

# 연구개발계획서(신청용, 단위)

양식A101

① 부처사업명(대)	국제화기반조성사업	② 보안등급(보안, 일반)	일반					
③ 사업명(중)	국가간협력기반조성사업	④ 공개가능여부(공개, 비공개)	공개					
⑤ 세부사업명(소)	한-중국 협력기반조성사업							
과제성격 (기초, 응용, 개발)	기초	실용화 대상여부 (실용화, 비실용화)	실용화					
⑥ 총괄(상위) 과제명								
과제명	국 문	경사밴드갭을 가지는 perovskite 재료를 이용한 고속 파장 분해 x-ray detection						
	영 문	Fast X-ray spectral detection using perovskite single crystal with gradient bandgaps						
⑦ (총괄)주관연구기관	호서대학교	⑧ 사업자 등록번호	312-82-10256					
⑨ 협동(공동)연구기관								
⑩(총괄)연구책임자	성 명	배병성	직급(직위)	교수				
	소속부서	전자디스플레이	전공	물리				
	전화	041-540-5614	E-mail	<a href="mailto:bsbae3@hoseo.edu">bsbae3@hoseo.edu</a>				
	휴대전화	010-3326-2658	팩스번호	041-540-5618				
	연구자등록번호	10158415						
연구개발비 및 참여연구원수 (단위: 천원, 명)								
년 도	정부출연금 (A)	기업체부담금			정부외출연금 (B)	합계 G=(A+B+E)	상대국 출연금 (F)	참여 연구원수
		현금 (C)	현물 (D)	소계 E=(C+D)				
1차년도	60,000			0		60,000	66,000	
2차년도	60,000			0		60,000	66,000	
3차년도	60,000			0		60,000	66,000	
4차년도								
5차년도								
합계	180,000	0	0	0	0	180,000	198,000	0
총연구기간		2022.12.26. - 2025.12.25. (36개월)						
다년도협약연구기간		2022.12.26. - 2025.12.25. (36개월)						
당해연도연구기간		2022.12.26. - 2025.12.25. (12개월)						
⑫ 참여기관	기관명	책임자 성명	직급 (직위)	전화번호	팩스번호	E-mail	⑪ 연구자 등록번호	
⑬ 참여기업 수	중소 기업		중견 기업		대기업		기타	계
⑭ 국제공동연구	국제공동연구 여부	국가명	상대국 연구기관수	상대국 연구개발비	상대국연구책임자수			
	Y	중국	1	66,000/년	1			

관계법령 및 규정과 모든 지시사항을 준수하면서 이 국가연구개발사업을 성실히 수행하고자 아래와 같이 연구개발계획서를 제출합니다. 아울러 이 연구개발계획서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 협약 해약 등 어떠한 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 1 월 4 일

연구책임자 : 배병성 (인)

주관연구개발기관의 장 : 김병삼 (직인 혹은 전자서명)

**과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀 하**

## 〈 요약 문 〉

양식A201

<b>① 연구개발 목표</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ X-ray는 가능한 조사량을 줄여야 하지만, 선량이 감소 될수록 검출되는 이미지의 위상대조비가 낮아진다. 인체에 유해한 X-ray 선량이 적고 이미지 위상대조비가 좋은 X-ray 이미지 센서 어레이 기술을 개발하며 특히 고속 X-ray spectral detector를 개발 한다..</li> <li>○ 방사선량 감소를 위한 고효율 perovskite X-ray 센서와 이에 적합한 센싱화소 어레이 및 주변 구동부를 oxide TFT를 이용 연구개발하고 핵심 기술을 확보한다.</li> <li>○ 적은 방사선량으로 높은 품질의 이미지 구현을 위해 간단한 구조의 고효율 저노이즈 센서회로와 이에 최적화된 스캔 회로를 연구개발한다.</li> </ul>			
<b>② 연구개발 내용</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 높은 감도와 낮은 dark current를 보이는 PIN 구조의 perovskite 접합 소자를 개발하며 gradient band gap 구조를 이용한 X-ray spectral detection을 연구하고 이에 최적화된 센서화소 회로 및 스캔드라이버를 개발 한다.</li> <li>○ PIN 구조의 센서는 PN 구조에 비해 진성영역을 길게 하여 X선 흡수 효율을 올릴 수가 있어 강점이 있으며 perovskite 결정의 취약한 내열성으로 일반적인 도핑이 불가능하여 용액 에피 성장 중에 도핑이 동시에 되도록 연구를 진행하며 gradient band gap 을 연구 개발 한다.</li> <li>○ X선 센싱 감도는 센서 외에 센서회로도 중요하며 높은 출력신호와 작은 노이즈가 중요하다. 고해상도를 위해서는 면적을 작게 차지하는 것이 중요하다. 고감도 저노이즈 작은면적의 X선 감지 화소 회로를 개발한다.</li> <li>○ Oxide TFT를 이용하여 기판상에 집적되는 스캔 회로를 개발한다. 집적된 스캔 회로는 공정을 간단히 하고 실장 신뢰성을 높여 주며 플렉서블 센서 어레이에는 필수적으로 사용이 되어야 한다.</li> <li>○ 개발된 회로에 perovskite X-ray 센서를 같이 공정하여 센서와 회로를 평가하고 저선량 X선 이미지 센서 핵심 기술을 연구개발 하며 X-ray spectral detection 결과로 부터 Spectrum 을 재구성하는 방법을 연구한다.</li> </ul>			
<b>③ 연구개발 성과</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Perovskite계의 고감도 X-ray 센서연구로서 액상 에피성장법으로 만들어지며 에피 성장 중 도핑이 실시되는 PIN 구조의 고감도, 낮은 암전류의 X선 센서 소자 기술로서 이와 관련된 논문과 특허성과를 달성한다. Gradient perovskite 단결정을 이용하는 X-ray spectral detector 기초 원천기술 및 관련 논문과 특허성과를 달성한다.</li> <li>○ Oxide TFT를 이용한 화소 센서 회로로서 고집적, 고감도, 저노이즈의 핵심 회로 기술과 디지털 구동에 적합한 스캔 드라이버 회로 기술및 회로 IP 확보</li> </ul>			
<b>④ 활용계획 및 기대효과</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 개발 결과로서 단순히 방사선량을 감소시킬 뿐만 아니라 적은 방사선량에서도 정밀한 이미지의 출력이 가능하도록 하여 선량을 최소화한 X-ray 시스템을 구축할 수 있고 고속 X-ray spectral detection에 의하여 응용범위를 넓힐 수 있다.</li> <li>○ X선 진단은 의료 외에도 비파괴 검사 등 다양한 분야에 응용되고 있으며 저선량의 고감도 X선 센서가 제공되어 피폭량을 최소화할 수 있다.</li> </ul>			
<b>⑤ 중심어_국문 (3개 이상)</b>	X 선	페로브스카이트	박막 트랜지스터	X선 센서
	X선 화소 센서	스캔 드라이버		
<b>⑥ 중심어_영문 (3개 이상)</b>	X-ray	Perovskite	Thin Film Transistor	X-ray sensor
	X-ray pixel sensor	Scan driver		

※ 국문으로 작성(영문핵심어 제외), 글자 수는 공백을 포함

## 수정보완 대비표

<b>과 제 명</b>	경사밴드갭을 가지는 perovskite 재료를 이용한 고속 파장 분해 x-ray detection		
<b>연구개발기관</b>	호서대학교	<b>연구책임자</b>	배병성

	수정보완사항	반영 여부 (또는 미반영 사유)	비고 (해당 Page)
1	<p>평가자 의견</p> <p>○ 한국의 대학에서 센서 회로기술을, 중국대학에서 센서 소자의 개발을 진행함.</p> <p>각 기관의 장점을 반영하여 역할 분담이 잘 되었음.</p> <p>단, 개발 목표의 상향 검토가 필요함.</p>	<p>(반영)</p> <p>-이동도 5 cm<sup>2</sup>/Vs --&gt; 10 cm<sup>2</sup>/Vs로 상향</p> <p>-동작전압 8V를 6V 이하로 상향</p> <p>-논문 SCIE 3편 --&gt; 5편으로 상향</p> <p>-특허 3건--&gt; 5건으로 상향</p>	p. 22, 26
2	○ 해당사항 없음	-해당사항 없음	

## 〈 연구 분야 〉

양식A103

코드구분	중심분야		관련분야1		관련분야2		관련분야3		관련분야4	
	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중
국가과학기술 표준분류	ED0108	50 %	ED0404	20 %	ED0405	10 %	LA0704	20 %		%
국가과학기술 표준분류 (적용분야)	Y09	100 %		%		%		%		%
과학기술 분야분류	G30110	100 %		%		%		%		%
6T 기술분류	020217	100 %		%		%		%		%
NTRM 분류	B01010 4	100 %		%		%		%		%
원천기술 개발분야	0955	40 %	0131	25 %	0133	15 %	0153	10 %	0723	10 %

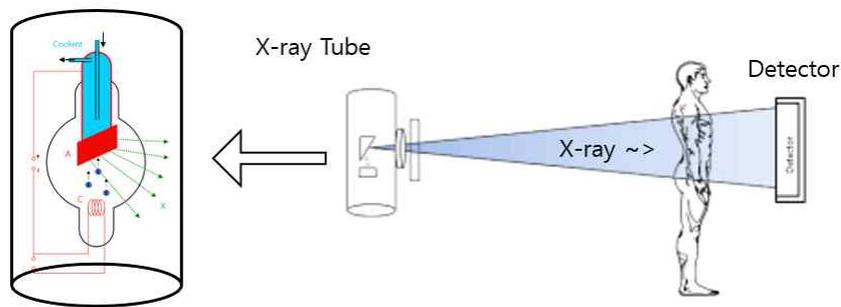
# 목 차

<b>1. 연구개발의 필요성</b> .....	<b>6 - 21</b>
1) 연구개발의 개요 및 중요성 .....	6 - 8
2) 연구개발 대상의 국내·외 현황 .....	9 - 13
3) 선행 연구의 내용 및 결과(해당 시 작성) .....	14 - 21
<b>2. 연구개발의 목표 및 내용</b> .....	<b>22 - 26</b>
1) 연구개발의 목표 .....	22
2) 연차별 연구개발과제의 내용 .....	22 - 25
3) 평가의 착안점 및 기준 .....	26
<b>3. 연구개발과제의 내용·방법·추진체계</b> .....	<b>27 - 29</b>
1) 연구개발과제의 추진전략·방법 .....	27
2) 연구 개발 추진체계·일정 및 주요 결과물 .....	28 - 29
3) 위탁연구 / 외부용역 (해당 시) .....	29
<b>4. 국제 공동연구 추진계획</b> .....	<b>30 - 33</b>
1) 추진배경 및 필요성 .....	30
2) 상대국 연구책임자 및 참여연구원 현황 .....	30 - 32
3) 공동연구 수행자(기관) 간 연구범위 및 역할분담 내용 .....	32
4) 상대국 매칭펀드(해당 시 작성) .....	33
5) 국제협력 교류계획 .....	33
6) 연구성과 배분계획 .....	33
<b>5. 연구개발성과의 활용방안 및 기대효과</b> .....	<b>33 - 35</b>
1) 연구개발성과의 활용방안 .....	33
2) 연구개발성과의 기대효과 .....	34 -35
<b>6. 연구자 및 연구개발기관 현황</b> .....	<b>36 - 43</b>
1) 연구책임자 현황 .....	36 - 39
2) 참여연구원 현황 .....	40
3) 위탁 연구책임자(해당 시 작성) .....	40 - 41
4) 연구개발기관 일반 현황 .....	42 - 43
<b>7. 연구개발비 사용에 관한 계획</b> .....	<b>44 - 46</b>
1) 연구개발비 총괄표 .....	44
2) 비목별 연구개발비 소요명세(당해년도) .....	44 - 45
3) 보안 등급의 분류 및 결정 사유 .....	45
4) 연구시설·장비 구축·운영계획(해당 시 작성) .....	45 - 46

# 1. 연구개발의 필요성

## 1) 연구개발의 개요 및 중요성

- X-ray는 파장이 상대적으로 짧은 전자기파로 큰 에너지를 동반하여 입사된다. 따라서 피사체에 조사되었을 때 대부분의 물질은 흡수하지 못하고 투과하게 되는데, 물질에 따라 투과되는 정도가 달라지는 원리를 이용하여 내부 투시 용도로 사용된다. 인체 역시 뼈와 생체조직의 밀도에 따라 투과도가 달라지기 때문에 의료장비산업에 주로 이용되어왔다.
- 그림과 같은 촬영 시스템에서, X-ray는 진공상태인 튜브 내의 필라멘트로부터 방출된 전자를 고압 가속 시킨 후 표적(target)에 충돌시켜 발생시키며 이때 표적에 충돌하는 전자의 에너지 중 대부분은 열로 소비되며 나머지 0.1%만이 X-ray로 변환되어 아주 적은 양이 X-ray 형태로 방사된다.



X-ray 촬영 시스템

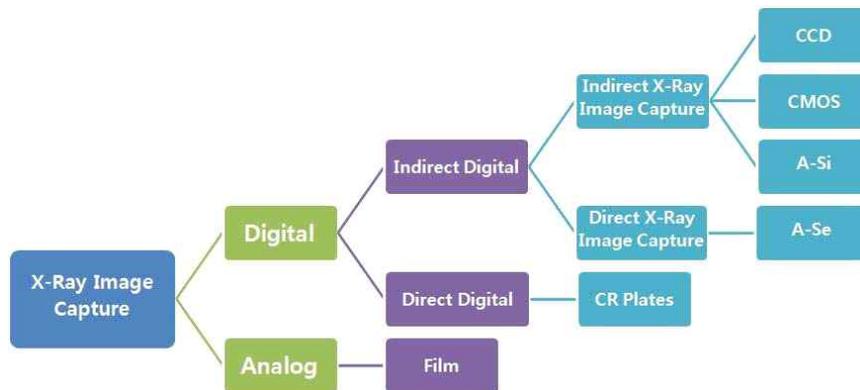
- 하지만 X-ray 같은 방사선은 물질을 투과하면서 주변 원자나 분자들을 전리시키기 때문에 인체에 조사될 경우 매우 위험하다. 방사선 피폭에 대해 생식기가 가장 치명적으로 영향을 받으며, 특히 임산부에게는 촬영 자체를 권장하지 않는다. 표는 방사선 피폭량을 보여 주고 있다.

표: 방사선 피폭량

	흉부 X-ray 1회	전신 CT 스캔	연간 피폭량 한도	급성 장애 발생
피폭량 [mSv]	1	10	20	100~250

- 일반적인 환자의 경우 한 회 진료 시 4~10장 정도의 촬영을 진행하는데, 이때 누적되는 방사선량은 한 장당 연간 방사능 안전 허용치의 1/20 수준으로 상당한 수준이 된다. 특히 방사선 검사 전문의 등 방사선에 노출되기 쉬운 근무자들에게서 피폭의 증후군들이 나타나기 쉬우며, 이에 대한 대책이 시급하다.
- 정밀검사의 경우는 CT나 MRI를 이용해야 한다. 하지만 CT는 최대 340개의 X-ray Tube를 이용하여 촬영하는 장비로 3차원 내부구조를 확인할 수 있으나 피폭량이 방대하고, MRI는 막대한 비용이 추가되기 때문에 많은 환자가 어려움을 겪는다.
- X-ray는 의료(Medical) 분야에서 신체 진단에 큰 역할을 하고 있지만, 일반산업 분야에서도 비파괴 검사 및 보안 분야에까지 적용되는 유용한 기술이다.

- 기존 아날로그 방식의 X-ray 영상 진단장치의 경우 필름상에 표시가 되며 저렴한 가격에 오랫동안 이용이 되어 왔으나 현상의 소요 시간, 보관 장소의 필요 및 자료 검색의 소요 시간이 길고, 실시간 및 동영상 전송/기록 문제의 한계점, 환경오염 등의 다양한 문제가 있다.
- 이에 반하여, 디지털 X-ray 영상 진단장치의 경우 X-ray 검출에 필름 대신 디지털 엑스선 검출기를 사용하며, 아날로그 시스템에 비해 영상의 보관 및 관리가 용이하여 필름 보관을 위한 공간이 필요 없다. 또한, 검출된 X-ray의 실시간 영상화 및 확인이 가능하다. 필름을 사용할 때와 달리 검출기는 반복적 사용이 가능하여, 폐기물에 의한 환경 문제가 없다.
- 디지털 방식의 X-ray 영상 진단장치는 그림과 같이 구분된다. 점점 디지털 방식으로 전화 되고 있다.



X-ray 센서 기술 분류

- X-ray의 이미징 과정에서 방출되는 X선의 양이 인체에 미치는 악영향에 대한 경고가 다수 제기되고 있으며, 이와 같은 문제를 줄이기 위한 여러 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 이러한 X-ray의 source뿐만 아니라 이를 감지하는 검출기(Detector)의 감도를 향상시켜 소신호로도 감도가 높은 화소 회로 개발을 통해 기존 대비 X 선량이 작고 선명한 영상을 구현할 수 있는 X-ray 진단장치에 대한 필요성도 높다.
- X-ray는 의료(Medical) 분야에서 신체 진단에 큰 역할을 하고 있지만, 아래 그림과 같이 일반산업 분야에서도 비파괴 검사 및 보안 분야에까지 적용되는 유용한 기술이다. 대표적으로 공항검색대가 있고 검색대용 X-ray 시스템은 보안상 정밀 촬영을 위해 방사선량을 높이는 방법을 사용하며 인체에 직접 조사되지 않아 방사선 쯤점은 없다고 봐도 무방하다. 하지만 측정 속도를 높이면서도 정밀한 X-ray 검출로 수속 시간을 단축할 수 있으며 많은 비파괴 검사에도 저선량으로 종사자의 피폭 위험성을 감소시킬 수 있다.



의료용 영상진단기기



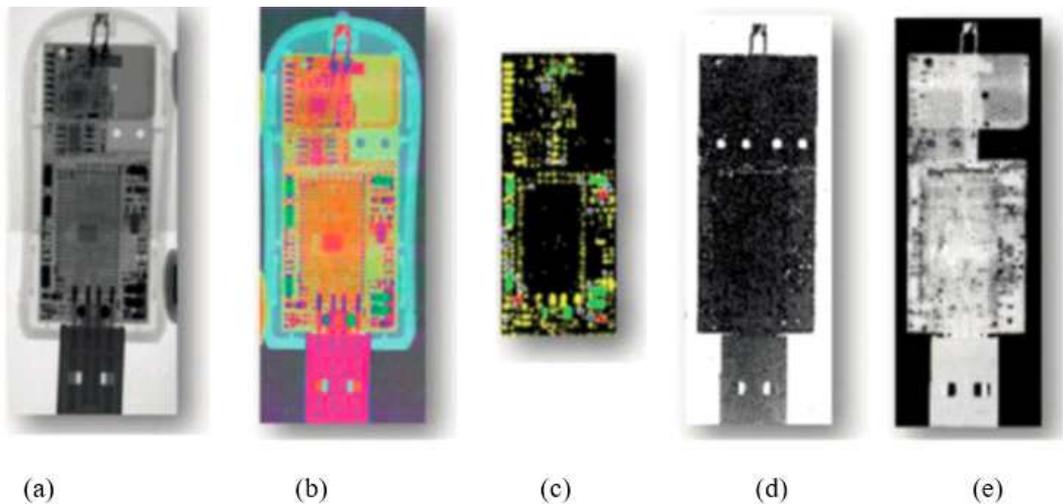
산업용 비파괴검사기기



보안용 검색기기

X-ray 응용제품

- 대면적의 경우에는 박막 트랜지스터 백플레인을 이용하는 검출기가 개발되어 상용화가 되고 있으며, 보다 감도가 좋고 고해상도가 가능한 화소 센서 회로는 낮은 X 선량에서도 감도가 좋은 X선 이미지 센서를 가능하게 하여 관련 회로의 핵심 지적 재산을 확보할 필요가 있다.
- 본 연구에서는 perovskite single crystal 성장에 의한 좋은 감도의 X-ray PIN 센서를 개발하고 이에 적합한 화소 센서 회로를 개발하여 낮은 X선량에서 좋은 이미지를 구현하는 기술을 연구 개발한다.
- 대상의 보다 자세한 정보를 얻기 위해서는 X선의 intensity 뿐 아니라 파장도 검출이 되는 것이 필요하지만 X-ray 에너지가 높아 각 공간분리된 센서구성이 어려우며 결정에 의한 회절을 이용하여 파장을 분리하여 측정하게 되어 비용이 많이 들고 부피가 증가하며 속도가 느리다.
- 포톤 카운팅을 이용한 X-ray spectral detection 이 유용하며[1,2] 서로 다른 threshold 값을 이용하여 X-ray의 파장(에너지)을 측정할 수 있다. EU의 Horizon 프로그램에 의한 HEXITEC project 결과를 다음 그림이 보여 주고 있다. X-ray spectral detection에 의해 각 파장별 색상으로 전환하여 볼 수 있다.[3]

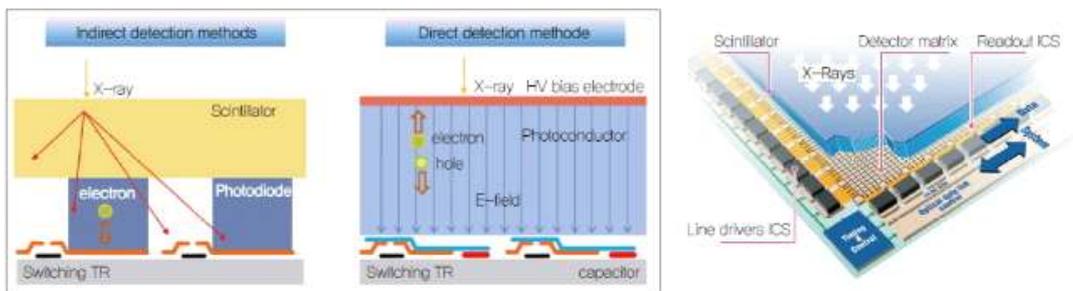


HEXITC 프로젝트의 spectral X-ray detection, a)기존의 X-ray detector, (b)기존의 pseudo-color 에 의한 사진, c-e) spectran x-ray detection 에 의한 검출 (X선 에너지가 색으로 변환되어 표시되었다).

- 최근 perovskite 결정이 X-ray detection 소자로 연구가 되고 있으며 높은평균원자번호, 높은 이동도, 긴 carrier life time 이 장점으로 감도가 좋은 X-ray detector를 확보할 수 있다.

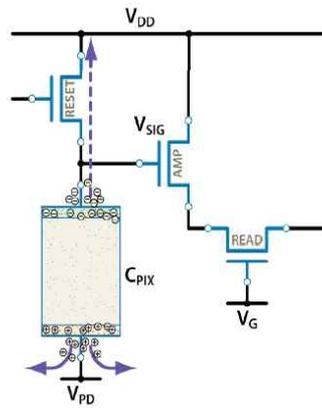
## 2) 연구개발 대상의 국내·외 현황

- X선 영상 획득 장치는 간접 이미징 방식과 직접 이미징 방식으로 구분된다. 간접 방식은 X-Ray가 신틸레이터 (Scintillator)를 거쳐서 가시광으로 변환한 뒤 포토-다이오드에서 디지털 정보로 변환되는 것이고, 직접 방식은 가시광이라는 중간 단계 없이 X선을 직접 광도전체 (Photoconductor)를 통해 디지털 정보로 변환하는 것이다. 직접변환 방식의 검출 소자로 사용되고 있는 것으로 a-Se, CdZnTe, HgI2 등이 있다.
- 간접변환 방식을 사용하는 이유는 직접변환 방식에서 X선의 흡수량이 상대적으로 떨어져 두꺼운 scintillator를 이용하여 흡수량을 높여 성능을 향상하는 것이 목적이다. 가시광으로 변환이 되므로 CCD (charge coupled device)나 CMOS image sensor 등으로 이미지를 얻을 수 있으며 유리 기판에 a-Si:H TFT등으로 센서 어레이를 형성하여 이미지를 얻을 수 있다. Scintillator는 박막 형태의 Gadolinium Oxysulfide ( $Gd_2O_2S$ )나 마이크로 기둥형 또는 바늘 구조형의 CsI(Cesium Iodide) scintillator가 주로 사용되고 있다.
- Scintillator와 CCD나 CMOS image sensor를 이용하는 X-ray detector는 부피가 커지는 단점이 있으며 평판형은 얇게 센서가 제작되는 장점이 있다. 그림은 기판 위에 트랜지스터로 집적되어 제작되는 평판형 센서 어레이를 보여 주고 있으며 scintillator에 의한 간접 방식과 a-Se 과 같은 광도전체를 이용하는 직접 방식이 있다. 직접 방식은 그림에 나타난 바와 같이, 기판에 TFT 형식의 판독 회로가 형성되어 있고 그 위에 빛을 전류로 변환시키는 포토다이오드가 형성되어 있다.



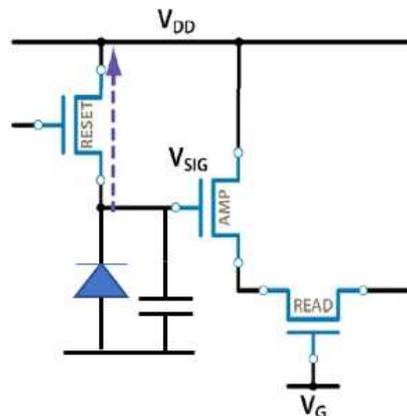
평판형 X-ray detector의 두 가지 방식, 직접 방식(좌)과 간접 방식(우)

- Direct 방식의 경우 입사 X선에 의해 형성되는 전하량에 의한 전압의 변화를 트랜지스터에 의해 read out 하게 되며 그림과 같이 구성하는 것이 일반적인 화소 센서 구성이다. Reset 트랜지스터에 신호를 초기화하고 입사 X선에 의한 전압의 변화를 AMP 트랜지스터에서 전류의 변화로 증폭하며 선택 트랜지스터인 read 트랜지스터에 의해 신호를 out 시킨다.



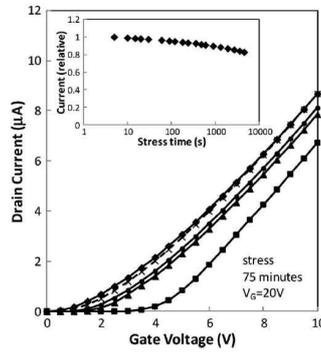
일반적인 직접 방식 센서 회로 예

- Scintillator를 이용하는 간접형의 경우에는 포토다이오드를 이용하게 되며 포토다이오드의 역방향 전류를 이용하여 빛의 밝기를 검출한다. 그림과 같이 reset 트랜지스터에 의해 초기전압을 인가하고 Scintillator에서 방출되는 가시광에 의하여 다이오드의 역방향 전류가 변하며 전기용량에 저장된 전하가 방전되며 변하는 전압을 앰프 트랜지스터로 증폭하고 read 트랜지스터가 온이 되어 선택될 때 외부로 출력이 된다.



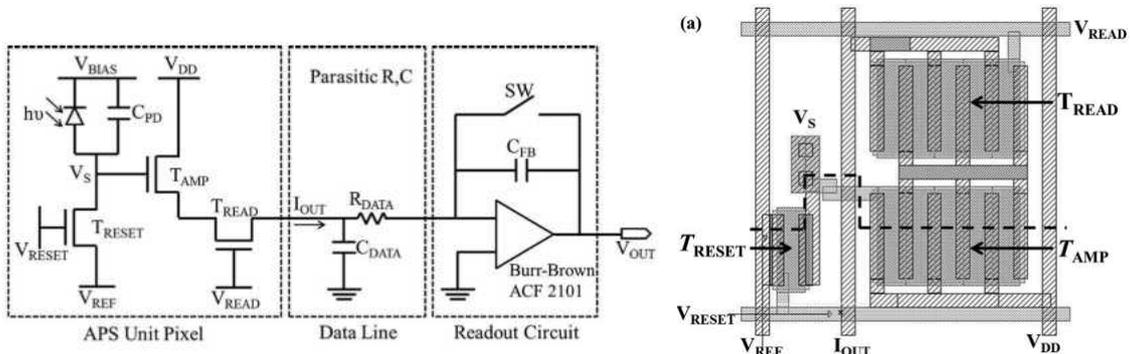
간접 방식 화소 센서 회로 예.

- Oxide TFT를 X-ray sensor에 이용하는 결과들이 발표되었으며 미국의 Palo Alto 연구 센터에서 플렉서블 용으로 연구결과를 발표 한 바 있다. Scintillator를 이용하는 간접 방식에 a-Si:H을 포토 센서로 사용하였으며 IGZO TFT를 사용하였다. 그림과 같이 시간에 따른 소자의 특성 변화를 보고 하였다. X-ray 센서에 적용함에 있어서 산화물 TFT의 특성 변화가 있어 검출 신호의 변동이 생김을 보고하였고 안정된 소자와 이를 보상하는 회로의 개발이 필요하다



트랜지스터의 특성 변화를 보여주는 그래프

- 2014년에는 미시간 대학에서 IGZO TFT를 이용하는 X-ray 센서 회로를 발표하였으며 그림과 같이 3개의 트랜지스터를 화소에 사용하였다. APS(active pixel sensor) unit pixel 부분이 화소 내의 회로이며 readout circuit은 외부에서 신호를 읽어내기 위한 앰프를 나타내고 있다. 오른쪽 그림이 화소의 레이아웃을 나타내며 3개의 트랜지스터로 구성이 되어 있다.

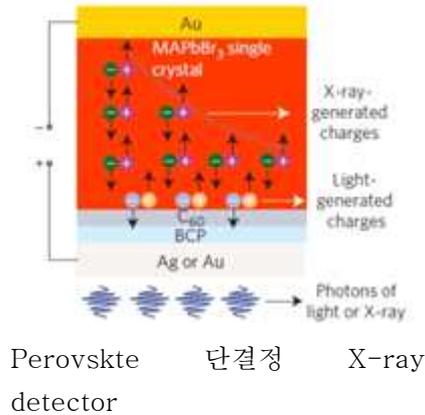


화소 센서 및 read out 회로

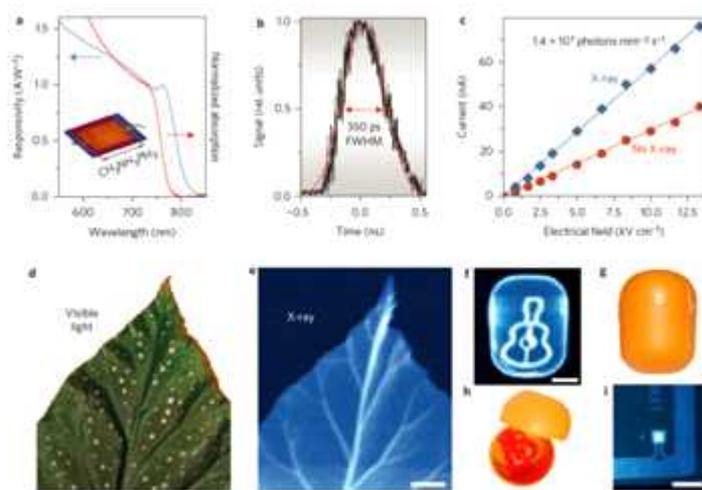
화소 레이아웃

- X-ray 시장의 80 %는 medical/dental/동물 병원용 등이고 20 %는 비파괴 검사시장이며 비파괴 검사 시장도 급성장하고 있으며 8 %이상 성장률에 중국 시장은 연 18 %의 고성장을 하고 있다.
- X-ray detector 용 백플레인은 하이디스가 문을 닫으면서 수입에 의존하며 공급이 어렵고 가격도 비싼 상황이며 X-ray detector의 사용 용도는 의료용 외에도 비파괴 검사 등 계속 증가하고 있으며 X-ray detector의 디지털화도 계속 진행되고 있어 시장이 점점 늘어나고 있다.
- 한국 모듈 제조는 Rayence, DRTECH, VIEWWORKS, SAMSUNG MEDICINE 등이 있으며, 대만 및 일본에서 사이즈에 따라 \$2,500에서 \$6,500에 연간 최소 \$100,000,000의 X-ray 용 백플레인을 수입하고 있다.
- X-ray detector의 수요는 의료 및 검사 등 다양한 분야에 걸쳐 있으며 소형부터 중 대형까지 다양한 수요가 있는 제품군으로 기존의 디스플레이 백플레인 기술을 국내에서 생산하는 X-ray detector 기업과 결합하여 시너지를 높이고 신규 시장을 창출 할 수 있다.
- 간접 방식은 Swissray, Trixell, Canon, GE Medical 등이 사업을 하고 있고 직접 방식은 Hologic, DRTECH 등이 사업을 하고 있다.

- Perovskite 재료를 이용하는 연구들이 진행되고 있으며 [4-6] 2015년 M. I. Saidaminov 그룹이 Perovskite 다결정 재료를 이용한 우수한 성능의 X-ray detector 연구 결과를 발표 하였으며 게인의 bandwidth는 108 Hz였고 2016년 H. T. Wei 그룹은 그림과 같이 외부 검출 양자효율 16.4%의 perovskite 단결정기반 X-ray detector 를 발표하였다[7].

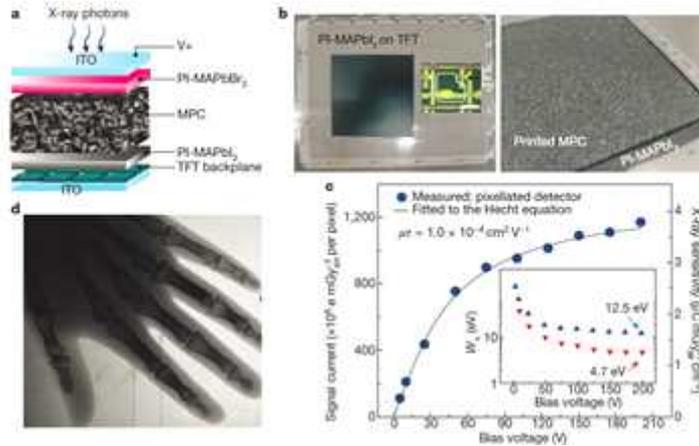


- 2015년 오스트리아의 Linz그룹에서는 원가를 낮춘 X-ray detector를 용액공정으로 개발하였으며 sensitivity 는  $25 \mu\text{C mGyair}^{-1} \text{cm}^{-2}$ , 양자효율은  $1.9 \times 10^4$  carriers/photon 이었다.[8]



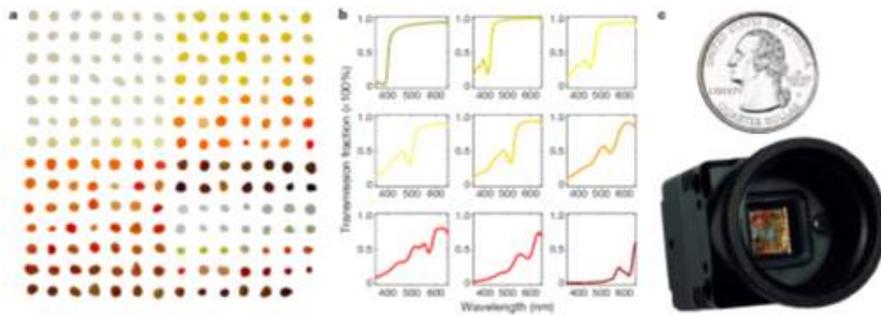
Perovskite 단결정 저원가 X-ray detector 개발[8].

- 2017년 삼성종합기술원에는 Perovskite 재료와 a-Si:H TFT 기판을 이용한 X-ray detector를 그림과 같이 세계 최초로 발표 하였다 [9]. Sensitivity는  $11000 \mu\text{C Gyair}^{-1} \text{cm}^{-2}$ , 이미지 해상도는  $3.1 \text{lp mm}^{-1}$ .



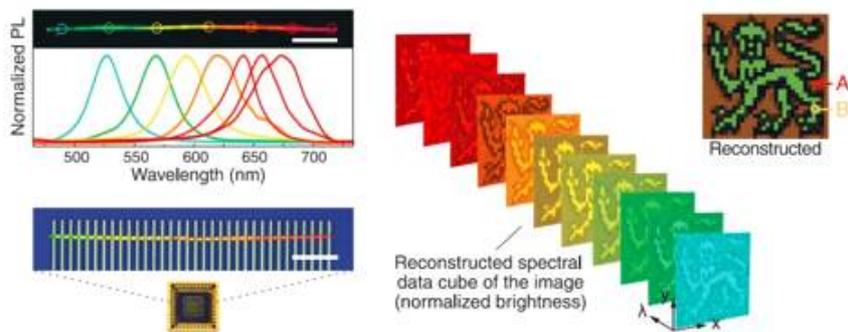
삼성중기원의 최초의 Perovskite X-ray detector

- 파장 분해 가능한 X-ray detector가 QD를 이용하여 그림과 같이 MIT 에서 발표되었으며 입사 X선의 스펙트럼이 WDM(wavelength division multiplexing) 방법으로 재구성되었다 [10].



Colloidal QD 필터와 hyperspectral imaging sensors

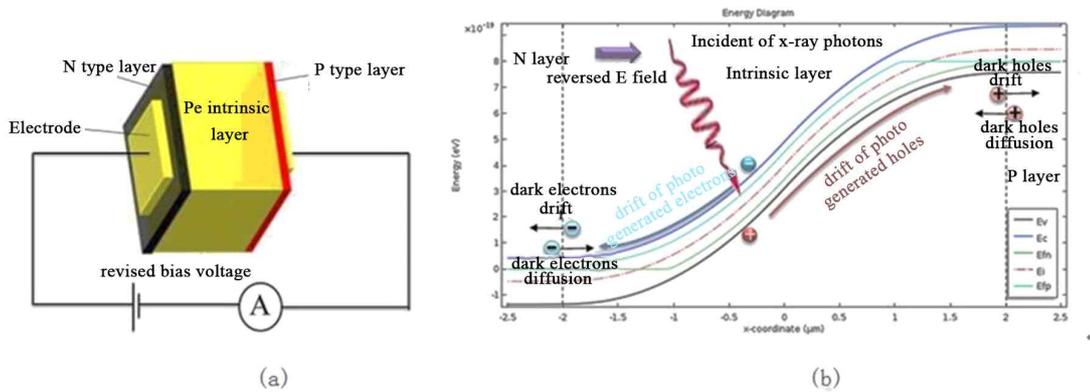
- 2019년에 Cambridge 그룹은 CdSxSe1-x 나노와이어를 이용하여 gradient band gap을 구성하고 그림과 같이 입사 X선 spectrum을 재구성하여 hyper spectral image를 얻었다 [11].



CdSxSe1-x 나노와이어를 이용하여 gradient band gap을 구성하여 개발한 X-ray spectral detector.

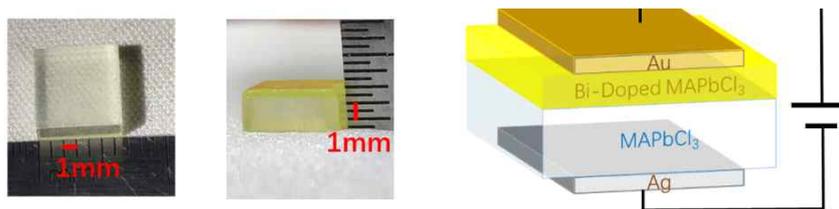
### 3) 선행 연구의 내용 및 결과(해당 시 작성)

- 용액 단결정 성장 및 결정 성장 중 도핑 법으로 개발한 Perovskite PIN 센서의 구조는 아래 그림 (a)와 같으며 소자의 에너지 다이어그램은 (b)와 같다.



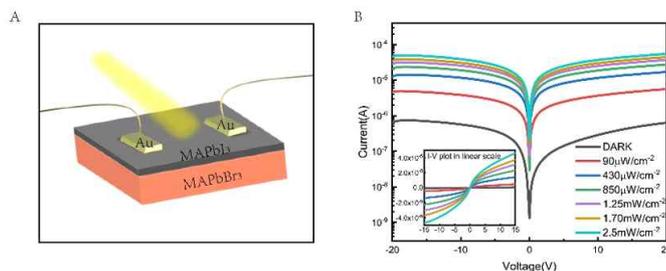
용액 단결정 성장 및 결정 성장 중 도핑 법으로 개발한 PIN 센서(a)와 에너지 밴드 다이어그램(b)

- 중국의 Southeast 대학에서는 오랫동안 포토닉스를 연구해 오며 그림과 같이 MAPbI3 perovskite 단결정 성장 및 UV 센서를 연구 개발한 실적이 있으며 재료의 물성을 조절하여 가시광에서 X선 까지 다양한 센서연구를 진행하고 있다.



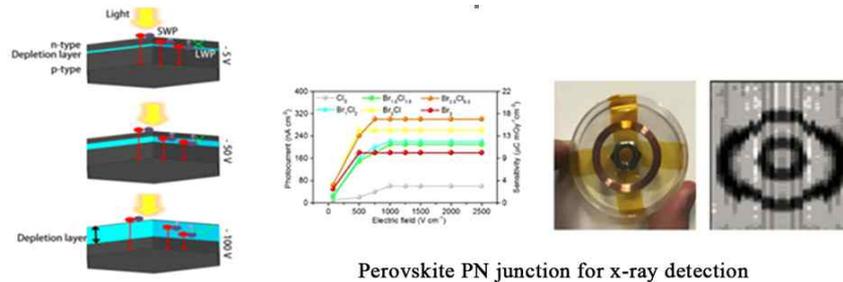
용액 단결정 성장 perovskite 소재와 이를 이용한 UV센서

- 개발 센서를 측정 평가한 결과는 아래와 같으며 입사 광량에 따른 전류 변화를 확인할 수 있다.



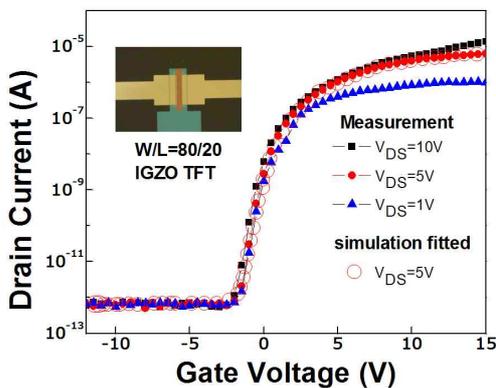
개발 센서의 광량에 따른 전류 변화 측정

- 그림은 pn 접합형의 X-ray 센서 개발 및 측정 평가 결과를 보여 주고 있다.



PN접합형의 X-ray 센서 소자 개발 및 평가 결과. 오른쪽은 X선 검사 이미지를 보여주고 있다.

- Sensor 회로를 구성하기 위한 핵심 요소인 TFT 소자들은 대부분 고가의 진공 장비를 이용하여 생산되고 있으며 높은 전자 혹은 정공 이동도를 요구하고 있다. 따라서 공정 단가가 낮고 전기적 특성도 우수하며 투명디스플레이에 적용할 수 있는 TFT로 Oxide TFT가 주목받고 있으며 소자 개발을 진행했다
- TFT 소자에서 채널 층 등을 형성하는 방법 중 진공증착방법은 뛰어난 막질을 확보할 수 있다는 장점이 있지만, 공정이 복잡하고 대면적화하기 어려우며 단가가 비싸다는 단점이 있어 최근에는 불필요한 재료의 사용을 줄여 비용을 절감할 수 있고, 균일도 및 공정 적용에 있어 대면적화에 유리한 용액공정을 개발하고 있다. Oxide TFT의 용액공정은 아직 연구 단계에 있으며 특히 용액공정을 이용한 공정 단순화, 저가격화, 고 이동도, 고신뢰성의 TFT는 연구 필요성이 높은 분야이다.
- 다음 그림과 표는 한국 측 group에서 절연막 용액공정으로 제작한 80 $\mu\text{m}$ 의 폭과 20 $\mu\text{m}$ 의 길이를 가지는 a-IGZO TFT의 현미경사진과 측정 결과이다. 제작된 a-IGZO TFT는  $V_{DS}=10\text{V}$ 일 때, S.S.(subthreshold swing) : 0.4 V/dec, 문턱 전압 : 0.37 V, 이동도 : 2.88  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  특성을 가진다.

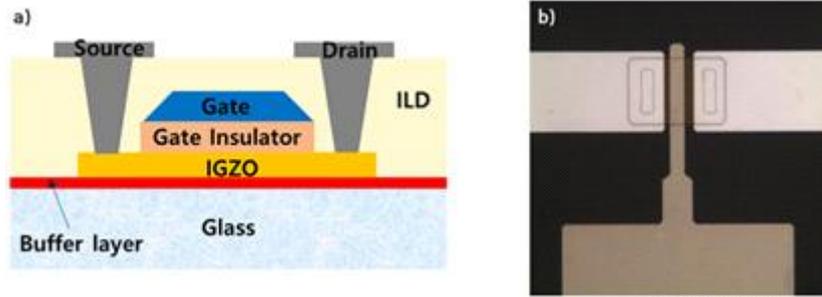


TFT I-V 트랜스퍼 curve

Parameter	a-IGZO TFT characteristic
Channel width ( $\mu\text{m}$ )	80
Channel length ( $\mu\text{m}$ )	20
Threshold voltage (V)	0.37
Mobility ( $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )	2.88
Sub-threshold swing (V/dec)	0.4
on/off ratio	$8.89 \times 10^6$

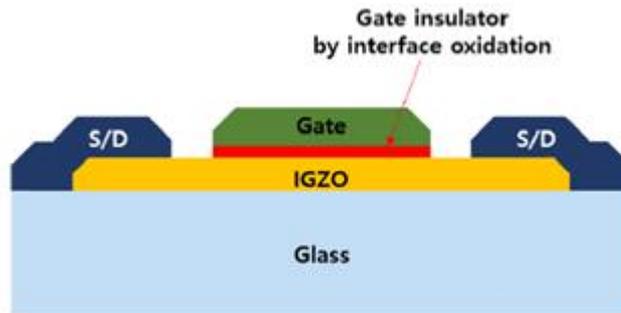
표 TFT Parameter

- SU-8 negative photoresistor를 사용하여 개발한 옥사이드 TFT의 단면 및 평면 구조는 그림과 같다.



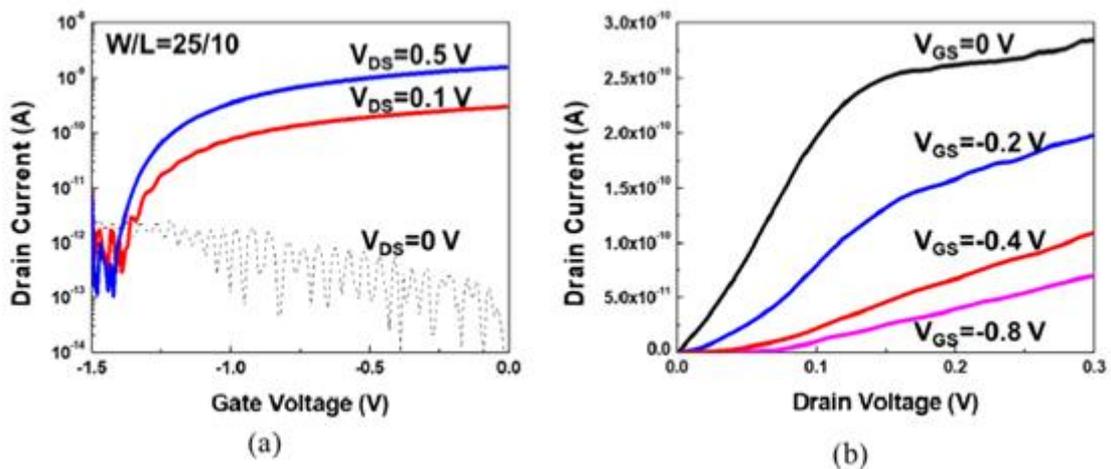
SU-8 negative photoresistor를 사용하여 개발한 옥사이드 TFT의 단면 및 평면 구조

- Mobile 기기 응용을 위해서는 저전력 소자가 중요하며 저전압 구동 산화물 TFT를 계면 산화를 이용하여 개발 하였다.[ I. H. Kang, S. O. Hwang, Y. J. Baek, S. G. Kim, Y. L. Han, M. S. Kang, J. G. Woo, J. M. Lee, E. S. Yu, and B. S. Bae, "Interfacial Oxidized Gate Insulators for Low-Power Oxide Thin-Film Transistors," ACS Omega 6 (4) , pp.2717-2726, 2021].



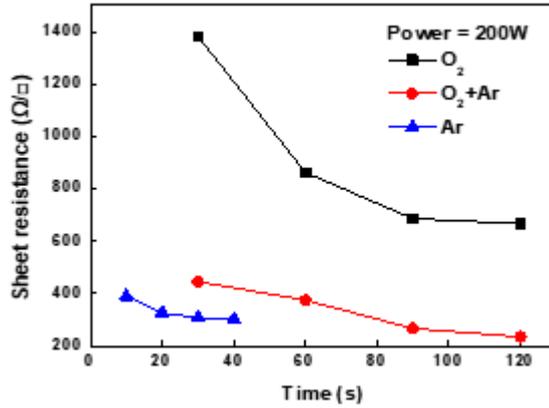
계면산화를 이용한 저전압 저전력 소자

- 그림과 같이 낮은 전압에서의 동작 특성을 확인 하였다.



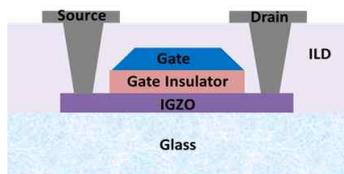
개발된 저전압 소자의 transfer 특성과 output 특성

- Top gate 구조에서는 소스 드레인 영역의 도핑이 중요하며 도핑 조건에 따라 소스 드레인 영역의 면저항을 최소화 하였다.



도핑 조건에 따른 면저항 변화

- 회로는 박막 트랜지스터로 구현이 되며 본 연구실에서 구현된 소자 구조와 제작 공정은 다음과 같다.



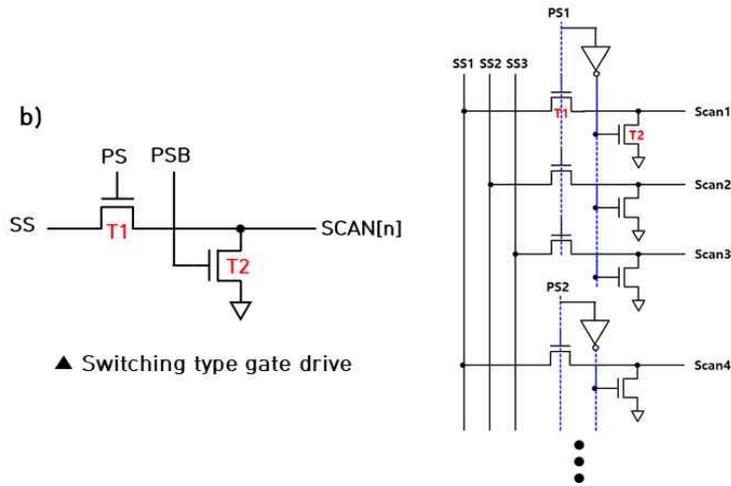
Process	Equipment	Material
Active deposition	2" Sputter	IGZO
Active Patterning	-	-
IGZO annealing	Furnace	-
Gate Insulator deposition	ALD	SiO <sub>2</sub>
Substrate cleaning	RIE	-
Gate deposition	4" sputter	Mo
Gate patterning	-	-
Gate insulator self-align	RIE	-
Doping	RIE	-
ILD deposition	ALD	SiO <sub>2</sub>
Contact hole patterning	RIE	-
Substrate cleaning	RIE	-
S/D deposition	4" sputter	Mo
S/D patterning	-	-
Annealing	Furnace	-

TFT 구조와 공정 순서

X선 센서 어레이와 유사한 지문인식센서 어레이를 개발한 바가 있으며 이러한 연구 경험을 바탕으로 X선 센서 어레이를 개발한다.

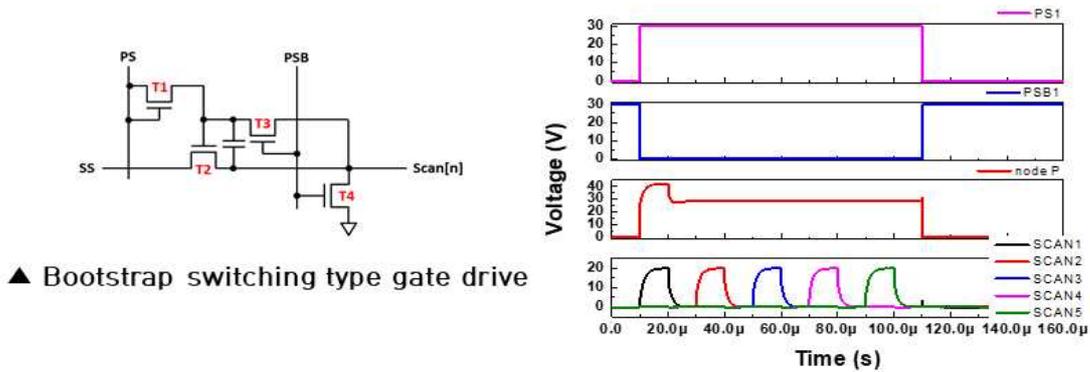
- 화소센서 배열의 신호를 읽기 위해서는 각각의 화소 신호를 순차적으로 처리할 수 있는 Scan driver가 필요하다. 스캔 드라이버는 외부 칩을 사용하여 부착하면 면적이 증가하고 실장성이 떨어지므로 배열된 화소 회로에 스캔 드라이버를 집적하여 구동하는 것이 필요하다. 회로가 단순하고 유연

기판에 적합한 디지털 스캔 드라이버를 아래 그림과 같이 구성하였으며 스위칭 타입으로 TFT 특성이 음의 방향이나 양의 방향으로 이동을 하더라도 구동에 문제가 없다는 것이 큰 장점이다.



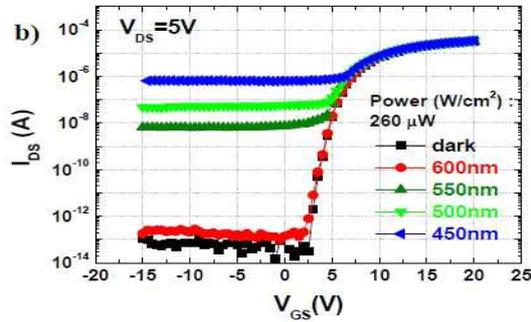
Switching type 디지털 스캔 drive 회로

Switching type 디지털 스캔 drive는 TFT 개수가 적고, 회로가 비교적 간단하며, 출력 전압이 플로팅 되는 경우가 없어 off 전압이 안정화되는 장점이 있다. 하지만, switching type의 스캔 드라이버는 출력 전류가 낮아 TFT의 Width, length가 증가하는 단점이 있으며 Oxide TFT는 N-type의 TFT로 게이트 전압이 상승하지 않으면 출력을 증가시키기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 아래 그림과 같이 새로운 회로를 제안하고 특허 출원을 완료하였다.



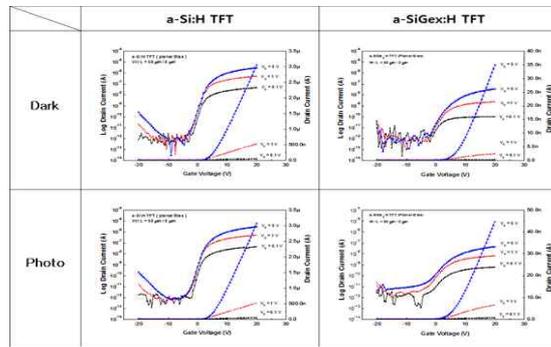
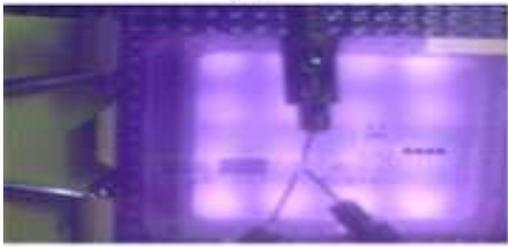
Bootstrap을 적용한 Switching type 디지털 스캔 drive 회로도 및 동작 시뮬레이션

- Switching type 디지털 스캔 drive에서 bootstrap을 적용하여 향상된 출력 전압과 안정적인 출력 특성을 보이는 회로를 구성하였으며 시뮬레이션을 통해 출력 특성을 확인하였다. bootstrap을 적용한 switching type 디지털 스캔 drive는 박막 트랜지스터와 배선 저항의 특성이 변하더라도 출력 신호의 손실 또는 변형이 적고, 게이트 전위가 플로팅(floating) 되는 경우를 방지하는 스캔 신호 구동 장치를 제공하는 효과가 있으며 임의의 지역을 선택적으로 스캔이 가능한 장점이 있다.
- TFT광센서 화소를 그림과 같이 개발 하였으며 외부광에 의한 포토전류의 변화에 의해 capacitor의 전압이 변하고 read out TFT를 이용하여 변화된 전압을 검출하는 방법이다. 그림은 파장 변화에 따른 포토 전류의 변화를 보여 주고 있다.



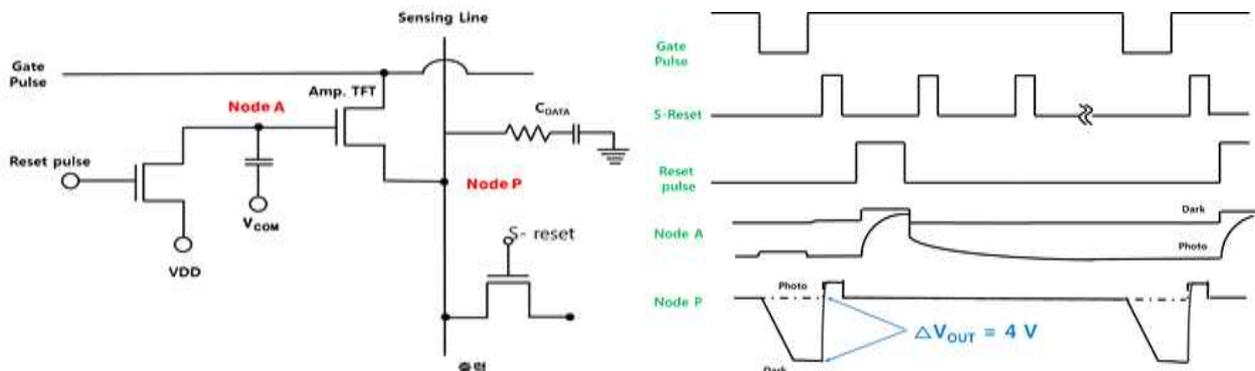
빛의 강도에 따른 a-Si:H TFT I-V 특성

그림은 암실 상태와 빛이 조사되는 상태에서의 광 반응도를 본 것이며 a-Si:H TFT는 850 nm의 IR LED의 영역에서 반응하지 않으나, a-SiGe<sub>x</sub>:HTFT는 850 nm의 IR 영역에서 반응하여 Transfer Curve의 Off영역의 전류 값이 증가하였다.



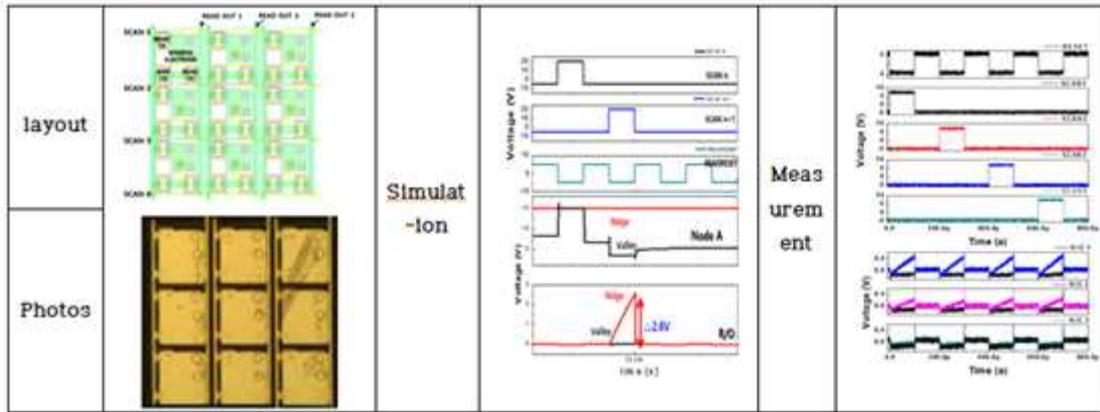
IR LED를 이용한 측정 시스템과 Transfer curve

아래 그림은 개발된 센서 회로이고 ‘광센서, 이를 포함하는 표시 장치 및 그 구동 방법(출원번호: 1020120013990)’ 로 특허 등록되었다. 기존 회로에서 switching TFT를 없애 소자의 수를 줄였고, amp TFT의 한쪽 단자를 sensing line에 연결하고 다른 한 단자를 전원과 게이트 라인에 연결이 되어 signal line도 하나 줄였다. 센서용 TFT의 광전류에 따라서 전압이 변하게 되어 출력 전압의 차는 4V로 기존의 회로보다 높게 출력되고, TFT와 signal line의 수를 줄여 개구율을 증대시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 화소 센서 회로를 X선 센서에 응용할 수 있다.



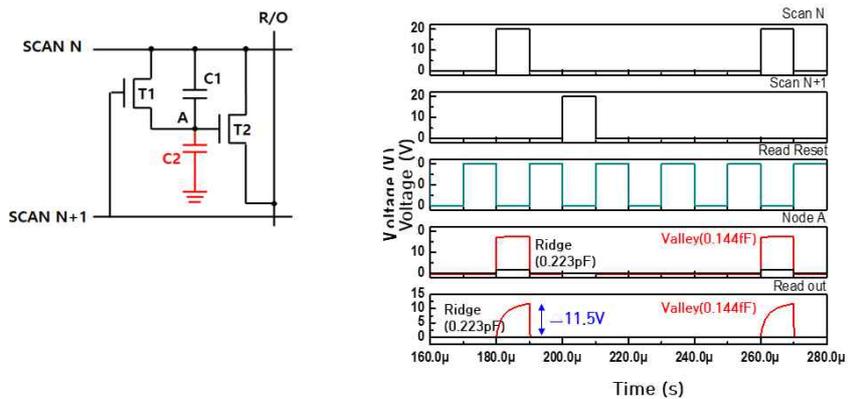
2TR 1C 센서 회로

○ 전기용량 방식의 지문인식 어레이를 그림과 같이 개발하였으며 화소 피치는 70 마이크로 미터 이다.



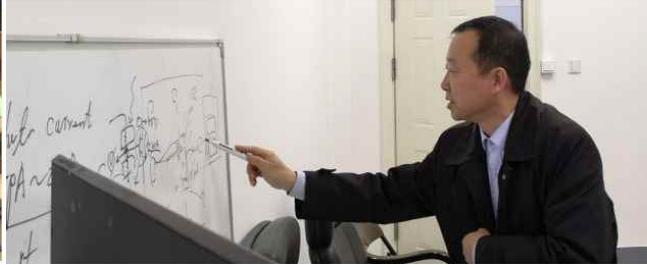
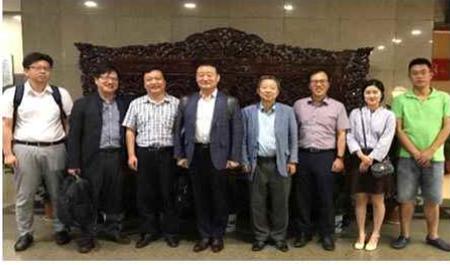
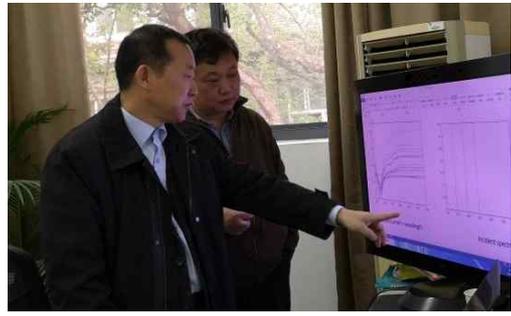
전기용량방식의 지문인식센서 어레이 개발, 화소와 구동 파형.

○ 아래 그림 회로는 Node A가 플로팅 되어 noise에 취약하지 않도록 하기 위해 TFT를 추가한 회로로써 Node A가 플로팅 되어 전압 변동이 생기는 것을 억제하기 위해 T1을 추가하였으며 다음 단의 스캔 전압이 입력될 때 T1이 on 상태가 되어 Node A가 기준전압으로 기입되어 전압 변동을 억제하도록 하고 있다. 시뮬레이션 결과이고 지문인식에 적용하였을 때 valley와 ridge의 전압 차가 11.5V로 시뮬레이션 되었으며 TFT와 signal line의 수를 최소화하여 미세화에 유리하며 구동이 간단하고 원가 절감형의 a-IGZO TFT 기반 센서이다. ‘이미지 스캔 가능한 표시 장치(출원번호: 1020150044067)’로 특허가 등록되었으며 이를 X선 센서 어레이에 응용하도록 한다.



센싱 안정도와 감도를 높인 회로와 시뮬레이션 결과

○ South East 대학을 방문 공동 연구 협력을 진행해 오고 있으며 사진은 남경 south east 대학 방문 시 발표 및 협의 사진.



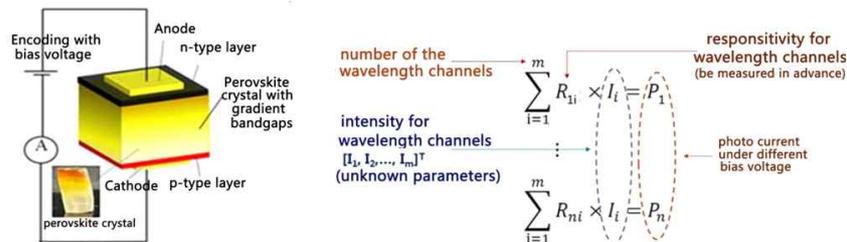
## 2. 연구개발의 목표 및 내용

### 1) 연구개발의 목표

최종 목표	○경사 밴드갭을 가지는 Perovskite 단결정을 이용한 X선 고속 spectral detection
연구 목표	○Detection sensitivity: $>1 \times 10^4$ mC/Gyair/cm <sup>2</sup> ○X-ray wavelength channel: $>20$ ○Error for the re-constructive wavelength channel: $< 10\%$ ○Detection speed: $> 100$ fps
성과 목표	○논문: SCIE 5편, KCI 3편 ○특허(원천기술 확보): 5건 ○학회발표: 3건 ○기술교류회: 3회

### 2) 연차별 연구개발과제의 내용

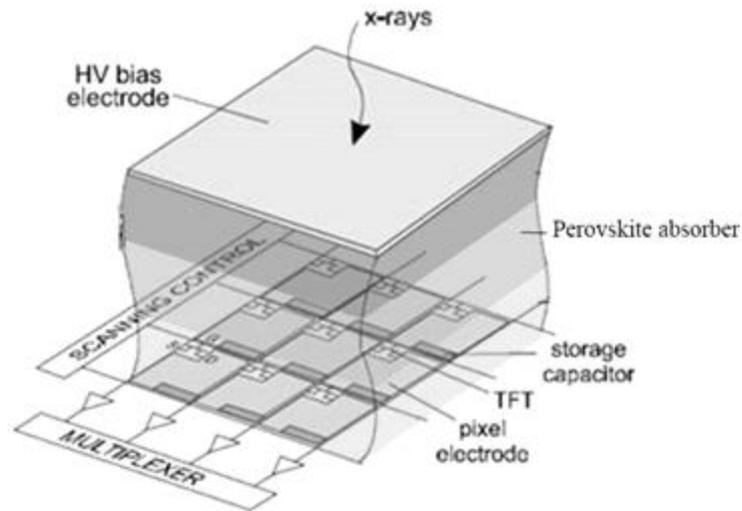
- 본 연구 과제는 속도가 빠른 X-ray spectral detector 개발로서 gradient band gap을 가지는 perovskite 단결정을 개발하고 적용한다. X-ray는 시간적분형으로 검출이 되며 wavelength channel은 바이어스 전압으로 encoding 되도록 한다.
- X-ray perovskite detector 로 부터 spectrum re-construction 하는 방법은 그림에 간단히 나와 있다.



X-ray perovskite detector 로 부터 spectrum re-construction 하는 방법

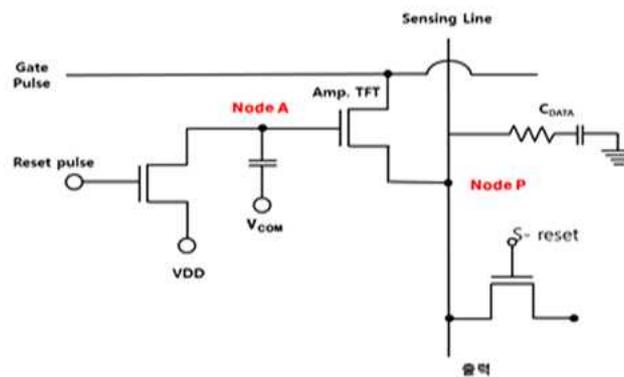
- 평판형 X-ray detector에는 흡수율이 좋은 X-ray 흡수막이 중요하며 perovskite single crystal (PSC)가 높은 X-ray 흡수율을 보이고 좋은 carrier 이동 특성을 가지고 있어 PSC X-ray 센서를 TFT 검출 회로와 결합하여 고효율 X-ray 센서를 개발한다.
- 고효율 X-ray 센서를 위해서는 X-ray가 완전히 흡수되어 전자/정공 쌍을 고효율로 생성하고 생성된 전자/정공 쌍이 양극과 음극으로 분리되어 완전히 수집이 되어야 한다. Perovskite single crystal은 무거운 원소들을 포함하고 있고 결정구조로 인해 X-ray detection 재료로 적합하다.
- X선 센서 소자의 결함들은 암전류를 증가시키고 노이즈를 발생시키고 재결합이 증가하여 효율을 떨어뜨리므로 액상 단결정 성장법을 이용한 단결정 PIN 소자를 개발하며 도핑은 액상 단결정 성장 중에 가능하도록 한다.
- 그림은 센싱된 신호를 읽어내기 위한 전체 구성을 보여 주고 있으며 개발된 X-ray 센서신호를

read out 하기 위한 화소 센서 회로가 필수적이며 증폭률이 높고 노이즈가 적으면서 배선 신호나 소자 수를 줄여 차지하는 면적이 작은 회로를 연구개발 한다.



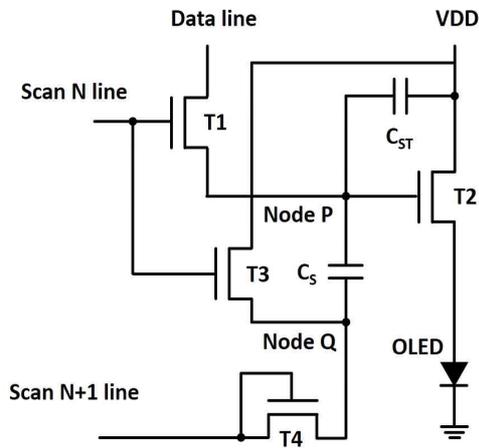
센싱된 신호를 읽어내는 전체 구성도

- 일반적으로 신호를 검출하는 화소 센서 회로는 3개 내지 4개의 트랜지스터로 구성이 되며 이보다 간단하고 성능이 우수한 화소 센서 회로를 개발한다.
- 산화물 트랜지스터는 저온폴리실리콘 트랜지스터보다 이동도가 작지만 a-Si:H 트랜지스터보다는 이동도가 높다. 공정은 a-Si:H와 같이 간단하여 공정 원가가 낮고 대면적에 적용하기에 편리하다. 또한, off 전류가 매우 작아 전하를 저장하는 스위치 소자로서 매우 효과적이다. 산화물 트랜지스터를 이용하여 화소 회로를 구성하며 보다 단순화된 구조이면서도 성능이 우수한 회로를 개발하는 것이 목표이다.
- 트랜지스터 수를 줄이면서도 구동 성능을 향상 시키는 방법으로 다음과 같은 방법을 제안하며 이를 포함보다 향상된 회로들을 연구한다. Node A 에 X-ray 센서가 위치하게 되며 스캔 펄스를 트랜지스터의 드레인에 연결하는 구조로 트랜지스터 하나를 줄인 화소 센서 회로의 예이다. S-reset은 외부 보드에서 진행되는 외부 소자이며 화소에는 2개의 트랜지스터가 사용된다.



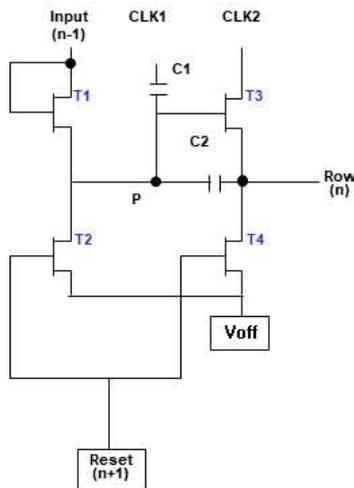
구성이 간단하면서 감도를 높이 제안 회로의 예.

- 산화물 트랜지스터를 사용하며 스트레칭 및 IR drop을 보상할 수 있는 OLED 화소 회로를 개발 하고 특히 출원 하였으며 X-ray 센서에 적합하게 발전 시켜 트랜지스터의 특성 변화를 보상 할 수 있도록 한다.



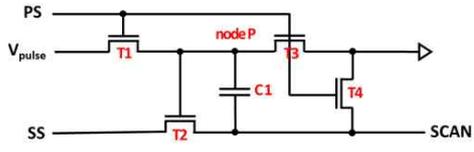
IR drop 및 스트레칭 보상 화소 회로

- IGZO TFT의 특성 변화를 보상하는 회로가 필요하며 외부 회로에서 여러 가지 보상 기능을 둘 수도 있지만, 화소 수준에서의 보상 기능을 연구한다. 시간에 따른 트랜지스터의 특성 변화는 여러 가지 화질의 불균일과 불량 현상을 유발할 수이므로 특성 변화를 보상하여 균일한 화면을 확보하도록 한다.
- 이러한 산화물 트랜지스터를 이용하는 X-ray 검출 화소 회로를 연구하고 화소 어레이를 구동하기 위한 기판 위 집적되는 스캔 드라이버를 연구한다. 이동도가 단결정 실리콘 웨이퍼처럼 높지 않고  $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  의 이동도를 가지는 산화물 트랜지스터를 이용하여 스캔 회로를 구성하기 위해서는 bootstrap을 이용하여 트랜지스터의 구동 능력을 향상 시키는 구조가 편리한데 그림이 일반적인 기본 개념이다.

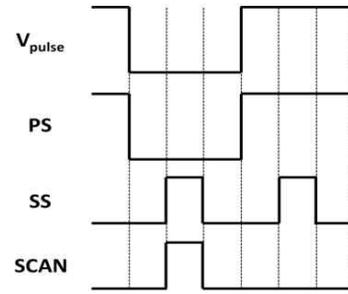


일반적인 스캔 단위 회로

- 위와 같은 일반 스캔 회로 구성은 한 스캔 유닛이 불량이 생기면 그 뒷 단의 모든 부분이 불량이 되며 선택적인 스캔이 어렵다. 본 연구에서는 임의의 지역 선택 스캔이 가능한 디지털 디코더 형의 스캔 드라이버를 개발한다.
- 그림과 같이 디코더 형의 스캔 드라이버를 개발하였으며 구동 파형을 같이 나타냈다. X-ray detector 용 스캔에 적합하게 완성을 시킨다.



(a)



(b)

개발된 디코더형의 스캔 드라이버회로(a)와 구동 파형.

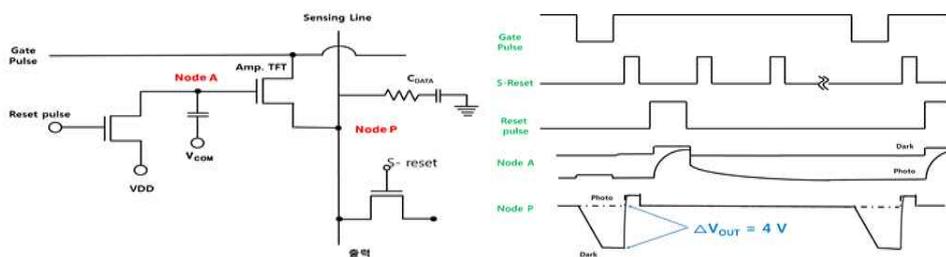
### 3) 평가의 착안점 및 기준

구분	세부 연구목표	평가주안점	평가기준
연차평가	1차년도 : <ul style="list-style-type: none"> <li>용액 단결정 성장 안정화 및 도핑 효율 향상</li> <li>화소 기본연구 및 TFT 공정 소자 안정화, 화소 센서 회로 및 스캔 회로 설계 및 시뮬레이션 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>안정된 성능의 용액 단결정 성장 소자, Gradient band gap 확보</li> <li>안정된 TFT 성능 및 감도가 향상된 화소 센서 회로와 임의 스캔 가능 스캔 회로</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PIN 동작 센서 확보 디텍션 레벨 20keV~140 keV</li> <li>TFT 확보 성능 제시 이동도 10cm<sup>2</sup>/Vs 이상</li> <li>임의 스캔 가능 스캔드라이버 시뮬레이션 및 제작 동작 검증</li> </ul>
	2차년도 : <ul style="list-style-type: none"> <li>용액 단결정 성장 PIN 소자 성능 향상, gradient band gap 센싱특성 최적화</li> <li>화소 센서 회로 및 스캔 회로 제작 및 평가 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PIN 소자 성능 향상 Gradient band gap 소자에 의한 x-ray spectral detection</li> <li>화소 센서 회로 및 스캔 회로 제작 및 성능 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detection sensitivity: &gt;1×10<sup>4</sup> mC/Gyair/cm<sup>2</sup></li> <li>Detection speed: &gt; 50 fps</li> <li>화소 센서 회로 및 스캔 회로 제작 실물 확보 및 동작, 동작 전압 &lt;10V</li> </ul>
	3차년도 : <ul style="list-style-type: none"> <li>고감도 용액 단결정 성장 gradient band gap PIN perovskite X선 spectral detection 소자</li> <li>화소 센서 회로 및 스캔 회로 성능 향상 및 X선 센서 집적 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>화소 센서 적용 gradient band gap PIN 센서 측정 및 spectrum reconstruction</li> <li>화소 센서 회로 및 스캔 회로 성능 향상 및 X선 센서 집적 성능 향상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>X-ray wavelength channel: &gt;20</li> <li>Detection speed: &gt; 100 fps</li> <li>화소 센서 회로 및 스캔 회로 제작 실물 확보 및 동작, 동작 전압 &lt;6V</li> </ul>
최종평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>고감도 용액 단결정 성장 gradient band gap PIN perovskite X선 spectral detection 소자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gradient band gap PIN perovskite 재료 성능</li> <li>X-ray spectral detection 달성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Detection sensitivity: &gt;1×10<sup>4</sup> mC/Gyair/cm<sup>2</sup></li> <li>X-ray wavelength channel: &gt;20</li> <li>Error for the re-constructive wavelength channel: &lt; 10%</li> <li>Detection speed: &gt; 100 fps</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>X선 소자에 적합한 고감도 저노이즈 화소 센서 회로 연구 개발</li> <li>X선 소자 어레이에 적합한 디지털 디코더 방식 스캔 회로 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>X선 소자와 결합 화소 센서 성능 평가</li> <li>X선 소자 어레이 제작 하여 디지털 디코더 방식 스캔 동작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>X선 소자와 결합 화소 센서 성능 만족: 32 x 32 array</li> <li>X선 소자 어레이 제작 하여 디지털 디코더 방식 스캔 동작: 32 x 32 array에서 스캔 동작 시연</li> <li>동작전압&lt;6V</li> </ul>

### 3. 연구개발과제의 내용 · 방법 · 추진체계

#### 1) 연구 개발 추진전략 · 방법

- 중국그룹에서 적은 X선량으로 고효율 발광이 가능한 용액 단결정 성장 Perovskite PIN 센서 소자를 개발하며 최종적으로 gradient band gap을 가지는 Perovskite X-ray 센서 소자를 개발 한다.
- 개발된 센서 소자는 호서대에서 평가 및 구동 적용 연구를 진행.
- 센서 어레이를 위한 화소 센서 회로 및 스캔 드라이버 회로 연구 개발은 호서대에서 진행하며 단위 화소와 PIN 소자를 결합하여 개발을 진행하고 최종적으로는 32 x 32 array에 적용 평가한다.
- Oxide TFT의 성능을 향상 시키고 안정화하며, 트랜지스터의 특성 파라미터를 이용하여 화소 센서 회로의 다양한 구성을 시뮬레이션을 통해 평가하고 트랜지스터의 수가 작아 고해상도에 적합하면서도 신호 감도가 좋은 회로를 개발하며 제작 평가하고 적용한다.
- 스캔 드라이버는 디지털 방식으로 임의 스캔이 가능하며 플렉서블에도 적합한 회로를 목표로 시뮬레이션을 통해 회로를 검증하고 최적 성능의 회로를 제작 평가하고 성능을 향상시킨다.
- 화소 센서에서 TFT 수를 줄이기 위하여 bootstrap 현상을 이용하며 대표적인 예는 그림과 같다. 출력 전압을 Node A로 정제환 되는 bootstrap 과정으로 센서의 감도를 향상 시키는 방법이며 포토다이오드에 대해서도 동일한 원리를 적용하도록 연구를 하여 회로 단순화를 실현한다. 그림의 bootstrap 응용 회로는 기존 회로에서 switching TFT를 없애 소자의 수를 줄였고, amp TFT의 한쪽 단자를 sensing line에 연결하고 다른 한 단자를 전원과 게이트 라인에 연결하여 signal line도 하나 줄일 수 있는 구조의 예이다. 그림에서 reset pulse가 인가되는 트랜지스터는 광전류에 따라서 저항이 변하는 포토 센서의 역할을 하고 있다.

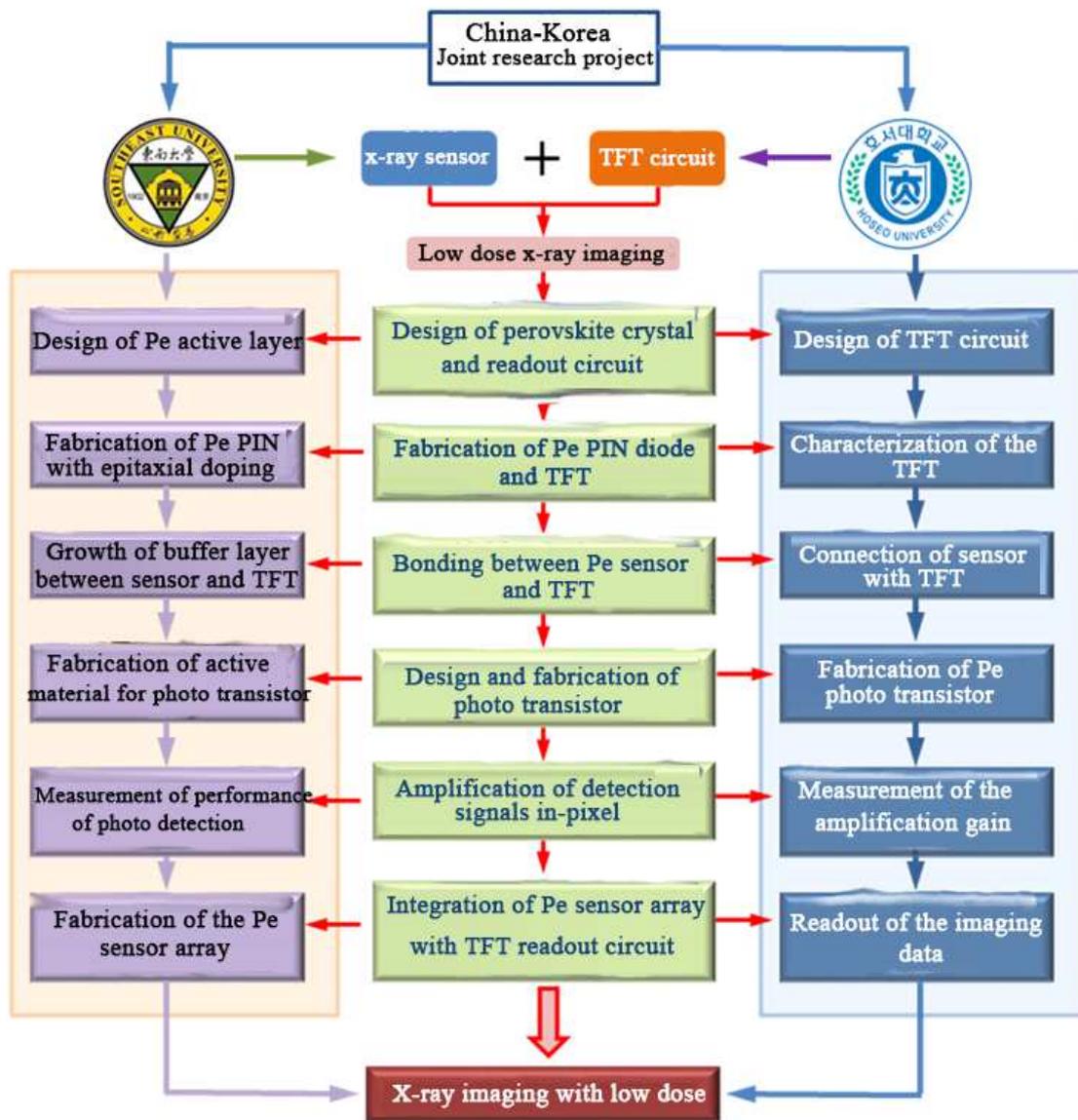


Bootstrap을 이용하는 센서 회로

## 2) 연구 개발 추진체계·일정 및 주요 결과물

- 한국그룹에서 pixel sensor circuit과 주변부에 사용될 집적 스캔 회로를 개발하며, 중국그룹에서 고효율 perovskite X-ray 센서를 개발하여 X-ray sensor array를 공동으로 개발한다.

	중국	한국
용액 단결정 성장 Perovskite PIN X선 소자	X-ray sensor 소자 개발	X-ray sensor 소자 적용
센서 및 회로 개발	X-ray sensor 평가	X-ray sensor 회로 적용 평가
센서 및 회로 성능 향상	X-ray 센서 성능 향상	X-ray 센서용 회로 성능 향상
32 x 32 array 적용	32x32 어레이용 X-ray 센서	X-ray 센서 32 x 32 array



추진 체계

- 센서와 회로 개발 및 검증을 바탕으로 32x32화소 array를 구성하여 성능을 평가한다.
- 과제 진행과 함께 양국 간의 방문 협의를 통해 공동연구를 논의 조정해 가며 이메일이나 화상회의 등도 활용하여 공동 연구가 효율적으로 진행이 되도록 하며 일정표는 다음과 같다.

○

구분	년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	추진일정			
				1분기 (1/4)	2분기 (2/4)	3분기 (3/4)	4분기 (4/4)
1차년도	2022	용액 단결정 성장도, 안정화 및 효율 향상	- 용액 perovskite 단결정 성장				
			- 단결정 성장 동시 도핑 진행				
		화소 기본연구 및 TFT 공정 소자, 화소 센서 회로 및 스캔 회로 설계 시뮬레이션 검증	- TFT 공정 소자 안정화				
			- 화소 센서, 스캔 설계				
2차년도	2023	용액 단결정 성장 PIN 소자 성능 향상	- 용액 단결정 소자 PIN 소자 확보				
			- PIN 소자 성능 평가, 향상				
		화소 센서 회로 및 스캔 회로 제작 및 평가 검증	화소 센서 회로 제작 평가				
			스캔 회로 제작 평가				
3차년도	2024	화소 센서 적용 PIN 소자 성능 평가 및 향상	array 용 PIN 센서 제작				
			array 용 PIN 센서 평가 성능 향상				
		화소 센서 회로, 스캔 회로 성능 향상 및 X선 센서 집적 평가	화소 센서/스캔 일체형 개발				
			회로와 센서 집적				

3) 위탁연구 / 외부용역 (해당 시)

구분	과제명	발주기관	수행자	수행기관	위탁 또는 용역 필요성	위탁 또는 용역 목표 및 내용	연구기간	소요금액 (천원)
위탁 연구							YYYY.MM~Y YYY.MM	
외부 용역								

#### 4. 국제 공동연구 추진계획

##### 1) 추진배경 및 필요성

- 중국 South East 대학에서는 오랫동안 Perovskite 기반의 센서를 연구 해 왔으며 공동 연구를 통해 관련 센서 기술을 확보하고 보다 우수한 성능과 다양한 응용을 위해 X-ray spectral detection 기초 연구를 진행 할 필요가 있다.
- 호서대학에서는 박막트랜지스터 클린룸 시설을 보유하여 TFT및 TFT회로와 센서를 연구해 오고 있으며 공동연구를 통하여 X-ray 센서에 활용하여 X-ray detector 관련 기초 원천 기술을 확보할 필요가 있다.

##### 2) 상대국 연구책임자 및 참여연구원 현황

###### (1) 상대국 연구책임자 인적사항

양식A104								
국가명	연구기관명	성명	전공	직위	e-mail	신청액(천원)	신청기간	확정기간
국가코드						확정액(천원)		
중국	South East University	Lei Wei	전자공학	교수	lw@seu.edu.cn		2022-09	2022-09
CC							2025-08	2025-08

###### (2) 상대국 연구책임자의 주요 이력(주요 논문, 수상실적, 주요 경력 등)

기 간	근무기관명	직급 및 직위
1993 - 1994	The department of electronic engineering, Southeast University	Assistant professor
1994 - 1996	The department of electronic engineering, Southeast University	Lecturer
1996 - 2000	The department of electronic engineering, Southeast University	Associate professor
2000 - 2008	The school of electronic science and engineering, Southeast University	professor
2008 - 2012	The school of electronic science and engineering, Southeast University	professor and vice dean
2012 - 현재	Academic affair office, Southeast University	professor and director
General secretary of Chinese association of Display Technology		
General secretary of Chinese Vacuum society of Jiangsu Province		
Vice director of chinese association of vacuum nano electronics		
Member IEEE Society (Electron Device), Member of SID		

(1) 전문학술지 논문실적 (계재 Journal)

List of joint publications:

1. Yan, S. K.; Tang, S.; Luo, M. M.; Xue, L.; Liu, S. L.; Elemike, E. E.; Bae, B. S.; Akram, J.; Chen, J.; Zhao, Z. W.; Zhu, Z. Y.; Zhang, X. B.; Lei, W\*; Li, Q\*, Surface passivation by congeneric quantum dots for high-performance and stable CsPbBr<sub>3</sub>-based photodetectors, *Journal of Materials Chemistry C*, 9, 31, 10089-10100, 2021
2. Pan, Y. Z.; Wang, X\*; Zhao, J. D.; Xu, Y. B.; Li, Y. W.; Li, Q.; Zhang, X. B.; Zhao, Z. W.; Zhu, Z. Y.; Jing, C.; Jun, W.; Emeka E. E.; Bae, B. S.; Lei, W; Photodiodes based on a MAPbBr<sub>3</sub>/Bi<sup>3+</sup>-doped MAPbCl<sub>3</sub> single crystals heterojunction for the X-ray detection, *Crystengcomm*, 23, 28, 4954-4962, 2021
3. Zhao, J. D.; Wang, X\*; Pan, Y. Z.; Xu, Y. B.; Li, Y. W.; Chen, J.; Wu, J.; Li, Q.; Zhao, Z. W.; Zhang, X. B.; Akram, J.; Bae, B. S.; Yang, H. N.; Lei, W\*; Photo-Diodes Based on CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbCl<sub>3</sub> Perovskite Single Crystals by Epitaxial Growth for Ultraviolet Photo-Detection, *Frontiers in Physics*, 9, 659782, 2021
4. Xu, Y. B.; Wang, X\*; Zhao, J. D.; Pan, Y. Z.; Li, Y. W.; Elemike, E. E.; Li, Q.; Zhang, X. B.; Chen, J.; Zhao, Z. W.; Akram, J.; Bae, B. S.; Bin, S. H. D.; Lei, W\*; Solution-Processed Epitaxial Growth of MAPbI<sub>3</sub> Single-Crystal Films for Highly Stable Photodetectors, *Frontiers in Materials*, 8, 651957, 2021

2019-2020 실적

1. Xu, Y. B.; Wang, X. ; Pan, Y. Z.; Li, Y. W.; Elemike, E. E.; Li, Q. ; Zhang, X. B. ; Chen, J. ; Zhao, Z. W.; Lei, W\*, Perovskite Photodetectors Based on p-i-n Junction With Epitaxial Electron-Blocking Layers, *Frontiers in Chemistry*, 8, 811, 2020
2. Pan, Y. Z.; Wang, X.; Xu, Y. B.; Li, Y. W.; Elemike, E. E.; Shujia, A.; Li, Q.; Zhang, X. B.; Chen, J.; Zhao, Z. W.; Lei, W\*, Enhanced performance of perovskite single crystal photodiodes by epitaxial hole blocking layer, *Frontiers of Chemistry*, 8, 791, 2020
3. Hussain, S.; Subramanian, A. ; Yan, S. K.; Din, N. ; Abbas, G. ; Shuja, A.; Lei, W\*; Khan, Q., Engineering Architecture of Quantum Dot-Based Light-Emitting Diode for High Device Performance with Double-Sided Emission Fabricated by Nonvacuum Technique, *ACS Applied Electronic Materials*, 2, 8, 2383-2389, 2020
4. Pan, J. Y.; Fang, F.; Xie, J.; Wang, L. X.; Chen, J\*; Chang, J. H.; Lei, W\*; Zhang, W.; Zhao, D. W., Synergistic Effects of Charge Transport Engineering and Passivation Enabling Efficient Inverted Perovskite Quantum-dot Light-emitting Diodes, *Journal of Materials Chemistry C*, 8, 16, 5572-5579, 2020
5. Wang, X\*; Li, Y. W.; Xu, Y. B.; Pan, Y. Z.; Zhu, C. Y.; Zhu, D. J.; Wu, Y.; Li, G. W.; Zhang, Q.; Li, Q.; Zhang, X. B.; Wu, J.; Chen, J\*; Lei, W\*, Solution-Processed Halide Perovskite Single Crystals with Intrinsic Compositional Gradients for X-ray Detection, *Chemistry of Materials*, 32, 12, 73-4983, 2020
6. Weng, Z. J.; Zhao, Z. W.; Fang, Y. ; Jiang, H. L. ; Lei, W., Analysis of the conductive behavior of a simplified sediment system and its computational simulation, *International Journal of Sediment Research*, 35, 3, 249-255, 2020
7. Fang, F.; Liu, M. J.; Chen, W.; Yang, H. C.; Li, Y. Z.; Li, X.; Hao, J. J.; Xu, B.; Wu, D.; Cao, K.; Lei, W.; Mueller-Buschbaum, P.; Sun, X. W.; Chen, R.; Wang, K\*, Atomic Layer Deposition Assisted Encapsulation of Quantum Dot Luminescent Microspheres toward Display Applications, *Advanced Optical Materials*, 1902118, 2020
8. Wang, X.; Li, Y. W.; Xu, Y. B.; Pan, Y. Z.; Wu, Y.; Li, G. W.; Huang, Q. Q.; Zhang, Q.; Li, Q.; Zhang, X. B.; Chen, J\*; Lei, W\*, Ion Migrations in Lead Halide Perovskite Single Crystals with Different Halide Components, *Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics*, 1900784, 2020
9. Wu, J\*; Du, Y. Q.; Xia, J.; Zhang, Y.; Lei, W.; Wang, B. P., A fluid-based active plasmonic grating filter, *AIP Advances*, 10, 1, 015147, 2020
10. Subramanian, A.; Akram, J.; Hussian, S.; Chen, J\*; Qasim, K\*; Zhang, W.; Lei, W\*, High-Performance Photodetector Based on a Graphene Quantum Dot/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> Perovskite Hybrid, *ACS Applied Electronic Materials*, 2, 1, 230, 2020
11. Li, YW; Wang, X\*; Li, GW; Wu, Y; Pan, YZ; Xu, YB; Chen, J; Lei, W\*, Fast Liquid Phase Epitaxial Growth for Perovskite Single Crystals, *Chinese Physics Letters*, 37, 1, 018101, 2020
12. Yan, SK; Li, Q\*; Zhang, X; Tang, S; Lei, W; Chen, J, A vertical structure photodetector based on all-inorganic perovskite quantum dots, *Journal of the Society for Information Display*, 28, 1, 9~15, 2020
13. Wang, LX; Pan, JY; Qian, JP; Liu, CJ; Zhang, W; Akram, J; Lei, W\*; Chen, J\*, Performance Enhancement of All-Inorganic Quantum Dot Light-Emitting Diodes via Surface Modification of Nickel Oxide Nanoparticles Hole Transport Layer, *ACS Applied Electronic Materials*, 1, 10, 2096, 2019

14. Elemike, EE\*; Onwudiwe, DC; Lei, W; Lou, CG; Zhao, ZW, Synthesis of nanostructured ZnO, AgZnO and the composites with reduced graphene oxide (rGO-AgZnO) using leaf extract of Stigmaphyllon ovatum, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 3, UNSP 103190, 2019
15. Liu, X\*; Li, CL; Dai, TF; Tao, Z; Zhou, WX; Lei, W; Chang, JH, Infrared Phototransistor Induced by MoS2 Quantum Dots Encapsulated in Lead Iodide Perovskite, *IEEE Electron Device Letters*, 40, 5, 746-749, 2019
16. Zhang, X; Li, Q\*; Yan, SK; Lei, W; Chen, J; Qasim, K, A Novel Phototransistor Device with Dual Active Layers Compositod of CsPbBr3 and ZnO Quantum Dots, *Materials*, 12, 8, 1215, 2019
17. Wu, J\*; Xia, J; Lei, W, Investigation on the wetting issues in solution processed quantum dot light-emitting diodes with inverted tandem structure, *Organic Electronics*, 67, 116~121, 2019
18. Khan, Q; Subramanian, A; Yu, GN; Maaz, K; Li, DL; Sagar, RUR; Chen, KQ; Lei, W; Shabbir, B; Zhang, YP\*, Structure optimization of perovskite quantum dot light-emitting diodes, *Nanoscale*, 11, 11, 5021~5029, 2019
19. Wu, J\*; Du, YQ; Xia, J; Lei, W; Zhang, T; Wang, BP, Optofluidic system based on electrowetting technology for dynamically tunable spectrum absorber, *Optics Express*, 27, 3, 2521~2529, 2019
20. Qasim, K\*; Zhang, XB; Khatri, NK; Xu, QS; Subramanian, A; Li, Q; Lei, W\*, A Color Tunable Quantum-Dot Light-Emitting Diode Device Driven by Variable Voltage, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19, 2, 1038~1043, 2019
21. Jiang, SG; Wang, X\*; Wu, Y; Li, YW; Zhang, Q; Li, GW; Wu, YJ; Zhang, W; Zhang, XB; Wang, BP; Chen, J; Lei, W, Balance lead in solution-processed CH3NH3PbBrxCl(3-x) single crystals for high performance X-ray detection, *Materials Letters*, 236, 26~29, 2019
22. Wu, J\*; Du, YQ; Xia, J; Zhang, T; Lei, W; Wang, BP, Dynamically Tunable Light Absorbers as Color Filters Based on Electrowetting Technology, *Nanomaterials*, 9, 1, 70, 2019
23. Zhang, ZC\*; Dang, J; Wu, L; Wang, HB; Xia, J; Lei, W; Wang, JZ; You, XH, Optical Mobile Communications: Principles, Implementation, and Performance Analysis, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68, 1, 471~482, 2019
24. Wang, X; Wu, Y; Li, GW; Li, YW; Wu, J; Zhang, XB; Li, Q; Wang, BP; Chen, J\*; Lei, W\*, Fabrication of Photodiodes Based on Solution-Processed Perovskite Single Crystals, *IEEE Transactions on Electron Devices*, 66, 1, 485~490, 2019

(3) 상대국 참여연구원 현황(성명, 소속, 직위, 전공 등 표로 명시)

연번	성명	소속 기관/부서	직위	전공
1	Lei Wei	South East University	Professor	Electronics
2	Zuoya Zhu	South East University	Professor	Electronics
3	Xin Wang	South East University	Professor	Electronics

3) 공동연구 수행자(기관) 간 연구범위 및 역할분담 내용

연구목표	한국 연구책임자 역할	상대국 연구책임자 역할
고효율 X-ray 센서	고효율 x-ray 센서의 평가	Perovskite 기반의 센서 개발
X-ray 센서 화소를 위한 박막 트랜지스터 개발	박막 트랜지스터 공정 개발	센서 개발 및 동작 특성 분석
X-ray 센서 화소 회로 및 스캔 드라이버개발	회로 설계 및 개발	개발 기관에 센서 형성

#### 4) 상대국 매칭펀드(해당 시 작성)

현금	현물
○ 상대국 정부에서 주는 예산 외에 별도로 예산이 확보되는 경우에 작성	
○ 현금/현물 모두 원화로 명기하되, 당초 화폐단위 및 기준환율 명시	
- 상대국의 연도별 연구비 및 비목별 간략 내역 :	
- 상대국 연구자가 받는 연구비의 지원기관 및 프로그램명 :	

#### 5) 국제협력 교류계획(인력교류, 공동개최 세미나 등을 구체적으로 명시)

- 1차년도 교류회 (2022. 하반기) : 호서대학교 주관 중국 SEU 1차 기술 교류회를 진행하며 이동이 어려울 시는 on 라인 교류회 실시. 중국 SEU 연구팀이 진행하는 x-ray sensor 기술에 대한 내용이 소개되며 한국 호서대의 APS 및 스캔 회로에 대해 소개 및 연구 방향과 일정에 대해 논의한다.
- 1차년도 2차 교류회 (2023. 상반기) : 중국 SEU에서 호서대학교를 방문하여 초기 연구 진행 내용 및 주요 일정과 결과에 대해 논의하며 이동이 어려운 경우에는 온라인 교류회 실시
- 1차년도 기술 세미나: 2023. 1월, 5월 개최
- 2차년 및 3차년도에도 연간 상반기 하반기 각 1회씩의 교류회와 각 1회씩의 공동개최 세미나를 개최

#### 6) 연구성과 배분계획(연구성과의 공유정도 및 배분계획 등 명시)

- 각 연구 결과는 각 기여 정도에 따라 공유를 기본으로 하며
- 지적 재산은 공동 출원하며
- 연구결과는 서로 공유 한다.

### 5. 연구개발성과의 활용방안 및 기대효과

#### 1) 연구개발성과의 활용방안

- 본 연구에서는 a-Si:H TFT와 공정방법은 유사하고 약 10배 이상의 높은 이동도를 갖는 Oxide TFT를 활용한 TFT array를 구성하여 Direct 방식의 X-ray 검출기를 사용함으로써 높은 이미지 품질의 X-ray 촬영 시스템을 구현하고 이를 의료기기 분야에 활용한다.
- 전 세계적으로 대유행인 코로나-19의 주요 증상 중 하나가 폐렴이고 이를 진단하기 위해 흉부 X-Ray 촬영이 필요하다. 또한, 환자의 상태를 지속적으로 확인하는데도 흉부 X-Ray 촬영이 사용된다. 따라서 국내 선별진료소를 비롯해 코로나19가 집중적으로 확산되고 있는 유럽과 미국 지역을 중심으로 X-ray 촬영의 수요가 증가할 것이다. 본 연구 개발로 단순히 방사선량을 감소시킬 뿐만 아니라 적은 방사선량에서도 정밀한 이미지의 출력이 가능하도록 하여 선량을 최소화한 X-ray 시스템을 구축할 수 있다. 따라서 인체 영향을 최소화하고 관련 장비의 경쟁력을 강화하여 의료장비산업에 기여 한다.
- 의료 분야뿐 아니라 검사, 보안 분야에도 응용할 수 있으며 연구 개발 성과를 적용하여 저선량 저

피폭 검출기로 개발한다.

## 2) 연구개발성과의 기대효과

- 기술적 측면: 본 연구의 목표는 기존 X-ray 촬영에 있어 방출되는 방사선량을 줄이며 X-ray 이미지 품질을 향상 시키는 시스템 개발이다. X-ray spectral detection 연구개발을 통해 X-ray detection 성능을 향상 시키고 응용 범위를 넓힌다. 일반적으로 흉부 X-ray 촬영 시 인체에 노출되는 방사선량은 1mSV 정도 되며, 연간 20mSV 이상의 방사능이 누적될 경우 인체에 영향을 미치게 된다. 따라서 최근 의료용 CT 촬영이나 X-ray 촬영에서도 방사능에 대한 경고가 다수 제기되고 있으며 이를 개선하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구 개발을 통해 X선 선량을 줄일 수 있게 되어 인체에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 또한 X-ray spectral detection 기초 원천 기술을 연구 개발 한다.
- 경제·산업적 측면: 본 개발 결과로서 선량을 최소화하면서 이미지 품질을 올린 X-ray 시스템을 구축 할 수 있어 관련 의료 장비의 경쟁력을 강화하여 의료장비산업 발전에 기여한다. X-ray 검출 회로는 자외선이나 가시광 등 다른 전자기와 검출 회로에도 응용 가능하여 X-ray 외의 이미징 분야에도 응용할 수 있다.
- 사회적 측면: 2019년 12월 중국 우한에서 처음 발생한 뒤 전 세계로 확산된, 새로운 유형의 코로나 바이러스에 의한 호흡기 감염질환인 COVID-19 검사의 경우 우리나라는 먼저 CT 나 X-ray에서 폐렴 증상이 보여야 코로나 검사를 할 수 있기 때문에 많은 사람이 X-ray 검사를 받고 있고 치료를 하면서 x-ray로 진단을 하기 때문에 본 연구로 감사받는 사람들과 방사선 관계 종사자들의 방사선 피폭량의 우려를 덜 수 있게 된다.

## [참고문헌]

- [1]. M.C. Veale, L.L. Jones, B. Thomas, P. Seller, M.D. Wilson, and et al., Improved spectroscopic performance in compound semiconductor detectors for high rate X-ray and gamma-ray imaging applications: A novel depth of interaction correction technique, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A 927, 37–45, 2019
- [2]. S. Pani, S. C. Saifuddin, F. I.M. Ferreira, and N. Henthorn, and et al., High Energy Resolution Hyperspectral X-Ray Imaging for Low-Dose Contrast-Enhanced Digital Mammography, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 36, 9, 1784, 2017
- [3]. S. D. M. Jacques, C. K. Egan, M. D. Wilson, M. C. Veale, P. Seller, and et al., A laboratory system for element specific hyperspectral X-ray imaging, *Analyst*, 138, 755, 2013
- [4]. H. T. Wei, D. DeSantis, W. Wei, Y. H. Deng, and D. Y. Guo, Dopant compensation in alloyed  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_{3-x}\text{Cl}_x$  perovskite single crystals for gamma-ray spectroscopy, *Nat. Mater.*, 16, 826, 2017
- [5]. D. M. Panneerselvam, M. Z. Kabir, Evaluation of organic perovskite photoconductors for direct conversion X-ray imaging detectors, *J Mater Sci: Mater Electron*, 28:7083–7090, 2017
- [6]. S. Yakunin, D. N. Dirin, Y. Shynkarenko, V. Morad, and et al., Detection of gamma photons using solution-grown single crystals of hybrid lead halide perovskites, *Nat. Photon.* 10, 585, 2016
- [7]. H. T. Wei, Y. J. Fang, P. Mulligan, W. Chuirazzi, H. H. Fang, and et al., Sensitive X-ray detectors

- made of methylammonium lead tribromide perovskite single crystals, *Nat. Photon.* 10, 333, 2016
- [8]. S. Yakunin, M. Sytnyk, D. Kriegner, et al., Detection of X-ray photons by solution-processed lead halide perovskites, *Nature Photonics*, 9, 444-449, 2015
- [9]. Y. C. Kim, K. H. Kim, D. Y. Son, et al., Printable organometallic perovskite enables large-area, low-dose X-ray imaging, *Nature*, 550, 87, 2017
- [10]. J. Bao, and M. G. Bawendi, A colloidal quantum dot spectrometer, *Nature*, 523, 67, 2015
- [11]. Z. Y. Yang, T. A. Owen, H. X. Cui, J. A. Webber, F. X. Gu, and et al., Single-nanowire spectrometers, *Science*, 365, 1017–1020, 2019

## 6. 연구자 및 연구개발기관 현황

### 1) 연구책임자 현황

#### (1) 인적사항

						양식A301		
성명	국문	배병성		생년월일	1962.11.16	성별	남	
	영문	Byung Seong Bae		연구자 등록번호	10158415			
직장	기관명	호서대학교		전화번호	041-540-5221			
	부서	전자디스플레이공학부		팩스번호	041-540-5618			
	직위	교수		휴대전화	010-3326-2658			
	주소	충남 아산시 배방읍 호서로 79번 길 20 제 2 공학관 503호		E-mail	bsbae3@hoseo.edu			
실무 담당자	성명	김승균	사무실 전 화	041-540-5221	휴대 전화	010-9475-7026	E-mail	hobbang106@naver.com

#### (2) 학력

취득연월 (최근 순으로 작성)	학교명	전공	학위	지도교수
1980~1984	서울대학교	원자핵공학	학사	
1984~1986	한국과학기술원	물리	석사	이주천
1986~1991	한국과학기술원	물리	박사	이주천

최종학위 논문명(해당 시) : 비정질 실리콘 박막 TFT의 특성 변화

(3) 주요 연구개발 실적 (3개 이내)

연구 제목	연구 내용	연구 기간	발표서적 또는 학술지명 (연호, 권호 포함)	연구 수행 당시의 소속 기관	역할 (연구책임자 또는 연구원)	연구비 지급 기관	비고
계면산화물 이용한 초저소비전력 수직구조 박막 트랜지스터 및 회로 개발	Interfacial Oxidized Gate Insulators for Low-Power Oxide Thin-Film Transistors	2017.6-2020-11	ACS Omega 2021, 6, 2717-2726	호서대학교 산학협력단	연구책임자	연구재단	
스트레처블 디스플레이를 위한 20%이상 신축성을 갖는 백플레인, 발광화소용 소재·소자·공정 원천 기술 개발	Capacitive Touch Sensor Pixel Circuit with Single a-InGaZnO Thin Film Transistor	2017.4-2020.12	J. Sens. Sci. Technol. 28 (2), pp.133-138, 2019	호서대학교 산학협력단	세부연구책임자	산업통상자원부	
RGB 색상 구현이 가능한 내부 투시 디스플레이 패널 개발	전기용량 화소 센서 회로{Capacitive Pixel Sensor circuit}	2019-9-2020-6	특허	호서대학교 산학협력단	총괄책임자	(재)충남테크노파크	

(4) 대표적 논문/저서 실적 (최근 5년간 5개 이내의 실적을 작성)

구분 (논문/저서)	논문명/저서명	게재지 (권, 쪽)	게재연도 (발표연도)	역할	ISSN	비고 (피인용지수)
논문	Effects of SOG Passivation Layers Annealed in Various Ambient Conditions on the Stability of Amorphous InGaZnO Thin Film Transistors	Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 17, 10, 7264-7269	2017	참여	1533-4880	1.987
논문	Development of oxide thin-film transistor using all spin-on-glass insulators with addition of hydrogen peroxide: Buffer, gate insulator, and interlayer dielectric	Jpn. J. Appl. Phys., 57, 126503	2018	교신	0021-4922	1.480
논문	Development of oxide thin-film transistor using all spin-on-glass insulators with addition of hydrogen peroxide: Buffer, gate insulator, and interlayer dielectric	Japanese Journal of Applied Physics, 57, 126503	2018	교신	0021-4922	1.452
논문	Interfacial Oxidized Gate Insulators for Low-Power Oxide Thin-Film Transistors	ACS Omega 2021, 6, 2717-2726	2021	교신	2470-1343	3.512
논문	Surface passivation by congeneric quantum dots for high-performance and stable CsPbBr <sub>3</sub> -based photodetectors	Journal of Materials Chemistry C, 9, 31, 10089-10100	2021	참여	2050-7534	7.393

(5) 현재 수행 중인 타 과제 현황

(단위: 천원)

양식A502					
성명	연구과제명	연구수행기관	참여시작일	참여개월수	참여율
연구자등록번호	부처명/사업명	참여유형	참여종료일	당해년도연구비	
배병성	정전용량 방식의 TFT 터치 센서가 집적된 OBBglass 투시 디스플레이 기술&제품개발	중소벤처기업부(R&D)	2021.08.31	12	10
10158415	중소기업기술정보진흥원/산학 연Collabo R&D(	세부과제책임자	2022.04.30	26,000,000	
배병성	중소형 롤러블 디스플레이 제품화를 위한 모듈 및 소재의 신뢰성 평가 시스템 개발	산업통상자원부(R&D)	2021.04.01	12	30
10158415	한국산업기술평가관리원(디스 플레이혁신공정플랫폼구축)/ 전자부품산업기술개발	세부과제책임자	2024.12.31	76,250,000	
배병성	플렉시블 QD OLED용 청색 발광체 및 친환경 양자점 색변환 잉크 소재 개발	산업통상자원부(R&D)	2020.06.01	12	10
10158425	한국산업기술평가관리원/소재 부품장비혁신 lab기술개발사업	세부과제책임자	2022.12.31	85,000,000	

(6) 본 연구개발과제와 동일 또는 유사한 과제를 타 기관에 신청하였을 경우

과제명	신청 대상기관	신청연구비 (천원)	연구기간	역할(연구책임자 또는 연구원)	비고
			YYYY.MM.DD ~ YYYY.MM.DD		

## 2) 참여연구원 현황

연번	소속 기관	직위	생년	전공 및 학위		연구 담당 분야	신규 채용 여부	타 국가연구 개발사업 참여율(%) [B]	본 과제를 제외한 국가연구 개발사업 참여 과제 수(건)
	성명	연구자 등록번호	성별	취득 연도	학위 (전공)	과제 참여 기간	본 과제 참여율 (%) [A]	전체 참여율 [A+B, %]	
1	호서대학교 산학협력단	교수	1962	1991	박사(물리)	설계	-	50	3
	배병성	10158415	남			2022.09~2023.08	20	70	
2	호서대학교 산학협력단	석사과정	1997	2022	학사(전자디스플레이)	공정	-	0	0
	김승균	12829635	남			2022.09~2023.08	50	50	
3	호서대학교 산학협력단	학사과정	1998	-	-	공정	-	26.83	2
	김민성	12777445	남			2022.09~2023.08	22.5	49.33	

## 3) 위탁 연구책임자(해당 시 작성)

### (1) 인적사항

성명	국문		생년월일	YYYY.MM.DD	성별	
	영문		연구자등록번호			
직장	기관명		전화번호			
	부서		휴대전화번호			
	직위		E-mail			
	주소	(우: )				

### (2) 학력

취득연월 (최근 순으로 작성) YY.MM~YY.MM	학교명	전공	학위	지도교수
YY.MM~YY.MM				
YY.MM~YY.MM				

최종학위 논문명(해당 시) :

### (3) 주요 연구개발 실적 (3개 이내)

연구 제목	연구 내용	연구 기간	발표서적 또는 학술지명 (연호, 권호 포함)	연구 수행 당시의 소속 기관	역할 (연구책임자 또는 연구원)	연구비 지급 기관	비고

(4) 대표적 논문/저서 실적 (최근 5년간 5개 이내의 실적을 작성)

구분 (논문/저서)	논문명/저서명	게재지 (권, 쪽)	게재연도 (발표연도)	역할	ISSN	비고 (피인용지수)
			YYYY			
			YYYY			

(5) 현재 수행 중인 타 과제 현황

(단위: 천원)

연구 과제명	연구 수행 기관	참여 시작일	참여 기간(개월)	참여율
부처명/사업명	참여 유형	참여 종료일	해당 연도 연구개발비	

4) 연구개발기관 일반 현황(기업 주관인 과제에 해당 시 기업만 작성)

※ 비영리 기관의 경우, ①, ②, ③, ⑤, ⑩만 작성

양식A701

구분		수행 기관명	호서대학교 산학협력단	○○○	○○○
①	사업자등록번호		3128210256		
②	법인등록번호		1648710004513		
③	대표자 성명		김병삼		
	대표자 국적				
	대표자 성별				
④	최대 주주 성명				
	최대 주주 국적				
⑤	기업(기관) 유형 (중소기업, 중견기업, 대기업) (대학, 출연연, 국공립연, 기타 등)		대학		
⑥	설립 연월일		YYYY.MM.DD	YYYY.MM.DD	YYYY.MM.DD
⑦	주생산 품목				
⑧	상시 종업원 수				
⑨	전년도 매출액(백만 원)				
⑩	매출액 대비 연구 개발비 비율				
⑪	부채 비율	20xx년			
		20xx년			
⑫	유동 비율	20xx년			
		20xx년			
⑬	자본 잠식 현황	자본 총계 (백만 원)	20xx년		
			20xx년		
		자본금 (백만 원)	20xx년		
			20xx년		
⑭	이자 보상 비율	20xx년			
		20xx년			
⑮	영업 이익 (백만 원)	20xx년			
		20xx년			
⑯	주소		(31499) 충남 아산 시 배방읍 호서호 79 번길 20 호서대학교	( - )	( - )

⑪	연구지원부서 담당자	성명			
		부서/직위			
		사무실 전화			
		휴대전화			
		팩스번호			
		E-mail			

## 7. 연구개발비 사용에 관한 계획

### 1) 연구개발비 총괄표

(단위: 천원)

								양식A611		
비목	세목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계		
			2022	2023	2024	YYYY	YYYY			
직접비	인건비	내부인건비(A)	미지급	14,440	14,440	14,440			43,320	
			지급	현금						0
				현물						0
		외부인건비(B)	미지급							0
			지급	현금						0
				현물						0
	연구지원인력인건비(C)								0	
	학생 인건비(D)		13,500	13,500	13,500				40,500	
	인건비 소계 (E=A+B+C+D)		13,500	13,500	13,500	0	0		40,500	
	연구시설·장비비(F)	현금	일반							0
			통합관리							0
			현물							0
	연구활동비(G)	현금	14,861	14,861	14,861				44,583	
		현물							0	
	연구재료비(H)	현금	14,511	14,511	14,511				43,533	
현물								0		
연구수당(I)		3,000	3,000	3,000				9,000		
위탁연구개발비(J)								0		
직접비 소계 (K=E+F+G+H+I+J)		45,872	45,872	45,872	0	0		137,616		
간접비(L)		14,128	14,128	14,128				42,384		
(간접비 중 연구실 안전관리비)		335	335	335				(1,005)		
연구개발비 총액(M=K+L)		60,000	60,000	60,000	0	0		180,000		

### 2) 비목별 연구개발비 소요명세(당해년도)

#### (1) 인건비

##### 가. 내부인건비

(단위: 천원)

							양식A401
자격	성명	소속기관명	직급	직위	참여시작일	참여종료일	지급구분
	연구자등록번호	소속부서명	국적	월급여	참여율(%)	참여개월수	총액
연구 책임	배병성	호서대학교	기타	교수	2022.09.01	2023.08.31	미지급
	10158415	전자디스플레이공 학부	대한민국	6,000	20	12	14,440

### 나. 외부인건비

(단위: 천원)

								양식A612
자격	성명	소속 기관명	직급	직위	참여 시작일	참여 종료일	구분	지급 구분
	연구자 등록번호	소속 부서명	국적	월 급여	참여율(%)	총액		

### 3) 보안 등급의 분류 및 결정 사유

			양식A102
보안 등급 분류 (선택)	보안		일반
	N		Y
결정 사유	연구책임자 의견		연구기관 자체 검토결과
	보안과제 해당없음		보안과제 해당 없음

### 4) 연구시설·장비 구축·운영계획(해당 시 작성)

(1) 연구시설·장비 구축계획(구축비용이 3천만원 이상인 경우에는 필수로 작성)

(단위: 천원)

연구개발기관명	연구시설·장비명	현금/현물 구분	구축방식*	규격	수량	구축비용	구축기간	설치장소

\* 개발, 구매, 임대, 용역 등 해당하는 사항 기재

## (2) 연구시설·장비 운영·활용계획

(단위: 천원)

연구개발기관명	연구시설명	기존/신규 구분	운영기간	비용			전담인력 수	활용계획	설치장소
				연간 운영비용	과제 반영비용	현금/현물 구분			
			YY-YY						
			YY-YY						