

풍부한 에너지 깨끗한 환경 건강한 삶

방사선기기팹 센터의 방사선센서 및 계측기 개발현황

2017. 5. 17.

김한수



한국원자력연구원
첨단방사선연구소



■ 서론

■ 방사선계측기 R&D

- 이온챔버
- 반도체 검출기
- 섬광체 검출기

■ 방사선기기팩센터 & R&D

- 방사선기기 산업현황
- 기기팩 구축현황
- 기기팩활용 R&D

Radiation Detector



이온챔버 (1)



Cylindrical 이온챔버

- 방사선 시설 모니터링

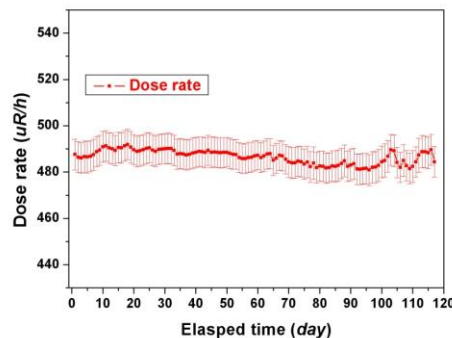


<I.C. for RMS>



<I.C. for RMS>

- ◆ Active vol.: 11.8 L
- ◆ Filling Gas: Dried Air
- ◆ Sensitivity: $4.0 \times 10^{-10} \text{ A/R/h @ } ^{226}\text{Ra}$
- ◆ Range: $10^{-2} \sim 10^7 \text{ mR/h}$
- ◆ Application : Radiation monitoring for nuclear facility



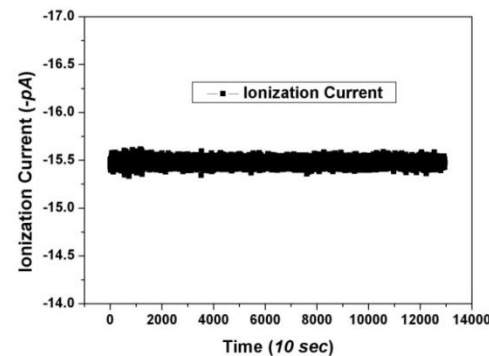
Mean dose rate measured over 100 days
Deviation was 2.9uR/h
@ Gwangyang Nuclear facility

고압 이온챔버

- 환경방사능 모니터링

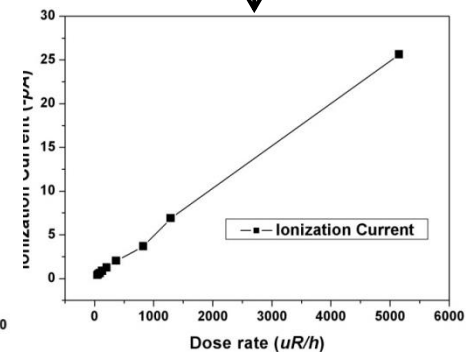


<I.C. for Proton Beam Intensity>



<Aging>

- ◆ Active vol.: 8.5 L
- ◆ Filling gas : Ar, 25 atm
- ◆ Insulator : ceramic
- ◆ Sensitivity:
 $2.6 \times 10^{-14} \text{ A/R/h @ } ^{226}\text{Ra}$
- ◆ Shadow shielding tech.



<linearity>

이온챔버 (2)



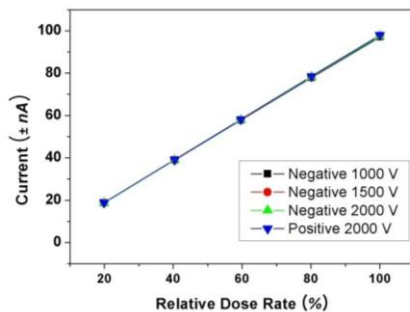
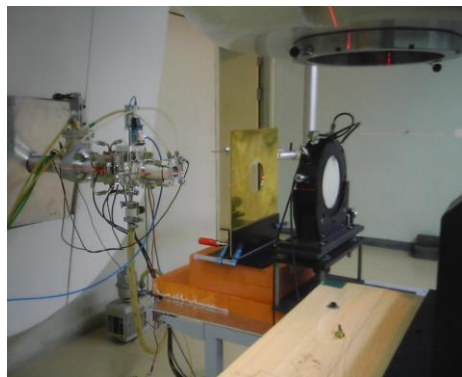
평판형 이온챔버

- 230 MeV proton beam intensity monitor



<I.C. for Proton Beam Intensity>

- ◆ Electrode :
Aluminized Mylar
- ◆ Filling gas :Ar
- ◆ Insulator : G-10
- ◆ Energy loss @ 230 MeV : 0.045% (~100 keV)



<linearity>

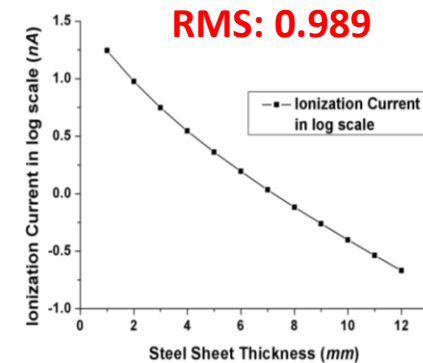
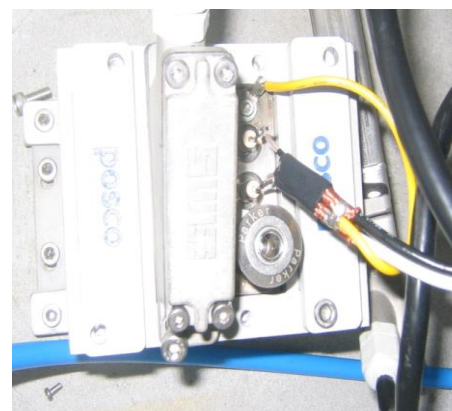
(Industrial Appl.) 철판두께 측정 이온챔버

- Steel sheet thickness Monitor (POSCO Kwangyang)



- ◆ Electrode: Stainless steel
- ◆ Insulator : ceramic
- ◆ Thickness of an incident window : 0.5 mm
- ◆ Filling gas: Xe @ 6 atm

<I.C. for Steel sheet thickness>



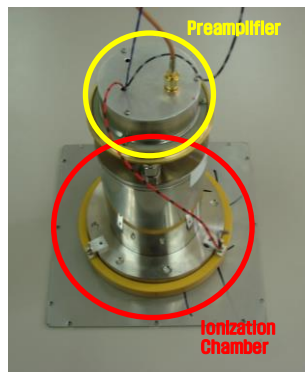
<linearity>

이온챔버(3)



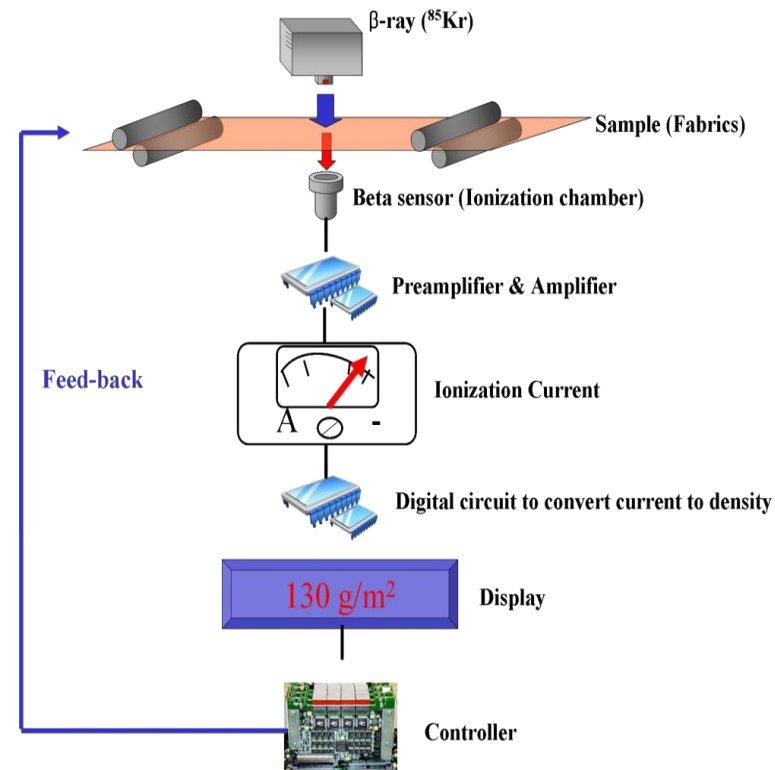
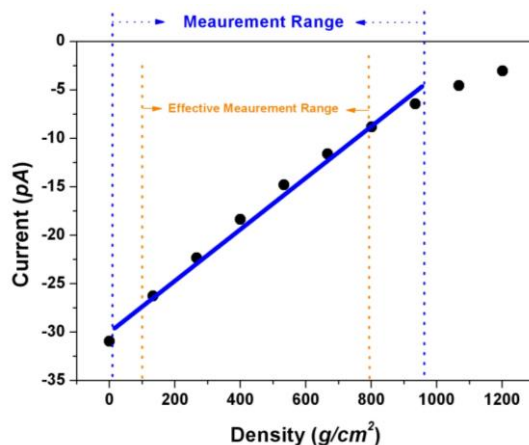
(Industrial Appl.) 섬유 밀도 측정 이온챔버

- 베타선 (Kr-85) 이용



<I.C. for fabric density>

- ◆ Incident window : Al Mylar
- ◆ Guard electrode
- ◆ Filling gas: Xe @ 1 atm
(W-value : 21 eV/ion pair)



<섬유 밀도 측정 시스템>

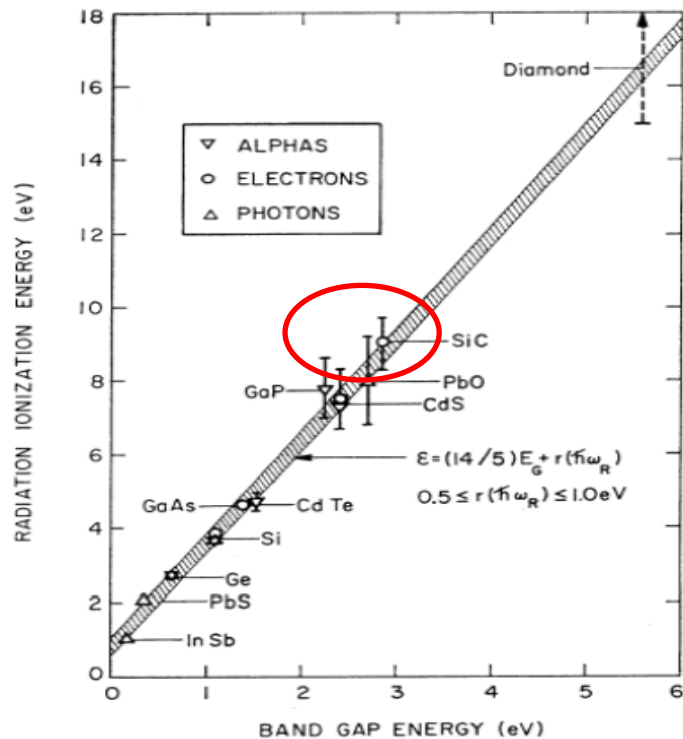
RMS: 0.99

반도체 검출기 (1)



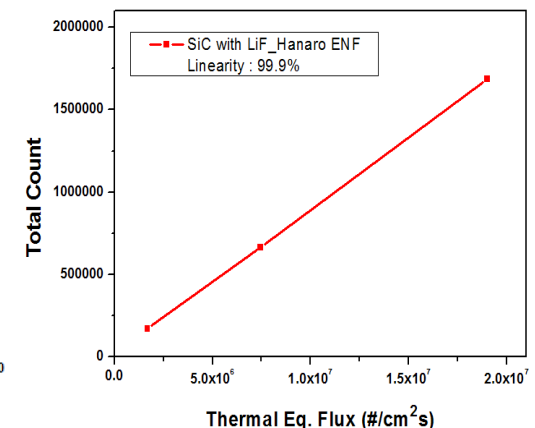
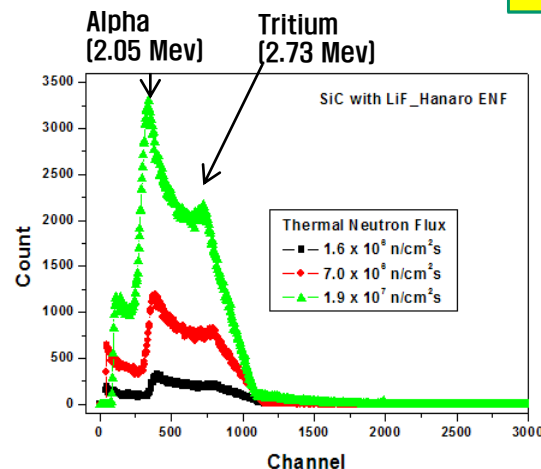
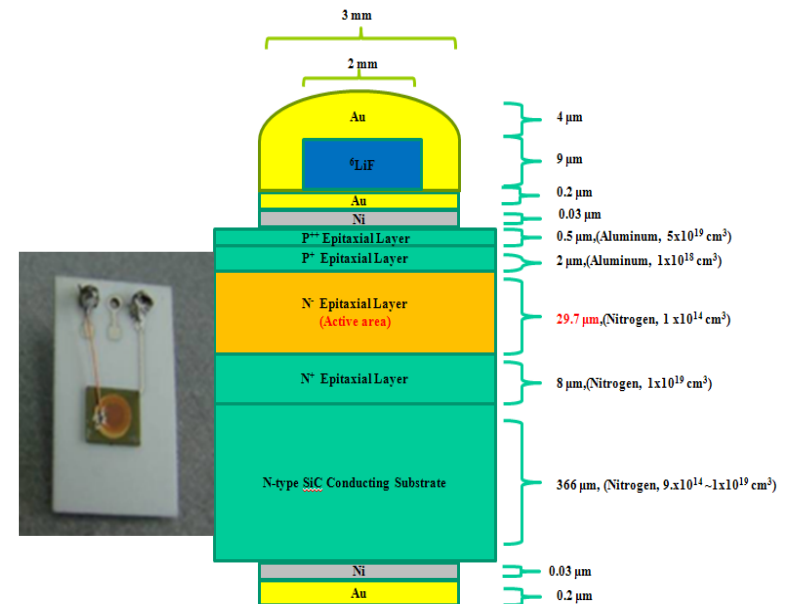
SiC 기반 중성자 센서

- Development of SiC neutron detector by using ^6LiF .



C.A.Klein, J.App. Phys. 39 (1968) 2029

- Wide band-gap
- High radiation resistance and thermal conductivity ($\sim 800\text{K}$)
- High physical and chemical stability

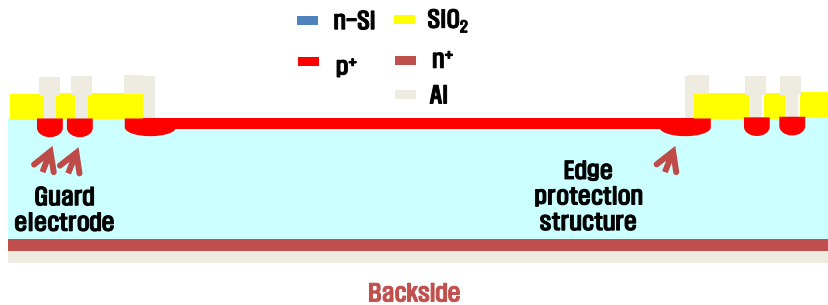


반도체 검출기 (2)

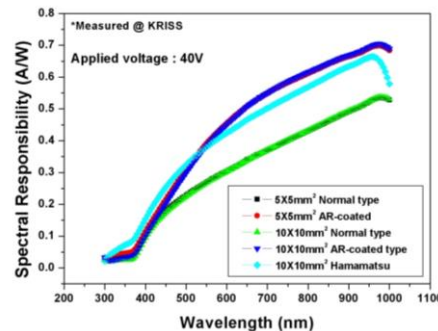
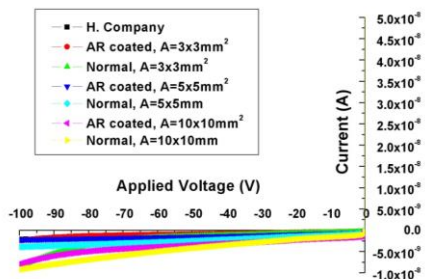
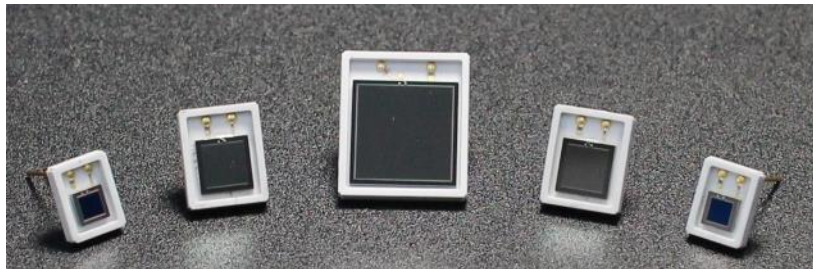


PIN photodiode 반도체 센서

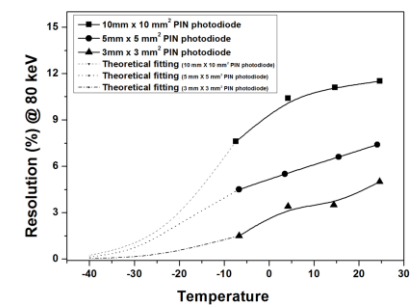
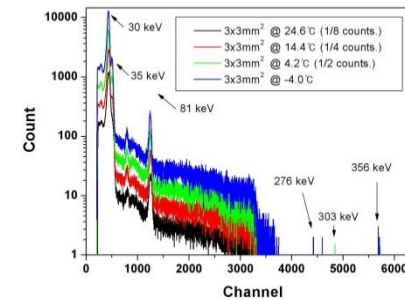
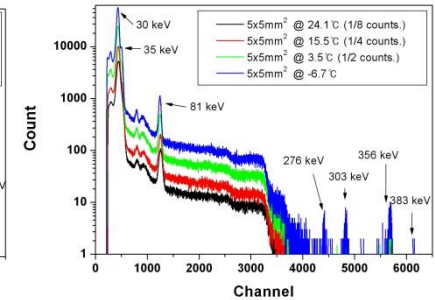
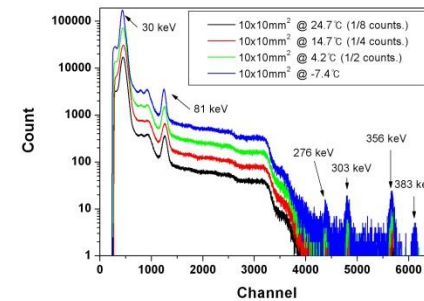
- Active area
10mm X 10mm, 5mm X 5mm, 3mm X 3mm
- TEM(Thermo-electric Module)



- A Basic Structure of a design of a PIN-type radiation detector-



Ba-133



<Pulse Height Spectra with respective to Temp.>



<Prototype of a portable XRF>

반도체 검출기 (3)

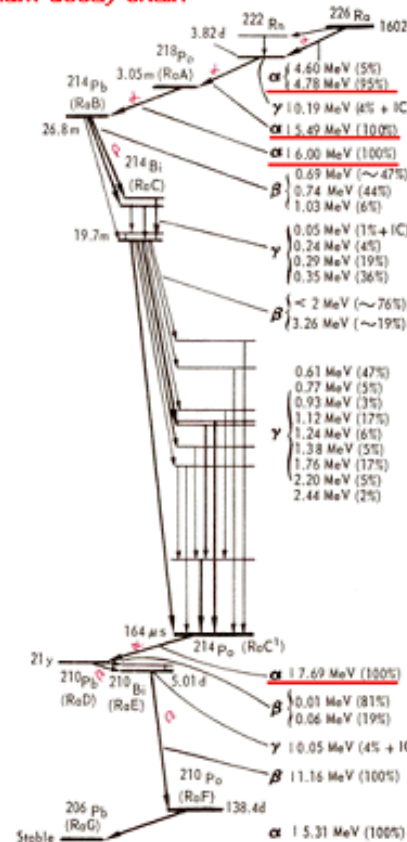


(Appl.) PIN photodiode 반도체 센서

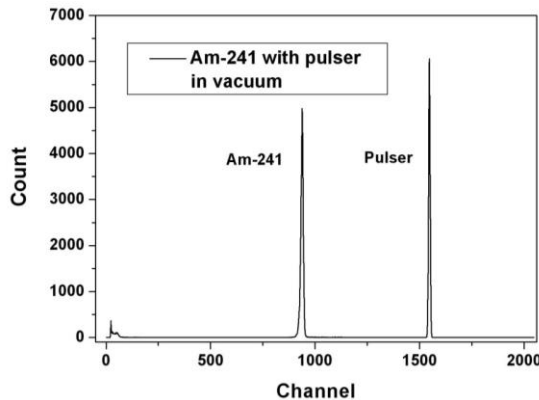
- Radon detector

- * Uranium concentrated soli source (from KRISS)
- ^{226}Ra concentration : 5.6 Bq/g
- Emanation rate : 25%

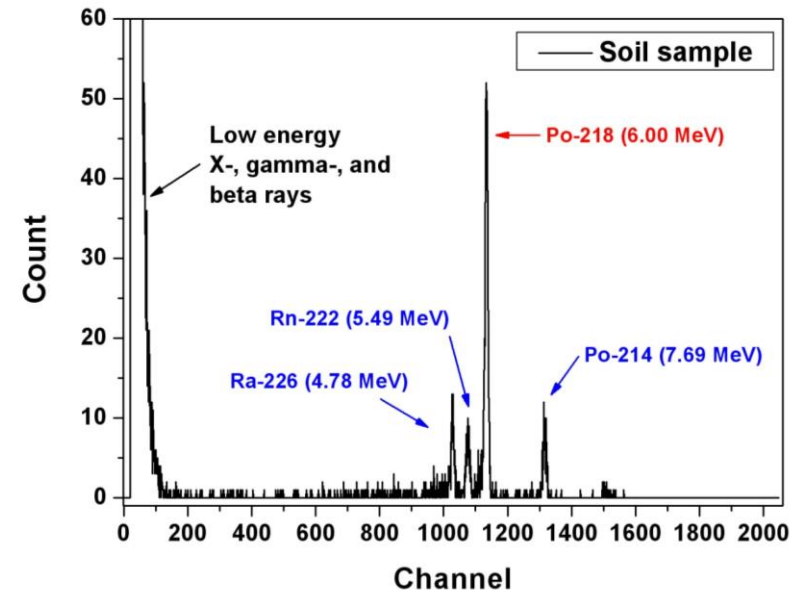
- Radium decay chain -



R = 0.9% @ 5.49 MeV



- 40 V @ 5.49 MeV alpha particle in vacuum -



- Sensitivity: 0.3 (cpm/pCi/L) -

반도체 검출기 (4)



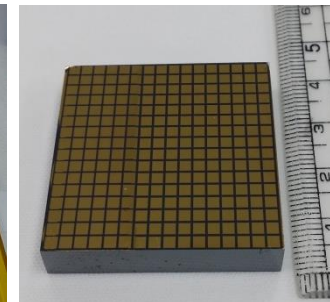
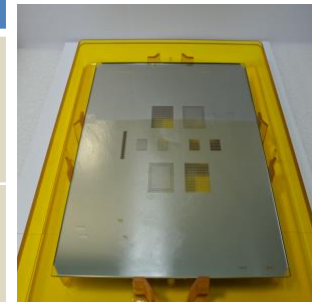
Cd(Zn)Te 핵분광용 대구경 단결정 성장

Cd(Zn)Te 단결정 성장기술 개발

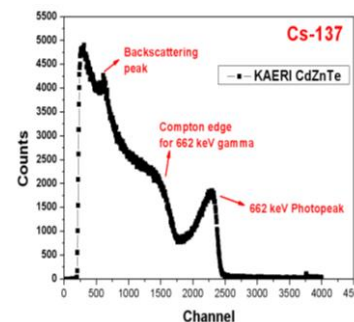
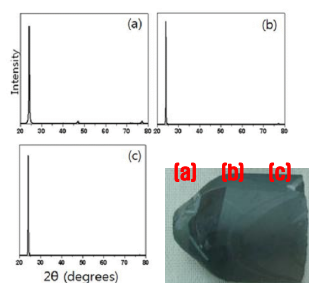
- Cd(Zn)Te 단결정 성장을 위한 전처리 기술개발
- Cd(Zn)Te 단결정 성장 및 재료특성평가 기술개발

16X16 픽셀급 CdZnTe 영상센서 모듈 설계/제작기술개발

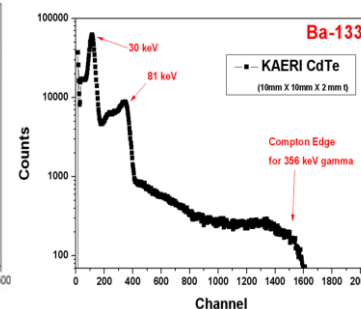
- Cd(Zn)Te 화합물반도체 단결정 방사선 성능평가 기술개발
- Lithography법을 이용한 CdZnTe 영상센서 설계/제작



Lithography법을 이용한 영상센서 제작



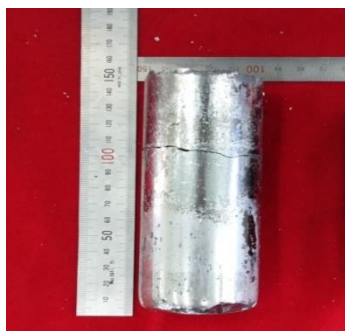
Planar-type CdZnTe



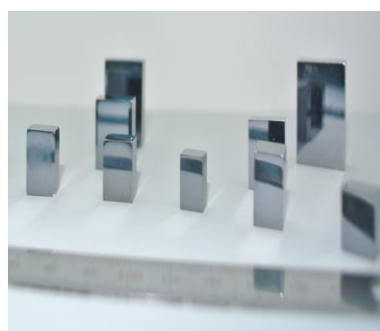
Planar-type CdTe

고순도 CdZnTe 성장을 위한 carbon coated quartz tube

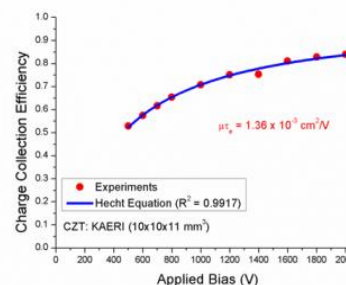
브릿지만법을 이용한 3\"/>



THM법을 이용한 CdZnTe 단결정

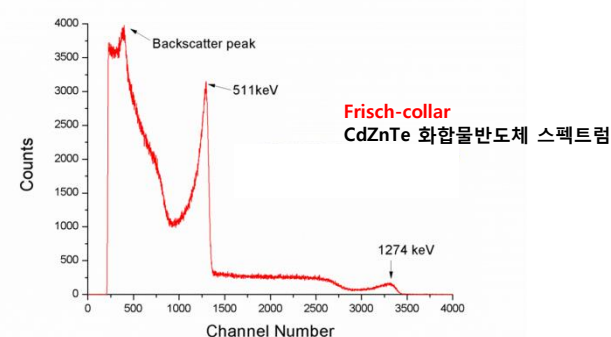


CdZnTe 단결정



전자 이동도 특성평가

<CdZnTe 단결정 재료 특성평가>



<CdZnTe 단결정 방사선 특성평가>

반도체 검출기 (5)



감마선 3차원 위치추적형 감마선 영상장치 개발 및 특성평가

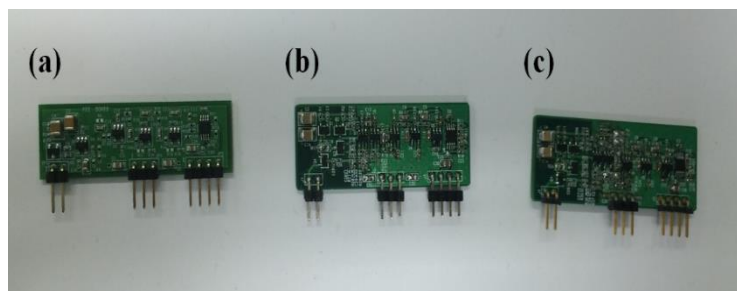
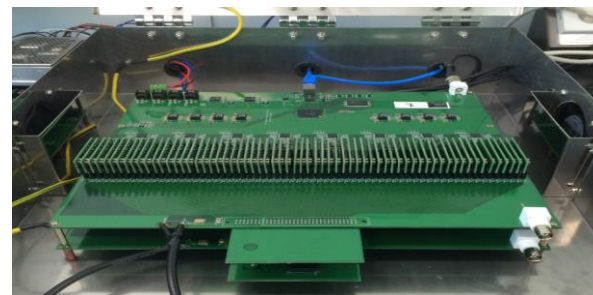
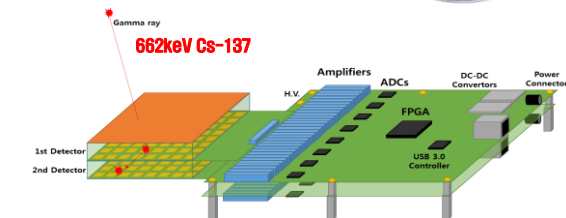
256 픽셀급 아날로그 신호처리 및 영상처리모듈 개발

- 잡음/이득 향상 및 선형성 확보 설계/제작기술 개발

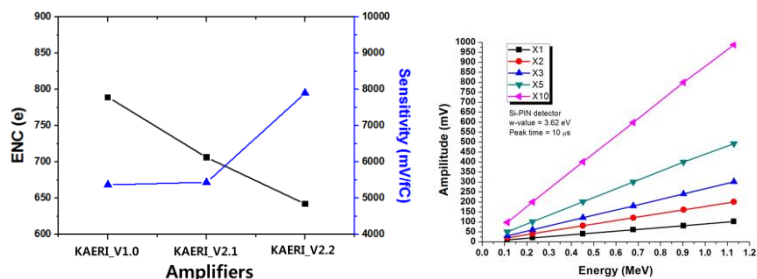
감마선 3차원 위치추적형 영상 센서 모듈 개발

- CdZnTe 화합물반도체 기반 256 픽셀급 영상센서 설계/제작기술 개발

감마선 3차원 위치추적형 감마선 영상장치 및 영상획득

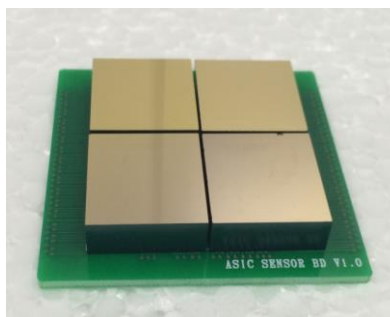
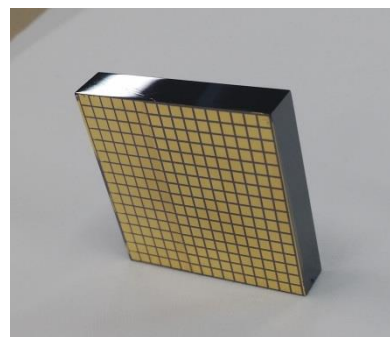


개발된 아날로그 신호처리 회로

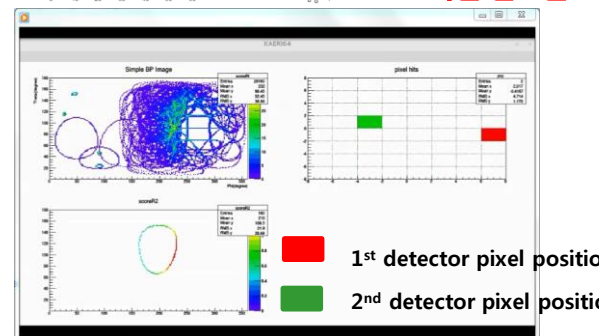
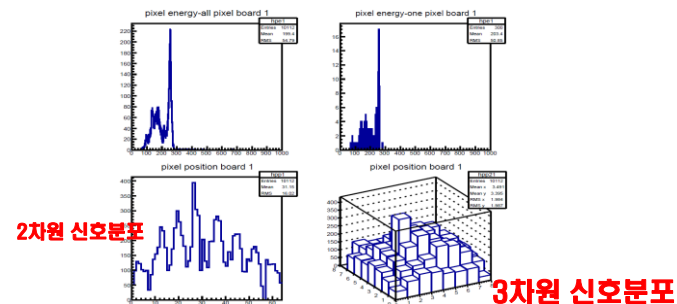


잡음 및 이득 비교

아날로그 신호처리회로의 선형성



<영상센서 모듈>



<3차원 위치추적 영상획득>

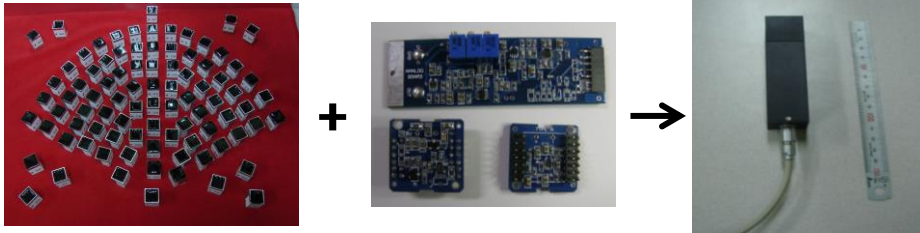
<256 픽셀급 아날로그 신호처리 및 영상처리 모듈개발>

섬광체 검출기

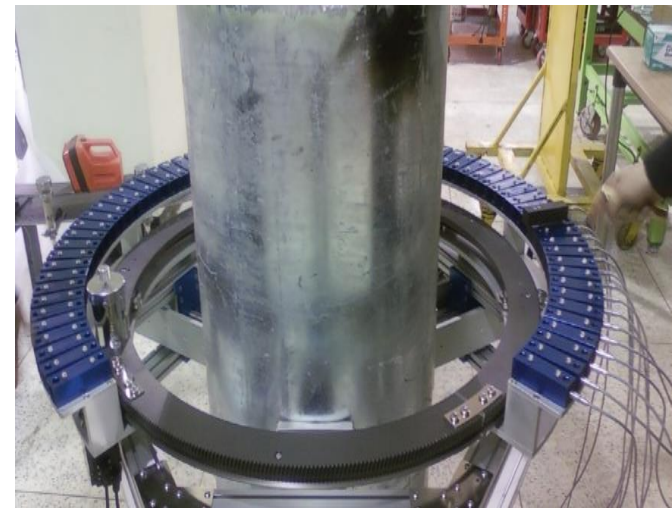
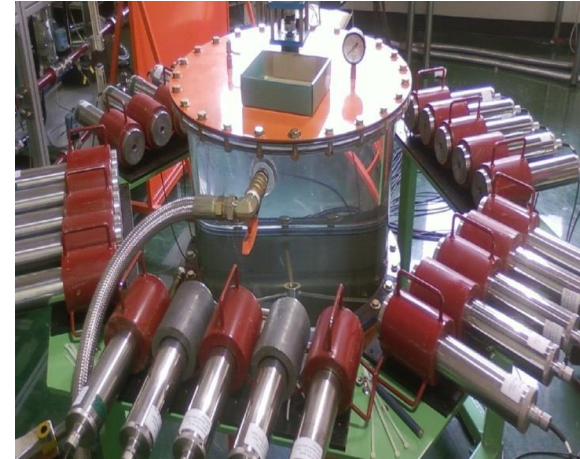
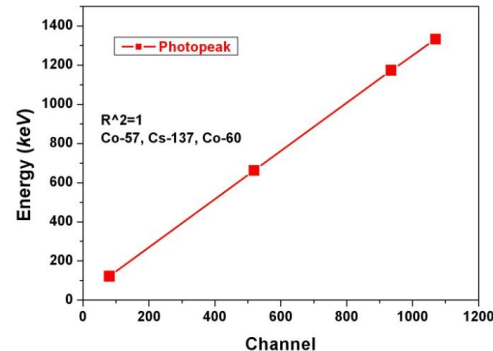
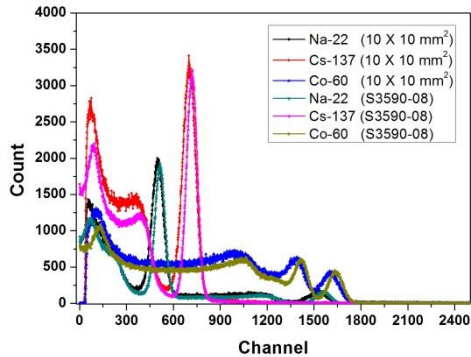
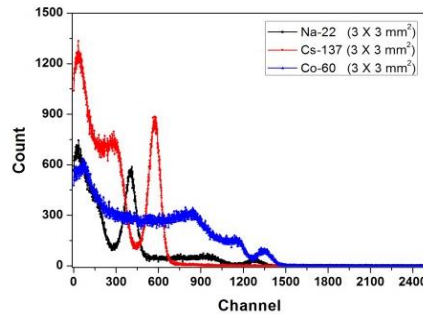
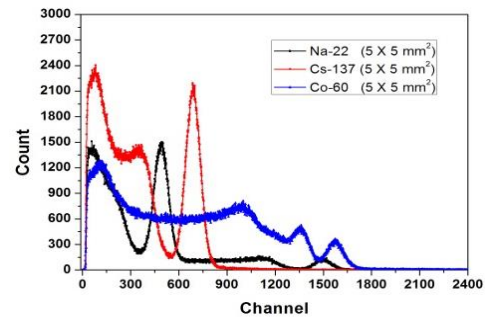


(Appl.) CsI(Tl)/PIN photodiode detector

- CsI(Tl)/PIN photodiode + Preamplifier + Shaping Amplifier



<CsI(Tl)/PIN photodiode>



<Industrial CT>

<Comparison of pulse Height spectra>

방사선 영상기술



이중산란 컴프턴카메라 (on-going)

32 픽셀급 Si 센서 및 아날로그 신호처리 모듈

- 잡음/이득 향상 및 선형성 확보 설계/제작기술 개발

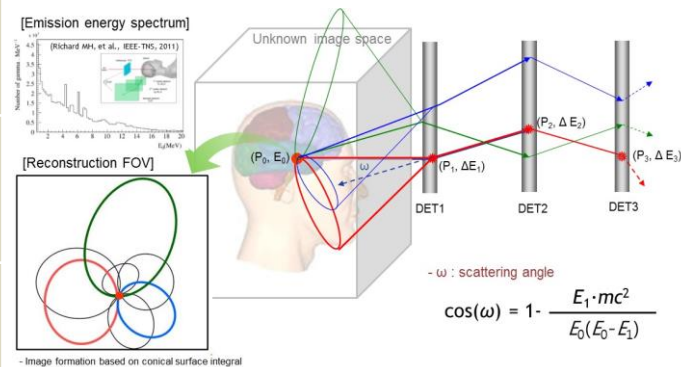
FPGA기반 디지털 방사선 신호계측시스템 (DAQ)

- 96채널 ADC 인터페이스 / 디지털 신호처리 및 동시검출시스템 / 데이터전송 인터페이스 기술 개발

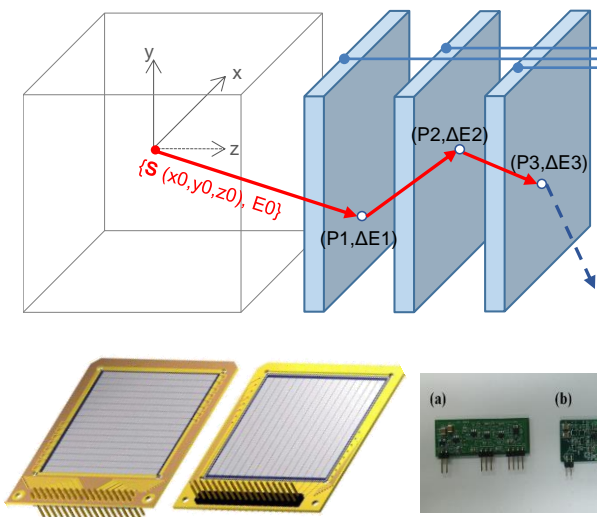
이중산란 컴프턴카메라의 3차원 영상재구성 소프트웨어

- 방사선 선원 에너지 분포도 복원 및 3차원 영상 재구성 알고리즘 개발

<이중산란 컴프턴카메라의 3차원 영상화 원리>



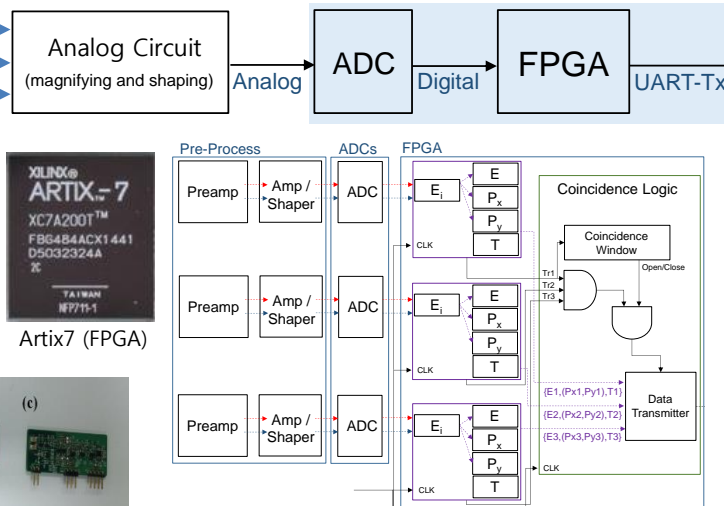
이중산란 컴프턴 카메라 (Double-Scattering Compton Camera)



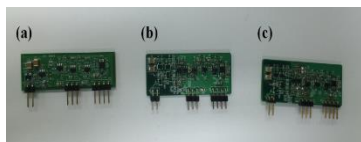
<세 쌍의 32 픽셀급 Si 센서 및 아날로그 신호처리 모듈 개발>

- 50x50x0.3 mm³ (32 channel/Si)
- 개발된 아날로그 신호처리 회로

데이터 획득 시스템 (Data Acquisition System, DAQ)



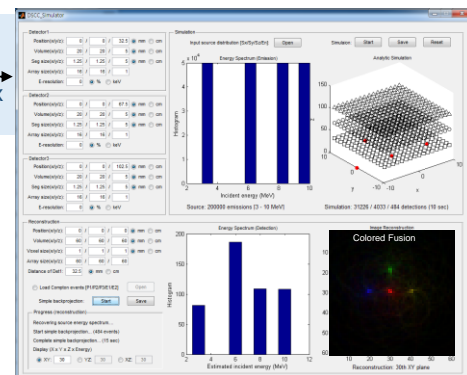
Artix7 (FPGA)



<디지털 FPGA기반 DAQ 모듈 개발>

- ADC와 FPGA간의 인터페이스
- FPGA기반 디지털신호처리 및 동시검출 DAQ
- FPGA와 PC간의 데이터 전송 인터페이스

3차원 방사선 영상 소프트웨어 (DSCC Software on PC)



<3차원 영상 소프트웨어 개발>

- 이중산란 컴프턴카메라의 해석적 시뮬레이터
- 이중산란 컴프턴카메라의 선원의 초기 에너지 분포도 복원 기술
- 이중산란 컴프턴카메라의 3차원 영상재구성 기술



■ 서 론

■ 방사선계측기 R&D

- 이온 챔버
- 반도체 검출기
- 섬광체 검출기

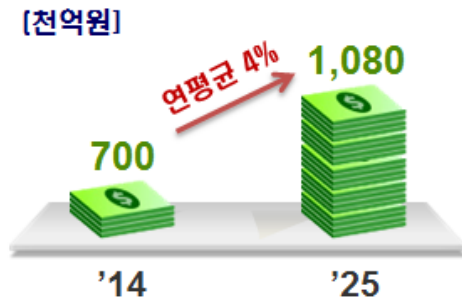
■ 방사선기기팩센터 & R&D

- 방사선기기 산업현황
- 기기팩 구축현황
- 기기팩활용 R&D

방사선기기 산업현황



- 방사선기기 산업은 의료 · 보안검색 · 국방 · 우주산업에 이르기까지 신성장 동력으로 주목 받고 있으나 연구기반 부재로 90% 이상을 수입에 의존



<세계 시장>



<국내 시장>

[출처] HSRC, Nano Market, Kalorama information [2014], BBC research, Intel Inc.(2015), Semi org., Global Market Insight (2016)

[출처] 의료기기산업협회, 무역협회, 진흥협회 [2014]

- 미국 등 선진국은 '80년대부터 방사선기기 분야를 전략산업으로 집중 육성
 - GE, SAIC[미국], Siemens[독일], Phillips[네덜란드], iBA[벨기에], Sumitomo, Hamamatsu[일본], Nutech[중국] 등 글로벌 기업 주도
- 실버층 증대와 삶의 질 향상으로 방사선치료기와 진단영상장치의 수요가 급증하며, 최근 테러방지 강화에 따라 보안검색 분야가 신성장 산업으로 부상
- 우수한 반도체, 전자 및 IT 기술과 연계한 첨단 방사선기기산업 육성 필요
 - 국내 방사선기기산업의 국가 경쟁력 확보를 위한 R&D 및 인프라 구축

방사선기기 펌(FAB) 센터 구축 현황



방사선기기 펌(FAB) 센터
(총 3,300 m², 지하 1층 지상 2층)

방사선 센서 및 계측기 FAB

- 단결정 성장실
- 단결정 가공실/평가실
- 반도체형 방사선센서 제작실
- 방사선 센서 성능평가실

발생장치 및 융복합 기기 FAB

- 고/저에너지 가속기시험실
- 고주파 발생장치 시험실
- 대형기기 시험검사실
- 전자총/가속관 조립실
- 열처리실

팸센터 구축/운영 일정

- 2011. 9. : 사업착수
- 2013. 2. : 건물 착공
- 2014. 10.: 건물 완공
- 2015. 11.: 시범 가동
- **2016. 11.: 운영 개시**



방사선기기 펌(FAB) 센터 구축 현황



● 방사선센서 제작공정실 / 방사선센서 소재성장실 [1층]

실험실명	사용 용도	배치된 주요 장비명
반도체형 방사선센서 제작 공정실	리소그래피 공정	Laser Mask Maker, Mask Aligners, Mask Spin Coaters, Hot Plates, Wet Station, Spin-Rinse-Dry
	증착 공정	Furnaces (Oxide, POCl), Low-pressure CVD, Plasma-enhanced CVD, Thermal Evaporator E-beam Evaporator, Sputter, Rapid Thermal Annealer, Plasma Asher
	에칭 공정	Deep Reactive-Ion Etcher, Wet Stations, Spin-Rinse-Dry
방사선센서 소재 성장실	섬광체 성장	Purification Furnace, Czochralski Furnace
	화합물 반도체 성장	Low -pressure Bridgeman Furnace, Travel Heat Method Furnace, Zone Melting Furnace, Sublimation Furnace

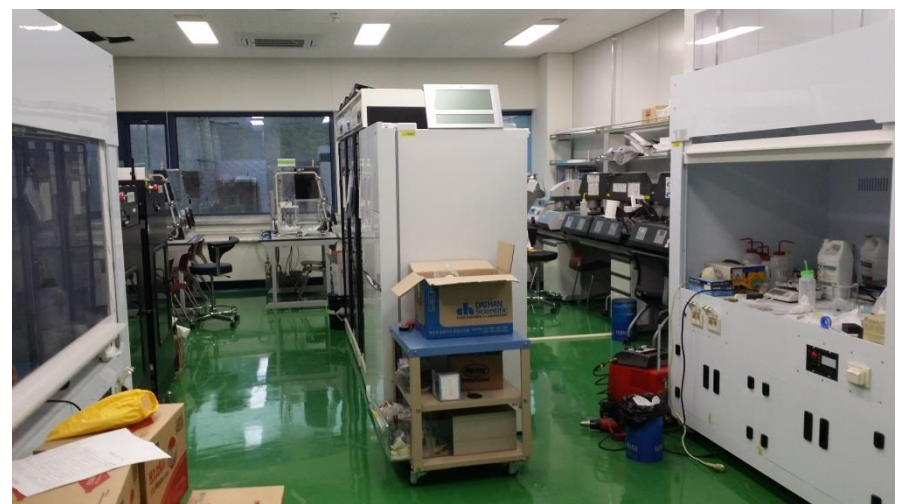


방사선기기 펌(FAB) 센터 구축 현황



● 방사선 센서 성능평가 및 소재 제작 실험실 [2층]

실험실명	사용 용도	배치된 주요 장비명
방사선 센서 성능 평가실	방사선센서 특성 평가	Infra-red Mapper, UV Measurement Equipment, I-V, C-V Measurement Equipment NIM Modules, 4GHz Oscilloscope, Electrometer, Charge Mobility Measurement System
	방사선센서 패키징	Flip-Chip Bump Bonder, Wire Bonder
방사선 센서 소재 제작 준비실	Quartz 튜브 가공	Quartz Tubing Sealing System, Quartz Tubing Cutting System
	센서 재료 가공	Carbon Coating Furnace, Automatic Polishers, Diamond Wire Saws, Laser Wire Saw

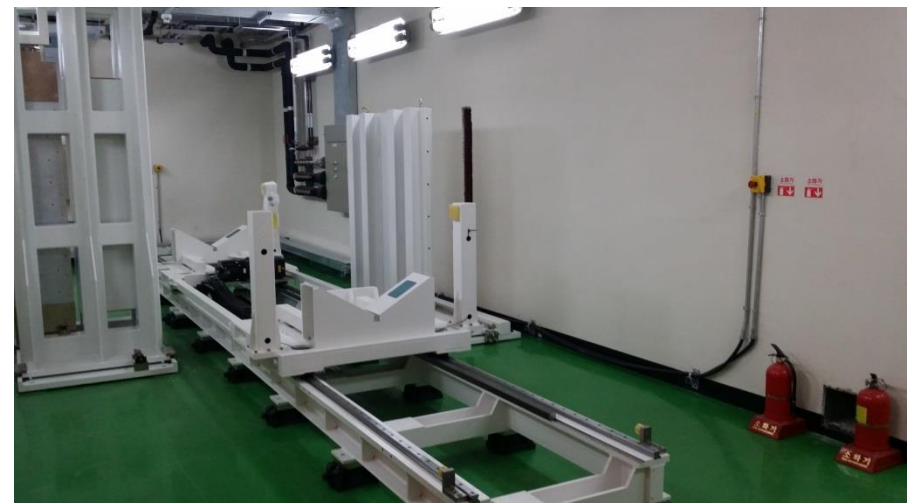


방사선기기 펌(FAB) 센터 구축 현황



● 방사선 발생기/융합기기 실험실 [1층]

실험실명	배치 장비명
화학 세정 및 열처리실	Vacuum Furnace, Vacuum/Hydrogen Furnace
가속기 시험 검사실 (융합기기 성능시험실)	X-ray Detector, S-band Station, X-band Station, E-gun Firing Station
고에너지 고주파 가속기 시험실	Ultra-long Bunch Train RF Station



방사선기기 펌(FAB) 센터 구축 현황



● 방사선 발생기 부품 제작 및 종합 상황실의 제어/감시 대상 [2층]

실험실명	사용 용도	장비, 부품, 소프트웨어
방사선기기 부품 제작 및 성능 평가실	부품 제작	High Vacuum Pumping System, High Voltage Supply, Triode E-gun Power Supply
	성능 평가	He Leak Detector, RF Signal Generator, Network Analyzer, High Speed Oscilloscope Test Loader, Thermal Imaging Camera
방사선 발생장치 종합 상황실의 제어/감시 대상	시스템 제어	방사선 로봇 치료 시스템, 대형 구조물 검사 시스템, 컨테이너 검색기 시스템
	부품 제어	Modulator, Klystron, Magnet Power Supplies, Pulsed Gun Power Supplies, NFC based Machines , Radiation Monitoring System



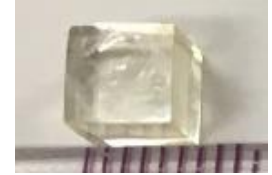
기기팍(FAB) 활용 R&D



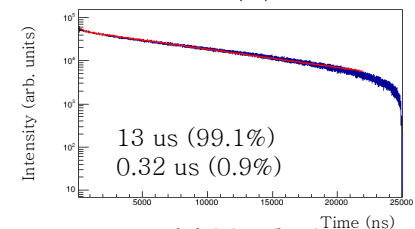
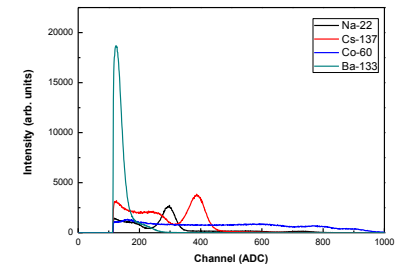
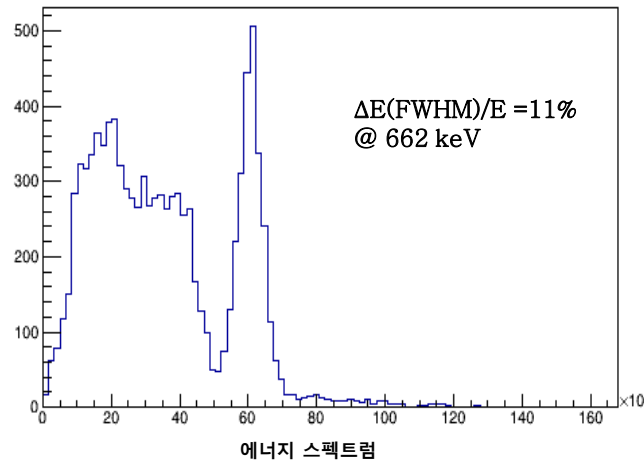
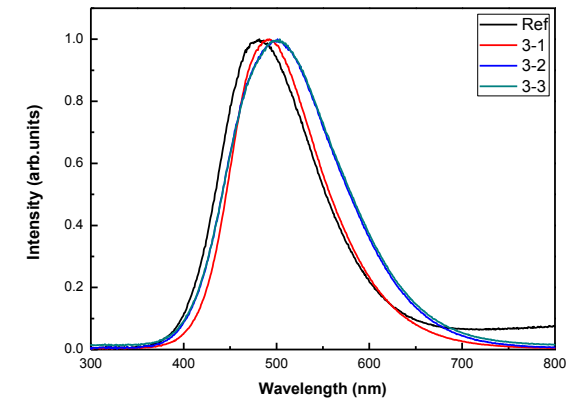
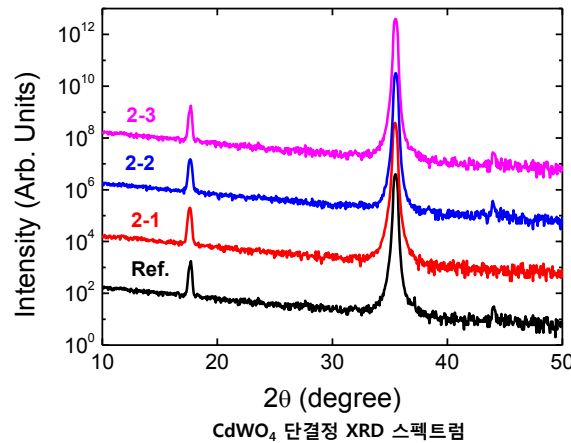
CdWO₄ 단결정 성장

CdWO₄ 단결정 성장기술

- CdWO₄ 단결정 성장을 위한 전처리 기술
- CdWO₄ 단결정 성장 및 재료특성평가 기술개

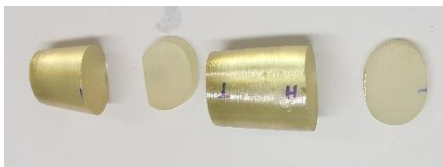
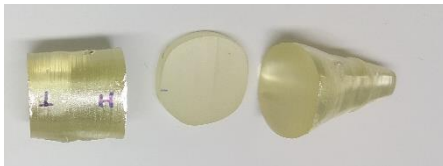


초크랄스키법을 이용한 CdWO₄ 성장



초크랄스키법을 이용한 CdWO₄ 단결정

열처리 된 CdWO₄ 단결정



가공된 CdWO₄ 단결정 샘플

<CdWO₄ 섬광체 단결정 성장>

<CdWO₄ 단결정 특성평가>

기기팩(FAB) 활용 R&D



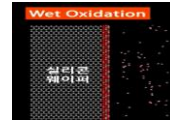
Si PIN 센서 제작기술

섬광체 결합형 Si PIN 광센서 개발

- 고효율 광센서 설계/제작기술 개발

저에너지 X-ray 및 Gamma-ray 검출용 Si PIN 센서

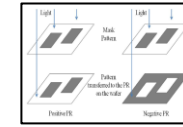
- 저노이즈, 고분해능 Si 반도체센서 설계/제작기술 개발



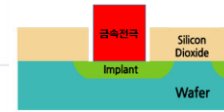
<성막공정>



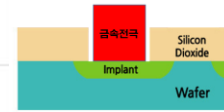
<식각공정>



<포토공정>

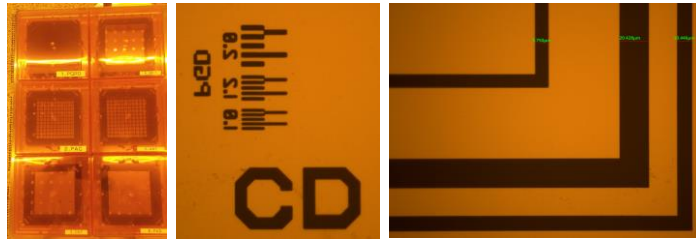


<전극공정>

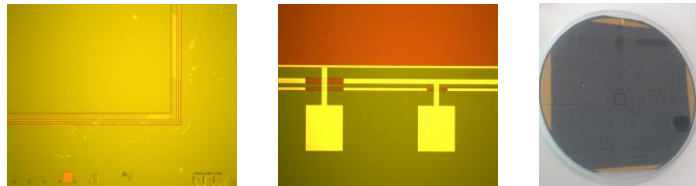


Si PIN 센서 제작공정 (Fabrication process of Si PIN)

단위공정결과물 (Process results of Si PIN)



<포토마스크제작_6mask 공정>

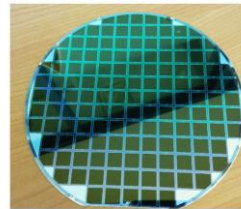


<가드링 에칭>

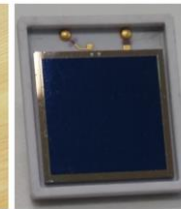
<전극형성>

<다이싱>

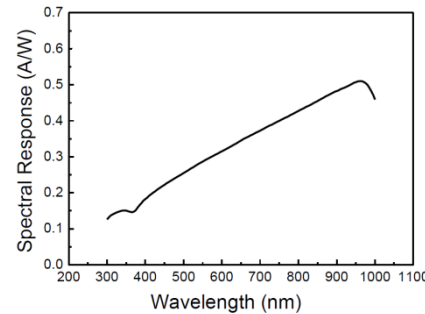
Si PIN센서 특성 (Characteristics of Si PIN)



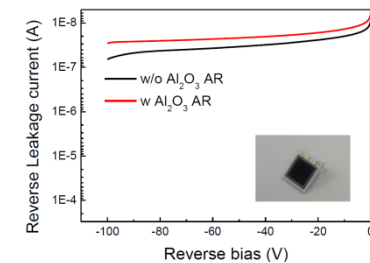
Si PIN Device Array



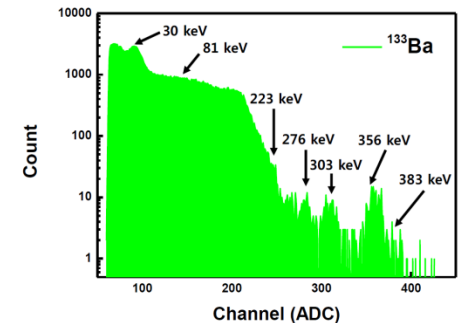
Wire bonding된 Si PIN



<광 특성>



<전기적 특성>

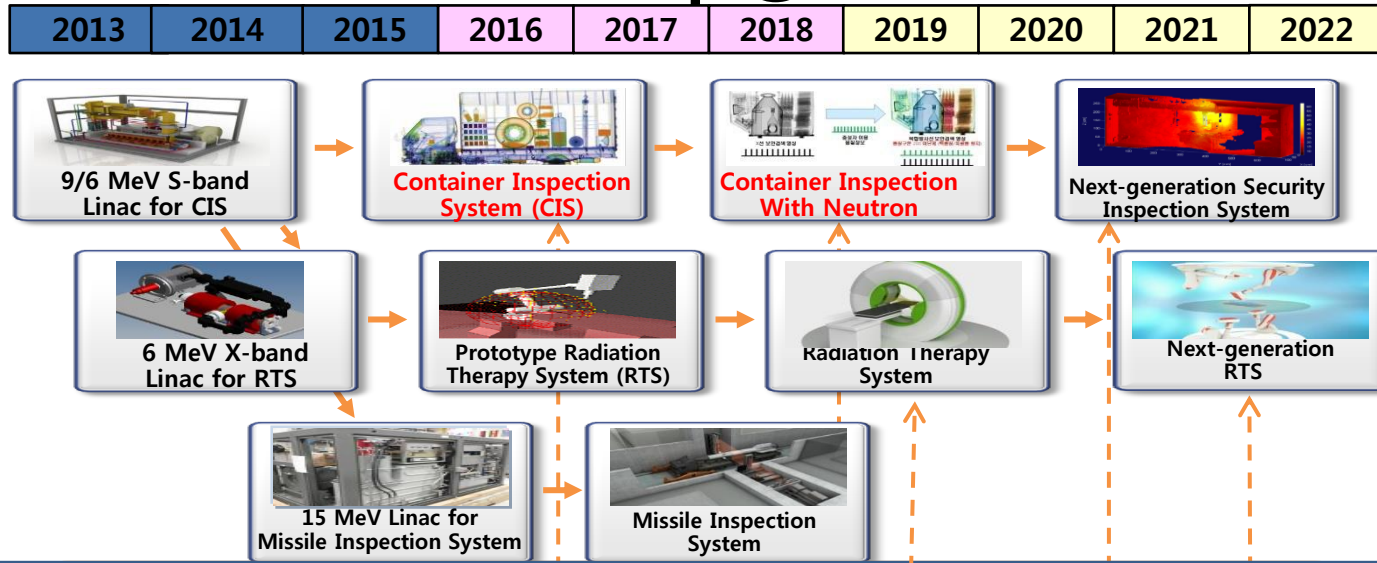


<방사선 반응>

기기팩(Fab.) 개발 로드맵

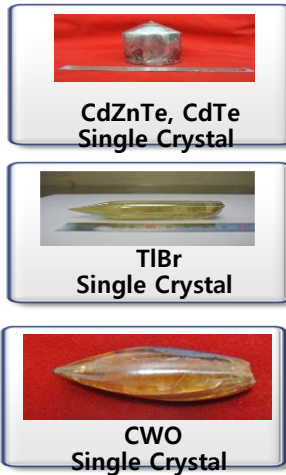


R&D Roadmap @ Fab. center

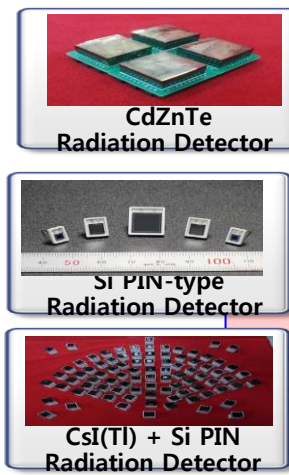


System
Integration

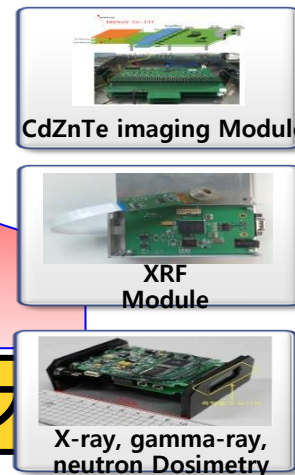
Single Crystal for Radiation Detector



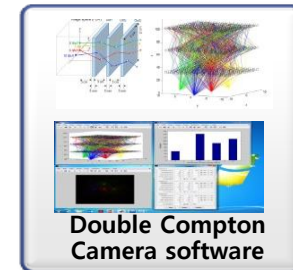
Radiation Detector



Radiation Imaging System



Radiation Imaging Algorithm & Software

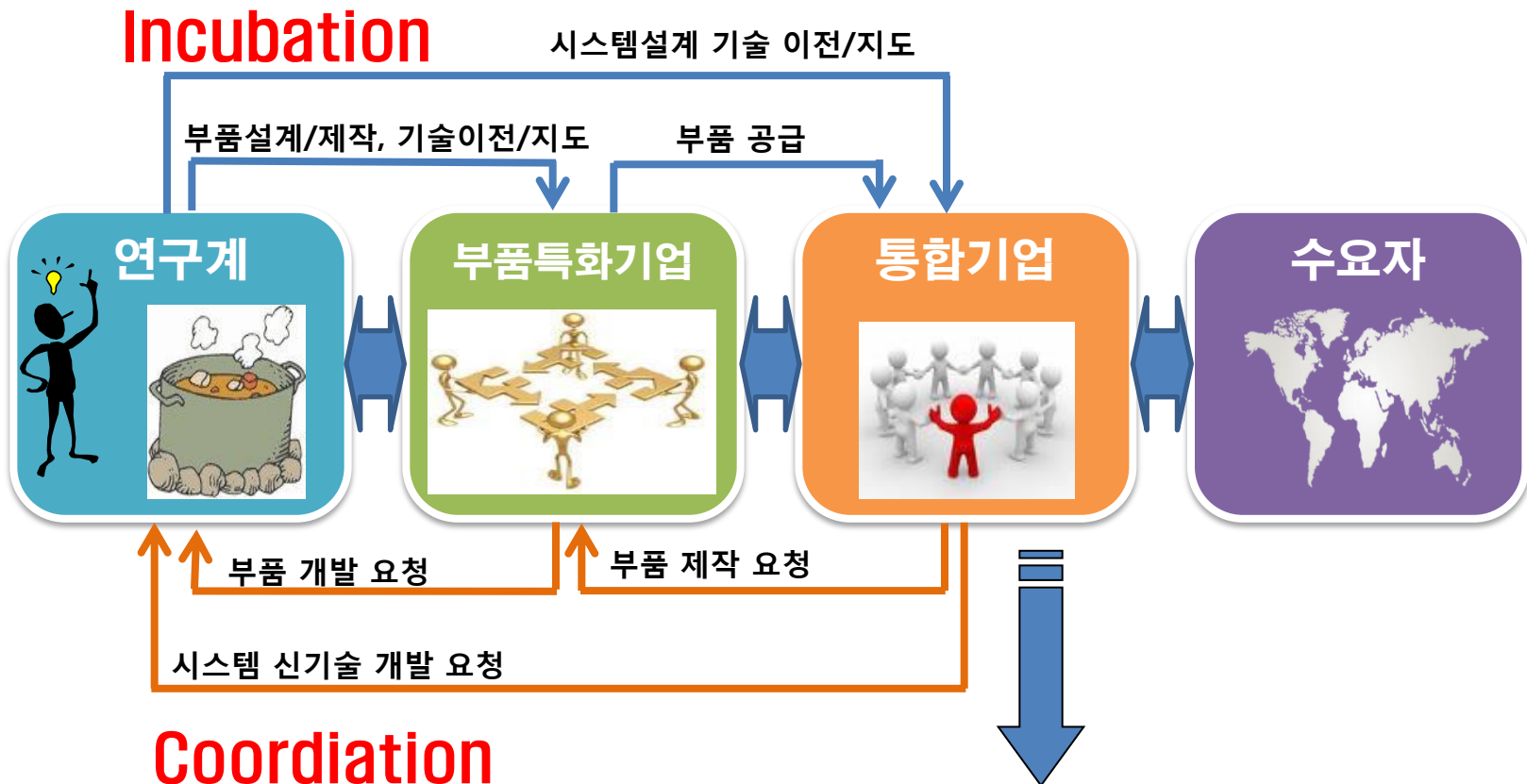


Radiation
Detector
& Imaging

방사선기기 전문기업 성장 지원

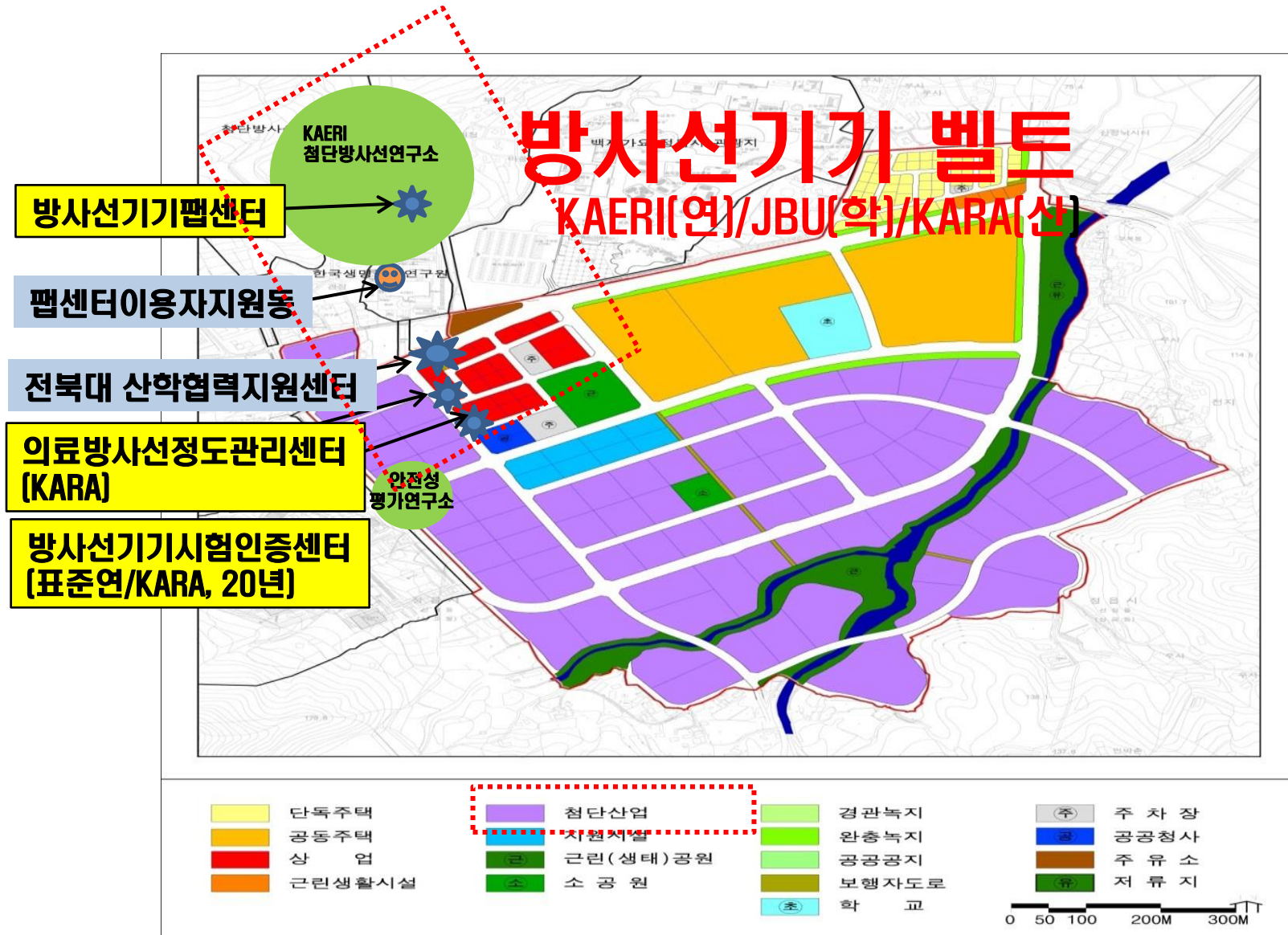


◆ 산학연 협력을 통한 **부품특화기업** 및 **통합기업** 육성으로 **방사선기기 생태계 구축**



- 시스템 설계 능력을 보유하고, 완제품 제작 및 생산기능까지 총괄
- 컨테이너 검색기, 방사선 치료기 등 융복합 방사선기기 개발에 적용

국가 방사선기기 인프라





Thank You So Much!