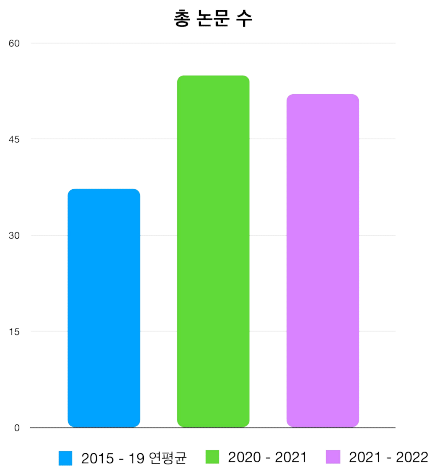
- 환산보정 IF 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 65% 달성**
- 환산보정 ES 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 124% 달성**

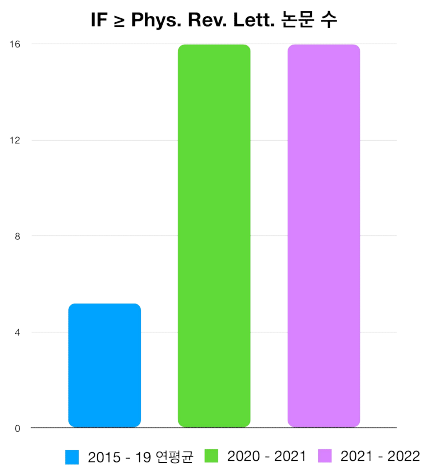
참여교수 논문실적의 우수성

- **참여교수들의 발표논문 52편, IF 합 307.04**
- **IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수 16**
- **IF > 10.0 논문수: 11편 (21.1%), IF > 5.0 논문 수: 32편 (59.6%), IF > 3.0 논문 수: 49편 (94.2%)**

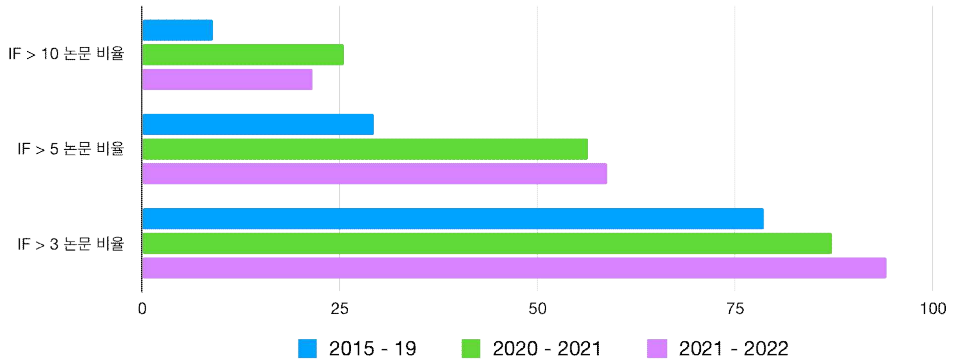
• 총 논문 수: 2015 – 2019년 논문 수 연평균 (37편) 대비 **40% 증가**. 전년도 (55편)와 비슷한 수준.

• IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2015 – 19 연평균 대비 **207% 증가**. 전년도 (16편)와 같음.





- 우수 논문 비율
  - IF > 10 논문 비율: 2015 – 2019년 대비 **144% 증가**, 전년도 대비 소폭 감소
  - IF > 5 논문 비율: 2015 – 2019년 대비 **103% 증가. 목표치 (≥ 40%) 초과**, 전년도 대비 소폭 증가
  - IF > 3 논문 비율: 2015 – 2019년 대비 **19% 증가**, 전년도 대비 소폭 증가
  - 질적 우수 논문 비율 지속적 증가



- 연구성과 세부지표

	2021-2022	2015-19 연평균	증감(%)	1단계 목표(~ 2023)
IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수	16	5.2	+207	28
IF > 5 논문 비율 (%)	59	29	+103	35
환산보정 IF 합	8.08	5.31	+52	17.52
환산보정 ES 합	25.96	20.05	+29	66.17

  - IF ≥ Phys. Rev. Lett. 논문 수: 2020 – 2022 기간 (32편) 동안 **1단계 목표치 (28편) 초과 달성**
  - IF ≥ 5인 논문의 비율 59%: 2015-19 대비 약 2배, 2020-21과 비슷한 수준. 목표치 **(≥ 40%) 초과**
  - 환산보정 IF 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 93% 달성**
  - 환산보정 ES 합: 2020 – 2022 기간 동안 **1단계 목표치의 71% 달성**

참여교수 연구비 수주실적

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

- 2021-2022년도 연구비 총액 4,516,109,674원, 참여교수 1인당 연구비 501,789,964원
- 2017-2019년 연평균 연구비 대비 연구비 총액 129%증가, 1인당 연구비 총액 78% 증가
- 전년도 (2020-2021) 대비 연구비 총액 21% 증가, 1인당 연구비 총액 21% 증가
- 해외 연구비 수주: 미국 공군 (Asian Office of Aerospace Research and Development)

참여교수 특허실적

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

참여교수들의 활발한 국제 학술활동 실적 달성

- 국제 공동 연구를 통한 SCI 논문 11편 발표
- 국제학술대회 기조강연 1건, 초청강연 5건, 조직위원 6건
- 10th Asian Conference on High Pressure Research (2021. 11. 21-25) 개최
  - 조직위원장: 김재용 교수
  - 조직위원: 조준형 교수, 천상모 교수, 문순재 교수
  - 참가 인원: 18개국 275명 (국내 97명, 해외 178명) 참가.
  - 발표 수: 237개 (구두 213개, 포스터 24개)
- The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (2022. 7. 17-21, 제주) 개최
  - 정문석 교수가 학술대회 총무로 활동
  - 참가 인원: 19개국 1087명 (국내 989명, 해외 98명) 참가
  - 발표 수: 773개 (구두 366개, 포스터 407개)
- Holography 2022 : quantum matter and spacetime
  - 신상진 교수가 주최
  - 참가 규모: 한국과 중국, 미국등 약 9개국의 총연사 32명 (온라인 참가자 약 230여명)

Ⅴ 교육연구단(팀) 외부평가 위원 검토 의견서

- 외부 평가위원 1: 교수, ·
- 외부 평가위원 2: 교수, ·

□ 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

부문	평가 지표	평가등급
비전 및 목표	⊙ 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 **□ 비전 및 목표 부문 평가 의견** 교육연구팀장은 국제학술대회 유치, 학부-대학원 연계활동, 대학원 교육과정 개편등을 통해 연구/교육/행정분야의 모든 분야에서 뛰어난 역량을 보여주고 있음. 코로나 판데믹의 어려움에도 불구하고 각 분야의 비전 및 목표를 성실하게 수행하였음. 벤치마킹 대상 외국대학과의 비교를 통해 졸업규정을 강화하고 새로운 IC-PBL수업을 추가하여 학생들의 국제경쟁력을 강화함. 전반적으로 안정적인 운영을 통해 뛰어난 연구팀을 갖추고 있는 것으로 판단됨.	■ 매우 우수 □ 우수 □ 보통 □ 미흡 □ 매우 미흡
교육역량	⊙ 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) **□ 교육역량 부문 평가 의견** 교육연구팀의 특화된 연구인력양성을 위해 정규과목을 기초, 핵심, 심화, 특성화, 공통연구과목으로 개편하여 효과적을 운영함. 과학기술산업·사회 문제 해결과 관련된 실험실습 프로그램을 활성화하고 다양한 수업을 개설함. 다양한 장학금 운영을 통해 학생들의 참여를 유도하고 BK 연구장학금수여/우수논문상포상/성과발표회등을 통해 학생들의 연구역량 향상을 위해 노력함. 국내외 우수 대학원생 확보를 위해 다양한 프로그램을 유치함. 참여대학원생들 연구실적은 꾸준히 상승하고 있으며 목표실적 달성에는 문제가 없을 것으로 판단됨. 국제 계절학교 및 국제학회 유치를 통해 교육의 국제화에 노력함.	□ 매우 우수 ■ 우수 □ 보통 □ 미흡 □ 매우 미흡
연구역량	⊙ 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) **□ 연구역량 부문 평가 의견** 참여교수들이 연구비 수주, 연구업적물, 연구우수성등 모든 면에서 매우 성과를 올린 것으로 확인되며, 활발한 국제화 활동을 통해 교육연구팀의 국제적 위상을 높이고 있음.	■매우 우수 □ 우수 □ 보통 □ 미흡 □ 매우 미흡

종합평가 의견

전반적으로 교육연구팀장의 안정적이고 균형 잡힌 운영을 통해 교육연구팀의 비전 및 목표를 완수해나가고 있는 것으로 확인됨. 참여학생들의 연구성과가 꾸준히 상승하고 있으며, 특히 참여교수들의 연구역량이 크게 급성장한 것으로 확인됨. 일부 사업내용/목표달성도/사업성과에서는 목표량을 초월하는 성과를 보여주고 있음. 1단계 연구목표 달성에는 문제가 없을 것으로 판단됨.

외부 평가위원	성명		종합 평가 등급	매우우수

부문	평가 지표	평가등급
비전 및 목표	⊙ 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 □ **비전 및 목표 부문 평가 의견** - 사업단 팀장은 국제화 분야에서 경험이 탁월한 연구자임. - 특히 극한 물성 분야의 국내의 최고의 권위자 중 1인으로 사업단의 전반적인 비전과 목표 달성에 충분한 역량이 있다고 판단됨 - 또한 관련분야의 전문가 집단으로 구성되어 있음 - 다만 covid-19 상황으로 국제화 부분의 성과는 zoom을 통한 노력에보 불구하고 다소 부족함	□ 매우 우수 ■ 우수 □ 보통 □ 미흡 □ 매우 미흡
교육역량	⊙ 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획 ⊙ 과학기술·산업·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) □ **교육역량 부문 평가 의견** - 사업팀의 특성상 학과 전체의 교과과정을 바꾸기는 어렵다는 점이 충분이 고려해서 볼 때, 관련 학문 분야의 특화를 위한 다양한 교육과정 변화의 시도는 의미가 있다고 판단됨 - 학생들의 연구실적 (환산 보정기준)은 사업팀의 활동기간 동안 뚜렷하게 향상됨. 하지만 참여교수의 연구역량 향상에 비해 (제1저자 논문 비율) 참여 학생의 연구역량의 증가 정도는 다소 적게 판단됨. - 단순 강의개설 실적보다는 학생들의 만족도를 조사해서 강의의 환류 체계를 만드는 것도 중요할 것으로 사료됨 - 신진 연구 인력 (2명)의 연구 성과가 현시점에서는 다소 부족해 보임. 임용시기 등을 고려해서 좀 더 경쟁력 있는 성과를 도출하는 방안이 필요해 보임	□ 매우 우수 ■ 우수 □ 보통 □ 미흡 □ 매우 미흡
연구역량	⊙ 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) □ **연구역량 부문 평가 의견** - 참여 교수의 연구역량은 매우 향상됨, 특히 특허실적도 활발하게 진행되고 있음. - 참여 교수의 국제화 역량은 매우 우수하다고 판단됨, 이런 국제화를 통해서 학생들 (참여인력)의 국제화 수준을 측정할 수 있으면 보다 효율적인 사업팀 운영이 될 것으로 판단됨.	■ 매우 우수 □ 우수 □ 보통 □ 미흡 □ 매우 미흡

종합평가 의견

- 양자물질의 극한 특성 연구를 특화로 제안된 본 사업팀은 우수한 팀장의 역량을 기반으로 국제화 분야의 탁월한 성과를 낸 것으로 판단됨
- COVID-19로 제한된 교류가 조금 완화 되면 보다 활발한 활동을 기대함
- 학생들의 국제화 참여의 결과를 측정할 수 있으면 좋을 듯 함.
- 학생들 연구 성과 (제1저자기준)을 좀더 명확하게 기술하고 확대하는 방안 마련이 필요할 것으로 사료됨
- 교과 과정 개편을 통해서 새롭게 개설된 교과목의 만족도 조사를 통해서 환류 시스템을 구축할 필요가 있음.
- 전반적으로 아주 우수하게 프로그램이 운영되고 있는 것으로 사료됨

외부 평가위원				종합 평가 등급	우수