

# 단일광자 아발란치 다이오드 등가 회로 모델

김어진<sup>1,2</sup>, 최현승<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 GSG 샘플 기반의 S 파라미터 측정을 통한 소자 매개변수 추출로 단일광자 아발란치 다이오드의 RC 값들을 정확히 반영한 등가 회로 모델을 제시한다. 이를 통해 소자를 포함한 회로 시뮬레이션의 정확성을 크게 향상시킬 수 있다.

**Keywords**—단일광자 아발란치 다이오드(SPAD), 등가 회로 모델, 소자 매개변수.

## I. INTRODUCTION

기존의 Verilog-A 로 구현된 단일광자 아발란치 다이오드 (Single-Photon Avalanche Diode; SPAD) 모델은 소자의 단순 동작을 모방할 뿐 소자의 정확한 매개변수 값들을 고려하지 않는다. 소자 모델을 사용한 회로 시뮬레이션에서의 정확도를 향상시키기 위해서는 소자의 물리적 매개변수들을 고려하는 것이 필수적이다. 이에 따라, 소자의 RC 성분들을 정확히 반영하여 Verilog-A 로 통합한 새로운 단일광자 아발란치 다이오드의 등가 회로 모델을 구현하였다.

## II. METHOD

주파수별 소자의 RC 성분을 나타내는 S 파라미터 측정을 위해, 고주파 측정에서 안정성을 가지는 GSG SPAD 샘플을 먼저 설계하고 제작하였다. 이후 S 파라미터 측정 및 디임베딩 과정을 통해 소자의 각 매개변수를 정확히 추출하였다.

## III. MODELING RESULTS

Fig. 1 은 단일광자 아발란치 다이오드의 등가 회로 모델을 보여준다.  $Z_{PAD}$  부분은 GSG 패드의 기생 성분을 모델링하며,  $R_L$  과  $C_j$  는 공핍 영역의 커패시턴스 성분과

병렬 저항 성분을 의미한다.  $R_S$  는 DNW 과 NW 의 비활성 영역에서의 저항 성분을 나타내며,  $R_{SPAD}$  의 경우 단일광자 아발란치 다이오드의 공간 전하 저항을 나타낸다.  $C_{SUB}$  은 DNW/P-sub 의 커패시턴스 성분을 보여준다.

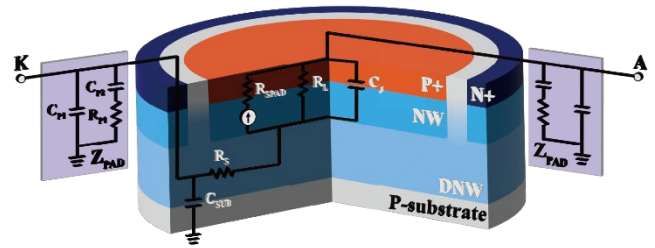


Fig. 1. 단일광자 아발란치 다이오드 등가 회로 모델

## IV. CONCLUSION

본 연구에서는 측정으로 직접 추출한 매개변수 요소들로 구성된 단일광자 아발란치 다이오드 등가 회로 모델을 제시하였다. 이 등가모델은 소자의 각 매개변수를 정확하게 반영하였으며, 단일광자 아발란치 다이오드의 아발란치 현상 시 나타나는 공간 전하 저항을 처음으로 모델화했다는 점에서 의의가 있다. Verilog-A 로 통합한 이 모델은 소자를 포함한 회로 시뮬레이션의 정확성을 높이고, 소자 구조에 따른 매개변수 조정을 통한 맞춤형 시뮬레이션을 가능하게 한다. 따라서 향후 SPAD 를 포함한 시뮬레이션 분야에서 크게 활용될 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).