

# 2024

# Photonics Conference

Nov. 27<sup>Wed</sup> ~ Nov. 29<sup>Fri</sup> Phoenix Pyeongchang (휘닉스 평창)

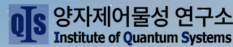
## Hosted by



## Organized by

OSK / Photonics Division  
KICS / Optical Communication Division  
IEIE / Optical Wave and Quantum Electronics Division  
KIEE / Optical Electronics and E. M. Wave Division  
IEEE / PS Seoul (Korea) Chapter

## Co-organized by



## Supported by



[photoconf.osk.or.kr](http://photoconf.osk.or.kr)



11월 28일 (목, T)

시간 \ 장소	팀버홀 I	아젠다룸 I-1	아젠다룸 I-2	아젠다룸 II	아젠다룸 III
09:00~10:30	광소자 3 T1A-II	광섬유/재료 1 T1B-IV	광신호처리/ 바이오포토닉스 3 T1C-V	광통신 및 광네트워크 1 T1D-I	(09:00~10:00) [Tutorial 1] Field-programmable 한 대규모 광집적회로의 발전 현황과 향후 과제
	좌장: Badloe Trevon (고려대)	좌장: 김병주(KIMM)	좌장: 강필성(GERI)	좌장: 이한협(ETRI)	발표: 한상윤(DGIST) 좌장: 김학린(경북대)
10:30~10:45	Break				
10:45~12:15	광소자 4 T2A-II	광섬유/재료 2 T2B-IV	광신호처리/ 바이오포토닉스 4 T2C-V	광통신 및 광네트워크 2 T2D-I	(10:45~11:45) [Tutorial 2] Spin Hall Effect of Light: A New Frontier in Surface Detection
	좌장: 김원근(금오공대)	좌장: 홍성진(중앙대)	좌장: 강현민(GERI)	좌장: 정석환(수원대)	발표: 김민경(GIST) 좌장: 김학린(경북대)
12:15~13:45	점심 (센터플라자 1층, 온담)				
13:45~14:00	개회식 (팀버홀 I) / 사회: 김창석(부산대)				
14:00~14:45	Plenary 1 (팀버홀 I)	차세대 통신과 포토닉스 기술 연사: 백용순(ETRI) / 좌장: 정환석(ETRI)			
14:45~15:30	Plenary 2 (팀버홀 I)	고에너지 레이저 무기 기술의 도전 연사: 서용석(ADD) / 좌장: 김재선(대한광통신)			
15:30~16:15	Plenary 3 (팀버홀 I)	나노 메타광학에서의 위상제어 연사: 송석호(한양대) / 좌장: 전민용(충남대)			
16:15~16:30	Break				
16:30~18:00	<b>POSTER SESSION 2 (팀버홀 II)</b> 광통신 및 광네트워크(TP-I.01~09), 광소자(TP-II.01~20), LED/디스플레이/태양전지(TP-III.01~08), 광섬유/재료(TP-IV.01~12), 광신호처리/바이오포토닉스(TP-V.01~10)				
18:00~	만찬 (포레스트홀) / 사회: 류한열(인하대)				

11월 28일 (목) 포스터발표

TP-II

Poster Session 2

탐버홀 II, 16:30~18:00

광소자

- TP-II.01 Non-volatile SIS optical phase shifter with flash gate stack**  
JU Gijun (KIST, Hanyang Univ.), KIM Kyunghwan, HWANG Sung Hyun, AHN Dae-Hwan, SONG Yong-Won, LEE In-Ho (KIST), KIM Younghyun\* (Hanyang Univ.), HAN Jae-Hoon\* (KIST)  
We investigated the non-volatile operation of an SIS optical phase shifter with a charge-trap flash gate structure ( $Al_2O_3/HfO_2/Al_2O_3$ ) and a graphene transparent electrode. Through this study, we expect to develop a non-volatile optical switching technology that can significantly reduce static power consumption while enabling the storage of optical paths.
- TP-II.02 III-V on Si 이종접합 분산 피드백 레이저에 대한 고효율 구조 설계 연구**  
ONWUKAEME Chibuzo, RYU Han-Youl\* (Inha Univ.)  
The device characteristics of InGaAsP/InP-based III-V on Si hybrid distributed feedback (DFB) laser diode (LD) structures were investigated using numerical simulations. The efficiency of the hybrid LD was optimized as the structural parameters of the hybrid LD structures varied. In particular, the LD device characteristics were found to be strongly influenced by the doping concentrations of p-InP and SCH layers, and the optimum doping concentrations were obtained.
- TP-II.03 광증폭기 집적형 InAlGaAs 기반 전계흡수레이저**  
KIM Namje\*, LEE Seungchul, SHIN Jun-Hwan, PARK Miran, KWON O-Kyun (ETRI)  
As data traffic and modulation speeds increase, the chirp characteristics and output power of optical transmitters have become key specifications, even in the O-band. We fabricated semiconductor optical amplifier-integrated electroabsorption modulated lasers for passive optical networks, and they show a high output power of over 16 mW at 50°C.
- TP-II.04 Directly RFOF 활용을 위한 DML 특성 모델링**  
KIM Namje\*, LEE Seungchul, SHIN Jun-Hwan, PARK Miran, KWON O-Kyun (ETRI)  
We calculated the optical characteristics of directly modulated lasers as transmitters for radio frequency over fiber systems in indoor applications. The 25 Gbd DMLs exhibit good response characteristics for 64QAM signals in the RF range of 5 to 10 GHz.
- TP-II.05 소형 4채널 EML 서브모듈을 위한 임피던스 정합 실리콘 인터포저의 설계 및 제작**  
LEE Seo-Young\* (ETRI, KAIST), HAN Young Tak, PARK Sang Ho, YUN Seok Jun, CHOI Young Kyu, LEE Dong Hoon, LEE Dong Hyo (ETRI), YU Kyungsik (KAIST)  
An EML driving circuitry is essential for high-speed operation, but its implementation requires adequate space, which is a hurdle for a compact multi-channel EML submodule. We designed and fabricated a Z-matching silicon interposer with RF transmission lines and termination resistors for impedance matching. The Z-matching silicon interposer provides an EML driving circuitry with a channel pitch of 500  $\mu\text{m}$  using Cu through silicon vias (TSVs).
- TP-II.06 Design and application of partial beam block for mitigating internal reflection in Geiger mode ToF LIDAR**  
JANG Hansdl\*, KOH Hae Seog, YOON Taehyun, SONG Hajun (ADD)  
This study proposes a technique to enhance the detection efficiency of echo signals in Geiger-mode ToF LIDAR by suppressing internal reflections within the optical system using a partial beam block.
- TP-II.07 Phase-mismatched waveguide to racetrack-type microresonator coupling**  
YOON Hyejin, KIM Juntae, BAEK Seungyup (KAIST), KIM Sangsik\* (KAIST)  
We introduce a phase-mismatched waveguide-to-microresonator coupling approach, where the propagation constant difference  $\Delta\beta$  between the bus-waveguide and the racetrack resonator generates a sinusoidal coupling coefficient across the spectrum. This sinusoidal coefficient enables waveguide-to-microresonator coupling independent of the gap size, enhancing tolerance to fabrication variations.

- TP-II.08 Silicon-on-Insulator 플랫폼에서 구현된 극한 모드 변환기**  
KIM Sangsik\* (KAIST), KIM Junetae, KIM Kyungtae, LEE Jaewhan (KAIST)  
We design an extreme mode converter on a silicon-on-insulator (SOI) platform, which can expand the sub-micrometer scale waveguide mode into sub-millimeter scale free-space 2D Gaussian beam. Two step mode conversions are adopted operating at telecommunication wavelength.  
광학 칩에서의 광도파로 모드를 자유공간 상으로 변형시켜주는 기술, 원자 물리 응용, 생체 이미징 기술 등 다양한 방향으로 활용될 수 있다. 하지만 많은 응용에서 요구되는 광학빔의 크기는 광학칩의 모드 크기에 비해 매우 큰데, 이러한 극한 모드 변환에는 기술적인 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 광학 칩 내의 서브마이크로미터 범위의 광도파로 모드에서, 자유공간상에서 서브마이크로미터 범위의 크기를 가진 방사 모드로 크기를 확장하는 극한 모드 변환기를 SOI 플랫폼에서 설계하고 구현하고자 한다. 자유공간 상에서 구현하고자 하는 빔은 2차원의 가우시안 빔이고, 이를 위해 두 단계의 변화를 통해 순차적으로 모드를 형성하는 방식을 택한다. 우선 첫 번째 단계(Stage 1)는 도파로 모드를 슬래브(slab) 모드로 변형시켜주는 슬래브 확장기(slab expander)이다. 광도파로와 슬래브 사이의 간격을 조절하면 evanescent 커플링의 정도를 제어할 수 있는데, 이를 통해 1차원의 가우시안 슬래브 모드를 형성할 수 있다. 그 다음으로 두 번째 단계(Stage 2)에서는 격자 결합기의 격자 간격 및 종전율을 연속적으로 조절하여 방사되는 에너지가 진행 방향에 따라 가우시안 형태를 띠도록 최적화한다. 그 결과 서브마이크로미터 크기의 2차원 가우시안 모드가 광학칩의 면외(out-of-plane) 방향으로 방사된다. 이때의 빔 방사 방위각(azimuthal angle) 및 고도각(zenith angle)은 다음 수식 (1)과 같이 유도되고, 격자구조로의 슬래브 모드 입사각을 조절하여 제어된다.
- TP-II.09 3차원 확산 리소그래피로 제작한 마이크로렌즈 기반 플렌넬릭 현미경 시스템 설계 및 제작**  
LEE Munseob\* (ETRI), KIM Chihoon (Chonnam Nat'l Univ.)  
본 연구는 플렌넬릭 현미경 시스템의 성능 향상을 위해 3차원 확산 리소그래피 기반 마이크로렌즈 어레이(MLA)를 제작하고 광학적 특성을 분석하였다. 설계된 MLA는 10배 대물렌즈와의 광학적 호환성을 고려하여 85  $\mu\text{m}$  피치(f:2.1mm)의 사양으로 광학설계 및 제작하였다. 금속 마스크를 활용한 3차원 디퓨저 리소그래피 공정을 통해 균일한 MLA 필드를 제작하였으며, PDMS 복제를 통해 최종 MLA를 얻었다. 제작된 MLA는 설계지와 유사한 형상 및 우수한 광학 성능을 나타냈으며, 특히 스톱밴드 중앙값이 0.975로 매우 높게 나타났다. 두 가지 다른 구성으로 제작된 MLA를 평가한 결과, 공간 해상도는 7.8  $\mu\text{m}$ 로 확인되었으며, 마운트를 사용한 구성에서 더 넓은 DOF를 확보할 수 있었다. 본 연구 결과는 고해상도, 넓은 피사계 심도를 요구하는 다양한 광학 시스템에 적용 가능한 3차원 플렌넬릭 현미경용 시스템의 특성을 보여준다.
- TP-II.10 최적화된 후면 박막화를 통한 후면조사형 단일광자아발란치 다이오드의 가시광 영역 효율 향상**  
YOOK Seyoung, CHOI Hyun-Seung, CHOI Woo-Young, LEE Myung-Jae\* (Yonsei Univ.)  
Single-photon avalanche diode (SPAD)는 고감도 광 검출 반도체 소자로, (i) PN 접합에 항복 전압 이상의 강한 역전압이 가해졌을 때 일어난 광자에 의해 생성된 전자-정공 쌍이 강한 전기장에 의해 가속되어 다른 원자와 충돌, (ii) 충돌로 인한 impact ionization 현상으로 더 많은 전자와 정공이 생성, (iii) 이러한 과정이 반복되어 전자와 정공의 수가 기하급수적으로 증가하는 avalanche multiplication이 일어남에 따라, 단일 광자 수준의 약한 광신호에도 반응할 수 있어 positron emission tomography (PET), light detection and ranging (LiDAR), autonomous driving과 같은 응용에서 크게 각광받고 있다. 본 연구에서는 SPAD의 가시광 영역 효율을 증가시키기 위해 CMOS 공정 기반 back-illuminated (BI) SPAD의 epi 두께를 5 $\mu\text{m}$ 에서 3.3 $\mu\text{m}$ 로 감소시켰으며 그 결과 가시광 영역의 photon detection probability (PDP)가 크게 상승함을 성공적으로 검증하였다. 특히 450-650 nm 파장 범위에서의 효율이 두드러지게 향상되었으며, 550 nm 파장의 경우 약 15%에서 약 52.2%로 약 3.5배의 PDP 증가를 달성하였다.
- TP-II.11 간섭 조건 제어를 통한 삼중층 유전체 거울의 선택적 반사율 저하**  
KWON Sungwon, KIM Dohyun, LEE Kyu-Tae\* (Inha Univ.)  
We propose a method to selectively suppress reflectance at shorter or longer wavelengths by adjusting interference conditions in tri-layered dielectric mirrors, offering potential for various applications in optical communication, sensing, and imaging devices.
- TP-II.12 섬광체 및 반도체기반 수광센서를 이용한 방사능 위치 탐지장치 개발**  
HWANG Young-Gwan\* (KAERI)  
Accurate location detection of radioactive contamination sources is very important for removing radioactive contamination sources. In order to accurately detect the location of radioactive contamination, high-sensitivity sensors and location detection techniques are required. In this study, location detection techniques and algorithms for radioactive contamination sources were studied using high-sensitivity sensors.

# 최적화된 후면 박막화를 통한 후면조사형 단일광자 아발란치 다이오드의 가시광 영역 효율 향상

## Enhancement of Visible-Spectrum Efficiency of Back-Illuminated Single-Photon Avalanche Diodes With Optimized Backside Thinning

육세영\*, 최현승, 최우영, 이명재  
연세대학교 전기전자공학부

This study aims to enhance the visible-spectrum efficiency of CMOS-based back-illuminated (BI) single-photon avalanche diodes (SPADs) with optimized backside thinning, by reducing the epi thickness from 5  $\mu\text{m}$  to 3.3  $\mu\text{m}$ . A significant increase, over 3x efficiency improvement, especially notable at 550 nm from 15% to 52.2%, is achieved.

Single-photon avalanche diode(SPAD)는 고감도 광 검출 반도체 소자로, (i) PN 접합에 항복 전압 이상의 강한 역전압이 가해졌을 때 입사된 광자에 의해 생성된 전자-정공 쌍이 강한 전기장에 의해 가속되어 다른 원자와 충돌, (ii) 충돌로 인한 impact ionization 현상으로 더 많은 전자와 정공이 생성, (iii) 이러한 과정이 반복되어 전자와 정공의 수가 기하급수적으로 증가하는 avalanche multiplication이 일어남에 따라, 단일 광자 수준의 약한 광신호에도 반응할 수 있어 positron emission tomography(PET), light detection and ranging(LiDAR), autonomous driving과 같은 응용에서 크게 각광을 받고있다[1], [2]. 본 연구에서는 SPAD의 가시광 영역 효율을 증가시키기 위해 CMOS 공정 기반 back-illuminated (BI) SPAD의 epi 두께를 5  $\mu\text{m}$ 에서 3.3  $\mu\text{m}$ 로 감소시켰으며 그 결과 가시광 영역의 photon detection probability(PDP)가 크게 상승함을 성공적으로 검증하였다. 특히 450-650 nm 파장 범위에서의 효율이 두드러지게 향상되었으며, 550 nm 파장의 경우 약 15%에서 약 52.2%로 약 3.5배의 PDP 증가를 달성하였다.

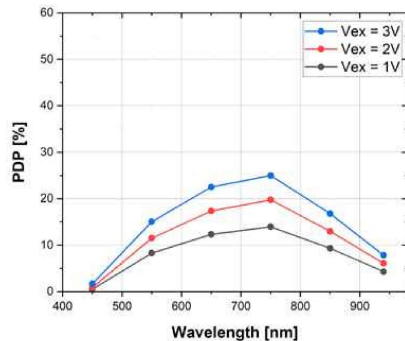


그림 1. PDP of SPAD with 5  $\mu\text{m}$  epi

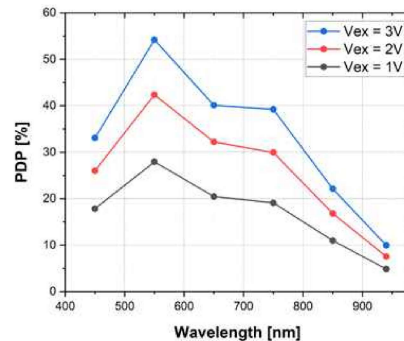


그림 2. PDP of SPAD with 3.3  $\mu\text{m}$  epi

### 참고 문헌

- [1] G. Chen *et al.*, *IEEE Sens. J.*, 21(5), pp. 5656-5667 (2021).
- [2] S. Gundacker *et al.*, *Phys. Med. Biol.*, 64(5), 055012 (2019).

This work was supported by the Korea Institute of Science and Technology (KIST) Institution Program (Grant No. 2E32942), Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) grant funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE, Korea) (RS-2022-00155891), and the Yonsei University Research Fund of 2024 (2024-22-0504).

# Enhancement of Visible-Spectrum Efficiency of Back-Illuminated Single-Photon Avalanche Diodes with Optimized Backside Thinning

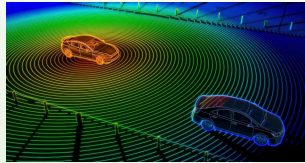


Seyoung Yook<sup>1\*</sup>, Hyun-Seung Choi<sup>1</sup>, Woo-Young Choi<sup>1</sup> and Myung-Jae Lee<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

\*sy.yook127@yonsei.ac.kr; \*\*mj.lee@yonsei.ac.kr

## SPAD Applications



[LiDAR]

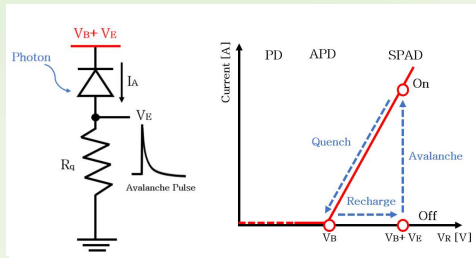


[PET]

Single-photon avalanche diodes (SPADs) exhibit an exceptional level of sensitivity, allowing them to detect individual photons. So, it is applied in various fields such as LiDAR, 3D imaging, and bioelectronics.

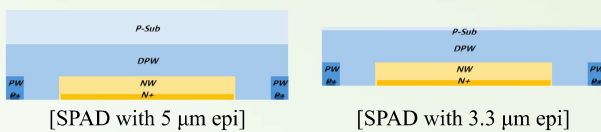
Image Source: Denso X / Shanghai Rocatti Biotechnology Co., Ltd

## SPAD Operation



SPADs detect photon through the avalanche multiplication in geiger mode. Consequently, SPADs exhibit a higher gain than conventional photodiodes.

## Device Structure



- Main Junction: N-well / Deep P-well
- Guard ring: Virtual (2 μm width)
- Active area diameter: 10 μm

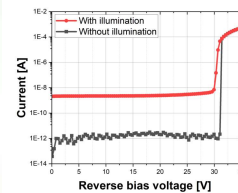
In this study, the epi thickness of the SPAD was reduced from 5 μm to 3.3 μm through optimized backside thinning, improving its visible light efficiency.

## Conclusion

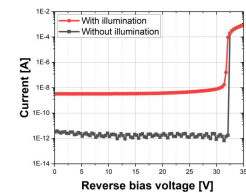
In this study, the epi thickness of CMOS BI SPAD was reduced from 5 μm to 3.3 μm. As a result, it was successfully verified that the PDP in the visible light spectrum was significantly increased. In particular, the efficiency in the 450-650 nm wavelength range was remarkably improved. In the case of a 550 nm wavelength, about 3.5 times increase in PDP was achieved from about 15% to about 52.2%.

## Experimental Result

### I-V Characteristics



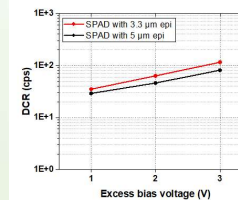
[SPAD with 5 μm epi]



[SPAD with 3.3 μm epi]

Since the main junction remains unchanged, the breakdown voltages of the SPADs are largely maintained.

### Dark Count Rate (DCR)



Because the epi thickness is decreased by etching, the DCR values of SPAD are increased, but the increase is not significant.

### Light Emission Test (LET)



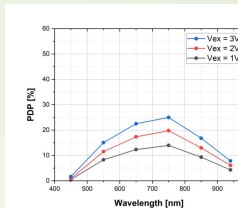
[SPAD with 5 μm epi]



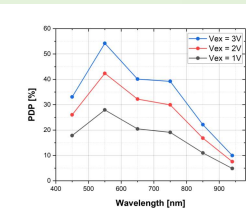
[SPAD with 3.3 μm epi]

The SPAD with 3.3 μm epi exhibits a brighter LET result, indicating more active avalanche multiplication.

### Photon Detection Probability (PDP)



[SPAD with 5 μm epi]



[SPAD with 3.3 μm epi]

According to backside thinning, the PDP of SPAD with 3.3 μm epi is improved, especially in visible light spectrum