

# Dead Time 조절이 가능한 단일 광자 아발란치 다이오드 아날로그 프론트-엔드

박효성<sup>1,2</sup>, 최우영<sup>2</sup>, 이명재<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술연구원 차세대반도체연구소

<sup>2</sup> 연세대학교 전기전자공학부

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

**Abstract**—본 연구에서는 단일 광자 아발란치 다이오드의 출력을 디지털 신호로 변환하기 위한 Active Recharge 타입의 아날로그 프론트-엔드 회로를 구현하였으며 Dead Time 조절 기능을 적용하여 출력 신호를 약 3.7ns부터 34ns까지 조정 가능함을 검증하였다.

**Keywords**—단일 광자 아발란치 다이오드(SPAD), 아날로그 프론트-엔드(Analog Front-End), Active Recharge, Dead Time

## I. INTRODUCTION

단일 광자 아발란치 다이오드(Single-Photon Avalanche Diode; SPAD)는 입사하는 빛을 단일 광자 수준으로 검출할 수 있는 초고성능 광소자로, 미세한 빛의 검출이 필수적인 다양한 어플리케이션에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 어플리케이션으로 LiDAR (Light Detection and Ranging), AR (Augmented Reality), 바이오 메디컬, QRNG (Quantum Random Number Generation) 등이 있다. 대부분의 어플리케이션에서 SPAD 기반 센서의 성능을 고도화하기 위한 방법 중의 하나로, 아날로그 프론트-엔드 최적화에 대한 연구개발이 이루어지고 있다. 아날로그 프론트-엔드는 단일 광자 아발란치 다이오드에서 나오는 디지털 신호와 유사한 출력을 완전한 디지털 신호로 변환함과 동시에, 광소자와 가장 근접한 단계에 있는 회로 블록이기 때문에 광소자의 성능에 직접적인 영향을 줄 수 있는 중요한 부분이다. 또한, 아날로그 프론트-엔드의 최적화는 그 구조에 따라 단일 광자 아발란치 다이오드의 주요 특성인 Dead Time을 단축시킬 수 있기 때문에 특정 시간동안 더 많은 광자를 검출해내는 고성능 센서를 구현하는데 필수적이다. 본 연구에서는 Dead Time 조절이 가능한 Active Recharge 타입의 아날로그 프론트-엔드 회로를 구현 및 그 동작 및 성능을 성공적으로 검증하였다.

## II. ANALOG FRONT-END

단일 광자 아발란치 다이오드에서 광자를 검출하여 생성되는 전류 신호를 전압 신호로 변환하기 위해서는

소자의 출력 노드에 직접적으로 연결되는 저항 성분을 통해 Passive Quenching 구조를 만드는 것이 필수적이다[1]. 이를 구현하기 위해서 아날로그 프론트-엔드에 가변 저항으로서 구동되는 MOSFET을 적용하였다. Quenching 후 남은 전류는 저항 성분과 소자의 정전용량에 따라 천천히 빠지게 되지만 (Passive Recharge), 본 연구에서는 이로 인한 Dead Time의 단축을 위해 Quenching 후 남은 전류를 빠르게 제거할 수 있는 MOSFET을 추가하고 소자의 출력 노드와 네거티브 피드백 루프를 만들어 연결하였다. 이와 같은 Active Recharge 구조에 네거티브 피드백 신호 지연을 조절할 수 있는 회로를 적용시킴으로써 Dead Time을 조절할 수 있도록 아날로그 프론트-엔드를 설계 및 제작하였다.

## III. MEASUREMENT

해당 아날로그 프론트-엔드 제작 후 테스트 보드를 제작하여 Active Probe를 사용하여 출력을 확인하였다. 측정을 진행한 결과, 네거티브 피드백 신호 지연을 조절함에 따라 3.7ns부터 34ns까지 Dead Time이 조절됨을 성공적으로 확인하였다.

## IV. CONCLUSION

본 연구에서는 Active Recharge 구조의 적용을 통해 Dead Time을 유동적으로 조절 및 단축할 수 있음을 성공적으로 검증하였다. 본 결과를 통해 다양한 어플리케이션 각각에 맞도록 SPAD 기반 센서를 최적화하여 활용이 가능할 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] A. Gallivanoni, I. Rech and M. Ghioni, "Progress in Quenching Circuits for Single Photon Avalanche Diodes," in *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 57, no. 6, pp. 3815-3826, Dec. 2010