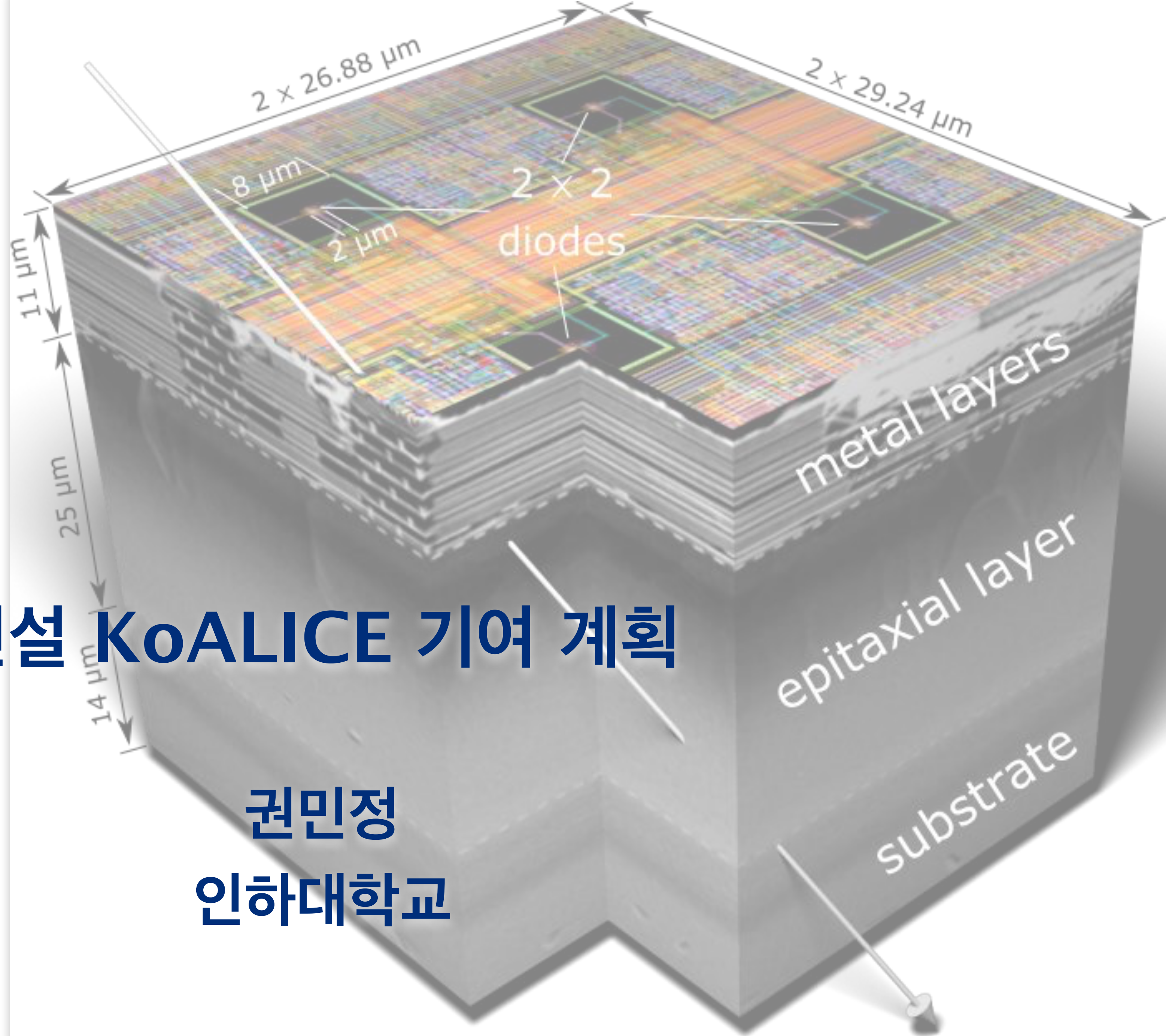


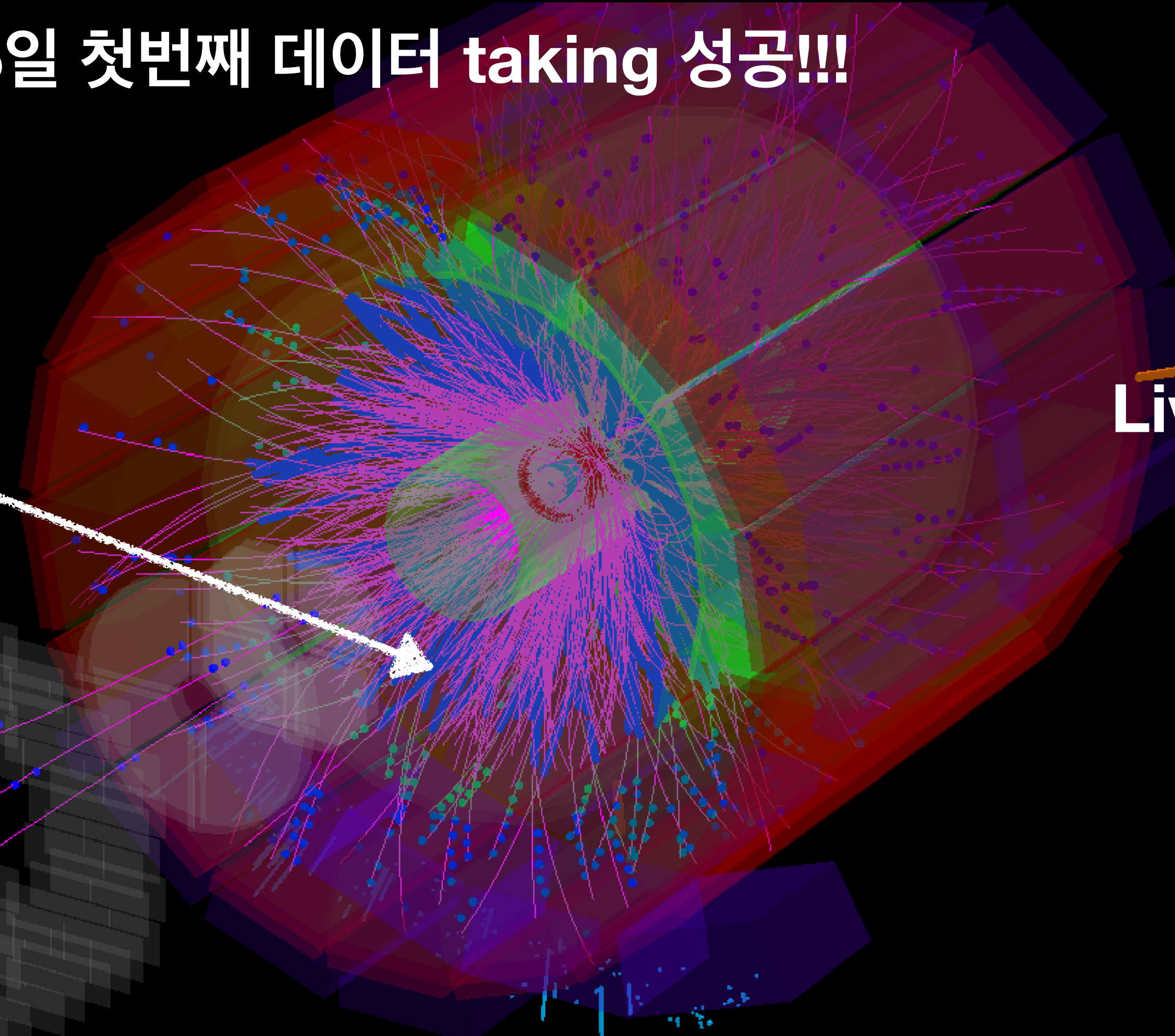
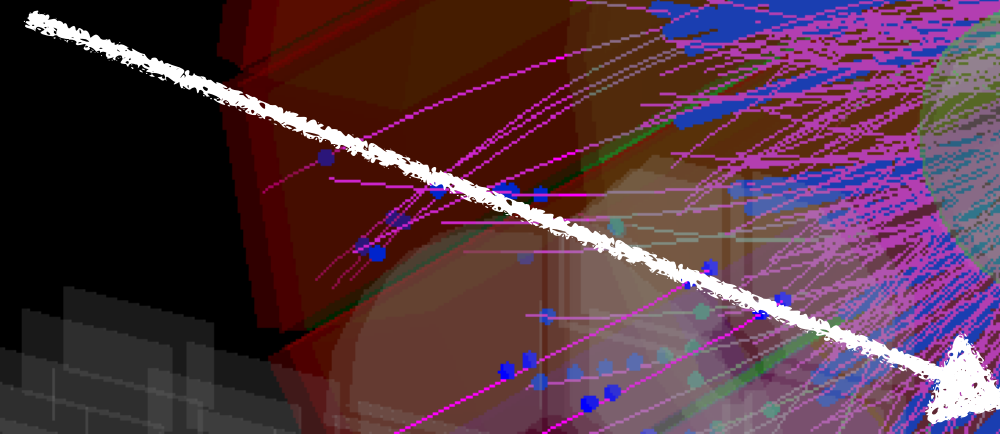
ALICE3 검출기 건설 KoALICE 기여 계획

권민정
인하대학교



Finally!!! 7월 5일 첫번째 데이터 taking 성공!!!

ITS2



Live streaming, 7월 5일



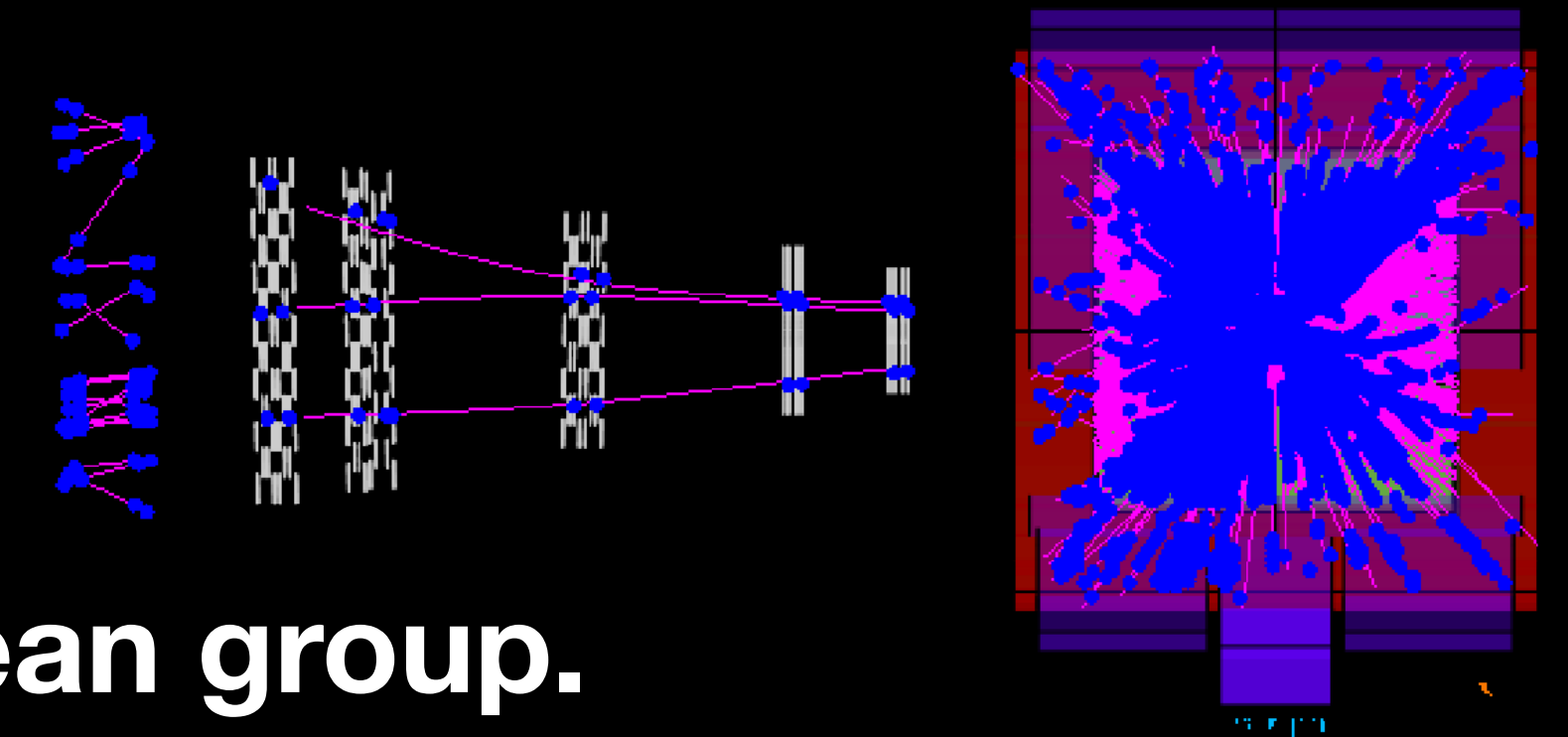
Live from CERN: Join us for the first collisions for physics at 13.6 TeV!

조회수 72만회 · 14시간 전

New historical milestone!

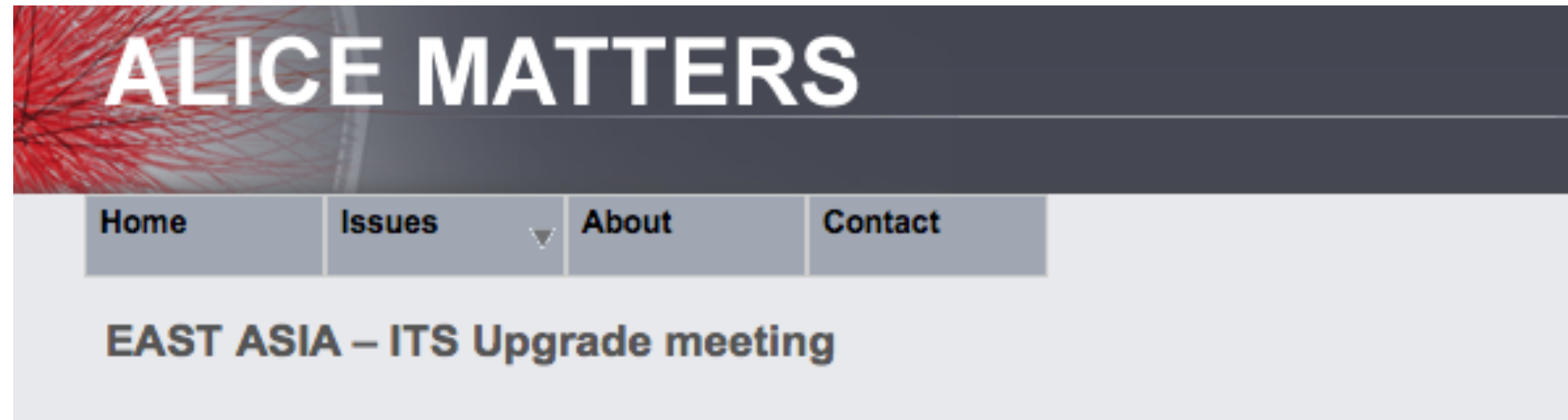
prepared since 2012 also by Korean group.

한국 정부의 지원이 없었다면 불가능!



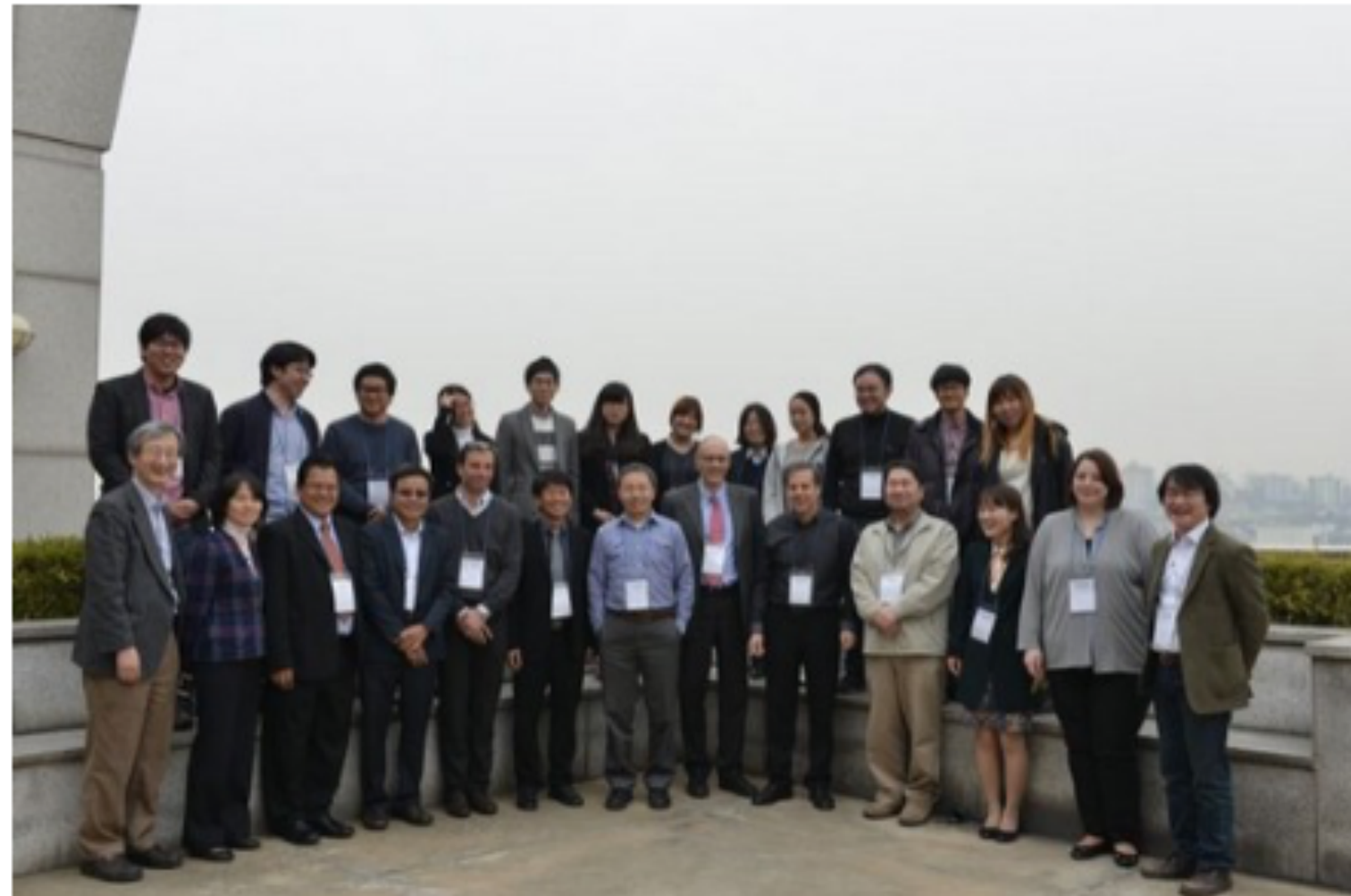
Run number: 520143
First TF orbit: 692888
Date: Tue Jul 5 16:53:05 2022
Detectors: ITS,TPC,TRD,TOF,PHS,EMC,MFT,MCH,MID

반도체 검출기와 관련된 KoALICE History



by Panos Charitos. Published: 20 May 2013

On the 5th and 6th of April the EAST ASIA – ITS upgrade workshop was held in Incheon, Korea, in order to discuss the ALICE ITS Upgrade plans. Groups from the EAST-Asian countries that participate in the ITS upgrade presented their plans and had a chance to meet and discuss with the group leaders from each country. The meeting was well received and the organizers are planning to hold similar meetings in the future, given their importance for the coordination of the project.



The participants of the EAST ASIA - ITS Upgrade meeting that was held by the Inha University in Incheon, Korea.

2013년 제 1회 ITS Asian 워크샵을 한국에서 개최.
본격적으로 차세대 반도체 검출기인 ITS 업그레이드 참여



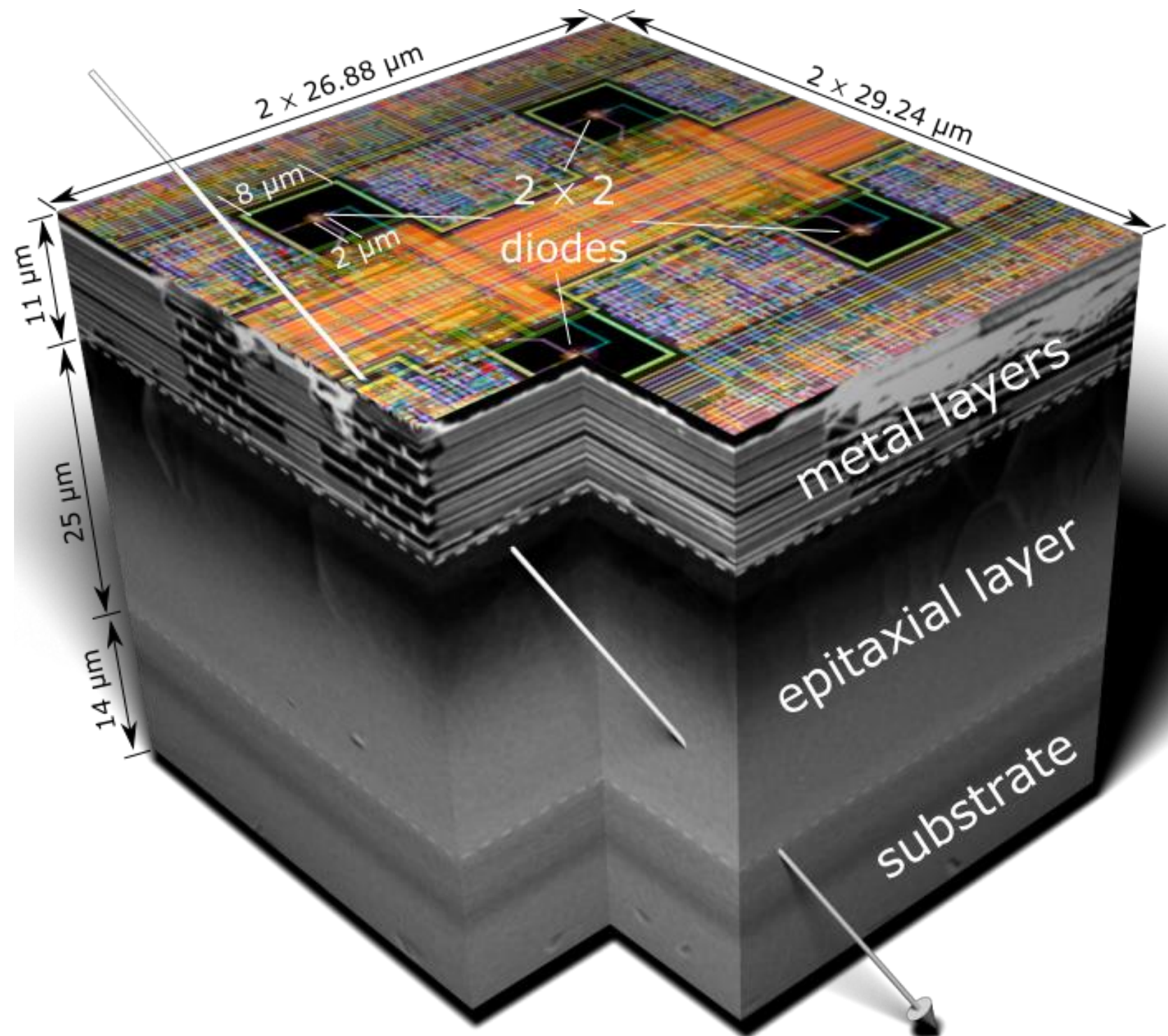
2014-12 ALICE-ITS-MFT-O2 Asian @ Pusan

2013-04 ALICE-ITS Asian Workshop @ Inha Univ.

반도체 검출기와 관련된 KoALICE History: ITS2



ITS2의 ALPIDE 칩



◎ MAPS (Monolithic Active Pixel Sensor) 기술

- ▶ **CMOS circuit 일체형**
- ▶ Tower Jazz 180 nm 공정
- ▶ 총 100억 개의 픽셀 (2만개 칩, 100억개 픽셀의 카메라와 유사!)
- ▶ **1초에 10만 번 기록**
- ▶ 신호를 읽어들이는 과정에도 최첨단 기술 사용

◎ MAPS 기술 기반 검출기 최초 성공. 타 실험에 칩 공급: 미국의 sPHENIX, EIC, 의학분야 proton-CT 등

◎ Lager step in the development of the technology!

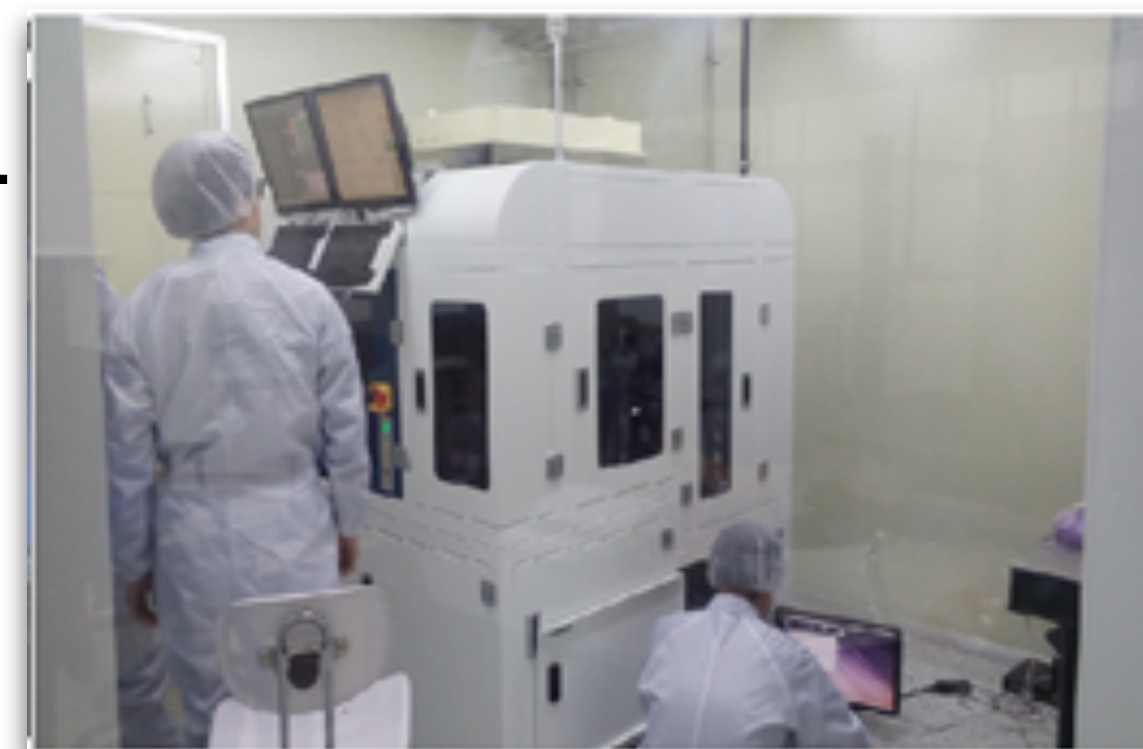
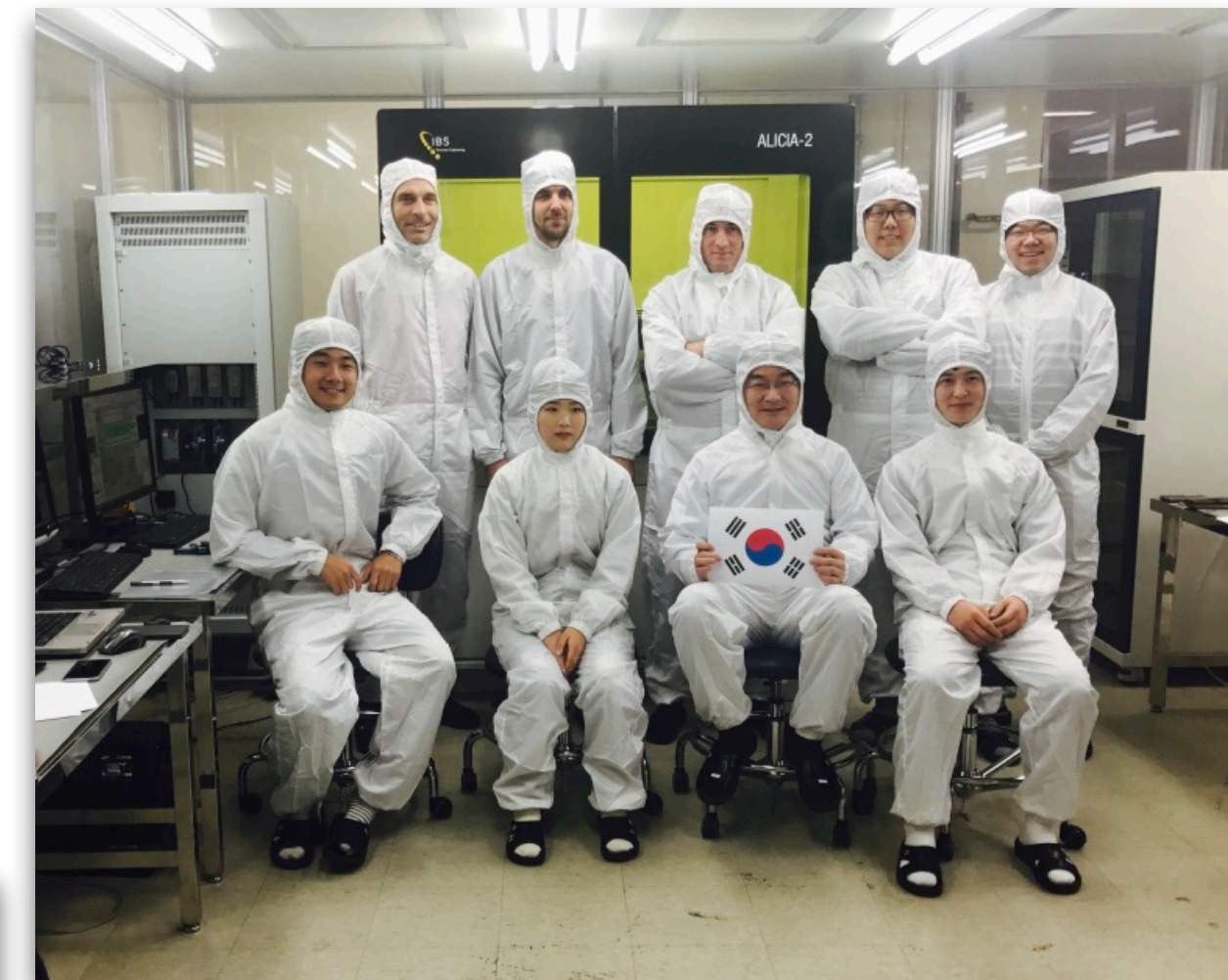
반도체 검출기와 관련된 KoALICE History: ITS2



◎ KoALICE, ITS2 업그레이드에서 leading role 수행

- ▶ **국내에서 모든 칩 (약 6만개) 테스트** (부산대/인하대, 연세대 각각 테스트 시스템 구축)
- ▶ **검출기 모듈 어셈블리**
- ▶ **국내 기업 참여**
 - Thining & dicing, wire boning, probe card 제작
- ▶ **완성된 검출기 테스트 및 커미셔닝**

◎ 국내에 반도체 검출기 제작 기반 확고히 마련





Inha/Pusan



Machine control

Database interface

Logbook, Monitoring



Chip storage

Tray preparation table



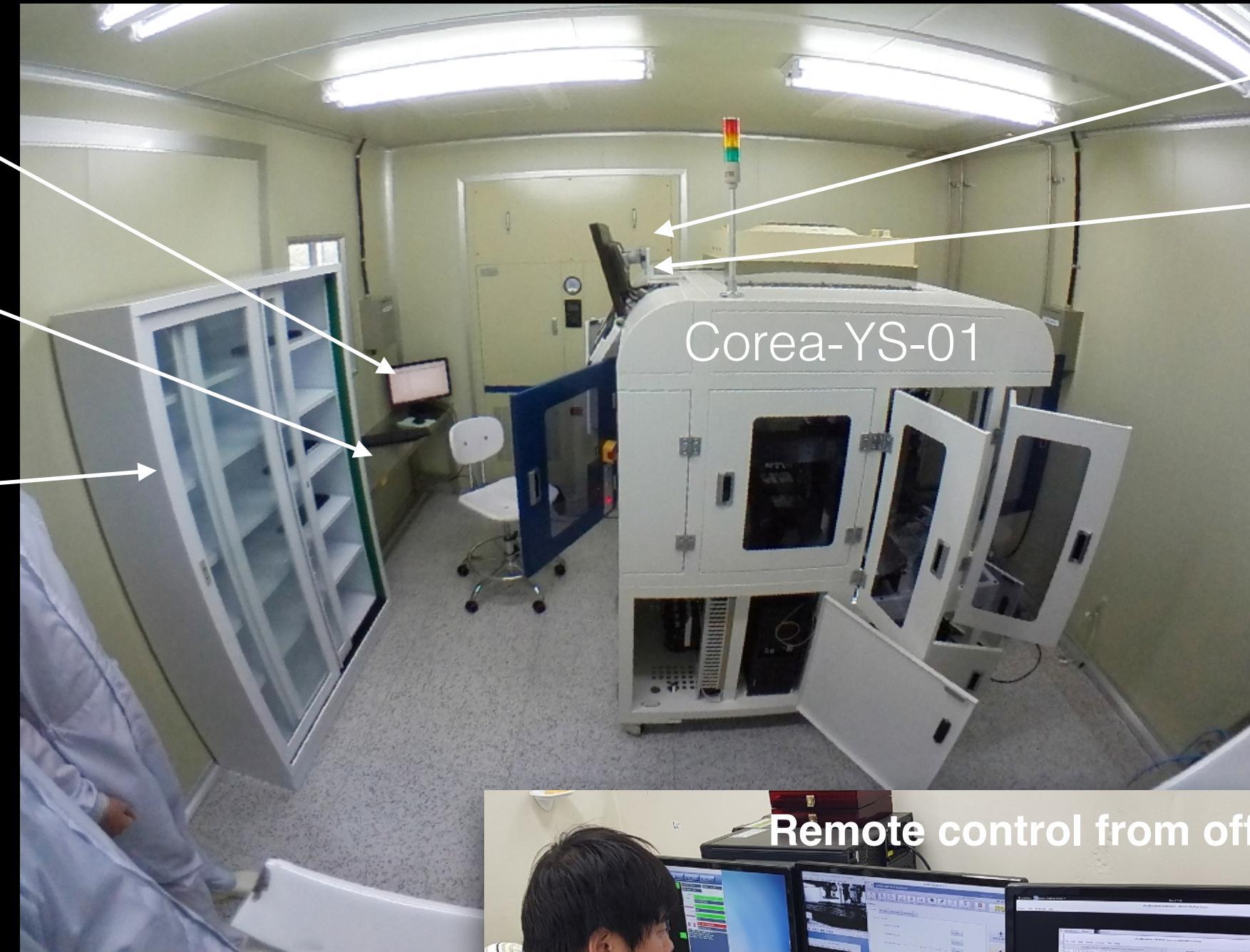
Yonsei



Database interface

Tray preparation table

Chip storage

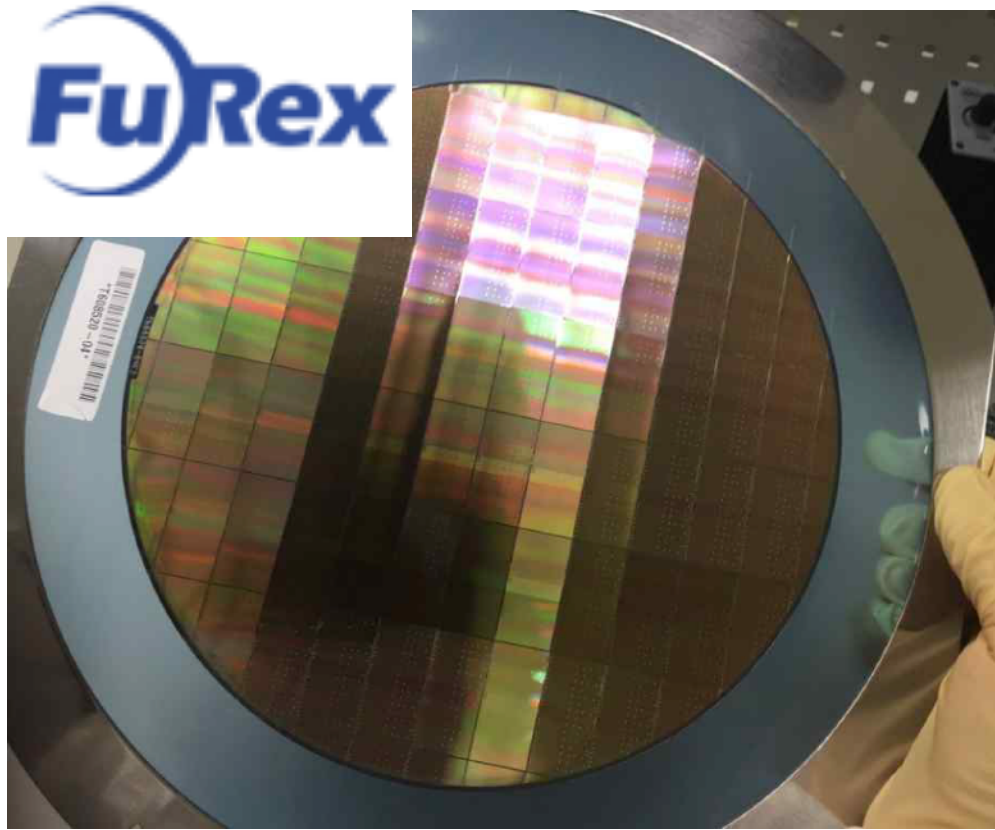


Vision system
Machine control

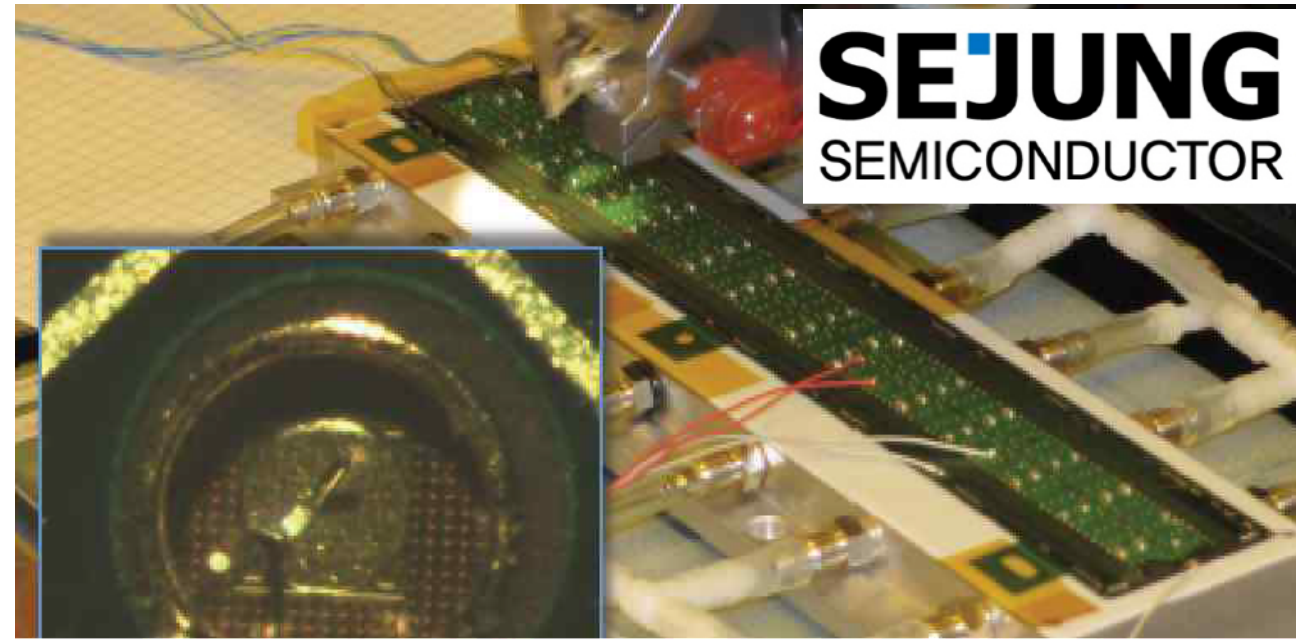


Remote control from office

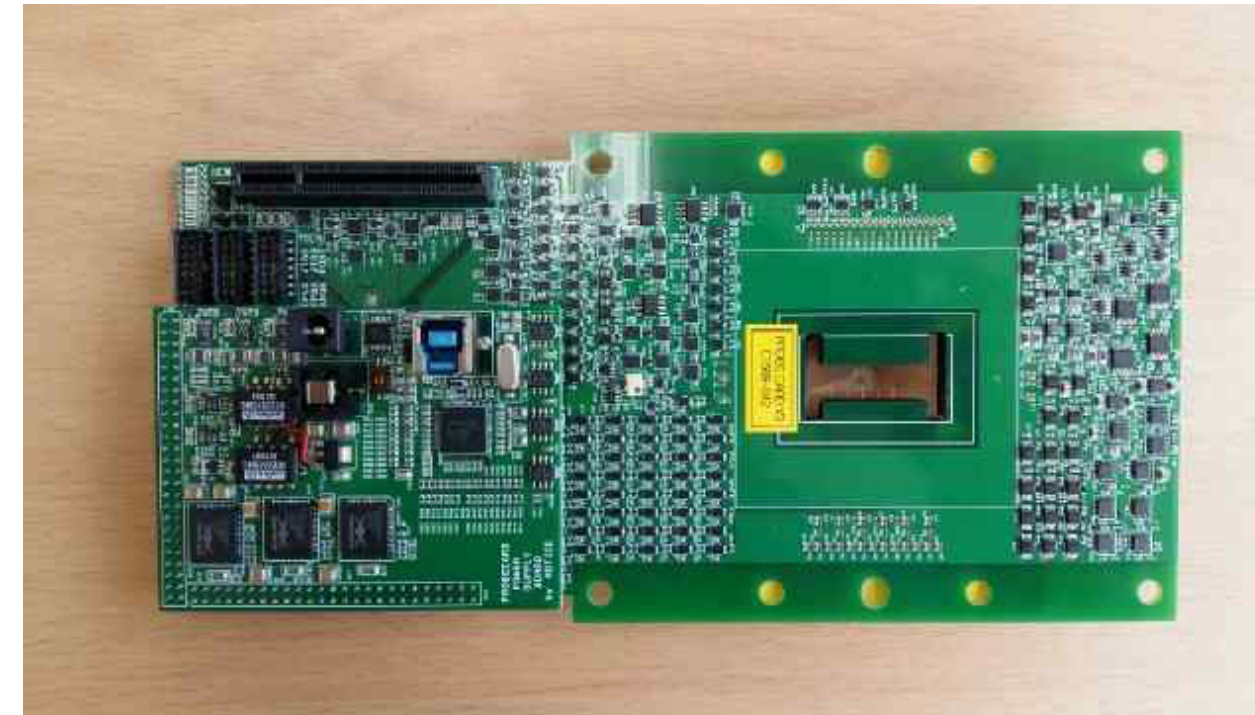
국내 기업과의 협업



Thinning & Dicing



Wire Bonding



Probecard : NOTICE



ATE machine

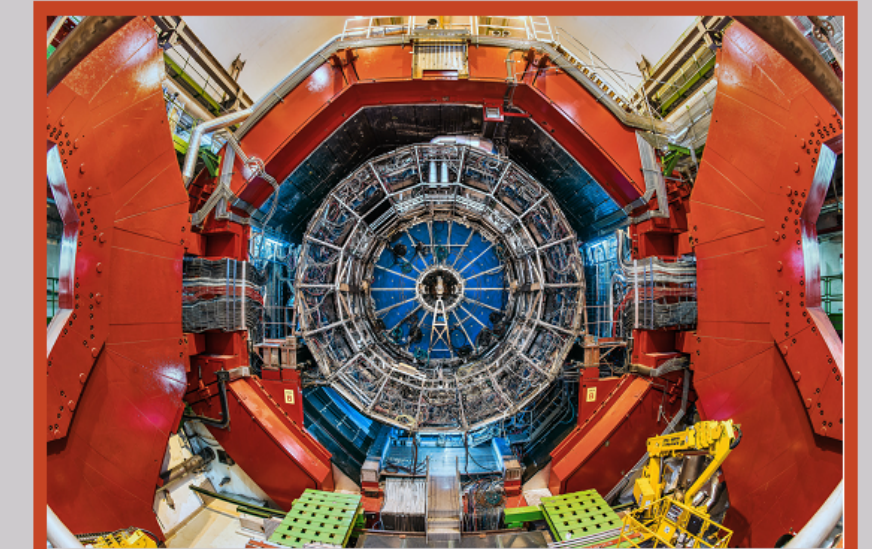
◎ 중소기업 5군데와 협력 연구

- ▶ 중소기업의 기술력 증강 및 수출실적 증대
- ▶ 미래 가치적인 측면에서 선진화된 유럽연구소와의 공동 기술개발을 통하여 프론티어의 기술력을 갖추
- ▶ 유럽 시장에 한국 기업의 인지도 뿐만 아니라 신뢰도 창출

2020년 ALICE Industry Award

The ALICE collaboration presents the
ALICE Industry Award 2020
 to
C-ON Tech
 NamdongGu Incheon, South Korea

in recognition of the exceptional commitment to the development of a high-precision automated system for the mass production visual inspection and electrical tests of the ALPIDE monolithic pixel sensor ASIC. The extraordinary dedication of C-ON Tech contributed to the successful production of the ALICE Inner Tracking System and Muon Forward Tracker.

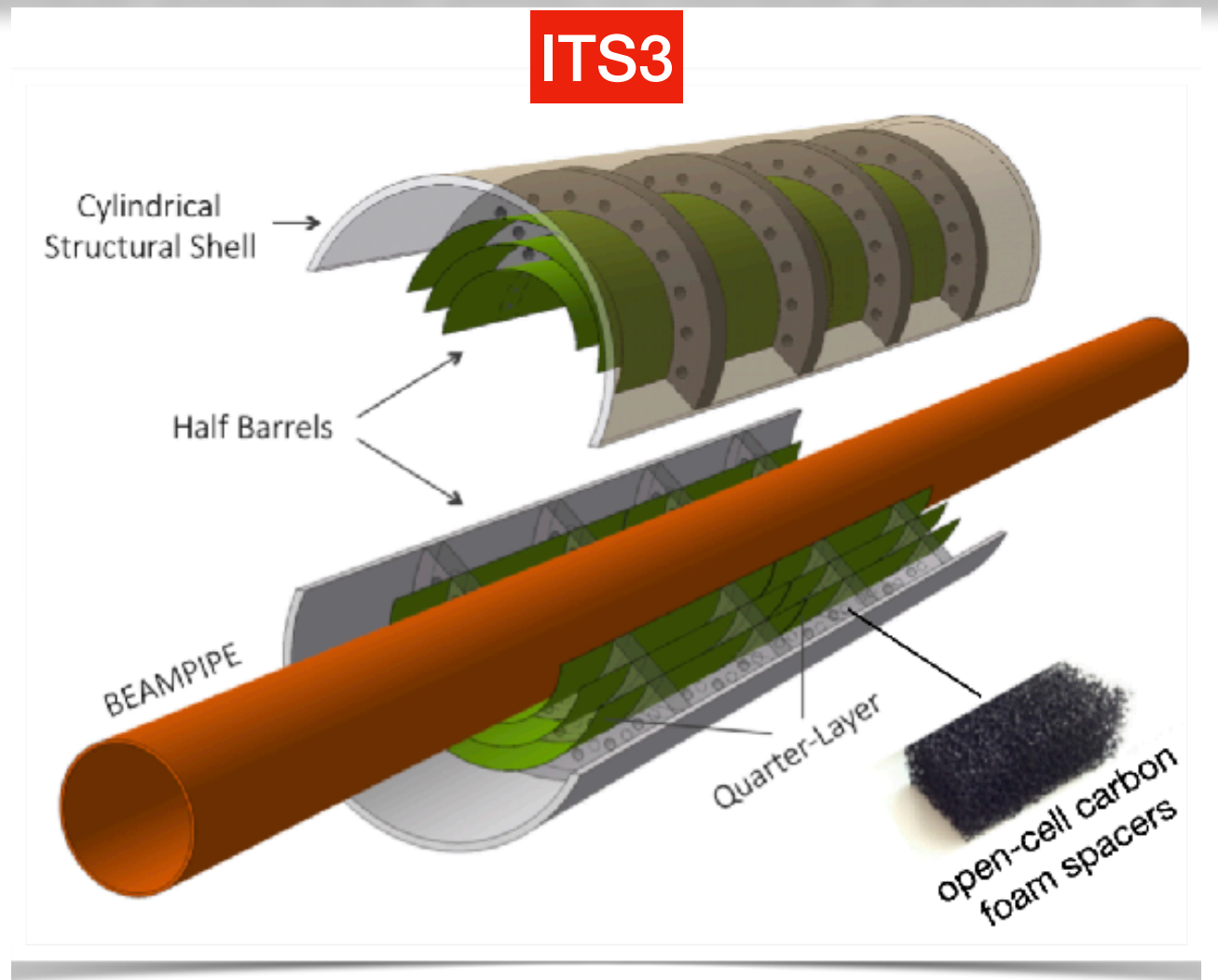


The ALICE collaboration presents the
ALICE Industry Award 2020
 to
C-ON Tech
 NamdongGu Incheon, South Korea

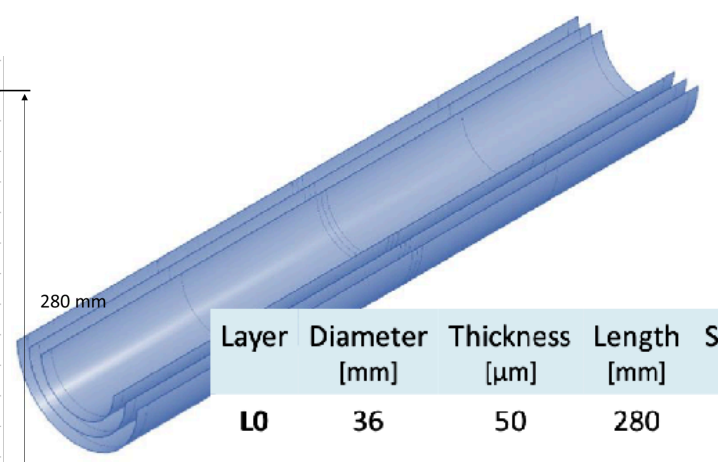
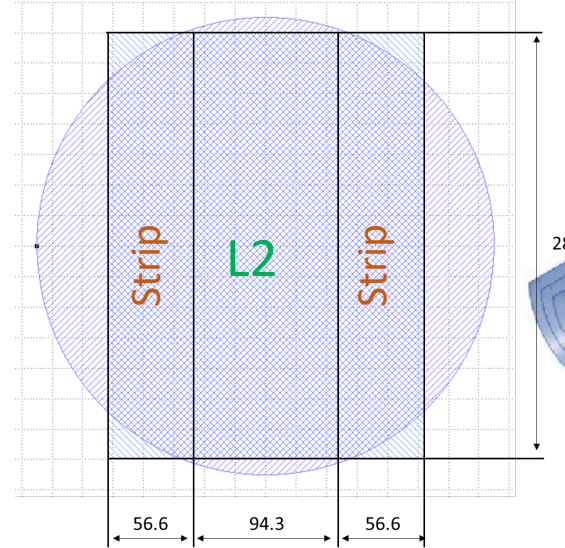
in recognition of the exceptional commitment to the development of a high-precision automated system for the mass production visual inspection and electrical tests of the ALPIDE monolithic pixel sensor ASIC. The extraordinary dedication of C-ON Tech contributed to the successful production of the ALICE Inner Tracking System and Muon Forward Tracker.

CERN *Luigi Maier* *Silvia Pascarescu* ALICE
 Chair of the ALICE management board Chair of the ALICE collaboration board

반도체 검출기와 관련된 KoALICE History: ITS3



12 inch wafer
D=300mm (11.8 inch)
<100> P-type
Initial th. = 775um

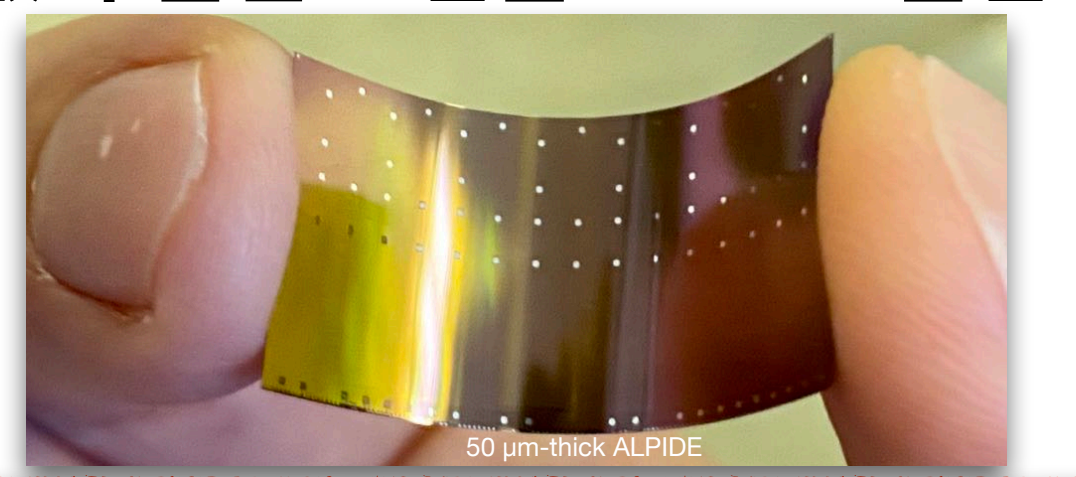


Layer	Diameter [mm]	Thickness [μm]	Length [mm]	Semi-circ. [mm]
L0	36	50	280	-56.55
L1	48	50	280	-75.4
L2	60	50	280	-94.25

Novel and Flexible silicon detector

- ▶ ALPIDE 기술 → 업그레이드 (Tower Jazz 65 nm)
- ▶ 웨이퍼를 자르지 않고 **스티칭하여 통으로 구부려 사용**
- ▶ 칩을 조립할 필요가 없어 제작 소요시간 엄청나게 절약
- ▶ Energy consumption이 매우 작음
 - Air cooling
- ▶ Cooling이나 전자보드가 없어 물질 오염을 1/10로 줄임

State of the art detector!

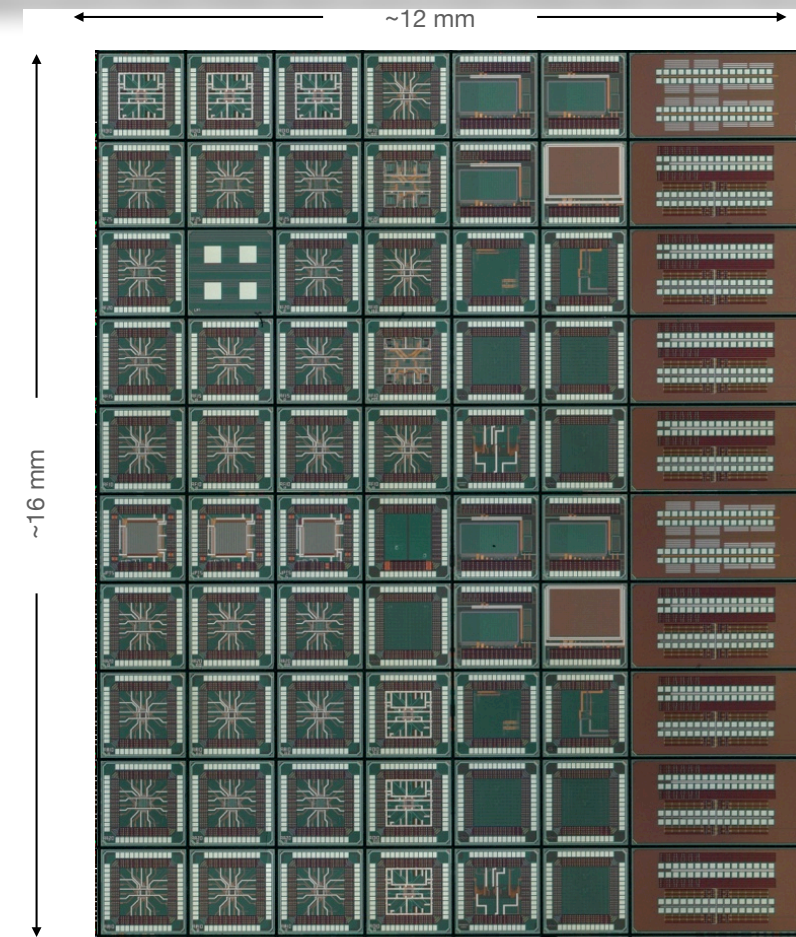


반도체 검출기와 관련된 KoALICE History: ITS3



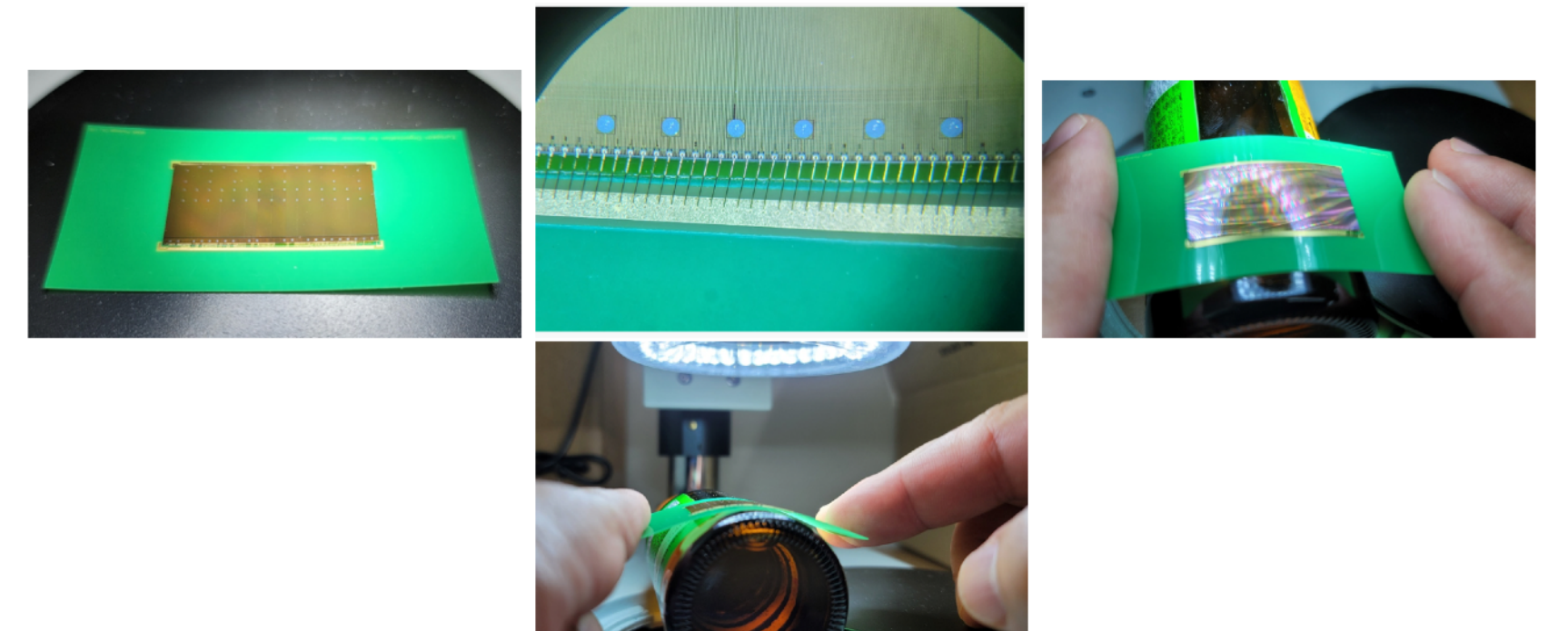
◎ 한국팀의 역할 및 기대효과

- ▶ **ITS3 화소 센서 설계**
- ▶ 시뮬레이션을 통한 실리콘 센서 특성 연구
- ▶ 구부러진 칩의 GSI, DESY 빔테스트 데이터 분석
- ▶ 경주 양성자 가속기 빔테스트
- ▶ 구부러진 chip과 PCB의 wire bonding (주멤스팩과 공동연구)
- ▶ 칩테스트 용 프로브카드 제작
- ▶ 검출기 시스템 소프트웨어 개발
- ▶ 하이테크 기술의 국내 이전 및 중소기업의 세계 시장 진출

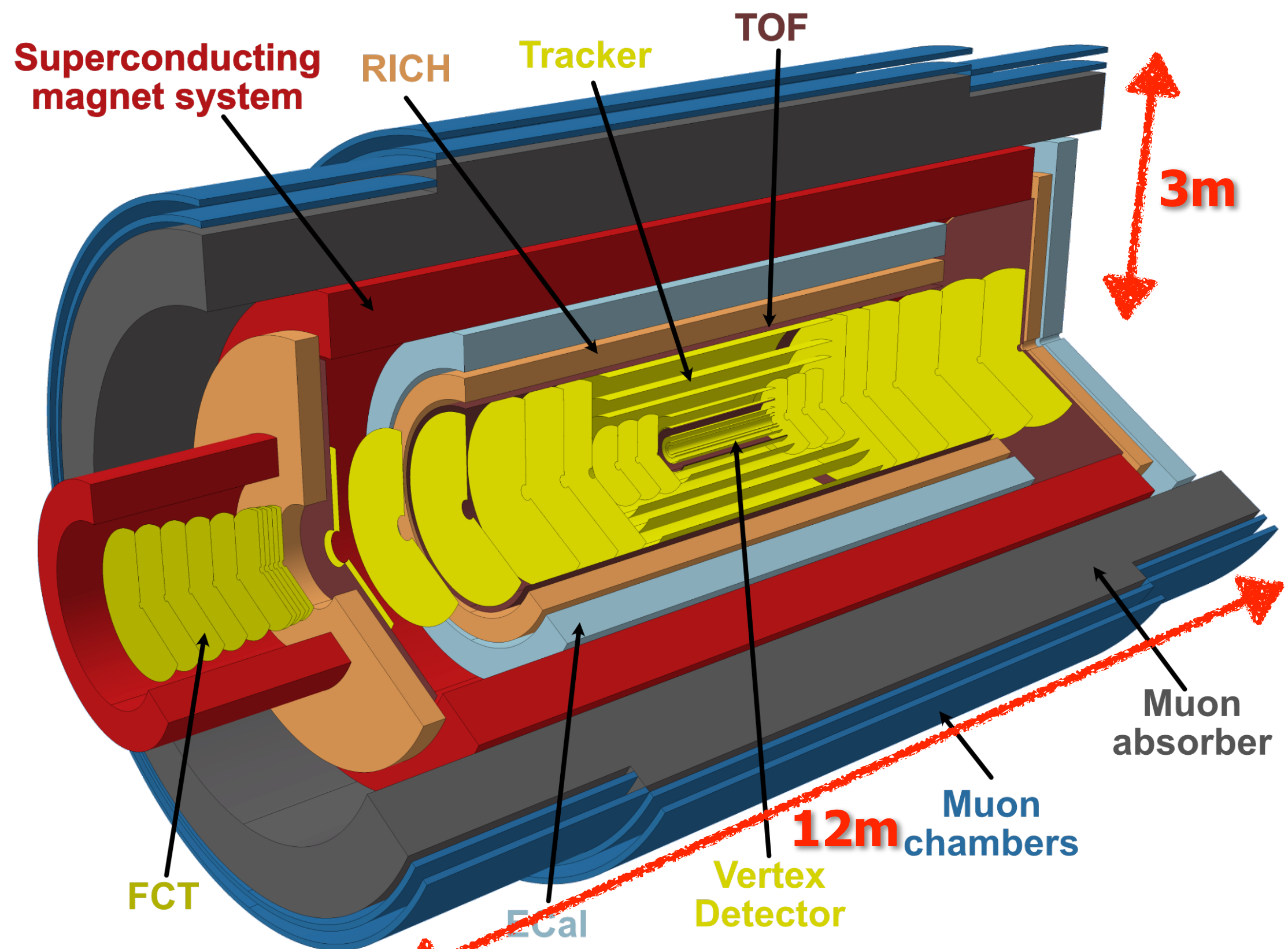


칩 설계도 (한국 연구자 공동 설계)

MEMSPACK 휘어진 칩 wire 본딩



ALICE3: fully semiconductor! State of the art experiment!



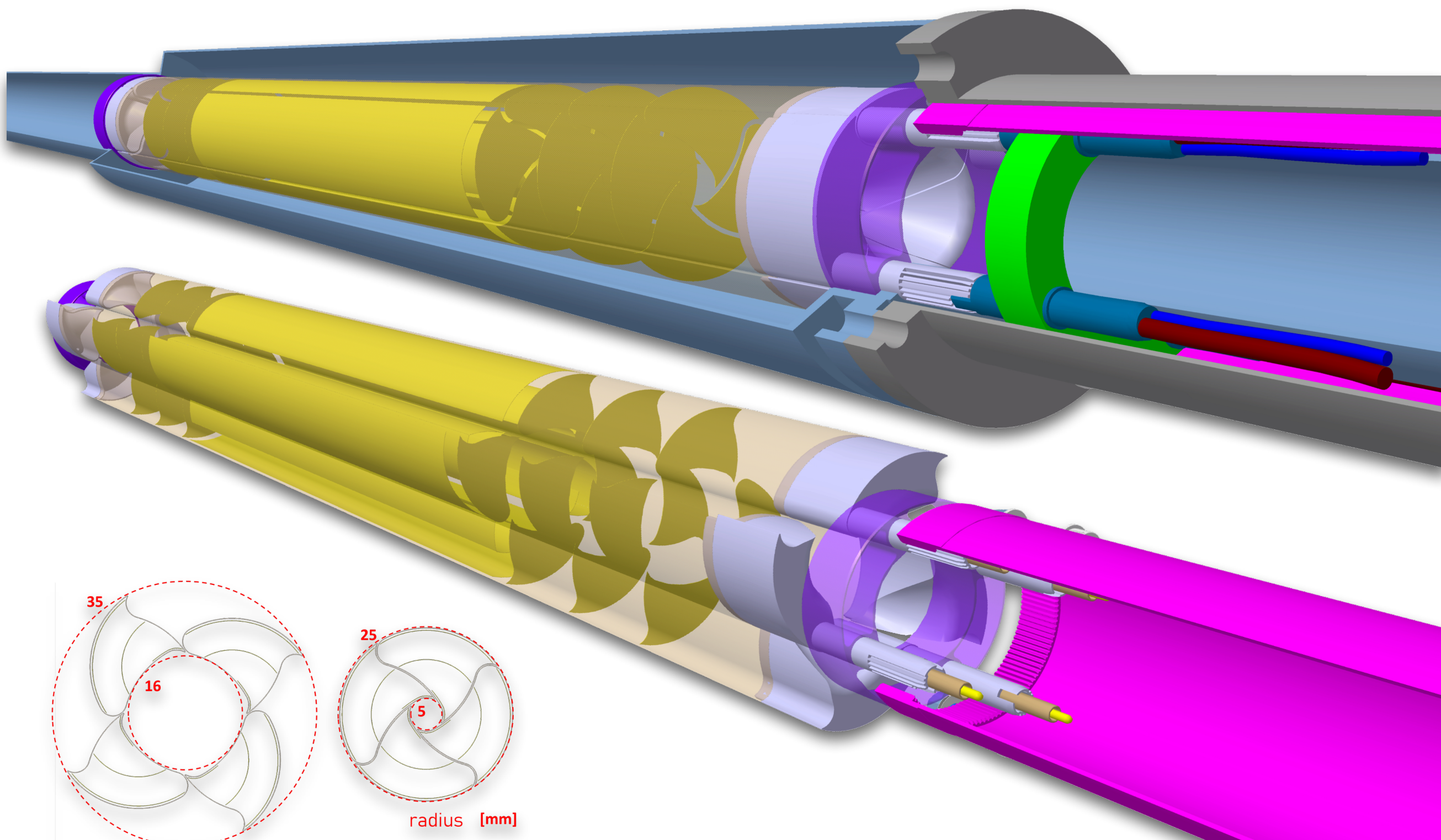
ALICE3, 모든 검출기가 반도체 센서로 이루어짐
 → fully semiconductor! 반도체 기술 집약.
 이중, KoALICE 관심 영역

- ◎ Vertexer : CMOS 실리콘 픽셀 검출기. 휘어지는 웨이퍼 크기 칩 이용 (ITS3 기술 기반 + 최첨단 기술을 이용해 빔파이프 안쪽에 설치)
- ◎ Tracker: CMOS 실리콘 픽셀 검출기. 업그레이드 된 ALPIDE 칩 이용. ITS2 검출기 면적의 6배: 100 억개 픽셀 x 6 = 600 억개 픽셀
- ◎ TOF: 시간 분해능이 매우 뛰어난 반도체 검출기. CMOS 기반 센서, LGAD, SPD 등 여러 테크놀로지 탐색 예정

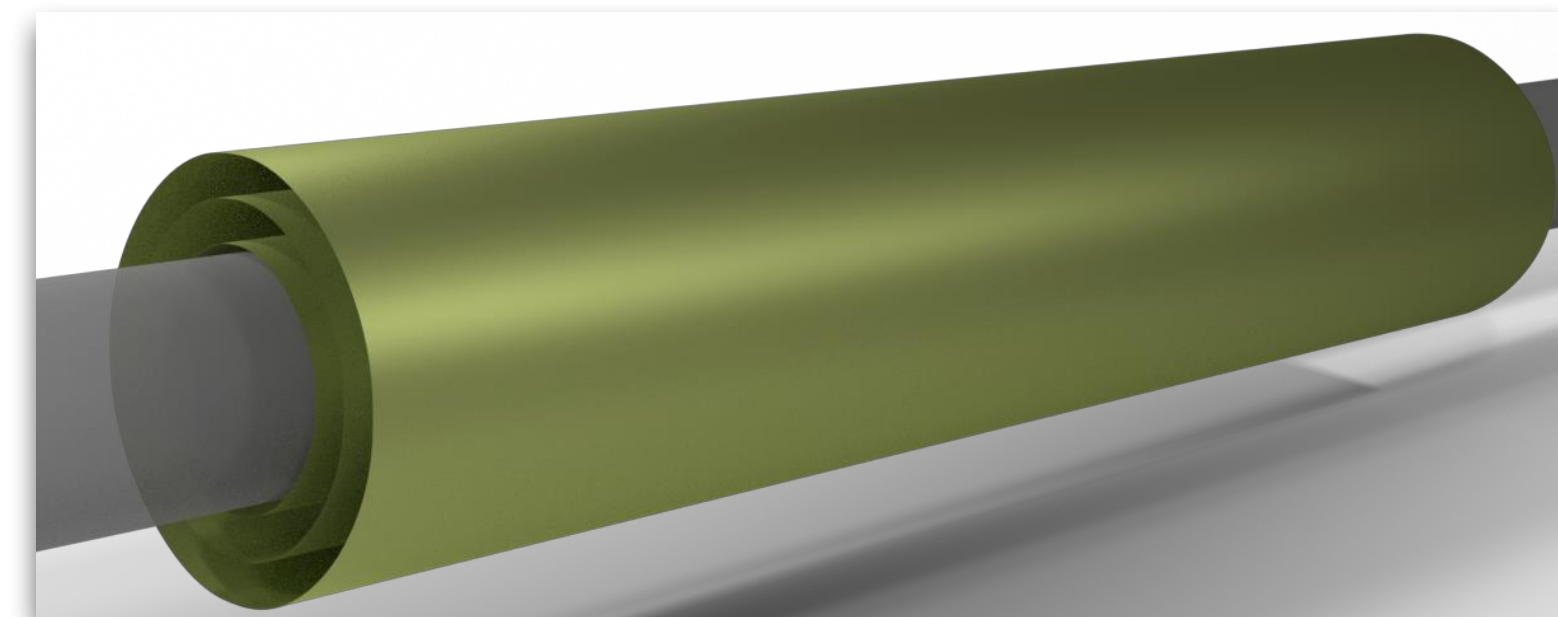
Vertexer

인류최초로

- ✓ 휘어지는 웨이퍼 크기 칩
- ✓ 스티칭 기술을 이용
- ✓ 진공안에 설치
- ✓ Movable!



- ▶ CMOS 실리콘 픽셀 검출기
- ▶ 휘어지는 웨이퍼 크기 칩 이용
- ▶ 최첨단 MAPS 기술, 스티칭 기술 기반 (ITS3 기술 기반 + state of the art technology)
- ▶ 빔파이프 안쪽에 설치: 빔파이프 안은 진공으로 되어 있어, 진공을 유지하며 검출기를 동작시킬 수 있어야함. 고난이도 기술 요구.
- ▶ 빔이 안정화 될때 까지 검출기 구조물을 펼쳐 놓고, 안정화 된 후 접어 가능한 한 검출기를 충돌 지점에 가깝게 둬



가능한 한 얇고 정밀한 검출기를 충돌 지점에 가깝게 두기 위한 노력의 결정체!

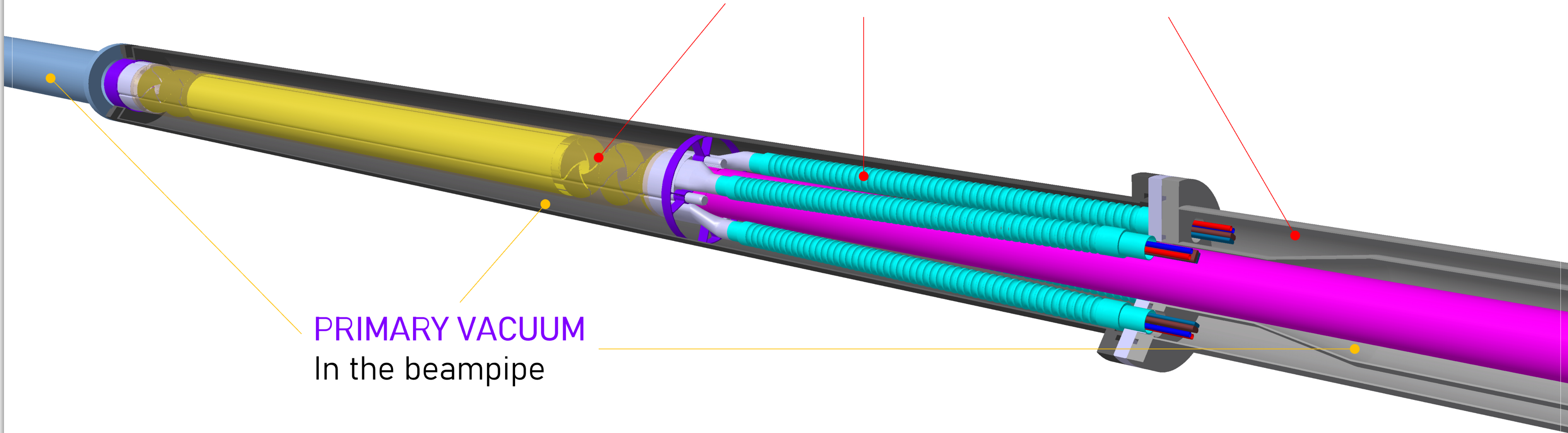
Vertexer: 진공 (1차, 2차)

SECONDARY VACUUM

in the petals of the IRIS tracker and in the services volume.
Avoids contamination of primary vacuum from detector outgassing

PRIMARY VACUUM

In the beampipe



진공도 : 달의 1/10

이 안에 검출기를 설치한 후 신호 케이블 들을 밖으로 연결

Tracker

초대형 반도체 궤적추적 검출기

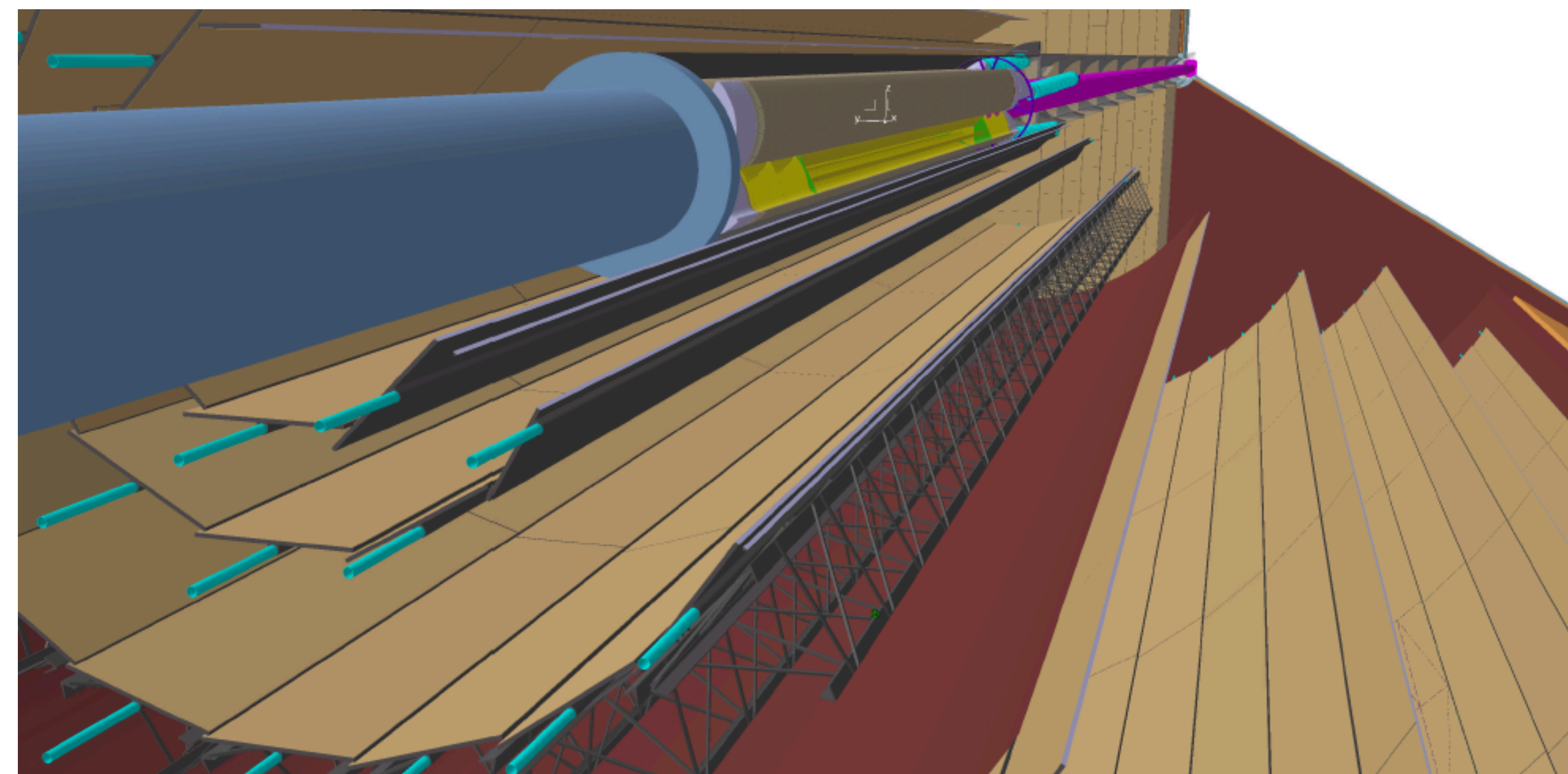
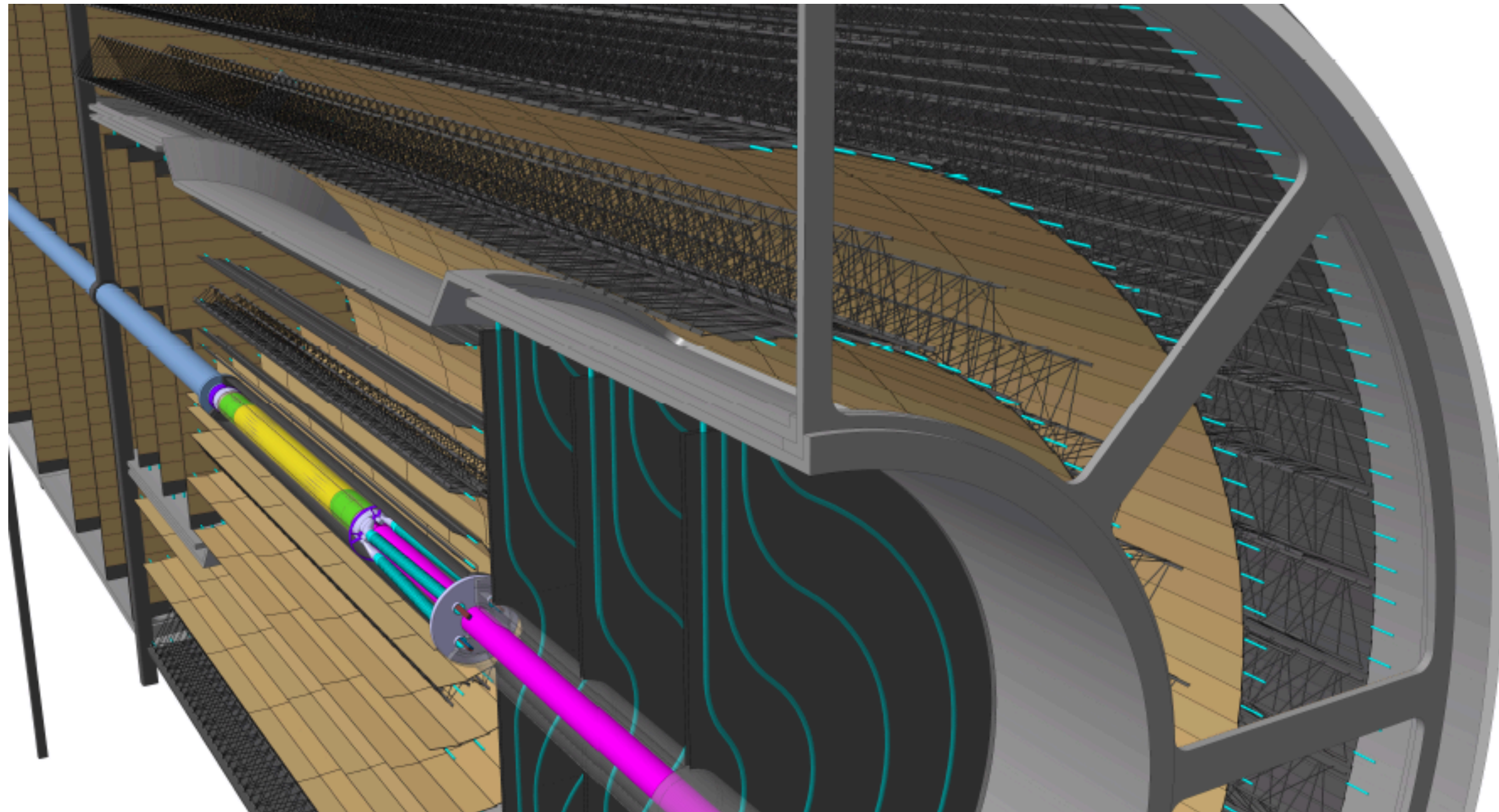
✓ 업그레이드 된 ALPIDE 칩 (65 nm 공정)

✓ 약 600 억개 픽셀

✓ Industry와 협업해 모듈 제작

✓ 국내 기업과의 협업 가능성 높음

- ▶ ITS2 & ITS3 제작 경험을 기반으로 초대형 반도체 궤적추적 검출기 제작
- ▶ CMOS 실리콘 픽셀 검출기.
- ▶ State of the art ALPIDE 칩 이용: 전세계의 거의 모든 대형 검출기에 납품 (sPHENIX, EIC, ...)
- ▶ ITS2 (20k chip 사용 위해 60k chip 생산) 때보다 6배 이상의 chip 소요 (120k chip 사용 위해 360k chip 생산)
 - Industry와 협업해 모듈 제작하는 안을 고려하고 있음 (국내 기업 참여 가능성 탐색: MEMSPACK 등)
- ▶ 수십억 상당의 국내 기업 수입 창출 가능성
- ▶ ITS2 기간 동안엔, MEMSPACK의 wire bonding 약 8천만원, C-ON 테크의 COREAYS 반도체칩 테스트 장비 약 2억, NOTICE의 프로브카드 약 5천만원 ← 경제창출 효과 (3억 상당의 국내 기업 수입 창출)



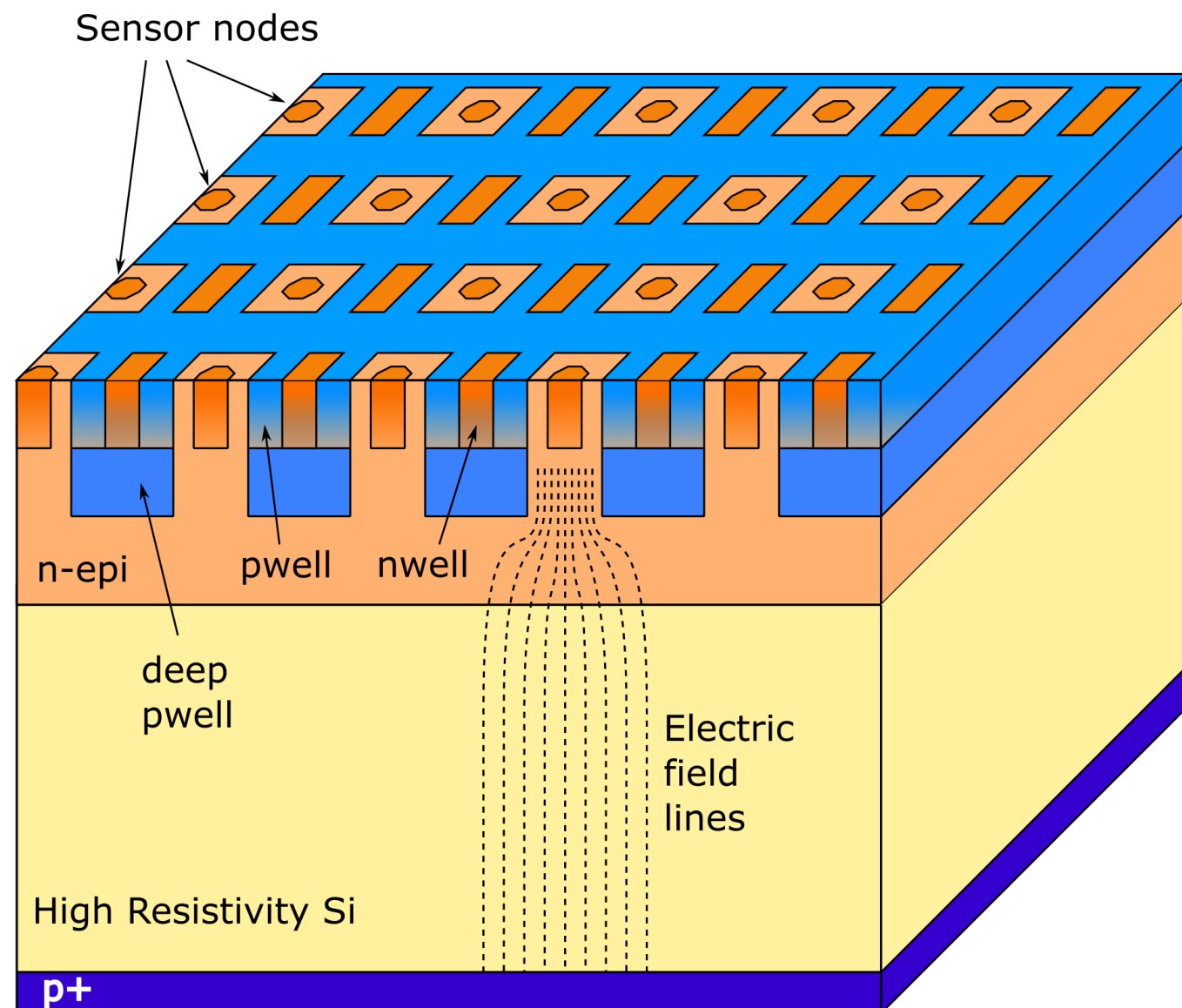
Time Of Flight (TOF)

인류최초, 가장 빠른 시간측정 반도체 검출기

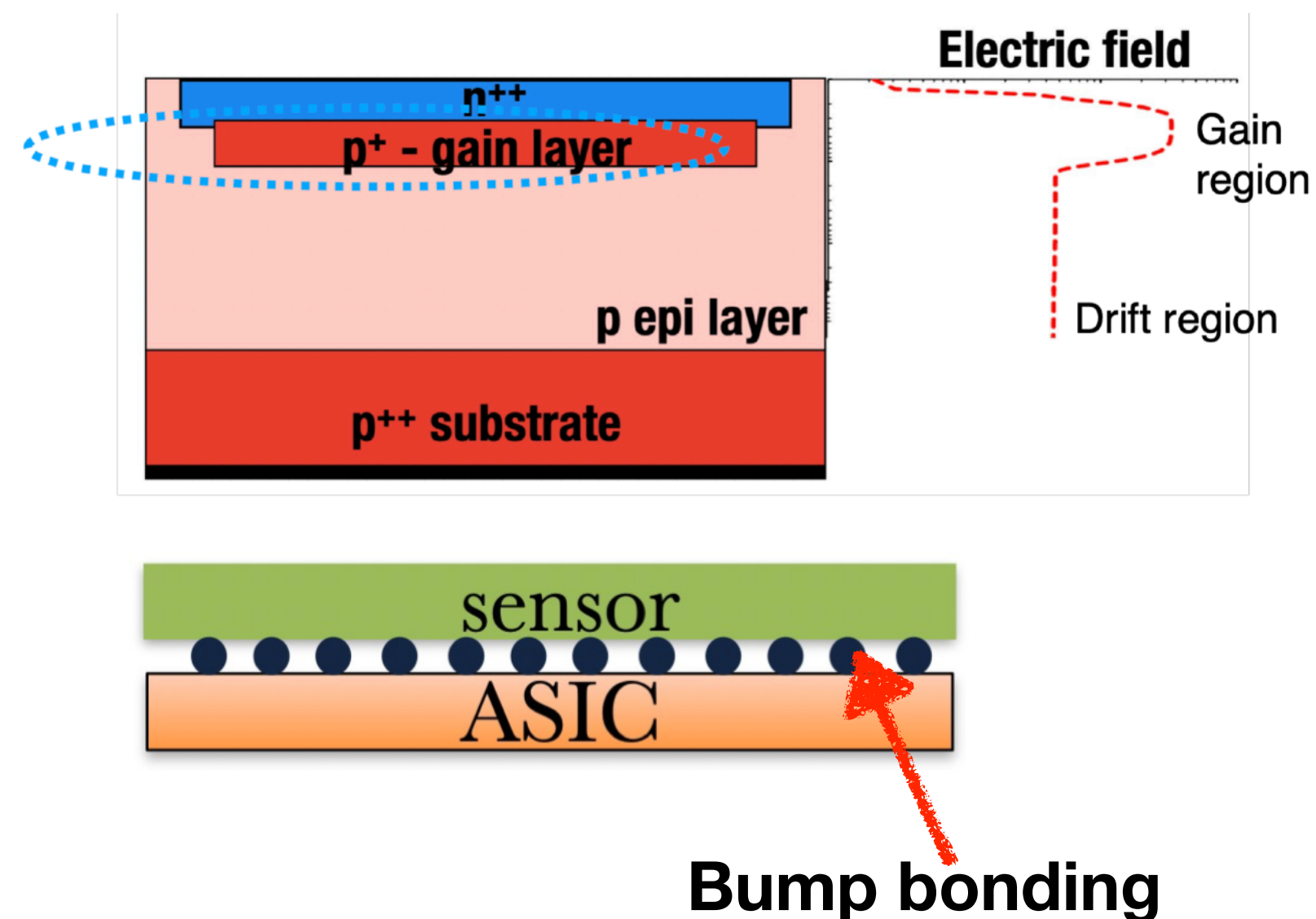
- ✓ CMOS 센서 + Gain layer (New!)
- ✓ 20 ns 분해능
- ✓ 기술적으로 매우 흥미로움 (R&D 주제 풍부)
- ✓ 국내 기업과의 협업 가능성 높음

- ▶ 시간 분해능이 뛰어난 반도체 검출기
- ▶ CMOS 기반의 센서에 Gain layer를 추가로 두어 빠른 측정 가능
- ▶ LGAD, SPAD 등의 여러 반도체 기반의 센서를 고려하고 있음.
- ▶ LGAD bump bonding은 MEMSPACK과 협업 가능 (ALICE 협력 업체가 CMS R&D로 참여 영역을 확장함) ← 경제창출 효과
- ▶ 삼성, 하이닉스 등 국내 반도체 기업과의 협업 가능성 탐색: 최첨단 공정 기술로 어떤 칩을 개발할 것인지. 기업에서도 결과물에 관해서는 매우 관심이 높음

1. Gain layer를 포함한 CMOS 기반의 센서

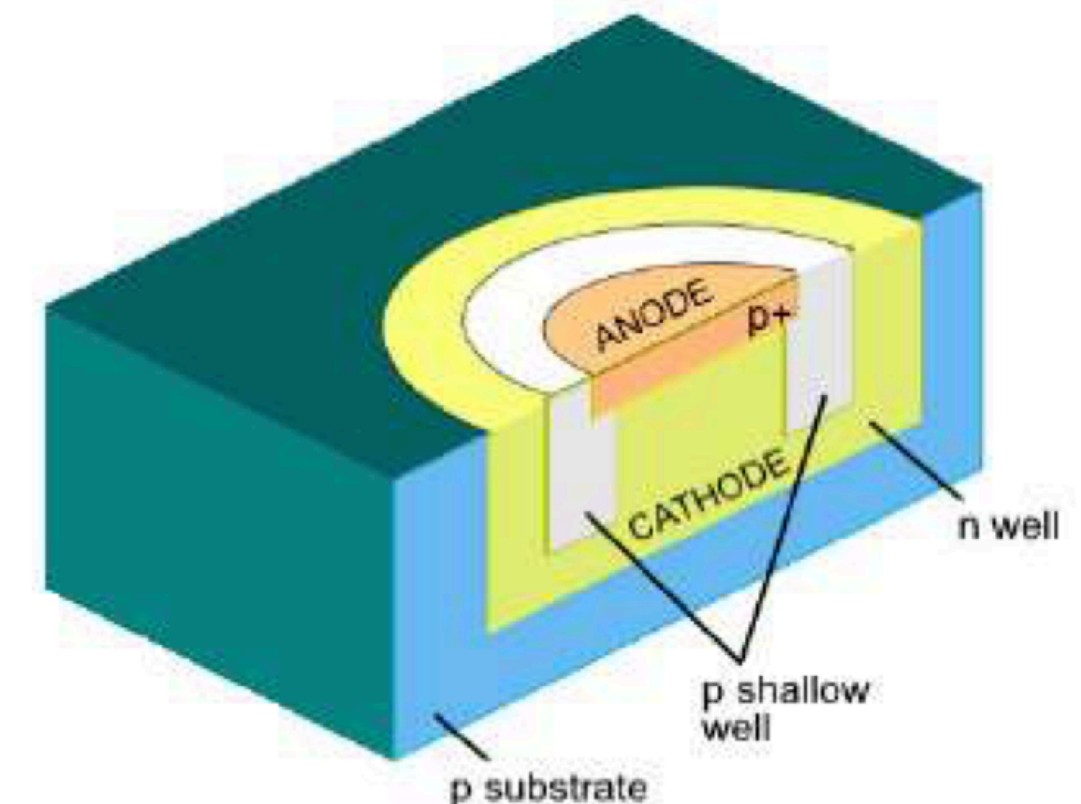


2. LGAD



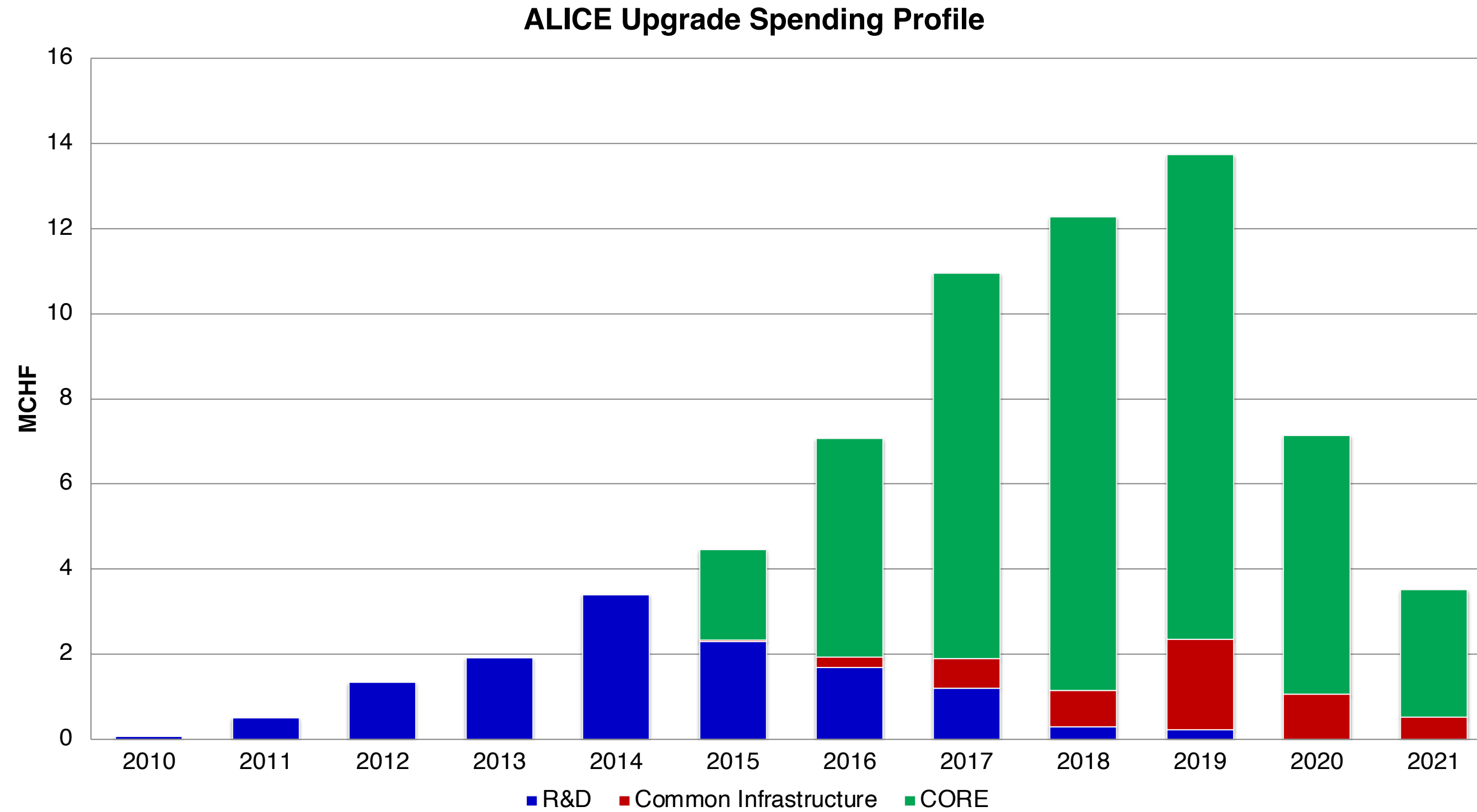
3. SPAD

(single photon avalanche diode)



LS2 Upgrade Cost 와 한국측 기여분

ALICE upgrade subsystem	Cost (MCHF)
1. ITS	15.2
2. TPC	14.3
3. MFT	2.9
4. Trigger and Readout	7.7
5. O2 Infrastructure	1.4
6. O2 EPN	4.2
7. O2 FLP	0.8
8. O2 PDP	1.5
9. Common Fund for Upgrade	5.5
Total	53.4
R&D costs	12.92
GRAND TOTAL (including R&D)	66.4



LS2 때 ITS2 한국 기여분이 **전체 ITS2 기여분*의 10% ~ 976 kCHF** (현금 660 kCHF + 현물 316 kCHF)

총 비용 대비 한국측 기여율: $1 \text{ MCHF} / 66 \text{ MCHF} = 1.5 \%$ \leftarrow 당시 M&O 비율

ALICE 실험에 매우 중요한 “공통의 장비인” 검출기 제작 기여분!

* 참고: ITS 초기 예상 cost는 약 10 MCHF

별도의 국내 기업 수익:

- ▶ MEMSPACK의 wire bonding 약 8천만원
- ▶ C-ON 테크의 COREAYS 반도체칩 테스트 장비 약 2억
- ▶ NOTICE의 프로브카드 약 5천만원
- ▶ Furex thinning & dicing 알수 없음

인프라 공수: 부산대에 설치된 칩테스트 장비인 ALICIA를 CERN에서 제공 (2억 상당), 이 외 CERN에서 각종 반도체 검출기 제작 및 테스트 시스템 제공.

**기여에 그치는 것이 아니라
국내 인프라 구축 및 기업 수입창출**

ITS3 Upgrade Cost 와 한국측 기여분

	연구 단계	연구 내용	소요예산	소요예산 합	한국팀 기여 계획
R&D 단계	MLR1 (2020/21)	<ul style="list-style-type: none"> ▸ R&D 1단계로서 웨이퍼 가공 테스트 ▸ DAQ 카드 제작과 thinning, dicing, pad wafer 등의 처리 기술 연구 	~ 730 kCHF	~ 3,030 kCHF	R&D 단계 MoU ~ 250 kCHF
	MLR2 & ER1 (2022)	<ul style="list-style-type: none"> ▸ R&D 2단계로서 스티칭 기술 연구 및 개념 설립 ▸ 방사선 내구성 테스트 및 실제 빔으로 성능 테스트 	~ 800 kCHF		
	ER2 (2023)	▸ 시제품 생산 단계	~ 750 kCHF		
	ER3 (2024)	▸ 본품 생산 단계	~ 750 kCHF		
제작/설치 단계	M&O-C (2025~2027)	▸ 검출기 생산 및 제작, 설치, 커미셔닝 등.	~ 2,500 kCHF	~ 2,500 kCHF	제작/설치 단계 MoU ~ 250 kCHF
총 소요액	-	-	-	~ 5,530 kCHF	~ 500 kCHF

단계	기간	총 소요예산	한국측 기여율	한국측 기여액 (현물 포함)
R&D 단계	'23 ~ '24	~3,030 kCHF	~ 8.3 %	250 kCHF (약 3억 2천)
생산/설치 단계	'25 ~ '26 (혹은 '27)	~2,500 kCHF	~ 10 %	250 kCHF (약 3억 2천)

ALICE3 Cost Overview

System	Technology	Baseline (MCHF)	Fallback (MCHF)
Tracker	MAPS (CMOS APS)	30.5	
TOF	CMOS sensors (with gain layer)	14.8	
	Hybrid: LGADs + R/O chip		+11.6
RICH	Aerogel + Monolithic SiPMs	20.9	
	Aerogel + Analogue SiPMs + R/O chip		+13.1
ECal	Pb-Sci sampling and PbWO ₄	17.0	
Muon ID	Steel absorber, scintillator bars, SiPMs	7.0	
FCT	MAPS, solenoid and separate dipole for FCT	5.3	
	MAPS, solenoid and dipoles		-3.0
Magnets	Solenoid + FCT magnet	25	
	Solenoid + dipoles		+15
Computing	Data acquisition and processing	6.0	
Common items	Beampipe, infrastructures, engineering	15.0	
Total		141.5	+36.7

CORE cost (cost of material & services for the detector construction and installation)

- no labour
- no contingency

Fallback options for TOF and RICH
 ⇒ very conservative estimates based on current pricing

Total cost { **141.4 MCHF (baseline)**
178.2 MCHF (+ all fallback options)

KoALICE 내 참여 기관

- ◎ 인하대, 부산대, 연세대, 성균관대, 세종대, 전북대, 충북대

→ 모든 기관에서 참여

	참여기관	참여연구원				
		교수	연구원	대학원생	기타	합계
2019	6→7	7→8	7	16	1	32
2020	7	8	7	21	1	37
2021	7→8	8→9	7	24	1	41
2022	8	10	9	26	1	46

Remark: 지역대학 반도체 전문 인력 양성 및 인프라 구축에 매우 중요! (지역 거점대학에서 계획성 있게 반도체 관련 인력을 양성할 기회)

- ◎ KoALICE 내부 미팅을 통해 참여 검출기 및 R&D 주제 논의
- ◎ ALICE management와 논의

ALICE3 기여 기대액

● M&O에 따른 기여분 산정 : ~ 2.7 % (KoALICE M&OA 비중 높아짐)

● 한국팀 기여 기대액 = 총 150 MCHF x 2.7 % = ~ 4 MCHF = ~ 50 억

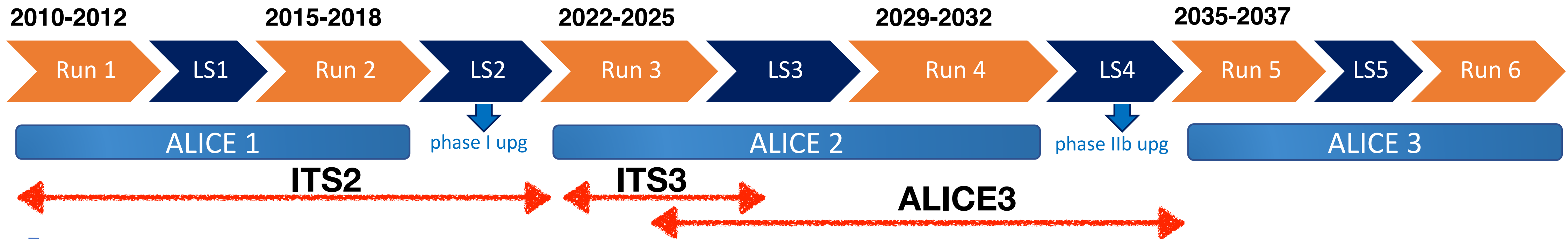
(참고) LS2 때의 총 비용에 대한 한국 기여분 = 1 MCHF / 66 MCHF = 1.5 % (당시 M&O 고려)

● ALICE3 ~약 2천억 = LS2 업그레이드(~750억)에 비해 약 3배

지난 4월 RRB 자료 발췌

2023 <i>DRAFT</i> M&O-A Budget no power	4'975'210 CHF
2023 Power	2'502'000 CHF
ALICE DB as 01/09/2021	627 scientists
Cost M&O per scientist	7'935 CHF
Cost Power per scientist	3'990 CHF

ALICE3 timeline



2023 – 2025: selection of technologies, small-scale proof of concept prototypes (~25% of R&D funds)

2026 – 2027: large-scale engineered prototypes (~75% of R&D funds) ⇔ Technical Design Reports

2028 – 2030: construction and testing

2031 – 2032: contingency

2033 – 2034: installation and commissioning

2035 – 2042: physics campaign

KoALICE 검출기 업그레이드 예산 Overview: plan A

		'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	총액	
ITS2		3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억														30억	
													1.6억	1.6억	1.6억	1.6억										6.4억
ITS3													R&D (23년도 예산 거의 승인)	생산비용 (추가승인 필요)												
	ITS3를 위해 기 증액한 예산																1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	12.8 억
ALIC E3	증액 필요액																3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	24억
	KoALI CE 기 본 연구 비 매칭												1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	13.2 억
	총액	현물 및 현금기여																							50억	

KoALICE 검출기 업그레이드 예산 Overview: plan B

		'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	총액
ITS2		3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억	3억														30억
ITS3													1.6억	1.6억	1.6억	1.6억									6.4억
													R&D (23년도 예산 거의 승인)	생산비용 (추가승인 필요)											
ALICE3	ITS3를 위해 기 증액한 예산																1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	1.6억	12.8 억
	증액 필요액													5천	1억	1.5억	2억	2억	3억	3억	3억	3억	3억	2억	24억
	KoALICE 기본 연구 비 매칭													1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	1.2억	13.2 억
	총액	현물 및 현금기여																							50억

국내 인프라 구축 및 국내 기업 수익 창출

- 기여액 이상의 국내 반도체 관련 기업 수입 창출 가능성 (앞서 상세히 설명)
- 국내에 state of the art 반도체 검출기 인프라 확보
- 최첨단 반도체 전문인력 양성 및 확보

ALICE3 인류 역사상 최초 건물크기의 반도체 예술품

⇒ 반도체 강국인 한국의 참여가 매우 중요한 프로젝트!