

저차원 반도체 소자 연구실 (Low-dimensional Semiconductor Device Lab.)

▶ 위치: IT-3호관 304호
▶ 전 화: 053-950-5512
▶ E-mail: hsr@knu.ac.kr

▶ 홈페이지:
<https://sites.google.com/view/knu-lsdl-hsra/home>

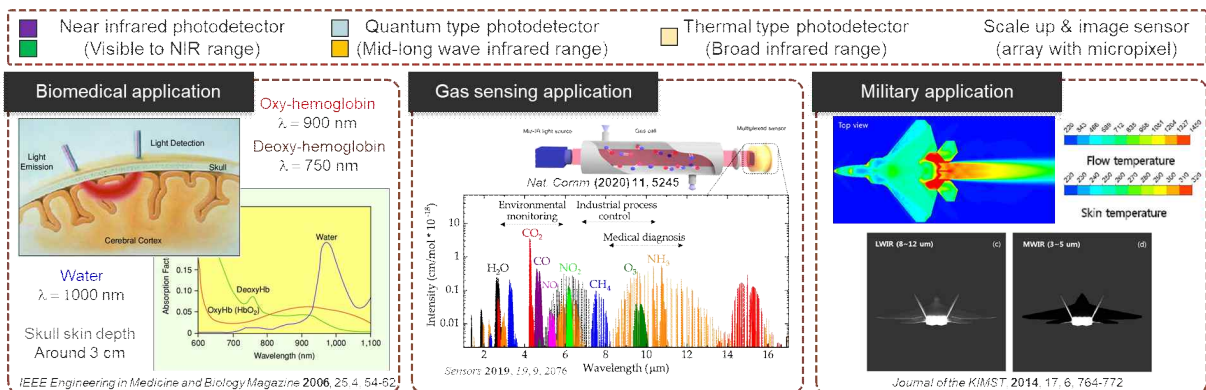
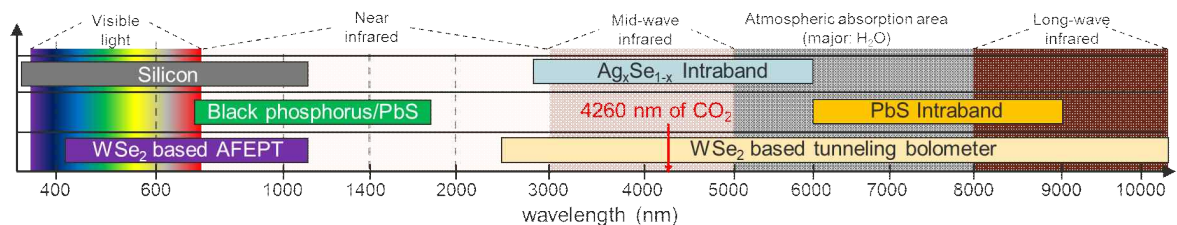
01

연구실구성원

- 지도교수 : 나현수 교수님
- 박사과정 : 장상민 (2025 학석박 통합)
- 석사과정 : 조재준, 김성현 (학석 통합과정), 김성용 (학석 통합과정), 최자윤 (학석 통합과정), 최호준 (학석 통합과정)

02

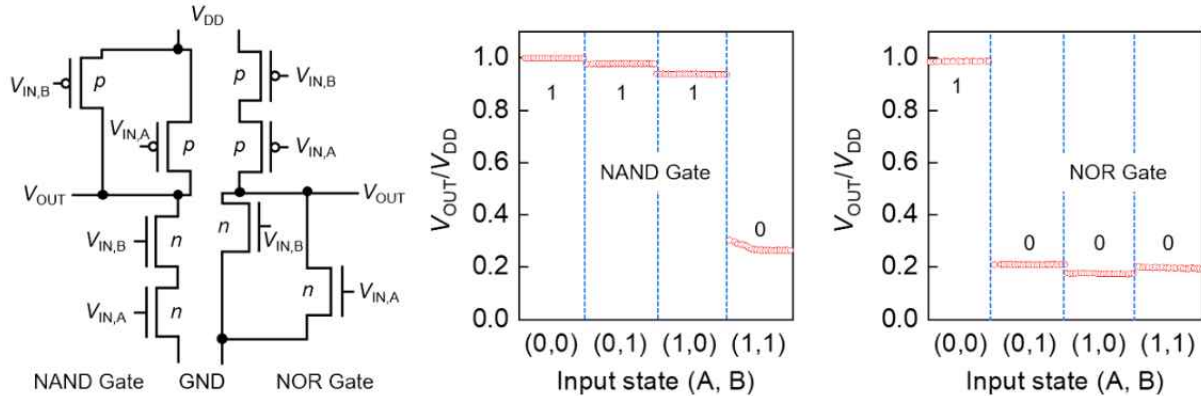
연구분야



우리 연구실은 첨단 반도체 공정기술을 개발하고, 활용하여 “저차원 반도체를 활용한 미래 소자 연구”를 하고 있습니다. 주로 다루는 저차원 반도체 재료는 2차원 물질 그리고 0차원 물질입니다. 아직 세상에 나오지 않는 새로운 원천기술을 연구하고 있습니다.

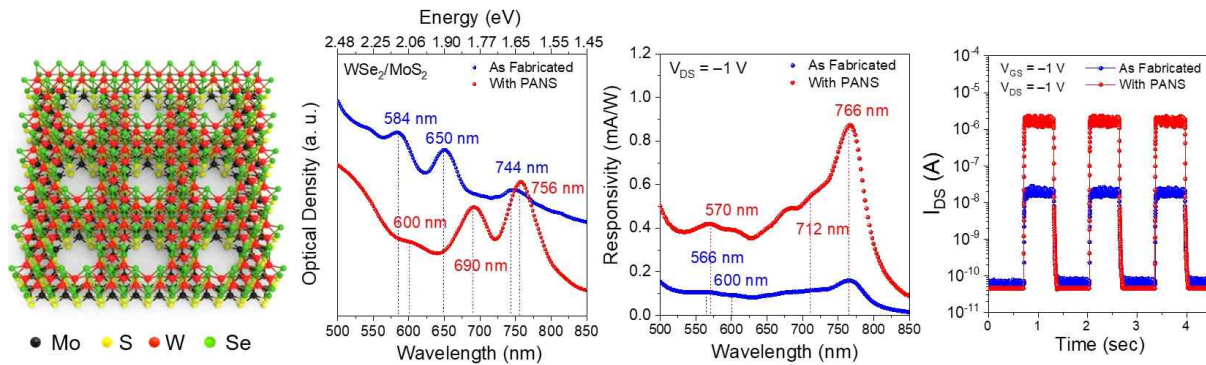
□ 2D 전자 장치

이 연구에서는 WSe₂ 트랜지스터의 접촉으로 금속 2D 재료인 염소 도핑 SnSe₂(Cl-SnSe₂)를 사용하여 2D 트랜지스터의 극성 제어를 개발하는 방법을 탐구했습니다. Cl-SnSe₂를 사용하면 깨끗한 반데르발스 접촉을 제공하는 것으로 입증되었으며, 이는 거의 이상적인 쇼트키 장벽 높이로 이어져 트랜지스터의 캐리어 극성을 탁월하게 제어할 수 있습니다. 마지막으로, 극성을 제어할 수 있는 이러한 기능을 통해 인버터, NAND, NOR를 포함한 기능적 논리 게이트 및 회로를 제작할 수 있습니다. 또한 다른 2D 재료인 MoS₂에 대한 접촉 접근 방식의 적용 가능성을 확인하여 고정 없는 고성능 2D 전자 장치에 사용할 수 있는 반데르발스 접촉 전략의 일반성을 입증했습니다.



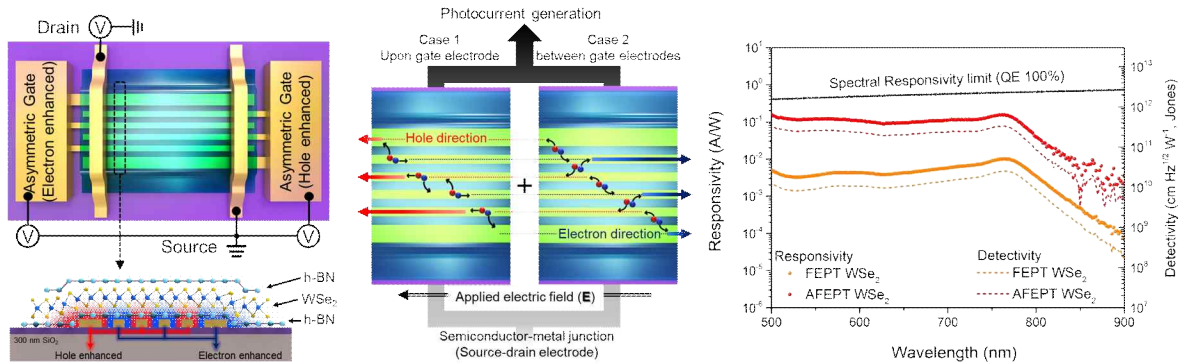
□ 하이브리드 광 검출기 (광전자소자)

이 연구는 비대칭 전계 효과 광 트랜지스터 또는 AFEPT라고 하는 비대칭 분할 게이트 구성을 처음으로 입증한 것입니다. 저희의 구조는 채널 전체에 걸쳐 전기장 프로파일을 효과적으로 변조하고 광 캐리어 전송을 향상시켜 고유 2D 재료 층에서 광 캐리어 역학을 조사하기 위한 새로운 플랫폼을 제공합니다. 전기장을 제어하여 광전류의 공간적 진화를 관찰하고 전체 채널에서 강한 신호를 찾습니다(이 작업에서는 WSe₂). 또한 광전류 및 광학 분광 측정을 사용하여 새로운 광전류 동작의 기원을 확인하고 230 meV의 실온 엑시톤 결합 에너지를 측정하고 이해하여, 원천기술 연구를 진행합니다.



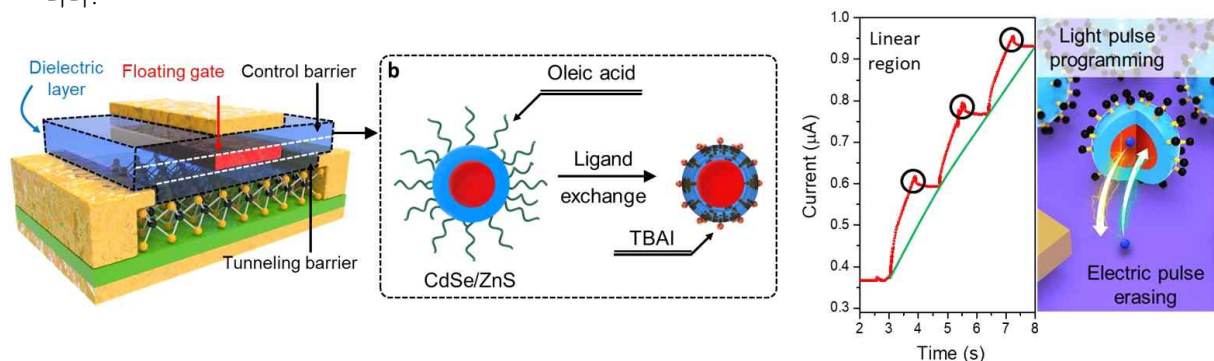
□ 최첨단 반도체 공정기술개발 및 광자공학

이 논문에서는 활성 영역에 주기적으로 배열된 나노포어 구조(PANS)를 갖는 다층 WSe₂/MoS₂ 이종 접합을 제안하여 광트랜지스터 효율을 개선합니다. 새로운 이종 접합 소자의 광학적 및 광전자적 특성을 이해하기 위해 밀도 함수 이론(DFT) 계산, 광발광(PL) 및 시간 분해 광발광(TR-PL) 측정, 소자 특성화를 수행했습니다. DFT 계산과 측정된 광학적 특성을 통해 PANS가 있는 이종 구조 소자에서 간접에서 직접 밴드갭으로의 전이가 명확하게 관찰되었으며, 이는 TMD 재료에서 PANS 형성을 통해 새로운 결합 상태가 보조하여 새로운 밴드갭이 생성되었음을 증명합니다. 또한 PANS가 있는 이종 접합 광트랜지스터의 소자 특성은 PANS가 없는 순수한 이종 접합 소자에 비해 향상된 광검출기 성능 지수를 보여, 실제 응용에 적용하는 연구를 진행합니다.



□ 광학적 신경모사 장치

다차원 산술 컴퓨터용 다중 레벨 메모리 장치의 개발은 저전력, 초고속 작동을 달성하는 데 어려움을 겪었습니다. 광통신 기술은 산술 장치와 저장 장치 간에 방대한 양의 데이터를 효과적으로 전송하는 퍼즐에 대한 최상의 답을 제공할 것으로 생각됩니다. 여기서는 CdSe/ZnS 유형 I 코어/셸 양자점을 사용하여 플로팅 게이트 아키텍처를 복제하여 레이저 펄스로 작동하는 2D-0D 하이브리드 광학 다중 레벨 메모리 장치를 보여줍니다. 개발된 장치를 분석한 결과, 이중 ZnS 셸을 마주보는 측면으로 인접한 양자점의 경우 전자 이동이 어렵다는 새로운 가설이 도출되었으며, 미세하게 초점이 맞춰진 레이저 펄스로 2D-0D 하이브리드 구조의 다른 위치를 별도로 자극하여 테스트했습니다. 결과에 따르면 각 레이저 펄스는 2D-0D 하이브리드 아키텍처에서 독립적인 다중 레벨 메모리 특성을 유도했습니다. 이 현상을 바탕으로 레이저 펄스만을 사용하여 프로그래밍 및 지우기와 같은 다중 레벨 메모리 효과를 생성하는 다중 레벨 메모리 인버터를 연구하고 있습니다.



03

주요 수행과제 및 최근 5년간 연구 논문

□ 주요 수행과제

- AR용 qHD급 초소형 투사광학엔진 및 MR용 4K급 Pancake방식 경소형 광학모듈 기술 개발, 산업통상자원부, 2024

□ 연구 논문

Peer Reviewed Journals_SCI(E)_First Author (FA)_Co-author (CA)

- Hyun-Soo Ra#, Tae Wook Kim#, Derrick Allan Taylor#, Je-Jun Lee, Seung Ho Son, Jongtae Ahn, Jisu Jang, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Jae Won Shim, Jong-Soo Lee*, Do Kyung Hwang*, "Probing optical multi-level memory effects in single core-shell quantum dots and application through 2D-0D hybrid inverters" *Advanced Materials*, Impact Factor 32.086, 2303664, 2024 (FA)

2. Hyun-Soo Ra#, Sang-Hyeon Lee#, Seock-Jin Jeong#, Sinyoung Cho, Jong-Soo Lee*,
 “Advances in Heterostructures for Optoelectronic Devices: Materials, Properties, Conduction Mechanisms, Device Applications” (Review Paper)
Small Methods, Impact Factor 15.367, 2300245, 2023 (FA)
3. Jisu Jang#, Hyun-Soo Ra#, Jongtae Ahn, Tae Wook Kim, Seung Ho Song, Soohyung Park, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Kimoon Lee, Do Kyung Hwang*, “Fermi-level pinning-free WSe₂ transistors via 2D van der Waals metal contacts and their complementary logic gate circuits”
Advanced Materials, Impact Factor 32.086, 2109899, 2022 (FA)
4. Hyun-Soo Ra#, Jongtae Ahn#, Jisu Jang#, Tae Wook Kim, Seungho Song, Young Jae Song, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Jong-Soo Lee*, Do Kyung Hwang*, “Asymmetry Field Effect Phototransistor to overcome High Exciton Binding Energy of 2D TMDCs Materials”
Advanced Materials, Impact Factor 32.086, 2107468, 2022 (FA)
5. Min-Hye Jeong#, Hyun-Soo Ra#, Sang-Hyun Lee, Do-Hyun Kwak, Jongtae Ahn, Do Kyung Hwang*, Jong-Soo Lee*, “Multilayer WSe₂/MoS₂ heterojunction phototransistors through periodically arrayed nanopore structures for bandgap engineering”,
Advanced Materials, Impact Factor 32.086, 202108412, 2022 (FA)
6. Jongtae Ahn, Kyul Ko, Ji-hoon Kyhm, Hyun-Soo Ra, Heesun Bae, Sungjae Hong, Dae-Yeon Kim, Jisu Jang, Tae Wook Kim, Sungwon Choi, Ji-Hoon Kang, Namhee Kwon, Soohyung Park, Byeong-Kwon Ju, Ting-Chung Poon, Min-Chul Park*, Seongil Im*, and Do Kyung Hwang*,
 “Near-Infrared Self-Powered Linearly Polarized Photodetection and Digital Incoherent Holography Using WSe₂/ReSe₂ van der Waals Heterostructure”
ACS Nano, Impact Factor 18.027, 15, 11, 17917-17925, 2021 (CA)
7. Tae Wook Kim#, Hyun Soo Ra#, Jongtae Ahn, Jisu Jang, Takashi Taniguchi, Kenji Watanabe, Jae Won Shim, Young Tack Lee, and Do Kyung Hwang*, “Frequency Doubler and Universal Logic Gate Based on 2D Transition Metal Dichalcogenides Transistors with Low Power Consumption”
ACS Applied Materials & Interfaces, Impact Factor 10.383, 13, 6 7470-7475, 2021 (FA)
8. Hyun-Soo Ra#, Min-Hye Jeong#, Taegeun Yoon, Seungsoo Kim, Young Jae Song, Jong-Soo Lee*,
 “Probing the importance of Charge Balance and Noise Current in WSe₂/WS₂/MoS₂ van der Waals Heterojunction Phototransistors by selective electrostatic doping”
Advanced Science, Impact Factor 15.620, 7, 2001475, 2020 (FA)

□ 수상 실적 (Fellowship grant)

1. Abroad Post-Doctoral Award from Korea NRF in ICFO (33,400 EUR per Year), Spain
Postdoctoral researcher, Oct. 2022 ~ Aug. 2023
 Project: 2D-0D hybrid MWIR/LWIR photodetector
 Supervisor: Prof. Gerasimos Konstantatos
2. Severo Ochoa Excellence Program Post-Doctoral Fellowships (37,900 EUR per Year), Spain
Postdoctoral researcher, Sep. 2022 ~ Dec. 2023
 Project: 2D-0D hybrid MWIR/LWIR photodetector
 Supervisor: Prof. Gerasimos Konstantatos

3. Domestic Post-Doctoral Fellowship from Korea NRF in KIST (33,400 EUR per Year), Korea
Postdoctoral researcher, Sep. 2020 ~ Aug. 2021
Project: Asymmetry Field Effect Phototransistor to overcome High Exciton Binding Energy of 2D
TMDCs Materials.
Thesis Title: Low dimensional semiconductor hybrid device for optoelectronics application
Supervisor: Ph.D. Do Kyung Hwang

04

특허 및 등록출원 현황

□ 국내특허 출원 및 등록

1. Hyun-Soo Ra, Min-Hye Jeong, Jong-Soo Lee*
“Apparatus and method for measuring photocurrent mapping and noise current of heterojunction phototransistor”,
Korea Patent, No. 10-2021-0101434, Feb 09, 2023
2. Jongtae Ahn, Hyun-Soo Ra, Jisu Jang, Tae Wook Kim, Do Kyung Hwang*
“Photodiode to detect linear polarization characteristics”
Korea Patent, No. 10-2020-0118992, Feb 17, 2022
3. Hyun-Soo Ra, Jongtae Ahn, Jisu Jang, Tae Wook Kim, Do Kyung Hwang*
“Optical elements with cross-gated arrays”
Korea Patent, No. 10-2020-0113055, Mar 11, 2022
4. Wan Jin Lim, Hyun-Soo Ra, Jong-Soo Lee*
“Detector device for near-infrared rays and its fabrication method”
Korea Patent, No. 10-2014-0147376, Oct 28, 2017
5. Hyun-Soo Ra, Jong-Soo Lee*
“NIR Photo-Detector for high resolution brain imaging and the Fabrication Method”
Korea Patent, No. 10-1779526-0000, Sep 12, 2016

05

졸업생 진로 현황