

2021 하계종합학술대회

Human and artificial intelligence for hyper-connectivity
: now and future

2021년 6월 30일(수)~7월 2일(금)

롯데호텔 제주(중문)

주최 : 사단법인 대한전자공학회

후원 : 해동과학문화재단, 삼성전자, SK하이닉스, LG이노텍, LG전자, 삼성전기,
한국전자기술연구원, **Jeju** 제주특별자치도 **Jeju CVB** | 사 제주컨벤션뷰로

협찬 : 현대자동차, 한국전자통신연구원, 전자정보연구정보센터, (주)에이티엠아이앤씨,
실리콘웍스, 케이던스코리아, 텔레칩스, 인텔로이드, 서울대학교 반도체공동연구소,
롯데정보통신, 테크엘케이, 한국과학기술연구원,
성균관대학교 Analog/RF Circuits and System Center (ARRC),
성균관대학교 산학밀착형 IoT반도체시스템융합인력육성센터,
서울대학교 인공지능·반도체 융합연구센터,
포항공과대학교 바이오메디컬 시스템반도체 융합설계 핵심인력 육성센터,
중앙대학교 지능형 사물 에너지 반도체(iEoT) 시스템 융합 다빈치형 인력육성 센터,
연세대학교 인력 육성센터

2021년도 하계종합학술대회 논문 제출 결과를 통보드립니다.
아래의 내용을 확인해 주세요.

논문제출 결과	Accept
논문번호	GEP-684
논문제목	CMOS SPAD의 최대 수광 효율을 위한 가드링 최적화
주저자명	박은성(한국과학기술연구원(Korea Institute of Science and Technology), 연세대학교(Yonsei University))
공동저자명	하원웅(한국과학기술연구원)
교신저자명	이명재(한국과학기술연구원)
공지사항(필독)	<p>심사결과 구두 발표에서 포스터 발표로 변경된 논문도 있으니 추후 프로그램을 반드시 확인하시기 바랍니다.</p> <p><u>수정이 필요한 논문은 2021년 5월 30일(일)까지</u> 2021년도 하계종합학술대회 홈페이지에 직접 업로드 가능하오니 참고하시기 바랍니다.</p>
구두, 포스터 발표 동영상 필수 제출	<p>코로나19 상황에 따라 학술대회 참석에 대한 구체적인 사항들은 별도 안내할 예정이며, 아울러 이에 대비하기 위하여 모든 논문에 대하여 동영상 파일 제출을 요청하오니 적극 협조하여 주시기 바랍니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 구두논문: 발표 동영상 12분 이내로 제출 - 포스터논문: 발표 동영상 5분 이내로 제출 <p>*발표 동영상 제작(매뉴얼) 및 세부사항은 하계 홈페이지 참조</p>
논문발표	<p>구두발표: 현장 참석 및 발표를 원칙으로 함. 포스터발표: 현장 참석을 원칙으로 하며, 해당 포스터 세션 운영시간 동안 학술대회 홈페이지를 통한 비대면 질의응답으로 진행함.</p> <p>단, 코로나19 상황에 따라 발표방식이 변경될 수 있으며, 변경 시 별도 공지 예정임.</p>
사전등록	<p>2021년 6월 11일(금)까지 논문이 통과되신 분들은 꼭 사전등록을 진행하여 주시기 바랍니다.</p>
문의처	<p>대한전자공학회 이안순 부장 전화번호 : 02-553-0255(내선 6번) / 이메일 : ieie@theieie.org</p>

시스템 및 제어4

좌장 남기철(전북대학교)

01. 과결합된 무선전력전송 시스템에서 주파수에 따른 입력 임피던스 변화에 관한 연구 GEP-620
▶ 신유준, 박병진, 우성호, 안승영(한국과학기술원)
02. 멀티에이전트 기반 유무인 협업 시스템 GEP-626
▶ 이장은, 백재욱, 이소연(ETRI)
03. CNS를 이용한 딥러닝 모델 연구를 위한 인터페이스 구현 GEP-665
▶ 김택규, 박재관, 상승환, 구서용(한국원자력연구원)
04. 전기자동차 DC 전기모터 속도제어를 위한 신호도를 통한 상신제어기의 설계 및 해석 GEP-702
▶ 로랜드 코블라 타가이, 김종훈(충남대학교)

반도체6

좌장 강영권(한국교통대학교)

01. 저잡음 특성을 가진 혈당감지를 위한 완전차분차동증폭기(FDDA) 기반의 Potentiostat 회로 GEP-636
▶ 최규리, 남경식, 김형실, 권용수, 고희호(충남대학교)
01. Computing-In-Memory (CIM)를 위한 eDRAM 셀 분석 GEP-651
▶ 김도한, 정인준, 안홍근, 정성욱(연세대학교)
02. CMOS SPAD의 최대 수광 효율을 위한 가드링 최적화 GEP-684
▶ 박은성, 하원용(연세대학교, 한국과학기술연구원, 최우영(연세대학교), 이명재(한국과학기술연구원)
03. Hardware-Friendly Temporal Backpropagation Algorithm for Spiking Neural Networks GEP-714
▶ Jaehyeon Kim, Jiseong Im, Min-Kyu Park, Joon Hwang, Jong-Ho Lee(Seoul National University)

신호처리4

좌장 이철(동국대학교)

01. 일반화된 에너지 거리를 이용한 음성 향상 GEP-630
▶ 손병찬, 조원익, 친성준, 최병진, 한민현, 김남수(서울대학교)
02. 에지 정보를 이용한 가시광선 및 적외선 영상 합성 기법 GEP-655
▶ 박성현, 이철(동국대학교)
03. 스펙트럼 침도를 이용한 ResNet 기반의 표적 분류 성능 분석 GEP-718
▶ 김지현, 박도현, 김형남(부산대학교)
04. 단파 대역에서 Kurtosis를 활용한 블라인드 등화 성능 분석 GEP-721
▶ 권순영, 김호재, 김형남(부산대학교)

CMOS SPAD의 최대 수광 효율을 위한 가드링 최적화

*박은성^{1,2}, 하원용^{1,2}, 최우영¹, 이명재²

¹연세대학교 전기전자공학부

²한국과학기술연구원 차세대반도체연구소

e-mail : es.park@kist.re.kr, jamesha@kist.re.kr, wchoi@yonsei.ac.kr, mj.lee@kist.re.kr

Guard-Ring Optimization for Maximum Photodetection Efficiency of a CMOS SPAD

*Eunsung Park^{1,2}, Wonyong Ha^{1,2}, Woo-Young Choi¹, and Myung-Jae Lee²

¹Department of Electrical Electronic Engineering, Yonsei University

²Post-Silicon Semiconductor Institute, Korean Institute of Science and Technology

Abstract

The photodetection efficiency of SPAD depends on the doping concentration and width of the Guard Ring. This paper presents the results of electrical characterization and light emission tests for SPADs having two different Guard Ring structures.

I. 서론

점점 더 증가하는 건강에 대한 관심과 의료 기술의 발달, 그리고 최근 세계적인 질병의 확산으로 인해 건강 검진 및 진단 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 체외에서 효과적으로 진단이 가능한 컴퓨터 단층촬영(Computer Tomography, CT), 양전자 방출 단층촬영(Positron Emission Tomography, PET) 등은 질병을 검사하는데 많이 쓰이는 방법이다. 양전자 방출 단층촬영 장비의 수광단에 일반적으로 사용되어 온 광전 증폭관(Photomultiplier Tube, PMT)은 높은 수광 효율 특성을 가졌으나 진공 구조 필요, 큰 부피 및 낮은 확장성, 높은 인가 전압이 요구 등과 같은 한계를 지니고 있다[1], [2].

최근 반도체 기반으로 광전 증폭 성능을 보이는 소자인 Single-Photon Avalanche Diode(SPAD)가 표준 CMOS 공정에서 검증되며 큰 주목을 받고 있다. CMOS SPAD는 위에서 언급된 PMT의 단점을 모두 해결할 수 있기 때문에 PET 등을 비롯한 다양한 바이오 응용에 있어 크게 활용될 것이라 기대되고 있다. 본 논문에서는 표준 CMOS 공정 기반 SPAD의 구조 및 최대 수광 효율을 얻기 위한 가드링 최적화 방법을 제시, 검증하고자 한다.

II. 본론

2.1 Single-Photon Avalanche Diodes

SPAD와 포토다이오드(Photodiode)는 광전효과를 이용하는 광 소자로서 빛의 입사를 감지한다. 두 소자의 차이점 중 하나는 소자를 작동시키는 동작 전압이다. 포토다이오드의 경우에는 빛의 입사량에 비례하는 전류가 생성되고 전류의 크기에 따라서 빛의 세기를 측정할 수 있다. 이 때 포토다이오드는 일반적으로는 0 V ~ 1 V 정도의 매우 낮은 전압을 사용하며, 보다 큰 효율을 달성하기 위해 고전압을 사용하는 경우도 있으나 이 또한 소자의 Breakdown Voltage보다 낮은 전압이다. SPAD의 경우에는 Breakdown Voltage보다 높은 전압을 동작 전압으로

가진다. 높은 전압이 인가된 SPAD에 입사된 Photon으로부터 생성된 Carrier는 높은 E-field로 인해서 Impact Ionization을 일으키게 된다. 이러한 Avalanche 현상이 일어난 SPAD는 주변 Quenching 회로를 통해 꺼지게 되고, 이러한 동작을 반복, 계수함으로써 입사된 photon의 수를 측정할 수 있다.

2.2 Structure of SPADs

SPAD는 구조에 따라서 수광 효율이 달라진다. 최대의 수광 효율을 얻기 위해서는 인가된 전압이 공핍 영역에서 균일한 전기장을 가져야 한다. 이 때 구조의 특성때문에 Junction의 외곽에서 먼저 Breakdown이 일어날 수 있는데, 이를 Premature Edge Breakdown(PEB)이라고 한다. PEB을 방지해 주기 위해서 일반 포토다이오드와는 다르게 Junction 주변에 Guard Ring을 삽입해 주는 구조가 사용된다. Guard Ring에는 Junction의 도핑 농도보다 낮은 농도로 Implantation하며, Junction 외곽의 E-field를 감소시킴으로써 PEB을 방지하는 역할을 한다. CMOS SPAD공정을 통해서 Guard Ring의 도핑 농도 및 깊이가 서로 다른 SPAD를 제작하였고, 전류-전압 특성 측정 및 Light Emission Test를 진행하였다.

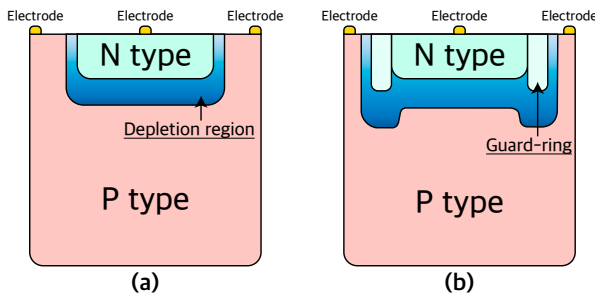


그림 1. (a) 포토다이오드 및(b) SPAD 단면도 예시

III. 구현

3.1 I-V Characteristics

Guard Ring에 따른 PEB 방지 효과를 알아보기와자 전류-전압 특성을 측정하였다. 접합부의 도핑 농도가 같고 Guard Ring의 도핑 농도 및 깊이가 다른 대조군을 비교하였다. Junction부의 도핑 농도가 같더라도 Guard Ring의 종류에 따라서 Breakdown Voltage가 서로 다른 것을 확인하였고, 이는 최적 Guard Ring구조를 사용함으로써 PEB이 보다 잘 방지될 수 있음을 의미한다.

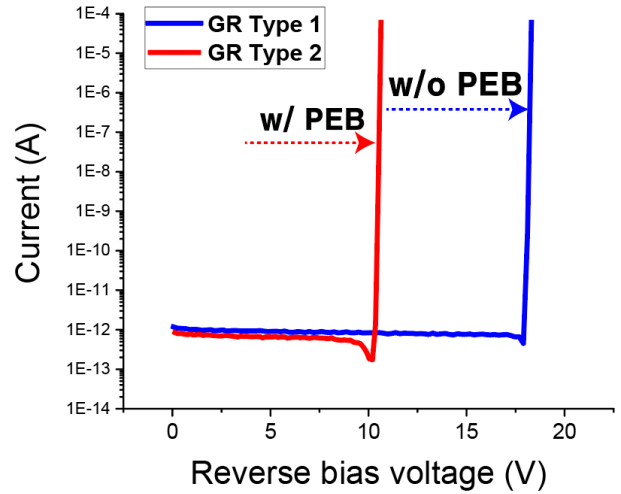


그림 2. Guard Ring의 종류에 따른 I-V 곡선 비교

3.2 Light Emission Tests

Breakdown이 발생하는 영역을 실험적으로 보다 정확히 확인하기 위해서 Light Emission Test(LET)를 진행하였다. LET는 Quenching 저항의 사용없이 SPAD에 Breakdown 이상의 전압을 인가하고 Avalanche Multiplication에 의해 생성된 Carrier들이 Recombination 되면서 방출하는 빛을 확인하는 실험이다. 즉, 빛이 나오는 영역은 Avalanche Multiplication이 발생한 영역을 나타낸다. 그림 3.(a)는 Donut 모양으로 Guard Ring 주변에서 빛이 발산되는 것을 확인할 수 있다. 이는 Guard Ring부분의 E-field가 Junction보다 높아서 Avalanche multiplication이 Guard Ring 주변에서 일어났음을 의미한다. 그림 3.(b)는 Junction에서 E-field가 균일하게 분포되기 때문에 원 모양으로 Junction에서만 빛이 발산되는 것을 확인할 수 있다. 본 측정을 통해서 Guard Ring의 구조에 따른 PEB 방지 여부를 명확히 확인할 수 있음을 보였다.

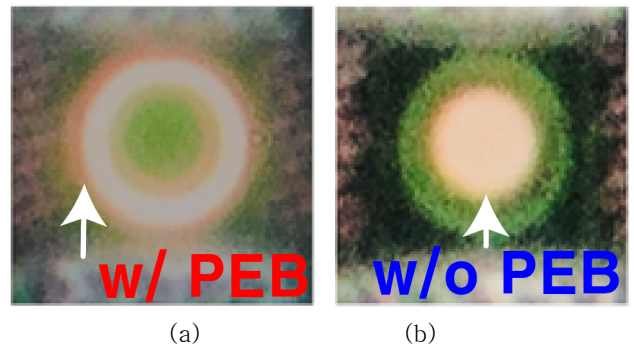


그림 3. (a)GR Type 1($V_B=10V$) 및 (b)GR Type 2($V_B=18V$) Light Emission Test 비교

IV. 결론 및 향후 연구 방향

Guard Ring 구조는 SPAD의 수광 효율에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 그 중요성이 매우 크다. SPAD 소자의 전기적 특성과 Light Emission Test를 통해서 Guard Ring에 따른 PEB 방지 효과를 확인할 수 있었다. 즉, Guard Ring 구조를 최적화함으로써, 전체 Junction에 걸쳐 Avalanche Multiplication이 일어나게 함으로써 수광 효율 최대화가 가능하다. CMOS SPAD의 구조를 최적화함에 따라서 향후 여러 응용에서 기존의 PMT, MCP 등과 같은 소자들을 대체, 보다 우수한 성능의 시스템의 제공이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] L. M. Hirvonen and K. Suhling, "Fast timing techniques in FLIM application", *Frontiers in Physics*, 2020.
- [2] E. Charbon, "Single-photon imaging in complementary metal oxide semiconductor processes", *Phil. Trans. R. Soc. A*, vol. 372, no. 2012, Feb. 2014.