

파운드리 CMOS 공정 기반 후면조사형 단일광자 아발란치 다이오드

Doyoon Eom^{1,2}, Hyun-Seung Choi^{1,2}, Woo-Young Choi², and Myung-Jae Lee^{1*}

¹Post-Silicon Semiconductor Institute, Korea Institute of Science and Technology, South Korea

²Department of Electrical and Electric Engineering, Yonsei University, South Korea

*Email: mj.lee@kist.re.kr

Abstract- 본 연구에서는 파운드리 CMOS 이미지 센서 공정을 기반으로 넓은 파장대에서 높은 검출 효율을 갖는 후면 조사형 비격리 단일광자 아발란치 다이오드를 개발하였다. 특히, 후면 패터닝 기술을 도입하여 장파장대에서의 효율을 크게 향상시켰으며, 그 결과 940nm 파장에서 약 16%의 높은 광자 검출 효율을 달성하였다.

Keywords— 광자 검출 효율 (PDP), 단일광자 아발란치 다이오드 (SPAD), 라이다 (LiDAR), 파운드리 CMOS 이미지 센서 (CIS) 공정, 후면조사, 후면 패터닝.

I. INTRODUCTION

후면조사형 단일광자 아발란치 다이오드 (SPAD)는 양전자 방출 단층 촬영 (PET), 형광 상관 분광법 (FCS) 및 라이다 (LiDAR)와 같은 여러 응용 분야에서의 핵심 센서 기술이다 [1]-[3]. 이러한 단일광자 아발란치 다이오드의 주요 요구 사항은 높은 광자 검출 효율 (PDP)을 갖는 것이다. 이를 위해 넓은 영역에서 캐리어를 끌어들이는 비격리 구조를 사용하는 것이 효과적이다. 최근 몇 년간 높은 검출 효율을 보유한 여러 후면조사형 비격리 단일광자 아발란치 다이오드가 개발되었지만, 이것들은 주로 자체 내부 공정을 기반으로 하여 파운드리 CMOS 공정을 사용하는 경우가 드물기 때문에 공정 접근성이 떨어진다는 한계점이 있다 [4]. 본 연구에서는 파운드리 CMOS 이미지 센서 (CIS) 공정을 기반으로 후면조사형 비격리 단일광자 아발란치 다이오드를 제작하였으며,

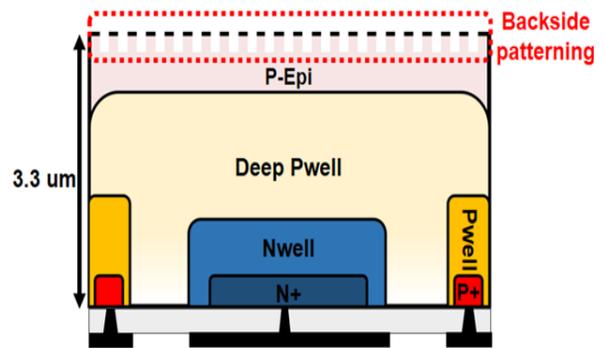


Fig. 1. 후면조사형 비격리 단일광자 아발란치 다이오드의 구조

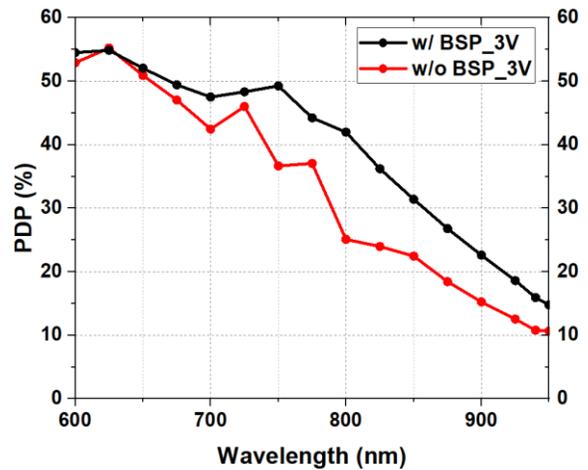


Fig. 2. 후면조사형 비격리 단일광자 아발란치 다이오드의 후면 패터닝 유무에 따른 광자 검출 효율 (PDP) 비교

특히, 후면 패터닝 기술 (BSP)을 활용하여 장파장대에서의 광자 검출 효율을 크게 향상시켰다.

II. DEVICE STRUCTURE

Fig. 1 은 단일광자 아발란치 다이오드의 단면 구조를 나타낸다. Nwell(NW)과 Deep Pwell(DPW)을 사용한 접합부를 가지고 있으며, 10 μm 의 동작 영역과 2 μm 폭의 가드링을 가진 원형으로 설계, 제작되었다. DPW 의 retrograde 도핑을 이용한 가상 가드링을 통해 premature edge breakdown 현상을 방지하였다. 후면 그라인딩 후 P-Epi 층의 두께는 약 3.3 μm 이다.

III. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSTION

제안된 단일광자 아발란치 다이오드의 항복 전압은 약 30 V 이고, 3 V 의 초과 전압에서 dark count rate (DCR)은 약 0.64 cps/ μm^2 이다. Fig 2 는 600 nm 부터 950 nm 까지의 파장 범위에서 25 nm 간격으로 측정된 광자 검출 효율을 나타낸다. 3 V 의 초과 전압에서 약 55%의 최대 광자 검출 효율을 달성하였고, 후면 패터닝 기술 덕분에 940 nm 에서 약 16%의 높은 광자 검출 효율을 보이는데, 이는 후면 패터닝이 없을 때보다 약 47% 향상된 수치이다.

IV. CONCLUSION

본 연구에서 제시한 후면조사형 비격리 단일광자 아발란치 다이오드가 노이즈 증가와 같은 문제없이 높은 효율 특성을 보이며 동작함을 입증하였고, 후면 패터닝 기술이 장파장대에서 광자 검출 효율 향상에 큰 기여를 한다는 것을 검증하였다. 제시된 단일광자 아발란치 다이오드는 의료 및 라이다 응용 분야 등에서 주요한 역할을 할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

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

REFERENCES

[1] M.-J. Lee et al., "High-performance back-illuminated three-dimensional stacked single-photon avalanche diode implemented in 45-nm CMOS technology," IEEE J. Sel.

Topics Quantum Electron., vol. 24, no. 6, Nov.-Dec. 2018, Art no. 3801809.
[2] S. Cova, A. Longoni, A. Andreoni, and R. Cubeddu, "A semiconductor detector for measuring ultraweak fluorescence decays with 70 ps FWHM resolution," IEEE J. Quantum Electron., vol. 19, no. 4, pp. 630-634, Apr. 1983, doi: 10.1109/JQE.1983.1071905.
[3] G. Bui, B. Morago, T. Le, K. Karsch, Z. Lu, and Y. Duan, "Integrating videos with LiDAR scans for virtual reality," in 2016 IEEE Virtual Reality (VR), Greenville, SC, USA, Mar. 2016, pp. 161-162, doi: 10.1109/VR.2016.7504703.
[4] S. Shimada et al., "A SPAD depth sensor robust against ambient light: the importance of pixel scaling and demonstration of a 2.5 μm pixel with 21.8% PDE at 940nm," in 2022 International Electron Devices Meeting(IEDM), San Francisco, CA, USA, Dec. 2022, pp. 37.3.1-37.3.4, doi: 10.1109/IEDM45625.2022.10019414.