

의사결정	토론	리뷰	공유
		●	

ACE향 Si-LiDAR 센서 BM 및 평가 항목

- SPAD 센서 (Jasper vs Peridot)

보고자	S-Task 김성만 연구위원/ 최병수 선임
목 적	Sony Si-LiDAR BM (Jasper vs Peridot) LiDAR 센서 평가 항목 및 Plan
참석자	

2022. 5. 30

“ACE향 Si-LiDAR 센서 BM 및 평가 항목”을 주제로 ACE 3D 센서 (Jasper vs Peridot) BM 및 센서 동작 이해,
SPAD 소자 성능 평가를 바탕으로 LiDAR Calibration 기술 내재화 구축

목차 :

1. LiDAR 센서 (Jasper vs Peridot) BM
2. Jasper vs Peridot 비교
3. 신규센서 Peridot SPAD 분석
4. 소니 specific SPAD 소자 구조
5. LiDAR 성능 주요 지표
6. SPAD 소자 & 성능 연계성
7. LiDAR 소자 평가 Plan
8. Summary

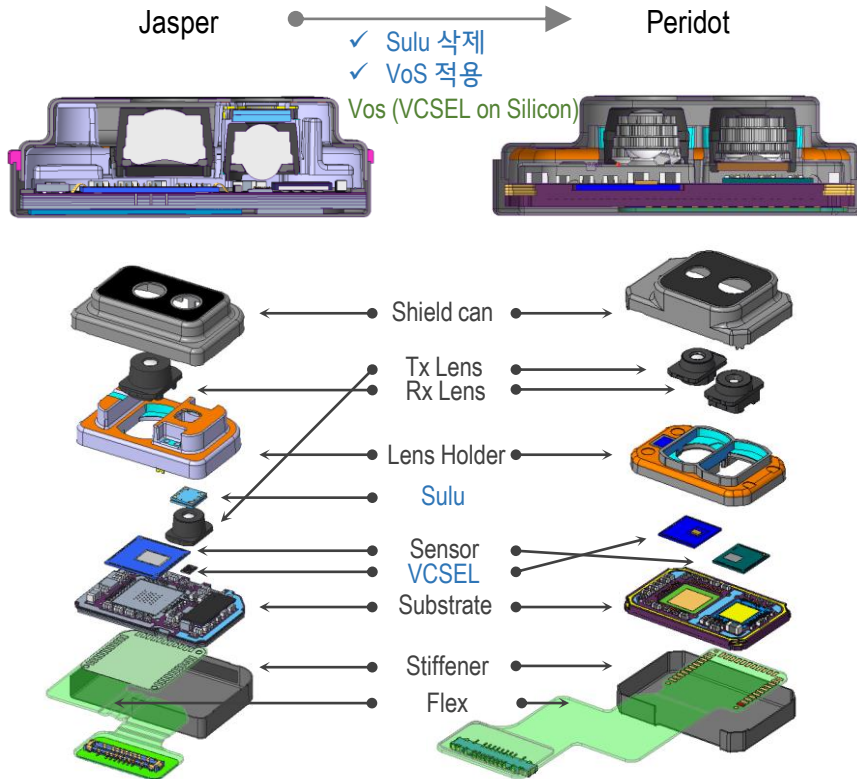
1. LiDAR 센서 (Jasper vs Peridot) BM

□ ACE向 모바일 LiDAR 모듈인 Jasper/ Peridot에 탑재된 Sony Si-SPAD 센서 비교분석

- Peridot 센서 Chip Size/ Resolution 축소, PDE 개선을 위한 IPA 구조 적용

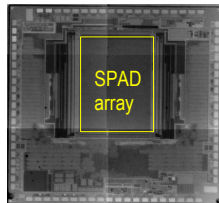

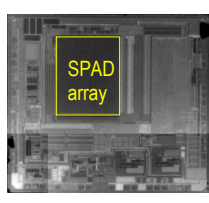

PDE (Photon Detection Efficiency) IPA (Inverted Pyramid Array)

Si-LiDAR 모듈 변경 Point



From 3D개발2팀 자료

센서 변경 Point

	ACE向 Mobile LiDAR 비교	
과제/센서명	Jasper (IMX592, Periscope)	Peridot (IMX591, Granger)
Sensor Type	d-ToF 방식 Si-SPAD 센서	←
Sub. Thickness/ Material	150um/ Silicon	←
Chip Size	4.20×4.09 mm ²	2.77×2.45 mm ²
Resolution	25K 140(H)×180(V)	9K, 84(H)×108(V)
Pixel Pitch	10.08um	←
Pixel Structure	BSI/ Cu-Cu Stacked DBI	←
	1W Shield/ (Backside) Full DTI	←
	w/o IPA	←
Epi. Thickness	7.1um	←
Microscope View	 	 

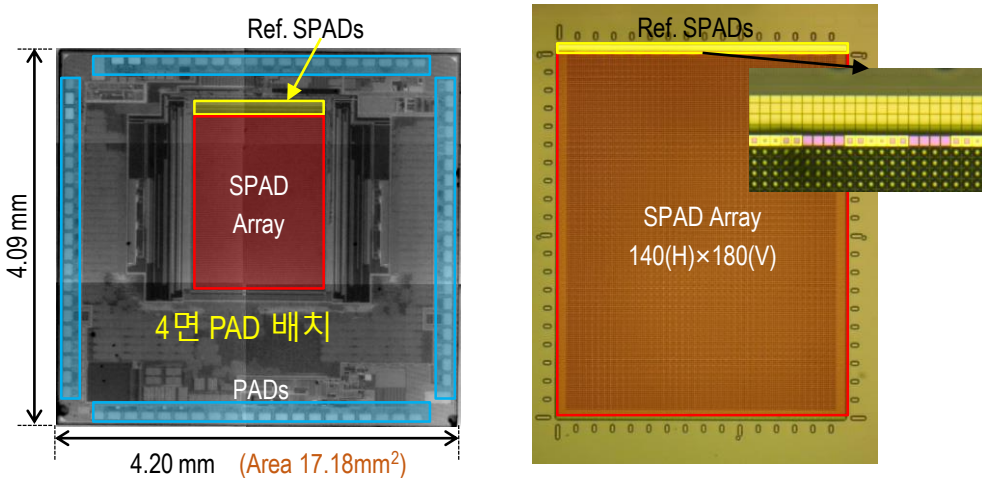
2. Jasper vs Peridot 비교

❑ Jasper (IMX592)/ Peridot (IMX591) Chip 변경 점 (Netdie 2.5배 증가 ($17.18\text{mm}^2 \rightarrow 6.79\text{mm}^2$)의 Low cost ver.)

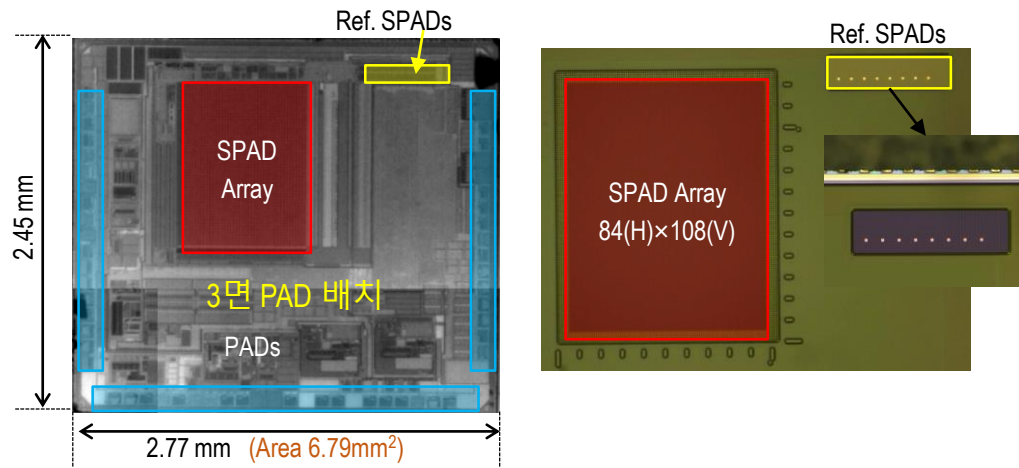
① Reference SPAD array 위치변경 (SPAD Array 상단 → 외부 배치), ② Ref. SPAD 단순화 (2 → 1종류), ③ PAD size 축소 ($141 \times 96 \rightarrow 96 \times 96 \mu\text{m}^2$)

→ PAD 배치 변경 (Chip Power Route 변경), 소자 Calibration 변경

Jasper (IMX592)



Peridot (IMX591)



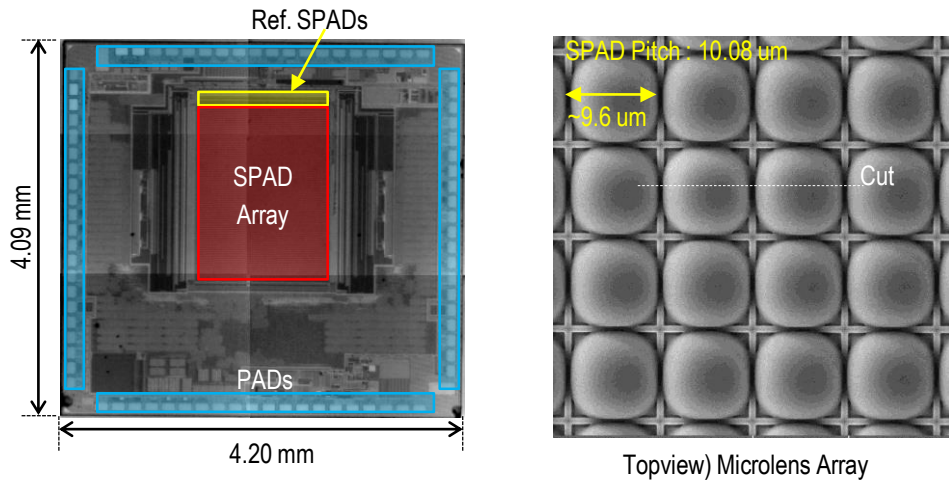
2. Jasper vs Peridot 비교

❑ Jasper (IMX592) vs Peridot (IMX591) SPAD의 Microlens, DTI, Reflector 구조의 변경점은 없음

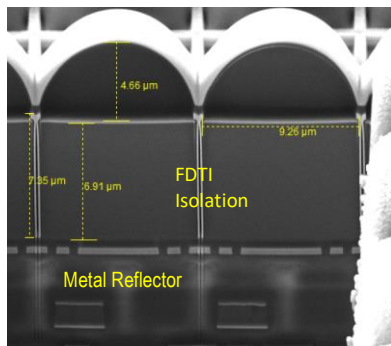
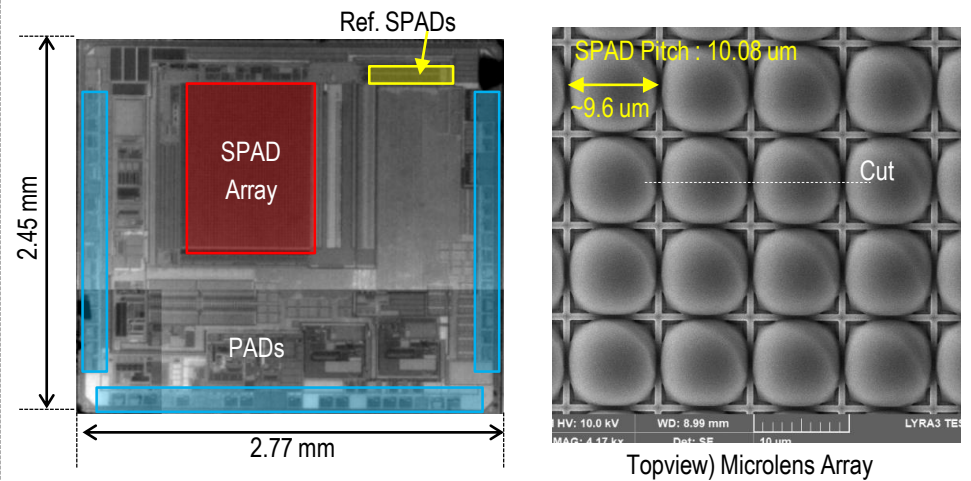
❑ 특이사항 → PDE 성능 개선용 IPA 구조 적용 (Peridot : IMX591)

→ LiDAR pixel pitch 10um 유지하며, PDE 특성 개선 IPA 구조 도입

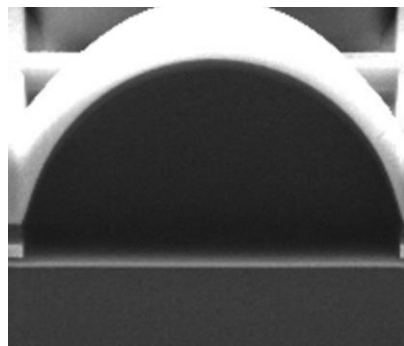
Jasper (IMX592)



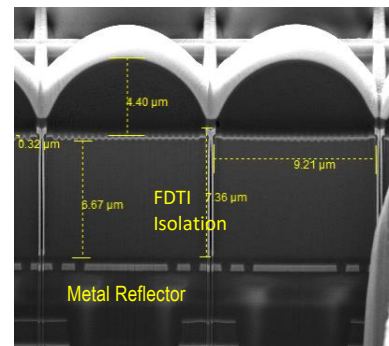
Peridot (IMX591)



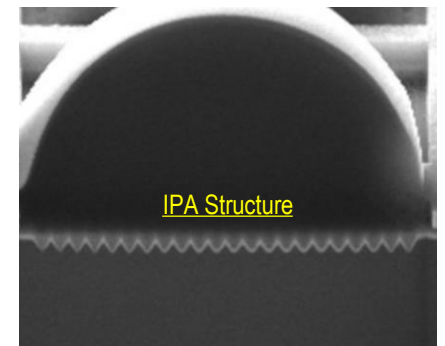
SPAD Profile



MLA Profile



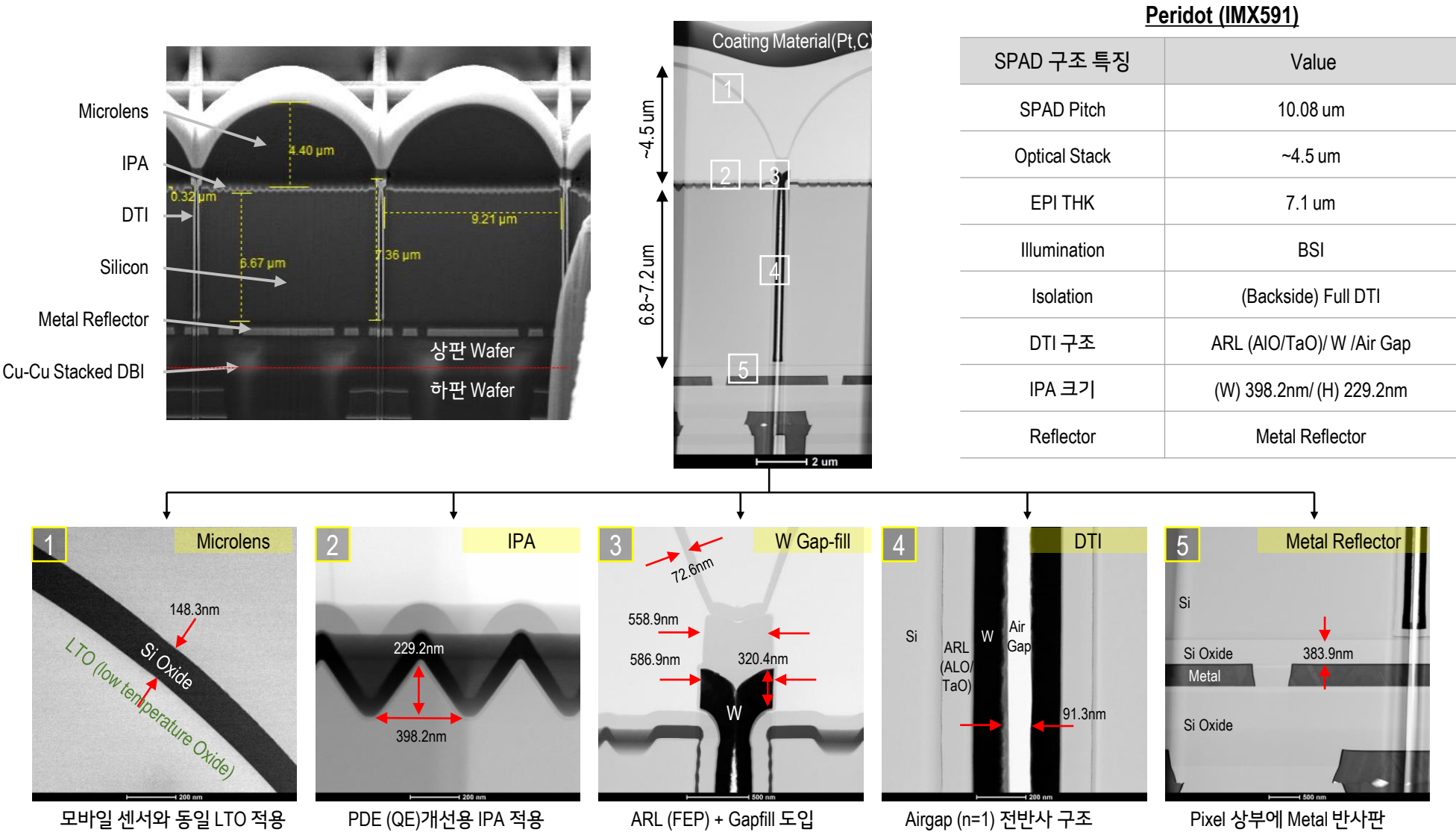
SPAD Profile



MLA Profile

3. 신규센서 Peridot SPAD 분석

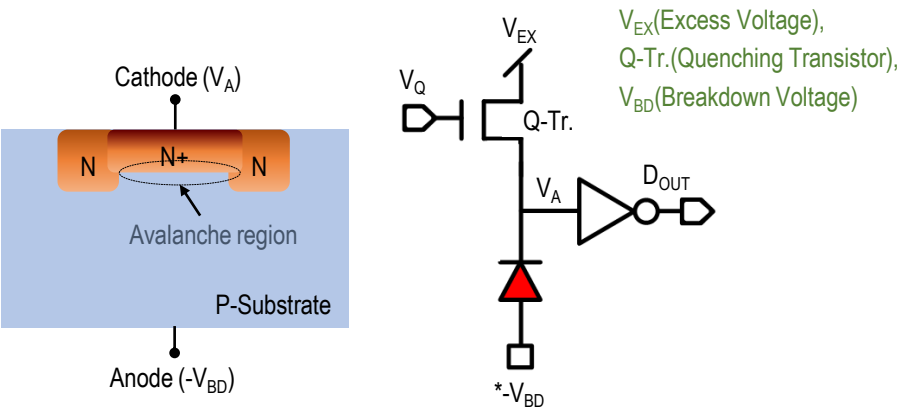
□ Peridot (IMX591) SPAD 소자 구조 특징 : BSI, Microlens, IPA, DTI, Cu-Cu Stacked DBI, Reflector etc.
BSI (Backside Illumination) DBI (Direct Bond Interconnect)



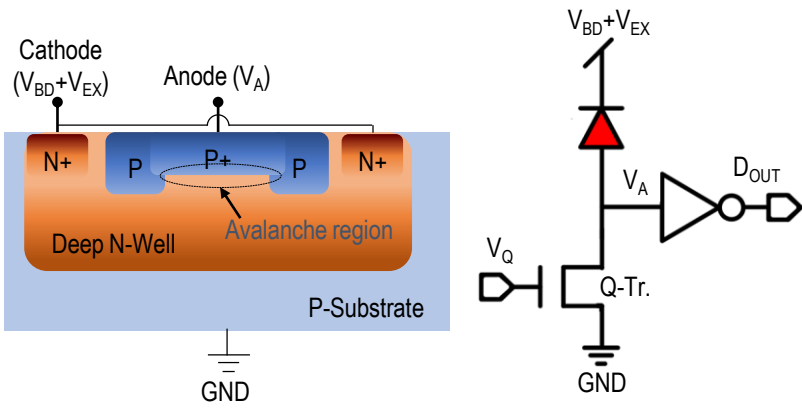
4. 소니 specific SPAD 소자 구조

□ 소니 LiDAR 센서는 Single-Ended SPAD 구조 (Stack용 PDE 개선), Single-/ Double-Ended SPAD 특징점 비교

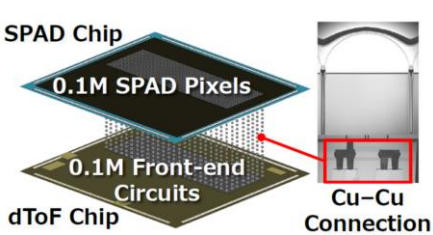
소니 LiDAR (Single-Ended SPAD)



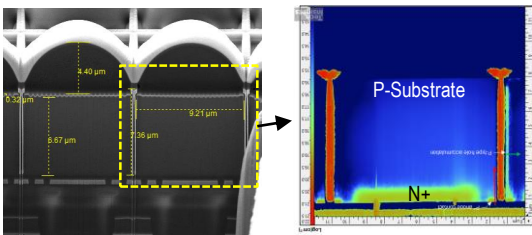
일반 LiDAR (Double-Ended SPAD)



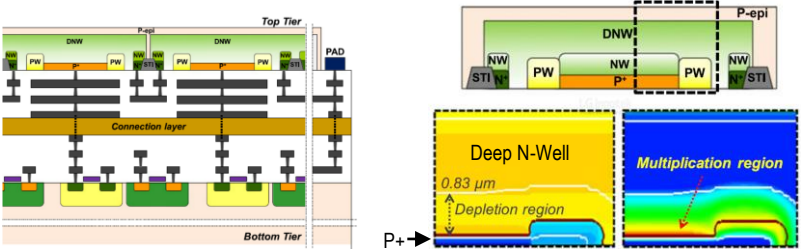
	Single-ended SPAD (소니 Si-LiDAR)	Double-ended SPAD
P-Substrate	SPAD Anode	GND
Si Contact node	1ea node (Cathode [V_A])	2ea node (Cathode [$V_{BD}+V_{EX}$], Anode [V_A])
[V_{BD}], [V_{EX}] 연결	Anode [$-V_{BD}$] (음전압), Q-Tr. [V_{EX}]	Cathode [$V_{BD}+V_{EX}$]
PDE	High (by High Fill-Factor)	Low (by Low Fill-Factor)
공정 복잡도	낮음	높음
Logic 소자배치	Substrate 에 $-V_{BD}$ 인가로 Logic 소자를 동일 Wafer 내 배치 불가 (2개 Wafer 이용, Stack 구현)	Substrate 는 GND로 Logic 소자를 동일 Wafer 내 배치 가능 (1개 Wafer 내 Logic 소자 배치가)



Stack형 SPAD 구조



Sony Single-Ended Si-SPAD

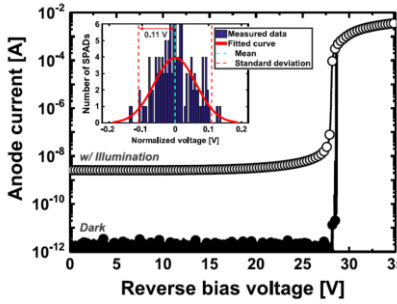
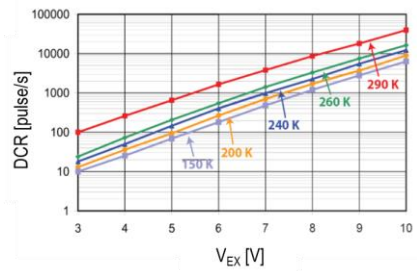
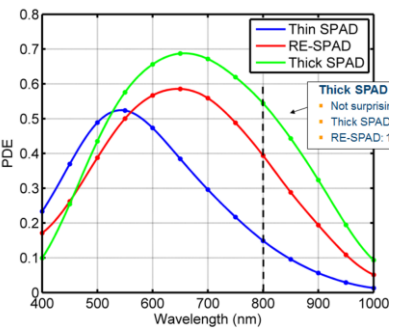
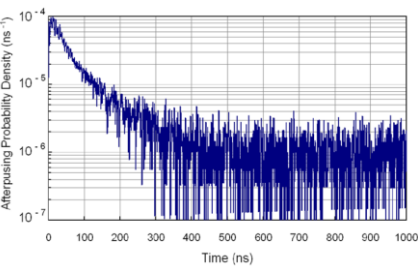


Double-Ended Si-SPAD

5. LiDAR 성능 주요 지표 I

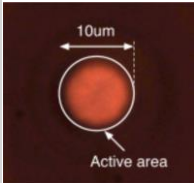
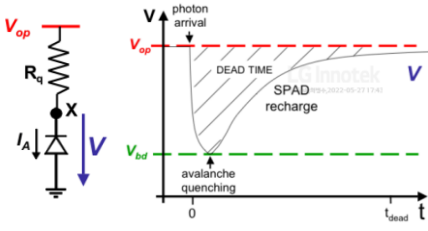
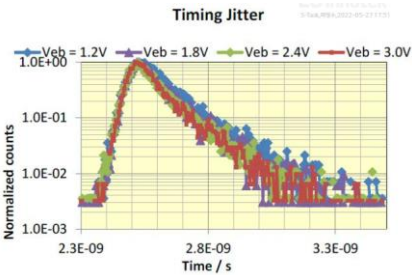
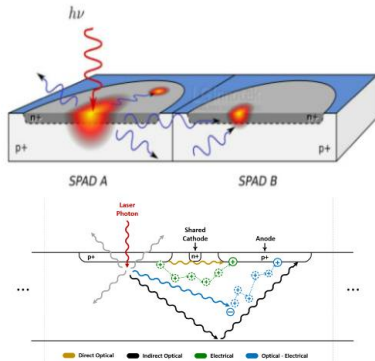
□ SPAD 소자 지표 (BV, DCR, PDP, PDE, AP) : LiDAR 특성 및 Calibration 인자

PDP (Photon Detection Probability)
PDE (Photon Detection Efficiency)

평가항목	BV (Breakdown Voltage)	DCR (Dark Count Rate)	PDP (PDE = PDP x Fill Factor)	AP (After-pulsing) Probability
Unit	[V]	[cps] or [Hz]	[%]	[%]
Define/ Key Factor	<ul style="list-style-type: none">Avalanche BV효과에 의한 항복 역전압PN Junction Profile에 의해 BV 결정	<p>cps (count per second)</p> <ul style="list-style-type: none">Dark 조건에서 Thermal 또는 Bias에 의해 1초 동안 발생하는 신호 Pulse 수BBT, TAT에 의해 유발 <p>BBT (Band-to-Band Tunneling) TAT (Trap-Assisted Tunneling)</p>	<ul style="list-style-type: none">illumination 조건에서 Photon에 의해 1초 동안 발생하는 Pulse 수를 통해 계산입사된 Photon 수 대비 생성된 신호수의 비율로 정의 $\frac{Pulse[cps] - DCR[cps]}{\# of Photon} \times 100$	<ul style="list-style-type: none">신호 발생 후 후속으로 특정 Delay를 가지고 발생하는 원치 않는 신호Silicon 내 Junction의 Deep Trap에 의해 유발
Measurement	<ul style="list-style-type: none">Diode의 IV Test (역 전압)으로 평가또는 SPAD 인가 전압 조절을 통해 출력 확인하여 유추	<ul style="list-style-type: none">디지털 오실로스코프로 SPAD 과도응답 확인을 통한 평가또는 센서 ROIC의 Counter 출력 값 확인	←	<ul style="list-style-type: none">발생된 Pulse 신호 간 시간 간격에 대한 Histogram을 통해 평가
Result & Analysis Factor	 <ul style="list-style-type: none">Si-SPAD BV = 15~30[V] 수준Chip 간/ 소자 간 BV variation 항목도 평가 요소 중 하나임	 <ul style="list-style-type: none">Temp., V_{EX}에 증가에 따라 DCR이 Exponential 하게 증가하는 관계이기 때문에 DCR 평가 시 조건 확인이 필수임	 <ul style="list-style-type: none"># of Photon의 기준에 따른 분류 PDP (Active Area 기준) PDE (Pixel Area 기준)V_{EX} 증가에 따라 PDP (PDE)가 증가 경향	 <ul style="list-style-type: none">Junction 내 Deep Trap이 많을 수록 AP Probability 증가하며, 센서공정의 Quality에 의존

5. LiDAR 성능 주요 지표 II

□ SPAD 소자 지표 (Emission, Dead time, Jitter, Xtalk) : LiDAR 특성 및 Calibration 인자

평가항목	(Light) Emission	Dead Time	Jitter	Xtalk
Unit	-	[us] or [ns]	[ps]	[%]
Define/ Key Factor	<ul style="list-style-type: none">Junction의 Active 영역에서 Avalanche 에 의한 Breakdown이 정상적이나, Edge 영역에서 Premature Breakdown 발생 여부를 판별	<ul style="list-style-type: none">하나의 신호가 검출되고 다음 광자를 검출하기 위해 필요한 시간Recovery Time 이라고도 지칭함	<ul style="list-style-type: none">검출된 신호를 전기신호로 발생시키는 과정에서 발생하는 시간지연	<ul style="list-style-type: none">하나의 SPAD에 입사된 광이 인접한 다른 SPAD에 영향을 주는 비율
Measurement	<ul style="list-style-type: none">SPAD에 역전압을 인가한 상태에서 Emission Test를 통해 확인	<ul style="list-style-type: none">SPAD 구성 물질, 회로에 의존하며, 측정을 위한 회로 설계 필요High Bandwidth의 오실로스코프를 통해 측정	←	<ul style="list-style-type: none">인접한 SPAD에 Optical Blocking 층을 형성하고, 인접한 SPAD 신호를 통해 Cross Talk 평가함
Result & Analysis Factor	<div><p>Emission 발생영역</p><p>Active</p><p>Edge</p></div> <ul style="list-style-type: none">Emission 발생영역을 통해 Active/Edge Breakdown 판별Active 영역 Breakdown일 경우 원형, Edge 영역 Breakdown일 경우 도넛모양을 띰	<div></div> <ul style="list-style-type: none">수(십) [ns] 수준이며 SPAD의 Active 면적과 주변 회로의 R,C 성분에 의존	<div></div> <ul style="list-style-type: none">수(십) [ps] 수준으로 SPAD의 동작속도에 영향V_{EX} 증가에 따라 Jitter 는 감소 경향성	<div></div> <ul style="list-style-type: none">Cross Talk은 Electrical/ Optical 성분으로 나뉨SPAD 간 Isolation 기술로 Cross Talk 감소 경향성

6. SPAD 소자 & 성능 연계성

□ Peridot (iMX591) 센서 구조 및 SPAD 센서 성능 연계성

PDE (Photon Detection Efficiency)

MicroLens 영역

- 관련 성능 : PDP(E)
- Fill Factor는 100%로 PDP와 PDE가 동일하며, PDP(E) 증가를 위해 Microlens는 Junction에 집광 역할

DCR (Dark Count Rate)

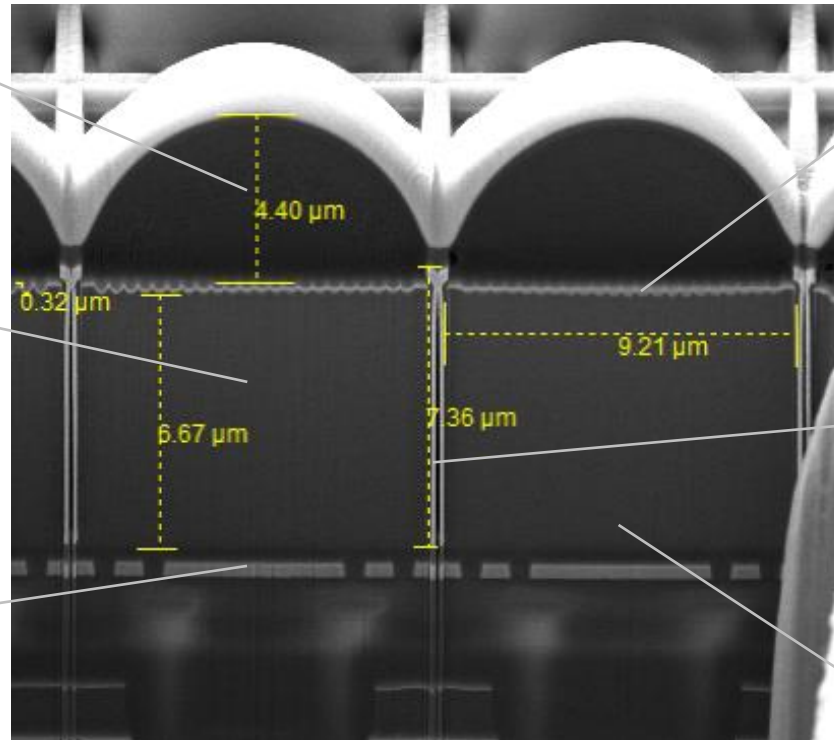
Silicon 영역

- 관련 성능 : DCR, PDP(E)
- Silicon Quality가 DCR에 영향을 주며, NIR 940nm 영역대의 PDP(E) 증가를 위해 Silicon Epi. 두께는 모바일 센서에 비해 7.1um로 상대적으로 두꺼움

Reflector 영역

- 관련 성능 : PDP(E)
- NIR 940nm 파장대역에서의 광은 Silicon 투과율이 높기 때문에 투과된 광을 수집하기 위한 기술이며 PDP(E) 향상을 위한 역할

Peridot (iMX591) SPAD Pixel Profile



IPA (Inverted Pyramid Array)

IPA surface 영역

- 관련 성능 : PDP(E)
- PDP(E) 향상을 위해 NIR 940nm 파장대의 광경로를 길게 가지고 가기 위한 구조

DTI (Deep Trench Isolation)

DTI interface 영역

- 관련 성능 : DCR, PDP(E), Xtalk
- 인접 SPAD로 광이동을 막아 Cross Talk 감소와 PDE 향상에 대한 역할이며, Etch 공정에 따른 Damage 가 DCR에 영향을 주어 Hole Accumulation으로 DCR 감소 기술이 필요

BV (Breakdown Voltage)
AP (Afterpulse)

Junction 영역

- 관련 성능 : BV, DCR, PDP(E), AP, Emission, Dead Time, Jitter
- PN Junction의 Profile에 의해 BV, DCR, PDP, Emission 성능에 영향을 주고 물질/ 공정/ 회로에 따라 AP, Dead Time, Jitter 성능에 영향

7. LiDAR 소자 평가 Plan

□ LiDAR Calibration 기술 및 LiDAR 기술 내제화를 위한 SPAD 소자 평가 System 구축

- SPAD 소자 평가 (KIST 산연 추진/ 연구소 평가 환경 구축)

- 4x4 array LiDAR (Skhynix 센서, 평가 ~3Q), Compound LiDAR (Amber 센서, 평가 ~4/Q), 소니 차량 LiDAR (평가 ~4/Q) 진행중

	'22년 2Q	'22년 3Q	'22년 4Q	'23년 1Q	'23년 2Q
LiDAR 평가 System 구축 <ul style="list-style-type: none"> • SPAD 소자 분석/ LiDAR 모듈 Test 항목 선별 파악 • KIST 협업 구축 	LiDAR Tester 항목 도출	소자-모듈 연계성 분석			
	평가요소확립	평가 System 구축	SPAD 성능 평가	소자-모듈 (Calibration) 기술 내제화	
Skhynix Si-SPAD <ul style="list-style-type: none"> • 4x4 LiDAR array 분석 • Array LiDAR 센서 확보 ('22년 3Q) • TDC/Histogram 탑재 LiDAR 센서 확보 ('23 2Q) 	4x4 array 센서 평가 (& 센서 기술 협업)	Array LiDAR 센서 확보	Array LiDAR 분석		TDC/Histogram 센서 확보
Amber (Compound-LiDAR) <ul style="list-style-type: none"> • FPGA 제작/확보 (6/E) • 소자 분석 (12/E) 	소자 평가 환경 구축	Compound-LiDAR 센서 평가			
소니 차량용 Si-LiDAR (IMX459) <ul style="list-style-type: none"> • EVB Kit 수령 (6/E) • 소자 분석 (12/E) 	EVB Kit 확보	소니 차량 LiDAR 센서 평가			

요약 :

- Jasper (IMX592) vs Peridot (IMX591) 비교로 ACE향 Si-LiDAR 센서 변경 점 파악
- Peridot의 소니 specific SPAD 소자 구조의 특이점 분석
- SPAD 소자 성능 평가 항목 List-up
- SPAD 구조 및 성능과의 상관관계 분석

계획 :

- SPAD 성능 평가를 위한 LGIT 내 환경 구축
 - 성능 평가를 바탕으로 LiDAR Calibration 기술 내재화
 - LiDAR 센서 평가 plan
- (4x4 array @SKhynix → Si-LiDAR (@소니 IMX459) → Compound-LiDAR (@Amber) 영역확대)

EOD