

나노 광전소자 연구실 (Nano Optoelectronic Devices Lab.)

▶ 위치: IT-3호관 305호, 306호

▶ 전 화: 053-950-5519, 053-940-8819

▶ E-mail: hpark@ee.knu.ac.kr

▶ 팩스: 053-950-5505

▶ 홈페이지: <http://nanolab.knu.ac.kr>

01

연구실 구성원

- 지도교수 : 박홍식 교수님
- 박사과정 : 노효웅, 박민수, 배성범(파트타임, 한국전자통신연구원), 김영조(파트타임, 한국전기연구원)
- 석사과정 : 김동한, 손주영, 강지윤, 정희운, 최정훈, 문혜리, 장유안
- 학부연구생 : 황승규, 박재원, 전우성, 이현정, 손보근, 남지형, 공진석

02

연구분야

나노 광전소자 연구실의 연구 목표는 단일 종류의 반도체 상에 제작되는 기존의 광/전자소자 제작 기술의 한계를 극복하고 이종의 반도체를 기반으로 성능이 최적화된 반도체 소자들을 CMOS 실리콘 기판에 이종집적(heterogeneous integration)하는 차세대 반도체 소자 및 공정 기술을 개발하는 것입니다. 실리콘, 화합물 반도체, 나노소재(2D/1D 반도체)를 CMOS칩에 집적하는 나노공정기술과 나노스케일 반도체소자 설계/분석기술을 바탕으로 차세대 고속연산 및 광대역통신의 핵심기술이 될 초소형 실리콘 포토닉스 소자(광변조기, 레이저, 광검출기, 등), 고속/고출력 트랜지스터, sub-10 nm FinFET contact 기술 등을 개발하고 있습니다.

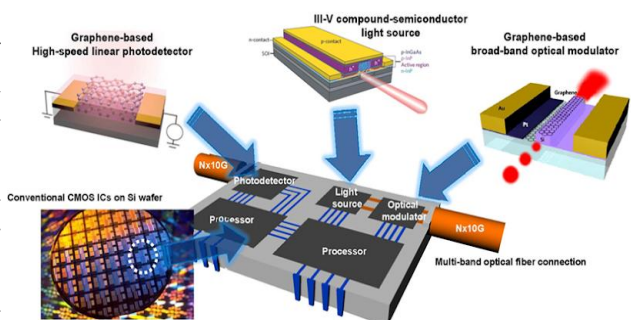
이러한 연구들은 삼성전자 등과 같은 기업체와 연구재단과 같은 정부의 지원을 받아 진행되고 있으며 한국전자통신연구원(ETRI), 한국광기술원(KOITI), 미국 MIT, 미국 Purdue대 등과 같은 국내외 우수한 연구기관들과 직접적인 공동연구를 통해 수행되고 있습니다.

연구책임자인 박홍식 교수는 11년간 삼성종합기술원의 Nano-devices랩과 미국 IBM T. J. Watson Research Center의 Physical Sciences Department와 같은 우수한 기업체 연구소에서의 연구 경험을 보유하고 있으며 대용량 비휘발성 저장장치 개발, post-CMOS 전자소자개발, wafer-scale graphene 소자개발 등의 차세대 전자소자 개발과제에 참여하여 "세계 최초로 single-oriented wafer-scale graphene 개발", "세계 최고 밀도의 carbon nanotube transistor 집적기술 개발", "세계 최초로 강유전체 도메인을 AC-modulation 기술 없이 상온에서 측정할 수 있는 센서 개발" 등과 같은 세계수준의 연구결과를 얻었습니다. 이 결과들은 *Science*, *Nature Nanotechnology*, *Nano Letters* 등의 주요저널에 발표되었으며 *New York Times*, *BBC News*, 한국전자신문 등 주요매체들에 소개되었습니다. 박홍식 교수는 현재 31개의 등록된 미국특허를 보유하고 있습니다. 나노 광전소자 연구실에서 수행 중인 주요 연구주제들은 다음과 같습니다.

□ 차세대 monolithic 실리콘 포토닉칩 집적화 기술 및 초소형/초고속 광전자소자 개발

다양한 CMOS 기반의 전자회로 및 광도파로가 형성된 (100) 실리콘 기판 위에 초소형 광전자 소자들을 소재의 제한없이 자유롭게 이종 집적할 수 있는 집적화 기술을 개발하여, 삼성, Intel 등과 같은 선진 반도체 기업에서 큰 관심을 가지고 있는 차세대 초고속 5G 광통신을 위한 monolithic 실리콘 포토닉칩을 개발하는 연구가 진행되고 있습니다. 최종적으로, 본 연구를 통해 기존 전기신호를 이용한 칩(메모리 혹은 프로세서) 사이의 통신방식을 빛으로 대체하여 통신 속도를 극도로 증가시키고자 합니다.

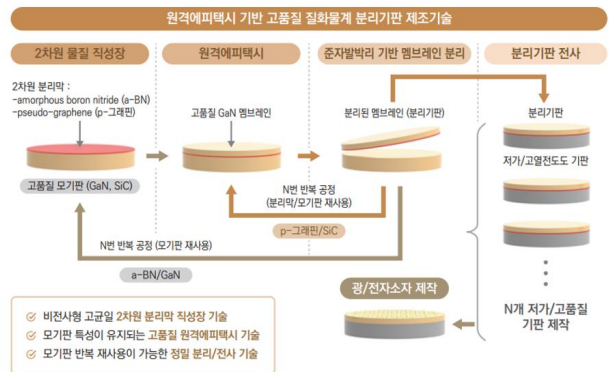
구체적으로 단파장의 빛을 생성할 수 있는 초소형/초고속 레이저 다이오드 및 이를 실리콘 기판에 집적할 수



있는 단결정 반도체 정밀 분리/전사 기술(III-V on Si)을 개발하고 있습니다. 또한, 빛의 세기를 제어하여 빛을 정보화('0' 혹은 '1')할 수 있는 광대역/초소형 광변조기와 정보화된 빛을 검출할 수 있는 초고속/저전력 광검출기를 개발하고 있습니다. 또한, 이를 구현하기 위한 다양한 반도체 공정(실리콘 및 III-V) 및 나노소재 집적화 기술을 개발하고 있습니다.

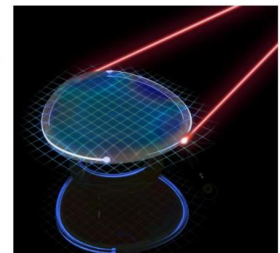
□ 기관 재사용이 가능한 2차원 분리막 기반의 원격에피택시 기술을 통한 고품질 질화물계 멤브레인 제작

질화물계인 GaN은 넓은 밴드갭(~3.4eV)에서 기인하는 높은 항복전압으로 인해 고전압/고온 환경에서 안정적인 소자 구동이 가능하고 낮은 온-저항과 높은 전자포화속도/전자이동도/전류밀도 특성을 가지고 있어 전력소자, 광소자 및 고출력/고주파 전력소자 제작에 최적화된 반도체 소재 중 하나로 주목받아 왔고 최근 다양한 상용화 제품에 적용되고 있습니다. 그러나, 동종/이종 모기판의 높은 가격과 기판에 기인한 에피 품질 한계에 의해 상용화에 어려움을 겪고 있는 질화물 기반 광·전자 반도체 기술의 난제를 극복하기 위해, 웨이퍼 스케일 원격에피택시를 위한 고균일 2차원 소재 직성장 기술, 기판 품질이 유지된 질화물계 멤브레인 원격에피택시 기술, 기판 재사용이 가능한 정밀 박막 분리/전사 기술을 통한 기판 반복 재사용이 가능한 2차원 분리막 기반의 원격에피택시 기술을 통한 고품질/저가 질화물계 기판을 제작을 위한 원천기술을 개발하고 있습니다.



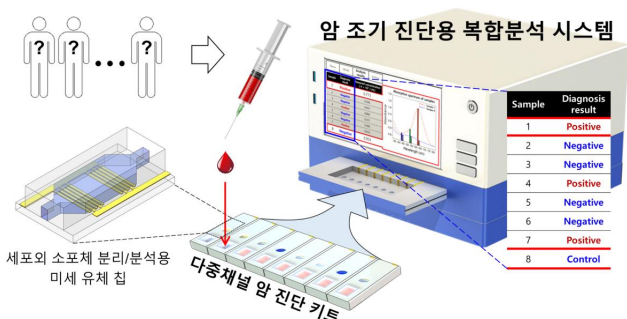
□ 광공진기 기반 차세대 광전자소자 개발

광공진기는 작은 면적에서도 매우 좁은 선폭(high Q-factor)을 가지는 빛을 생성/제어할 수 있는 광학적 특성을 가지기 때문에, 이를 저전력/초고속 동작이 가능한 소형 광전자소자에 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있습니다. 일례로 차세대 5G 광통신을 위한 핵심 요소 부품인 레이저 다이오드 혹은 광변조기를 수 μm 크기의 광공진기 형태로 제작하여 소자의 동작속도와 에너지 효율을 극대화하고 소자 집적도를 높이하고자 하는 시도가 활발히 이루어지고 있습니다. 하지만, 모든 재료들의 굴절률은 온도에 따라 변하는 특성을 가지고 있고, 이러한 굴절률의 온도 의존성은 좁은 선폭을 가지는 광공진기의 공진파장이 온도에 따라 민감하게 변화하는 심각한 문제를 발생시킵니다. 이는 광공진기 구조가 많은 성능적 이점이 있음에도 불구하고 실제 광전자소자에 적용되는 것에 큰 장애물이 되고 있습니다. 본 연구실에서는 이러한 광공진기의 온도 민감성 문제를 효과적으로 제어할 수 있는 기술을 개발하고, 높은 동작 안정성과 신뢰성을 가지는 광공진기 기반 차세대 광전자소자들(광변조기, 레이저 다이오드, 바이오센서 등)의 상용화를 위한 원천기술을 개발하고 있습니다.



□ 암 조기 진단을 위한 엑소좀 분류 및 물리량 측정/분석 기술 개발

정확하고 간단한 암 조기 진단은 암 환자의 생존률을 높이고 암으로 인한 사회/경제적 손실을 줄이는데 기여할 수 있는 매우 중요한 기술입니다. 최근 체액 내에 다량으로 존재하는 세포분비물인 엑소좀은 모세포의 주요 유전정보 및 단백질을 지니고 있으며 암세포에서 분비된 엑소좀이 암 진단을 위해 활용될 수 있음이 밝혀지면서 엑소좀을 이용한 암 진단 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있습니다. 특히, 정상세포에서 분비된 엑소좀과 암세포에서 분비된 엑소좀의 생물학적 특성뿐만 아니라, 물리적 특성(크기/밀도, 제타전위, 등)에서도 명확한 차이를 보인다는 연구결과들이 보고되고 있습니다. 본 연구실에서는 개별 엑소좀들의 복합 물리량을 측정할 수 있는 기술을 개발하고, 이를 바탕으로 간단하면서 정확한 암 조기 진단장치를 개발하는 연구를 진행하고 있습니다. 이외에도, 세포를 크기(지름)에 따라 분류/추출할 수



있는 분류 칩 기술 및 항원-항체 반응에 따른 샘플의 흡광도 측정/분석 기법 등을 개발하여 이를 다양한 의료진단에 활용하는 연구를 수행하고 있습니다.

03

주요 수행과제 및 최근 5년간 연구 논문

□ 주요 수행과제

- 금속전극과 low-dimensional(2D/1D)반도체 contact 저항 최소화를 위한 contact 재료/구조 개발 및 2D/1D반도체 electrical contact model 개발 / **삼성전자(주)**
- 국가핵심소재연구단 (질화물계 광/전력 반도체 연구단) 연구책임자 / **한국연구재단**
- 기초연구실지원사업 (원격에피택시 기반 차세대 반도체 이중집적 기술 연구실) / **한국연구재단**

□ 연구 논문 (SCI 기준, 최근 5년)

- M. A. Adeshina, H. Lee, B. Mareddi, D. Kang, A. M. Ogunleye, H. Kim, T. Kim, M. Choi, H. Park, and J. Park*, "Liquid phase IR detector based on the photothermal effect of reduced graphene oxide-doped liquid crystals," *Nanoscale* **15**, 2061-2066 (2023)
- J. Lee, H. Noh, C.-J. Lee, J.-H. Bae, M.-C. Baek, M. Choi, S.-W. Nam, H.-H. Cha, G. O. Chong, H. S. Han*, and H. Park*, "Diagnosis of pathogen infection via a multiple-wavelength colorimetric sensor platform with loop-mediated isothermal amplification," *Sensors and Actuators B: Chemical* **370**, 132449 (2022)
- H. Park, H. Won, C. Lim, Y. Zhang, W. S. Han, S.-B. Bae, C.-J. Lee, Y. Noh, J. Lee, S. Jung, M. Choi, S. Lee, and H. Park*, "Layer-resolved release of epitaxial layers in III-V heterostructure via a buffer-free mechanical separation technique," *Science Advances* **8**, eabl6406 (2022)
- H. Park, J. Lee, C.-J. Lee, J. Kang, J. Yun, H. Noh, M. Park, J. Lee, Y. Park, J. Park, M. Choi, S. Lee, and H. Park*, "Simultaneous Extraction of the Grain Size, Single-Crystalline Grain Sheet Resistance, and Grain Boundary Resistivity of Polycrystalline Monolayer Graphene," *Nanomaterials* **12**, 206 (2022)
- H. Park, J. Jung, Y. Zhang, M. Liu, J. Lee, H. Noh, M. Choi, S. Lee*, and H. Park*, "Effects of Thermally Induced Phase Transition on the Negative Thermo-Optic Properties of Atomic-Layer-Deposited TiO₂ Films," *ACS Applied Electronic Materials* **4**, 651-662 (2022)
- D. H. Lee, H. Park, M. Clevenger, H. Kim, C. S. Kim, M. Liu, G. Kim, H. W. Song, K. No, S. Y. Kim, D.-K. Ko, A. Lucietto, H. Park, and S. Lee* "High-Performance Oxide-Based p-n Heterojunctions Integrating p-SnO_x and n-InGaZnO," *ACS Applied Materials and Interfaces* **13**, 55676-55686 (2021)
- H. Park, J. Lee, C.-J. Lee, J. Kim, J. Kang, H. Noh, J. Lee, Y. Park, M. Choi, and H. Park*, "Evaluation of the average grain size of polycrystalline graphene using an electrical characterization method," *Solid-State Electronics* **186**, 108172 (2021)
- H. Park, J. Jung, M. Liu, S. Lee*, and H. Park*, "Influence of amorphous-to-crystalline transformation on the negative thermo-optic properties of TiO₂ films," *ECS Transactions* **102**(2), 151-158 (2021)
- H. Park, C. Lim, Y. Noh, C.-J. Lee, H. Won, J. Jung, M. Choi, J.-J. Kim, H. Yoo*, and H. Park*, "Investigation of electrical characteristics of flexible CMOS devices fabricated with thickness-controlled spalling process," *Solid-State Electronics* **173**, 107901 (2020)
- J. Jung, H. Park, H. Won, C.-J. Lee*, and H. Park*, "Effect of graphene doping level near the metal contact region on electrical and photoresponse characteristics of graphene photodetector," *Sensors* **20**(17), 4661 (2020)
- C.-J. Lee, H. Park, J. Kang, J. Lee, M. Choi, and H. Park*, "Extraction of intrinsic field-effect mobility of graphene considering effects of gate-bias-induced contact modulation," *Journal of Applied Physics* **127**, 185105 (2020)
- M.B. Kumar, D. Kang, J. Jung, H. Park, J. Hahn, M. Choi, J.-H. Bae, H. Kim, and J. Park*, "Compact vari-focal augmented reality display based on ultrathin, polarization-insensitive, and adaptive liquid crystal lens," *Optics and Lasers in Engineering* **128**, 106006 (2020)
- S.H. Baek, S. Lee, J.-H. Bae, C.-W. Hong, M.-J. Park, H. Park, M.-C. Baek, and S.-W. Nam*, "Nanopillar and nanohole fabrication via mixed lithography," *Materials Research Express* **7**(3), 035008 (2020)
- H. Park, C. Lim, C.-J. Lee, M. Choi, S. Jung*, and H. Park*, "Analytic model of spalling technique for thickness-controlled separation of single-crystalline semiconductor layers," *Solid-State Electronics* **163**, 107660 (2020)
- J. Kang, C.-J. Lee, J. Kim, H. Park, C. Lim, J. Lee, M. Choi, and H. Park*, "Effect of copper surface morphology on grain size uniformity of graphene grown by chemical vapor deposition," *Current Applied Physics* **19**, 1414-1420 (2019)
- H. Noh, J. Lee, C.-J. Lee, J. Jung, J. Kang, M. Choi, M.-C. Baek, J. H. Shim, and H. Park*, "Precise evaluation of liquid conductivity using a multi-channel microfluidic chip and direct-current resistance measurements,"

Sensors and Actuators B: Chemical **297**, 126810 (2019)

- G. Drewelow, A. Reed, C. Stone, K. Roh, Z.-T. Jiang, L.N.T. Truc, K. No, H. Park, S. Lee, "Work function investigations of Al-doped ZnO for band-alignment in electronic and optoelectronic applications," *Applied Surface Science* **484**, 990-998 (2019)
- C.-J. Lee, C.-H. Won, J.-H. Lee, S.-H. Hahm*, and H. Park*, "GaN-Based ultraviolet passive pixel sensor on silicon (111) substrate," *Sensors* **19**, 1051 (2019)
- J. Lee, C.-J. Lee, J. Kang, H. Park, J. Kim, M. Choi, and H. Park*, "Multifunctional graphene sensor for detection of environment signals using a decoupling technique," *Solid-State Electronics* **151**, 40-46 (2019)
- H. Park, C. Lim, C.-J. Lee, J. Kang, J. Kim, M. Choi, and H. Park*, "Optimized poly(methyl methacrylate)-mediated graphene-transfer process for fabrication of high-quality graphene layer," *Nanotechnology* **29**, 415303 (2018)
- S. Lee, Y. Song, H. Park, A. Zaslavsky, D.C. Paine, "Channel scaling and field-effect mobility extraction in amorphous InZnO thin film transistors," *Solid-State Electronics* **135**, 94-99 (2017)
- C.-J. Lee, C.-H. Won, J.-H. Lee, S.-H. Hahm*, and H. Park*, "Selectively enhanced UV-A photoresponsivity of a GaN MSM UV photodetector with a step-graded $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ buffer layer," *Sensors* **17**, 1684 (2017)
- S.-H. Bae, X. Zhou, S. Kim, Y.S. Lee, S.S. Cruz, Y. Kim, J.B. Hannon, Y. Yang, D.K. Sandana, F.M. Ross, H. Park, and J. Kim, "Unveiling the carrier transport mechanism in epitaxial graphene for forming wafer-scale, single-domain graphene," *P. Nat'l. Acad. Sci.* **114**, 4082-4086 (2017)

04

특허 및 등록출원 현황

□ 국제특허 출원 및 등록 (등록된 미국특허 총 31개)

- H. Park, M. Choi, H. Park, C.-J. Lee, "CIRCULAR RESONATOR, AND OPTICAL MODULATOR AND OPTICAL ELEMENT COMPRISING SAME," US 17/032,231 (filed, 09/25/2020)
- H. Park, J. Jung, S. Hong, D. K. Min, "XY Stage Module, Storage System Employing the Same, and the Method for Fabricating the XY Stage Module," US 7,316,072 (issued, 01/08/2008)
- H. Park, K. L. Baeck, C. Park, S. Hong, H. Ko, J. Jung, "Semiconductor probe with resistive tip and method of fabricating the same," US 7,319,224 (issued, 01/15/2008)
- H. Park, J. Jung, S. Hong, "Method of Fabricating Semiconductor Probe with Resistive Tip," US 7,338,831 (issued, 03/04/2008)
- H. Park, J. Shim, S. Hong, D. K. Min, "XY Stage Driver Having Locking Device and Data Storage System Having the X-Y Stage Driver," US 7,459,809 (issued, 12/02/2008)
- H. Park, J. Jung, H. Ko, S. Hong, "Semiconductor Probe and Method of Writing and Reading Information using the Same," US 7,464,584 (issued, 12/16/2008)
- H. Park, J. Shim, S. Hong, "Method of Fabricating Micro Actuator Having Media Stage," US 7,520,998 (issued, 04/21/2009)
- H. Park, J. Jung, H. Ko, S. Hong, "Method of Fabricating Resistive Probe Having Self-aligned Metal Shield," US 7,605,014 (issued, 10/20/2009)
- H. Park, S. Hong, D. K. Min, J. Shim, "Micro Actuator and Data Storage Apparatus Employing the Same," US 7,889,626 (issued, 02/15/2011)

[23 more patents that Prof. Park contributed to (as a co-inventor) are issued in USA]

□ 국내특허 출원 및 등록

- 박홍식, 이준영, 노효웅, 이창주, 백문창, "개별 나노입자 특성 검출 장치 및 개별 나노입자 특성 검출 방법," 10-2464440 (issued, 11/02/2022)
- 박홍식, 이준영, 노효웅, 백문창, "생체 물질 정량 분석 시스템 및 이를 이용한 생체 물질 정량 분석 방법," 10-2434151 (issued, 08/16/2022)
- 박홍식, 이준영, 노효웅, 백문창, "액체의 전기적 특성 평가를 위한 다중 채널 유체 칩," 10-2263948 (issued, 06/07/2021)
- 박홍식, 한형수, 백문창, 노효웅, 이준영, "광원 조절 방법, 광원 조절 방법을 이용하여 시료 변화를 감지하는 방법 및 시료 변화 감지 장치," 10-2248263 (issued, 04/28/2021)
- 박홍식, 노효웅, 이준영, 한형수, 백문창, "시료 변화 감지 장치와 시료 변화 감지 장치에서 시료들의 광학적 편차를 보정하는 방법," 10-2239896 (issued, 04/07/2021)
- 박홍식, 한형수, 백문창, 이준영, 노효웅, 남성욱, "시료 변화 감지 장치 및 시료 변화 감지 방법," 10-2208863 (issued, 01/22/2021)
- 박홍식, 최무한, 박홍휘, 이창주, "월형 공진기, 이를 포함하는 광 변환기 및 광학 소자," 10-2074172 (issued, 01/31/2020)
- 박홍식, 이창주, 임창희, 정성환, "박리층을 이용한 단결정 반도체 박막 분리 방법," 10-1914856 (issued, 10/29/2018)

[6 more patents are filed in Korea]