

2023

목포대학교 파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼

일자 | 2023. 9. 13.(수)

장소 | 목포 샹그리아비치호텔 8층 대연회장

주최 | 목포대학교 LINC3.0 사업단

주관 | 목포대학교 LINC3.0 사업단, 목포대학교 에너지화학공학과
전남테크노파크 세라믹산업센터, (사)전남세라믹협의회

국립목포대학교 LINC3.0 사업단

식 순 Program

시 간(분)		주 요 내 용	비 고
15:30~16:00	30‘	접수 및 등록	
16:00~16:05	5‘	포럼 개요 및 내빈 소개	
16:05~16:15	10‘	환영사	
		축사	
16:15~16:20	5‘	기념 촬영 (참석자 전원)	
16:20~16:30	10‘	발표1: 목포대학교 LINC 3.0 산학연관 협력 방안	**이상찬** 단장 (목포대학교 LINC 3.0 사업단)
16:30~17:00	30‘	초청강연1: 전력반도체용 SiC 소재	**전명철** 박사 (RIST 포항산업과학연구원)
17:00~17:15	15‘	발표2: 전남 화합물반도체 센터와 생태계	**전희석** 교수 (목포대학교)
17:15~17:20	5‘	휴식	
17:20~17:50	30‘	초청강연2: 무연 압전 에너지 하베스터의 연구 동향	**남 산** 교수 (고려대학교)
17:50~18:20	30‘	초청강연3: 전고체 배터리 기술 동향 및 현황	**김용석** 전무이사 (주식회사 TDL)
18:20~18:30	10‘	발표3: 전남 무연 압전 및 전고체 배터리 발전방안	**최광표** 센터장 (전남테크노파크 세라믹산업센터)
18:30~	-	만찬 및 네트워킹	

목차 Contents

[발표1] 목포대학교 LINC3.0 산·학·연·관 협력 방안 ····· 1

- 이상찬 단장 (목포대학교 LINC3.0사업단)

[초청강연1] 전력반도체용 SiC 소재 ····· 9

- 전명철 박사 (RIST 포항산업과학연구원)

[발표2] 전남 화합물반도체 센터와 생태계 ····· 33

- 전희석 교수 (목포대학교)

[초청강연2] 무연 압전 에너지 하베스터의 연구 동향 ····· 47

- 남 산 교수 (고려대학교)

[초청강연3] 전고체 배터리 기술 동향 및 현황 ····· 75

- 김용석 전무이사 (주식회사 TDL)

[발표3] 전남 무연 압전 및 전고체 배터리 발전방안 ····· 95

- 최광표 센터장 (전남테크노파크 세라믹산업센터)

목포대학교 파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼

[발표1]

목포대학교 LINC3.0 산·학·연·관 협력 방안

이상찬 단장

(목포대학교 LINC3.0사업단)

세상을 혁신하는 대학의 힘
META-uniVers

LINC 3.0 산학연관 협력 방안

주요 운영 프로그램 및 우수 사례

2023. 9. 13.(수)

국립목포대학교 LINC 3.0 사업단



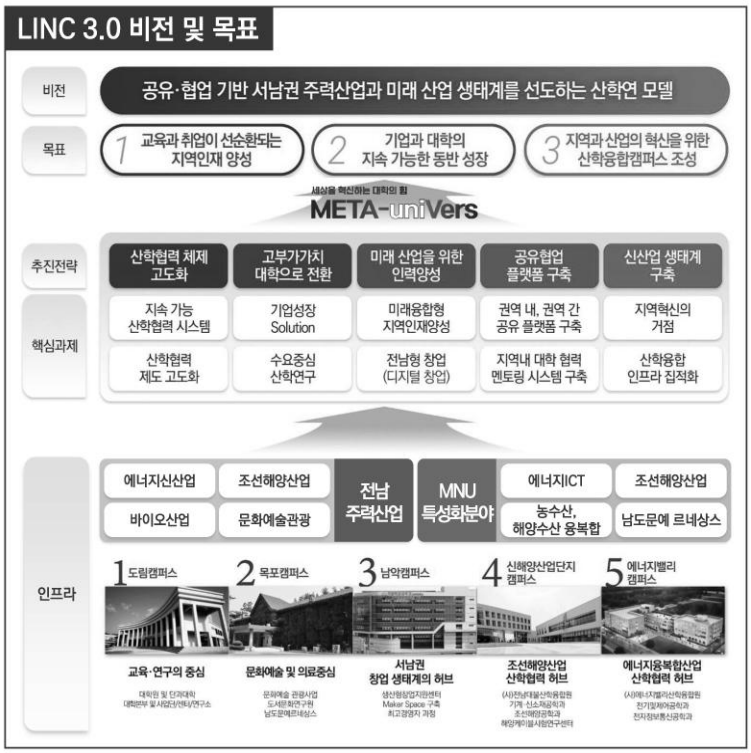
LINC 3.0 사업 비전 및 목표

LINC 3.0 사업 개요

- **사 업 명**: 3단계 산학연협력 선도대학 육성사업
- **사업기간**: 2022. 3. ~ 2028. 2. 총 6년(3년+3년)
- **사업유형**: 수요맞춤성장형
- **참여학과**: 45개 학과
  - 공과대학, 자연과학대학
  - 사회과학대학, 경영대학
  - 생활과학예술체육대학
  - 약학대학(2차년도 참여)
  - 인문대학(고고문화인류학과, 문화콘텐츠학과, 일어일문학과, 사학과)
- **LINC 3.0 주요 추진 방향**
  - 미래 산업에 대비하는 인재양성 체계화
  - 고부가가치를 창출하는 기업가형 대학
  - 산학연협력 지속성 제고를 위한 기반 강화
  - 함께 성장하는 공유·협업 생태계 조성

세상을 혁신하는 대학의 힘
META-uniVers
대학을 넘어 세상과 상호 교류하는 산학연협력

LINC 3.0 비전 및 목표



1

ICC(기업협업센터) | 산학공동기술개발과제 | All-Set 기업지원 | 가족회사

Quad-Core ICC

비전	Quad-Core ICC 활성화를 통한 지역 산학민관연 동반성장
목표	지역 산학민관연 거버넌스 기반의 지역 특화형 ICC 구축 · 대학의 여건과 특성에 맞는 ICC 분야 설정 · 맞춤형 All-Set 지원을 통한 시너지 효과 창출 및 성과 공유 확산 추진
MNU ICC	1 해상풍력 ICC / 2 친환경 스마트운송기계 ICC / 3 파인세라믹 ICC
Quad-Core ICC 구성주체	CORE 1 지방자치단체 / CORE 2 지역혁신기관 / CORE 3 연구기관 / CORE 4 유료 가족회사

Quad-Core ICC 핵심전략 및 주요과제	인재양성 거버넌스	지역산업육성 거버넌스	상생발전 거버넌스	가치공유 거버넌스
	· 채용형 현장실습 · ICC기반 캡스톤 디자인 · 프로젝트 Lab · 주문식 교육	· ICC 원스톱 기업지원제도 · 기업맞춤형 클리닉 제도 · 산업체 재직자 교육	· 산학공동기술개발과제 운영 · 기술이전 및 사업화 지원 · 기술거래소 구축 및 운영	· Quad-Core ICC 네트워크 활동 지원 · CoMet², NOVA, Super NOVA Platform 운영

-지역 거점 대학의 역할을 적립하고 지역 특화 분야를 연계한 Quad-Core ICC 브랜드 창출로 지자체 사업 확대

2

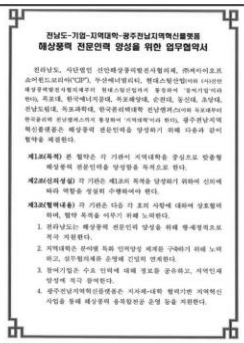
ICC(기업협업센터) | 산학공동기술개발과제 | All-Set 기업지원 | 가족회사

Quad-Core ICC 운영 성과 사례

해상풍력 전문인력 양성 업무협약

✓ **산-학-관 협업「해상풍력 전문인력 양성 업무 협약」체결**

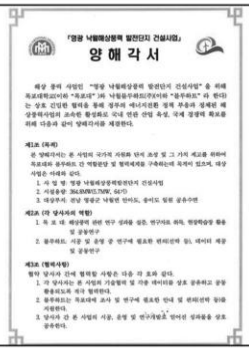
- 전라남도, 신안해상풍력 발전사협의체, CIP, 두산에너빌리티, 현대스틸산업, 목포대 등 9개 지역대학, 광주전남지역혁신플랫폼은 해상풍력 전문인력을 양성을 위해 협약


전남도-기업-지역대학-광주전남지역혁신플랫폼
해상풍력 전문인력 양성을 위한 업무협약서

낙월블루하트 MOU

✓ **정부의 에너지전환 정책 부응과 해상풍력사업의 조속한 활성화로 국내 연관 사업 육성, 국제 경쟁력 확보를 위한 목포대-낙월블루하트 MOU**

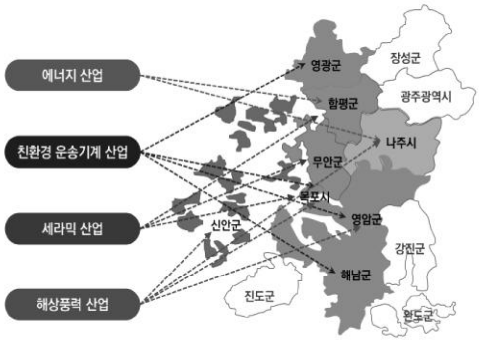
- 국내 첫 대규모 영광 낙월해상풍력단지' 착공에 따른 해상풍력 연구 및 기술개발 협력


「영광 낙월해상풍력 발전단지 건설사업」
양 해 각 서

3

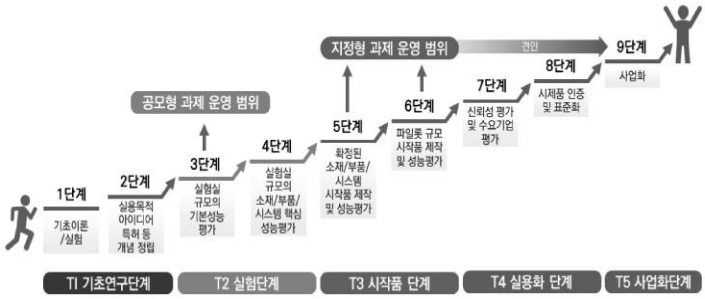
지정형 산학공동기술개발과제

- **지자체+산업체 연계형**
  - ✓ 서남권 9개 지자체와 사전 협의를 통한 지자체 추천으로 지역 기업 경쟁력 강화 및 지역 산업 활성화(목포, 영암, 무안, 나주, 해남, 신안, 함평, 영광, 장흥)
  - ✓ 추진 계획
    - •지원규모: 8개 과제/과제당 6,000만원 내외
    - •기술수준: TRL 5~6단계
    - •신청기간: 매년 상반기



공모형 산학공동기술개발과제

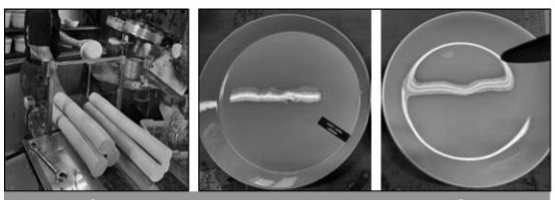
- **ICC 산업체 연계형**
  - ✓ ICC(친환경스마트운송기계, 파인세라믹, 해상풍력)와 연계
  - ✓ 추진 계획
    - •지원규모: 4개 과제/과제당 3,000만원 내외
    - •기술수준: TRL 3~4단계
    - •신청기간: 매년 상반기



2022년 지정형 과제 운영 성과

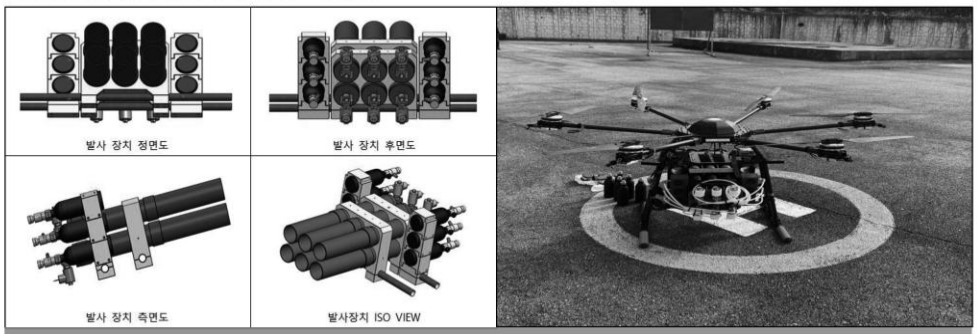
- 기술이전 13건, 기술이전료 4,367만원
- 대응자금 8,710만원 확보
- 특허 8건 등 성과 창출
- 지정형 과제 참여 기업 전체 유료 가족회사 가입

- **2022년 산학공동기술개발과제 우수 사례 ①**



[테라세라믹_굴패각을 이용한 고기능 세라믹 소지 개발]

- **2022년 산학공동기술개발과제 우수 사례 ②**



[이지시스템_지능형 화재 진압 6연발 이상 소화탄 발사 무인 멀티콥터용 모듈 개발]

전주기 맞춤형 기업지원

✓전주기 기업지원으로 산학연계 확대

시제품 제작(건당 900만원 내외)

- ✓ 보유기술의 사업화 및 상용화를 위한 시제품 제작 지원
- ✓ 시제품 제작에 소요되는 재료비, 설계, 품질개선 등 지원

ReForm-Tech(건당 500만원 내외)

- ✓ 기업체 보유기술 사업화 진단 컨설팅
- ✓ 산학공동기술개발과제 성공을 위한 RFP 작성 및 정부 과제 등 기술개발 과제 제안서 활용

인증지원(건당 300만원 내외)

- ✓ 기술개발제품 인증에 필요한 컨설팅, 성능검사, 인증 비용 등
- ✓ 신제품(NEP), 신기술(NET), 성능인증(EPC) 등

홍보· 마케팅(건당 300만원 내외)

- ✓ 해외 전시회 참가 지원 및 수출
- ✓ LINC 3.0 사업단 홍보, 판촉, 교육 지원 사업을 통한 홍보 지원

6

ICC(기업협업센터) | 산학공동기술개발과제 | All-Set 기업지원 | 가족회사

2022년 All-Set 우수 성과 사례

✓2022년 All-Set 운영

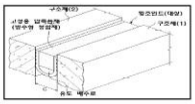
- ReForm-Tech: 컨설팅을 통해 특허성 분석을 추진하고 이를 통한 새로운 특허 기술 도출(특허: 10-2023-0018057 교량의 신축이음 횡조인트 및 이의 시공 방법)
- 시제품 제작: '특수차용 2Pcs 알루미늄 단조휠' 등 시제품 5건 제작 지원
- 인증: IOS14001:2015(환경경영시스템) 인증 획득
- 홍보·마케팅: 시제품 제작과 함께 포장 용기 디자인라벨 개발 지원으로 맞춤형 전주기 지원

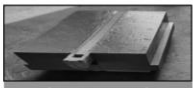


[시제품]다봄_전라도 어간장



[홍보]다봄_디자인 라벨





[ReForm-Tech]
동현이앤지



[인증]신우산업
환경경영시스템

2023년 All-set 1차 운영

- ✓친환경스마트운송기계 4건, 해상풍력 4건, 파인세라믹 2건
- ✓시제품 제작 9건, 인증 1건

7

기술(자문 지도)

✓ 기업 경영 전반에 걸쳐 애로사항 발생 시 해당분야 전문가 (교수) 연계를 통해 애로기술 및 경영자문 ·컨설팅 등을 지원하여 기업 경쟁력 제고

•신청기간: 2023년 4월 ~ 2024년 1월(상시 접수)

•신청방법

신청서 제출 (E-mail 또는 홈페이지) → 검토/전문가 매칭 → 자문/컨설팅 실시 → 결과보고서 제출

● 지원내용

(기술)지도 및 자문	경영컨설팅
- 기술애로 / RFP작성 및 사업계획 수립 지원 - 기술분석, 시험평가 및 사업평가 - 특허·기술이전 / 전문기술 교육과정 - 기타	- 경영 컨설팅 자문 - 회계·세무 / 법률·노무 - 디자인 / 마케팅(판로개척, 홍보 등) - 기타

● 운영 성과

구분	내용
친환경스마트운송기계 ICC	무인항공기 및 무인선 활용 하천관리 체계 기술지도 등 15회
해상풍력 ICC	수료연료전지 발전의 재생에너지 연계 발전시스템 개발 등 60회
파인세라믹 ICC	가압소결을 이용한 금속-세라믹 복합제 제조 기술 등 12회


Chemical Engineering Research and Design

A machine learning-based decision support framework for energy storage selection

[비온시노베이터_스마트에너지 신산업]


[칼선_에너지분야 기술개발]


[코엔라이프_대기오염물질 흡착포집]

재직자 교육

✓ 지역 산업 수요를 기반으로 직원 직무능력 향상을 위한 교육을 지원하는 단기 및 장기 산업체 교육

✓ 유료, 무료, 온라인 교육 등 맞춤형 재직자 교육과정 확대 운영으로 기업 인력 양성 지원 및 기업 성장 촉진

•신청기간: 2023년 4월 ~ 2024년 1월(상시 접수)

•교육내용

- ICC 특화 분야 및 산업체 수요 따른 분야
- 직급별 교육 프로그램 개발 및 운영
- 4차산업 실무교육 [AI, IoT, Big-Data, Mobile, 신재생에너지]
- 디자인, 경영컨설팅, 마케팅, 홍보 등 종합적 교육

● 운영 성과

✓ 무료 재직자교육 7건, 유료 재직자교육 4건 운영

•유료재직자 교육 운영을 통한 수익금 확보

•가족회사 및 ICC 요구를 반영한 맞춤형 교육 운영

•해상풍력 ICC 맞춤형 재직자교육 6회, 71명 참여

•친환경스마트운송기계 ICC 맞춤형 재직자교육 3회, 30명 참여


[측량장비 운영실무 교육] [작업환경개선 및 위험성 평가]

MNU 가족회사

가족회사

✓ 학교와 산업체가 실질적 산학협력을 통하여 유기적인 관계를 유지하고, 인적 물적 자원을 상호 공유하며 산학협력체제를 강화하는 친화형 동반자적 제도

일반 가족회사 (연회비 무료) > 패밀리 (연회비 20만원) > 파트너 (연회비 50만원) > 코어파트너 (연회비 100만원)

- 신청기간: 상시 접수
- 신청방법

가족회사 신청 (linc.mokpo.ac.kr) → 연회비 납부 (별도 안내) → 가족회사 협약체결 → 가족회사 가입완료

가족회사 혜택

혜택	일반 가족회사	패밀리	파트너	코어파트너
연회비(부가세 별도)	무료	20만원	50만원	100만원
전담교수 배정	-	-	-	배정
산학공동기술개발과제	-	참여 기회	가점 부여 (5점)	가점 부여 (10점)
All-Set 기업지원	-			
기술(자문)지도	3회 무료	5회 무료	7회 무료	10회 무료
재직자 교육	(유료교육) 등급별 할인 혜택 제공			
기업협업센터(ICC)	-	1회 무료	2회 무료	3회 무료
LINC 공간 및 기자재	-	1회 무료	2회 무료	3회 무료

10



국립목포대학교 LINC3.0사업단
58554 전라남도 무안군 청계면 영산로 1666 목포대학교 플라자60 7층
Tel : 061-450-6409/6379 E-mail : lincrnd@mnu.ac.kr

목포대학교 파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼

[초청강연1]
전력반도체용 SiC 소재

전명철 박사
(RIST 포항산업과학연구원)

차세대 전력반도체용 SiC 웨이퍼 소재

2023. 9.

탄소중립...

글로벌 기후 온난화 현상 가속화로 인해 탄소중립은 필연적 과제...



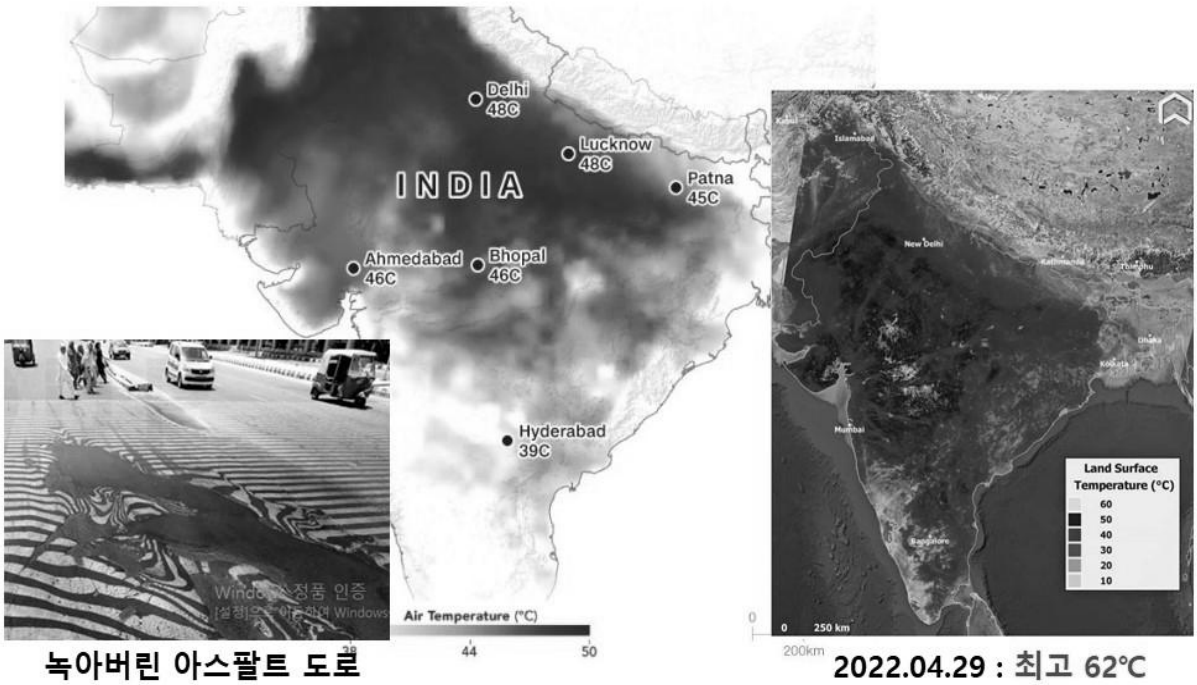


대한민국 2050 탄소중립 전략

- 우리나라는 장기저탄소발전전략으로서 **2050**년 탄소중립을 목표로 나아갈 것이다.
- 이를 위해 한국판 뉴딜에 그린과 디지털 기술을 접목하여 시너지 효과를 발휘하고 기후 기술 혁신을 위한 과감한 투자와 지원으로 **2050**년 탄소중립을 위해 노력할 것이다.
- 기후 위기 대응을 위해선 우리나라뿐만 아니라 전 지구적인 노력과 참여가 중요하다.
- 국제사회 모두가 **2050** 탄소중립을 위해 공동의 노력을 펼칠 수 있도록 우리나라가 선도적인 역할을 할 것이다.

탄소중립 vs. 지구온난화 ('22.04.29)

2050 탄소중립은 바로 오늘... ➔ 인도/파키스탄... 극한더위 62℃



녹아버린 아스팔트 도로

2022.04.29 : 최고 62℃

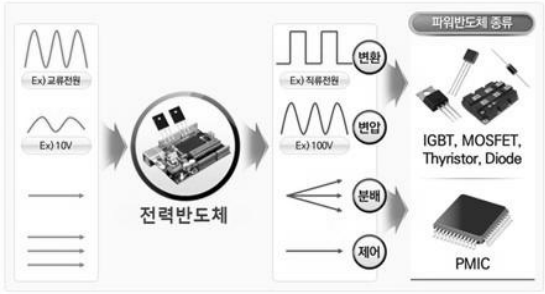
SiC 전력반도체 / SiC 단결정 wafer 소재

SiC 단결정 웨이퍼 소재

SiC 웨이퍼는 고전압 전력변환에 사용되는 전력반도체 제조용 기판 소재

전력반도체

- EV, 가전 내에서 직·교류 변환 및 전압, 주파수 제어



SiC 특징

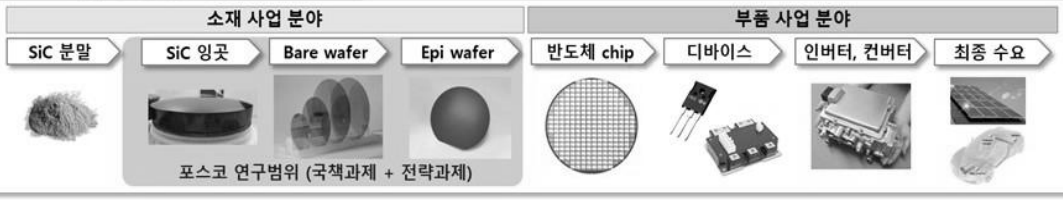
- SiC는 기존 Si 대비 전력변환 효율이 높고, 내열성 및 내전압 특성이 뛰어나 고전압/극한환경 적합

	Si 반도체	SiC 반도체
한계 전압	~600V	~10,000V
작동 온도	~120℃	~400℃
변환 효율	90~95%	93~98%

[전기차용 전력제어장치 비교]

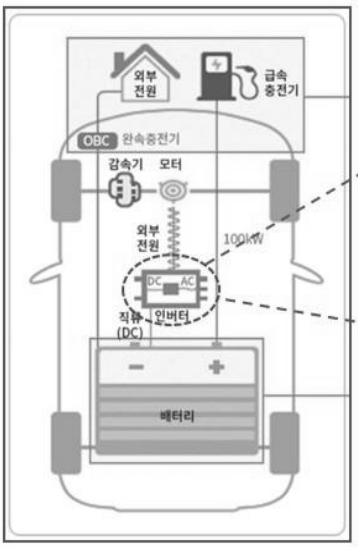


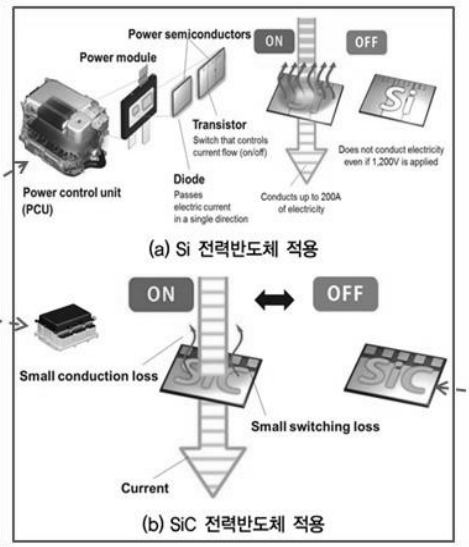
산업 value-chain



참고. SiC 단결정 웨이퍼 소재 vs 전기차

SiC 전력반도체의 전기차 응용







SiC 전력반도체



SiC 단결정 웨이퍼/전력반도체 적용 분야

■ 응용분야 : 고효율 전력반도체 필요분야

○ SiC 전력반도체 주요 응용분야


[태양광 인버터]

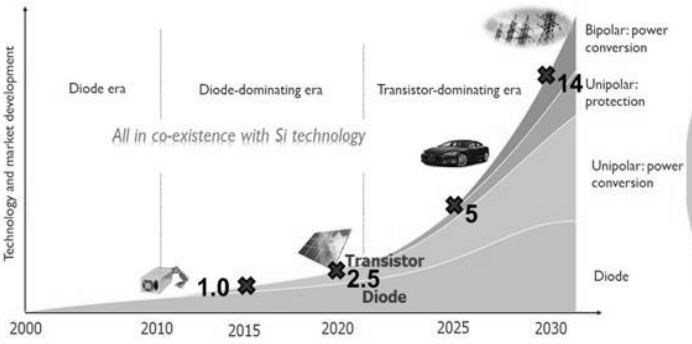

[전기차]

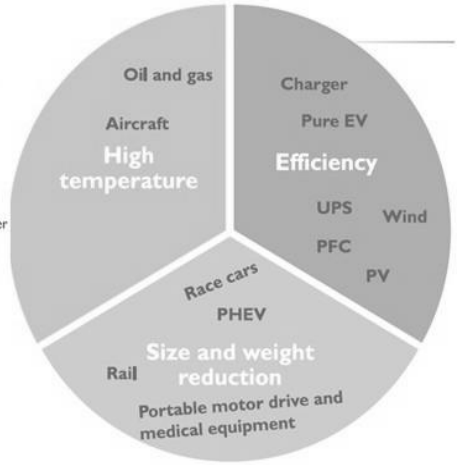

[산업용 모터]


[UPS / 전력공급]


[풍력발전]


[운송 / 철도]





실용화 RIST! 글로벌 RIST!

World Top 실용화 전문연구기관 RIST

참고. 전력 vs 통신 반도체용 SiC wafer type

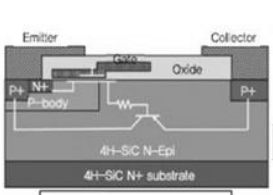
■ SiC 웨이퍼 소재 유형 및 응용분야

○ **Semi-Conducting SiC wafer** : 전력반도체 기판으로 활용 (n-type)

→ **EV/PV 시장 성장에 따른 본격 시장개화진행** (+ LED용 기판소재 활용)

○ **Semi-Insulating SiC wafer** : RF 소자용 기판소재로 활용 (반절연 웨이퍼)

→ **5G 시대 개막에 따른 급속한 시장성장 전망**



SiC/SiC (Semi-conducting)

n-type SiC

전력반도체

고성능 LED

Power Electronics

Optoelectronics

SiC/SiC

GaN/SiC LED

Rectifiers

Switches

Bipolar diodes

Schottky diodes

Unipolar transistors

Bipolar transistors

MOSFET

JFET

BJT

Thyristor (GTO)

Semi-insulating SiC

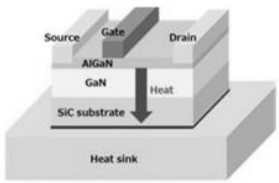
5G 통신소자

RF Electronics

RF transistors

MESFET

GaN/SiC HEMT



GaN/SiC (Semi-Insulating)

5G: 3.5㎓~28㎓의 고주파수(밀리미터파) 대역 사용
→ 고열발생에 따른 에너지 손실 및 성능열화
→ 고성능 SiC 기판 사용량 증가 추세
4G : 850㎒~2.6㎓ 주파수 대역사용

최근, 삼성전자의 경우 6G 개발 시작

실용화 RIST! 글로벌 RIST!

World Top 실용화 전문연구기관 RIST

SiC 단결정 wafer 시장

SiC 전력반도체 / SiC 단결정 wafer 소모량

전기차용 SiC 전력반도체 종류 및 소요량 예상 (현대차 제공)



▶고전압 사양(>600V) 전력반도체가 적용되는 주요 시스템 위주로 칩 단위 개수를 표시.

→ 6" SiC wafer : 22.2%(64개)~33.3%(88개)/매 소요(이외 저전압 사양 전력반도체 多數 적용)

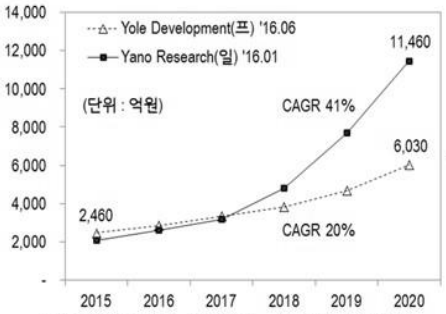
→ 일반 전기차 3~5대당 6" SiC wafer 1매 소요

→ 고성능 전기차 2대당 6" SiC wafer 1매 소요 (ex. GENESIS 전기차)

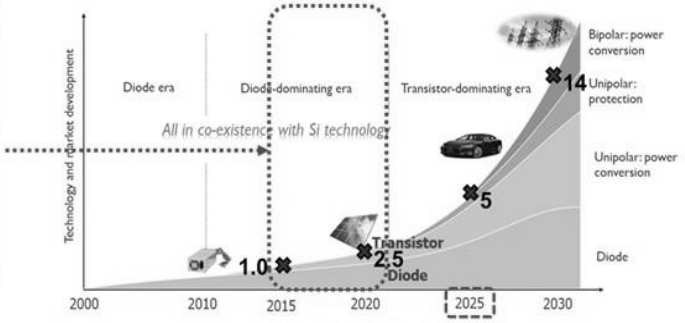
실용화 RIST! 글로벌 RIST!
World Top 실용화 전문연구기관 RIST

SiC 단결정 wafer 소재 시장 (1) – 전기차 수요 기준

전기차 응용 연계하여, SiC wafer 시장은 '25년 ~3조원 이상 예상 ('20 예측)

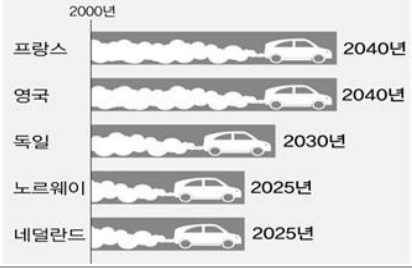


[SiC 전력반도체 시장예측 : '16년 예측기준]



<"Next 50년을 위한 성장 동력 발굴"...?! >

유럽 국가들의 내연기관차 생산 중단 시점

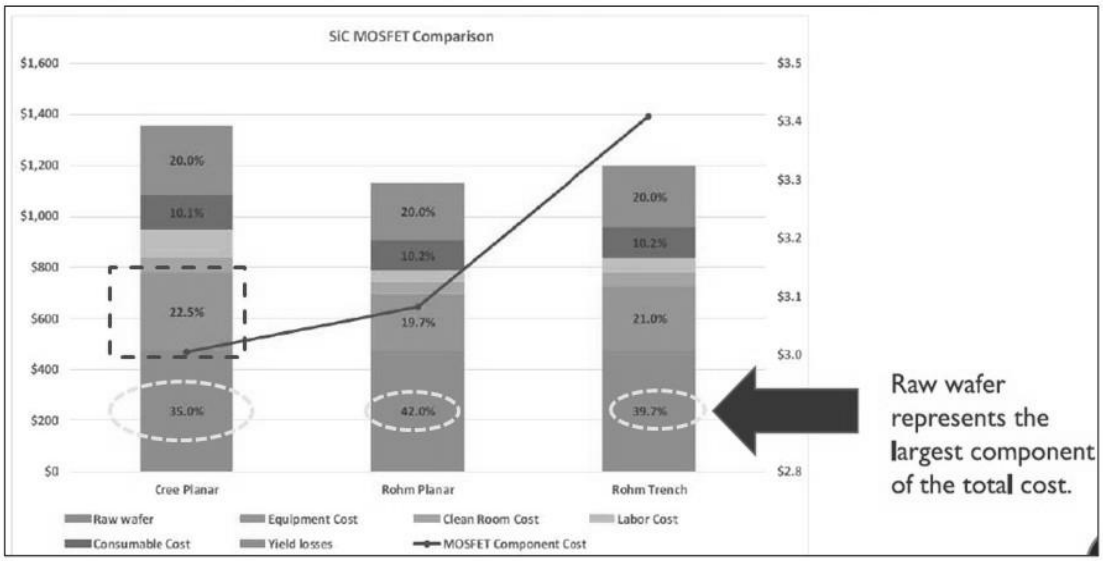


SiC 단결정 wafer 시장규모 전망 (RIST 자체 전망)

- '25년 전세계 자동차 수요 : ~1.2억대(추정)
  - → 전기차 댓수 = 1.2억대 X 0.25(벤츠 전망기준) = 3,000만대
- 전기차 1대당 6" SiC 기판 소요량: ~1/5 매
- '25년 전기차용 6" SiC 기판 수요 : ~600만장 (추정)
- '22년 6" 기판 단가예상 : $447 → ~50만원/매 ('21년 현재 100만원/매)
- '25년 전기차용 6" SiC wafer시장 : ~3조원 (에피포함 ~4조원)

SiC 단결정 wafer 소재시장 (2) – SiC 전력반도체 제조원가구조 기반

SiC 전력반도체 제조원가 비율 : wafer 소재비용이 35~42% ('17년, 4인치 기준)

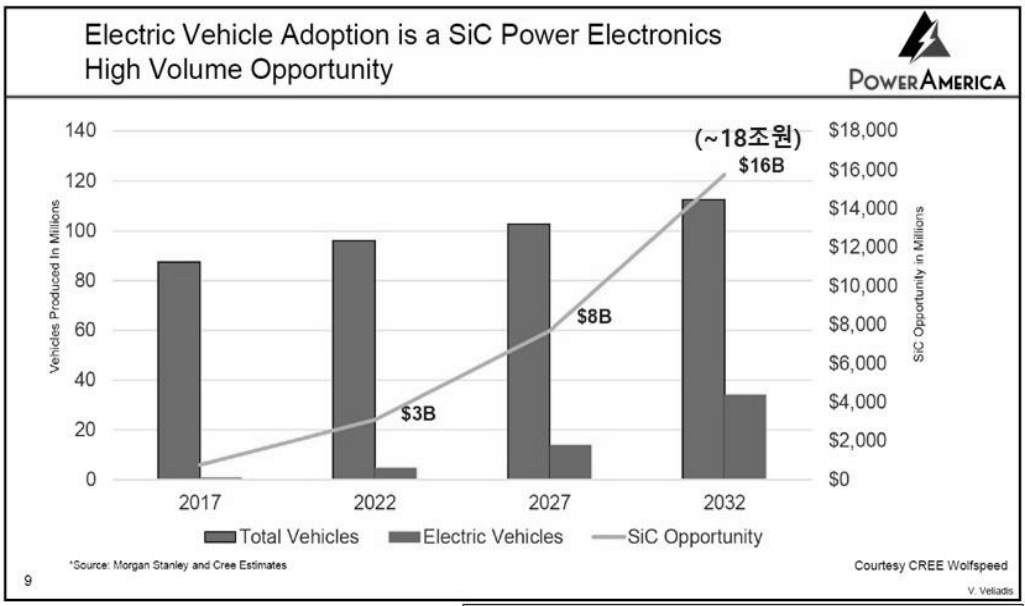


<그림. 각 선진 SiC 전력반도체 제조사들의 제조원가비용 분석>

➔ SiC wafer 소재 가격이 SiC 전력반도체 가격경쟁력의 가장 큰 부분을 차지

SiC 단결정 wafer 소재 시장 (3) – SiC 전력반도체 연계 wafer 시장전망

전기차(EV/HEV) 적용 연계 SiC 전력반도체 시장 중기 전망



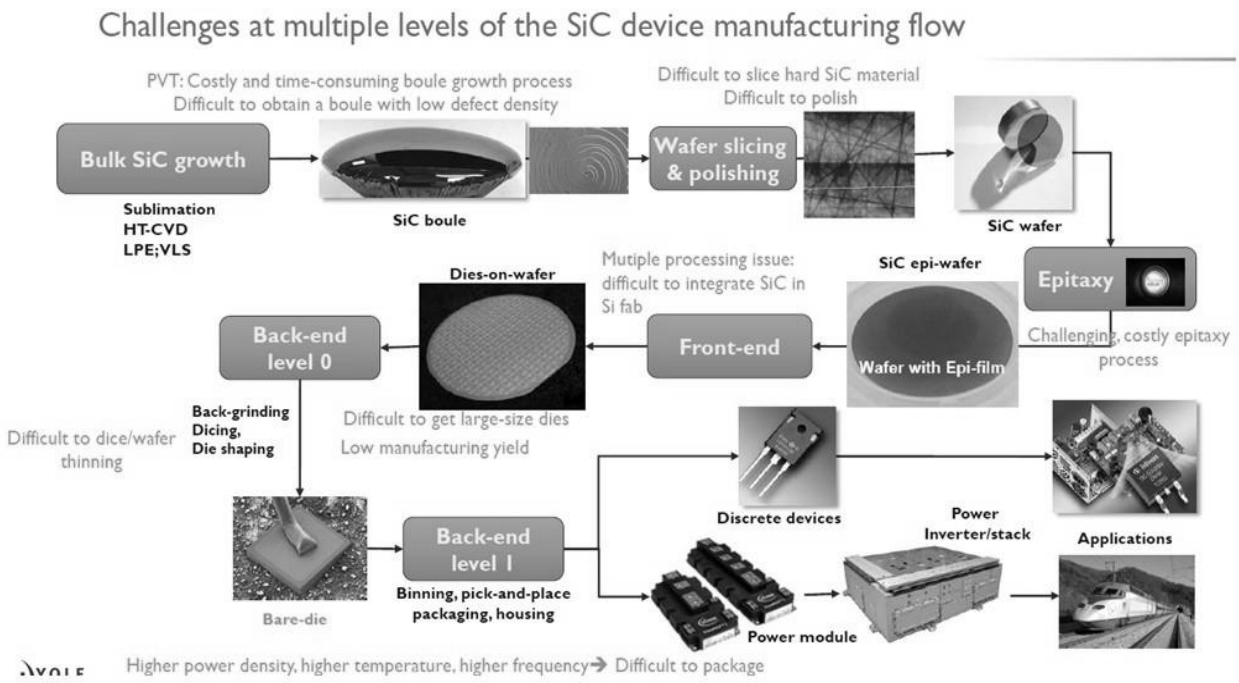
전기차용 SiC 전력반도체 시장 : ~18조원

→ SiC wafer 시장 : 18조원 X ~40% = ~7.2조원

SiC 단결정 wafer 개발/양산 동향

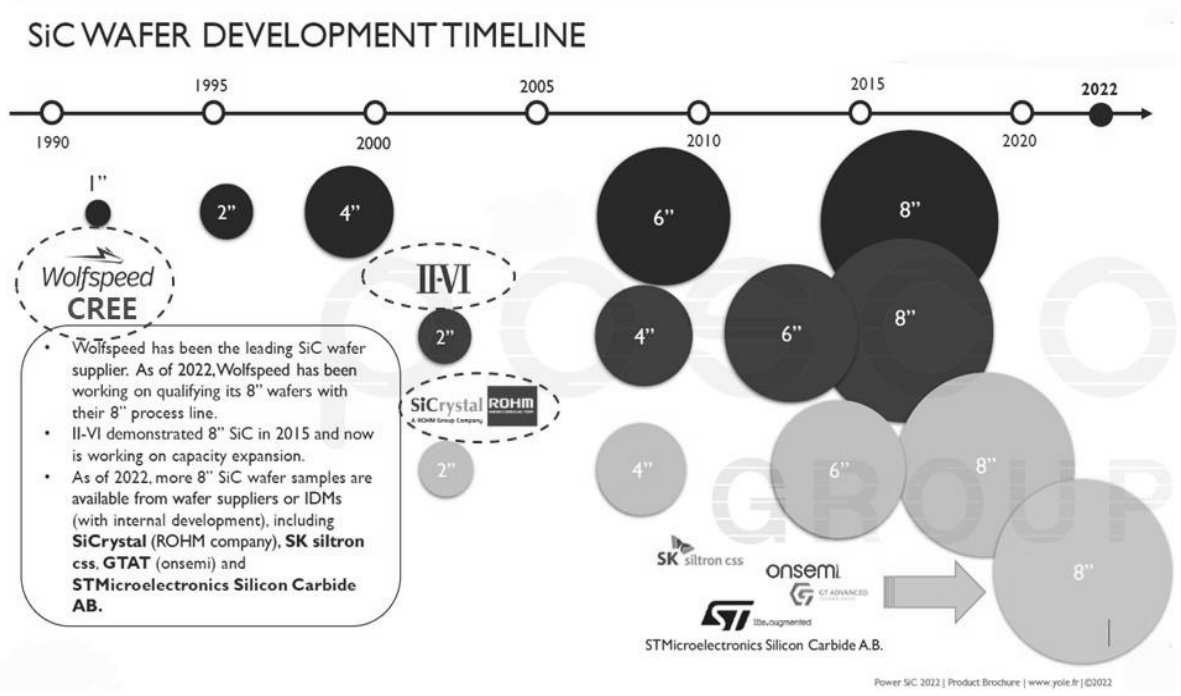
SiC 전력반도체 일반 – Value Chain

SiC 단결정 Wafer → SiC 전력반도체 → 전력모듈 → 응용제품



SiC 단결정 웨이퍼 개발 동향 ('22)

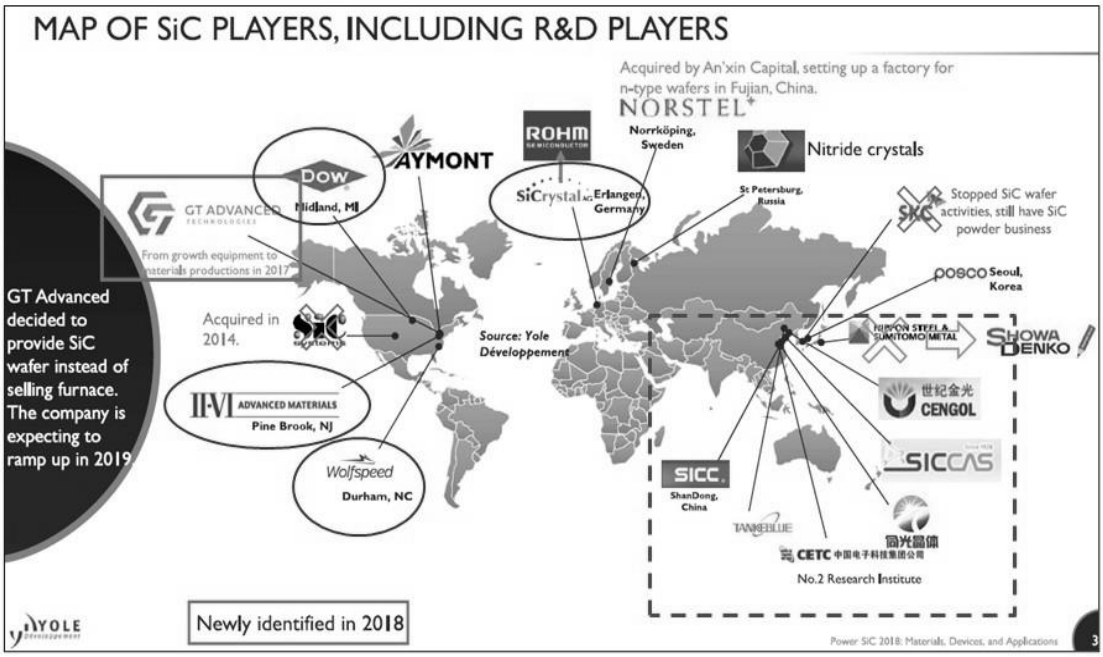
6" SiC wafer 시장 본격 개화 + 8" SiC wafer 초기시장진입('23~) 예상



글로벌 SiC 단결정 wafer 개발/사업체 현황

SiC wafer 제조업체는 전세계적으로 ~20개社, but 미국의 독주...

'22년 현재, 중국에는 10여개 이상의 SiC 단결정 웨이퍼 업체(기관)가 있음.

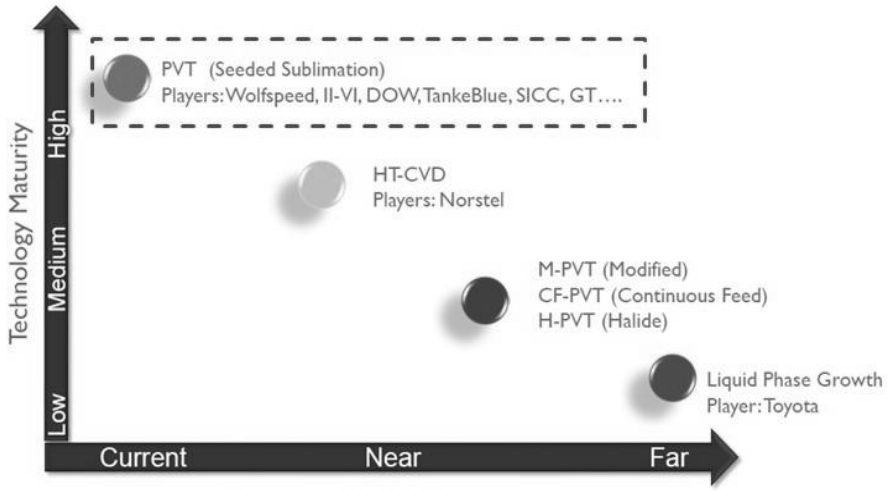


SiC 단결정 성장방법 (1)

기술성숙도/양산에서 PVT(Physical Vapor Transport) 공정이 가장 앞서 있음.

TECHNOLOGY READINESS FOR SiC PRODUCTION

PVT is the conventional method and has been adopted by the majority of players.



Technology Readiness for SiC Substrate Production

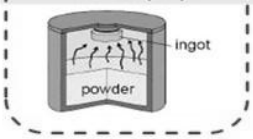
Source: GT Advanced, Yole

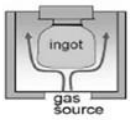
SiC 단결정 성장방법 (2)

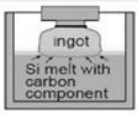
글로벌 SiC wafer 선도업체들은 PVT(Physical Vapor Transport) 공정 채용

	Sublimation (PVT)	HT CVD	Hetero-epitaxy 3C-SiC	LPE	Vapor Liquid Solidification (VLS)
Typical growth rate	200 to 400 µm / hour	~ 300+ µm/hour	50 µm / hour	500 µm / hour	100 µm / hour (mm/h expected)
Growth temperature	2,200 to 2,500°C	2,200°C	1,350°C	1,460 to 1,800°C	1,100°C
Polytypes obtained	4H & 6H	4H & 6H	3C	4H & 6H	3C
Main players	Wolfspeed (US) SiCrystal (D) II-VI (US) Dow Corning (US) Showa Denko (J) Denso (J) TankeBlue (CN) Nitride Crystals (Ru) SICC (CN) POSCO (Kr) Denso (J) Norstel (SW)	Norstel (SW) DENSO (J)	Hoya (J) Showa Denko (J) SiC Systems (US) NovaSiC (F) Anvil Semiconductors (UK) Airwater (J)	Sumitomo Metal Industries (J, Merged with Nippon Steel) Toyota (J)	CRHEA (F)

Source: Yole Développement







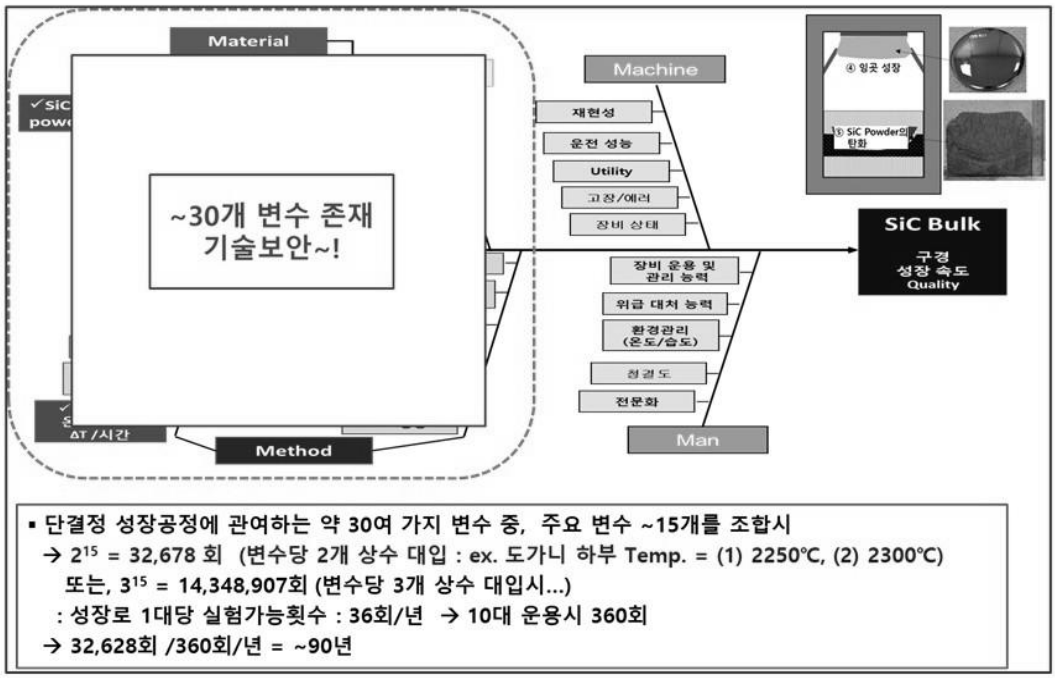
참고-SiC 단결정 성장 – PVT SiC 단결정 성장(Single Crystal Growth)



<그림. RIST 제조 150mm(6") SiC 단결정 잉곳 : '18년>

SiC 단결정 성장 – PVT 성장공정 변수

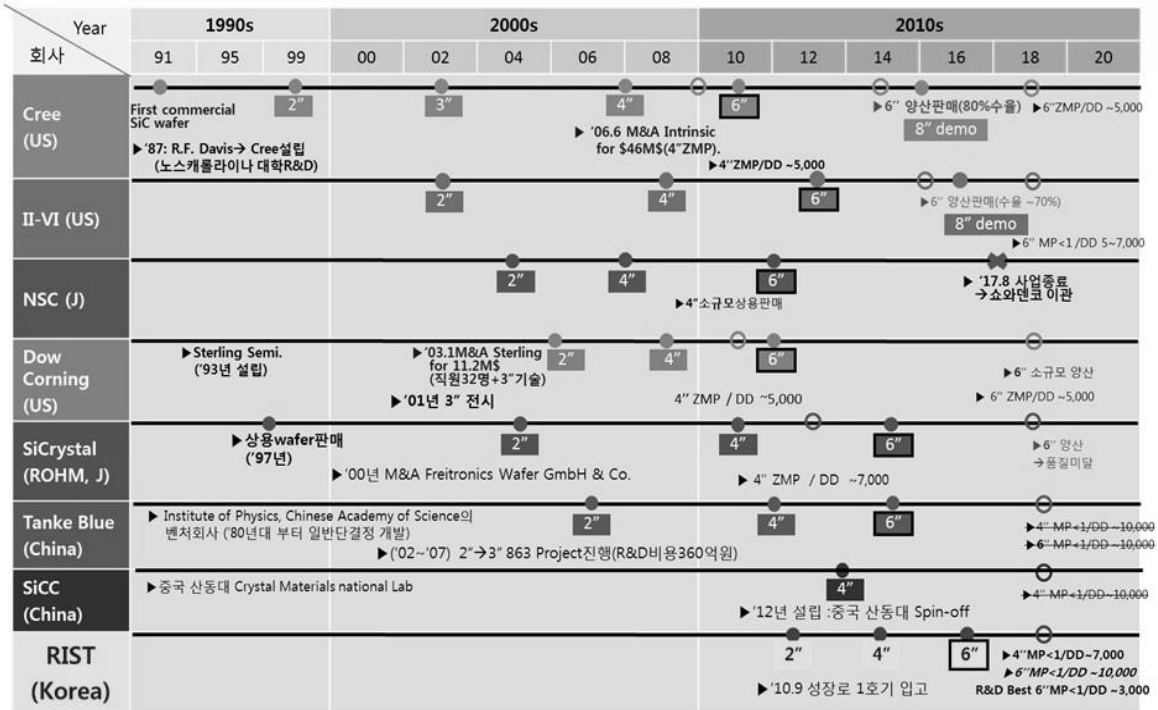
PVT 공정 최적화를 위해서는 ~30여개의 공정변수 최적화가 필요



▪ 단결정 성장공정에 관여하는 약 30여 가지 변수 중, 주요 변수 ~15개를 조합시
→ 2^{15} = 32,678 회 (변수당 2개 상수 대입 : ex. 도가니 하부 Temp. = (1) 2250℃, (2) 2300℃)
또는, 3^{15} = 14,348,907회 (변수당 3개 상수 대입시...)
: 성장로 1대당 실험가능횟수 : 36회/년 → 10대 운용시 360회
→ 32,628회 /360회/년 = ~90년

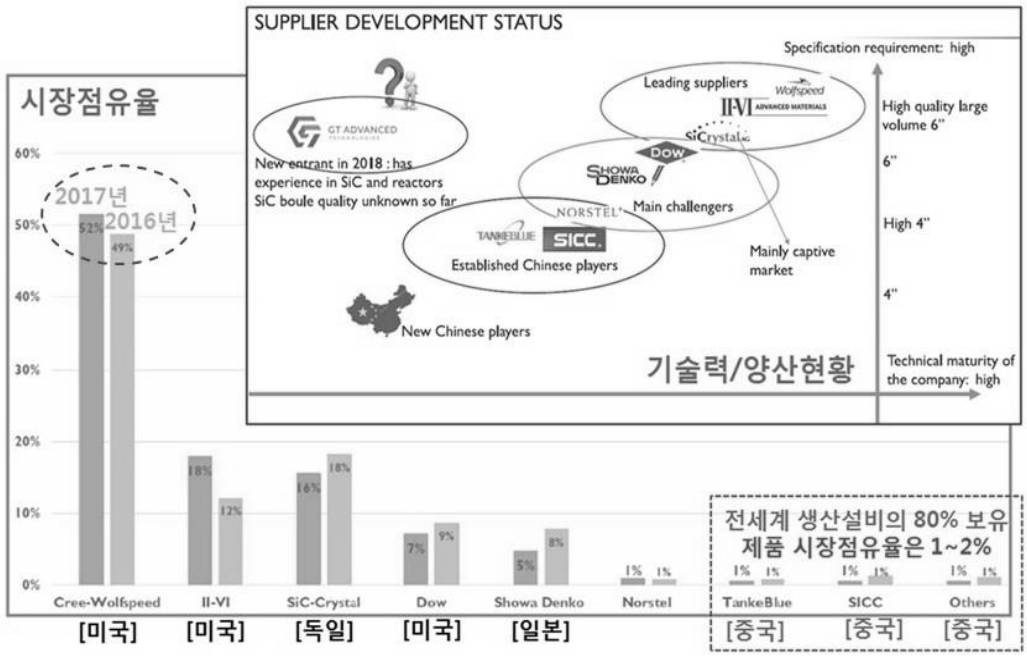
SiC 단결정 wafer 개발 – 경쟁사 개발 History

선진업체의 경우 최소 25~40년의 개발/사업화 경험 보유



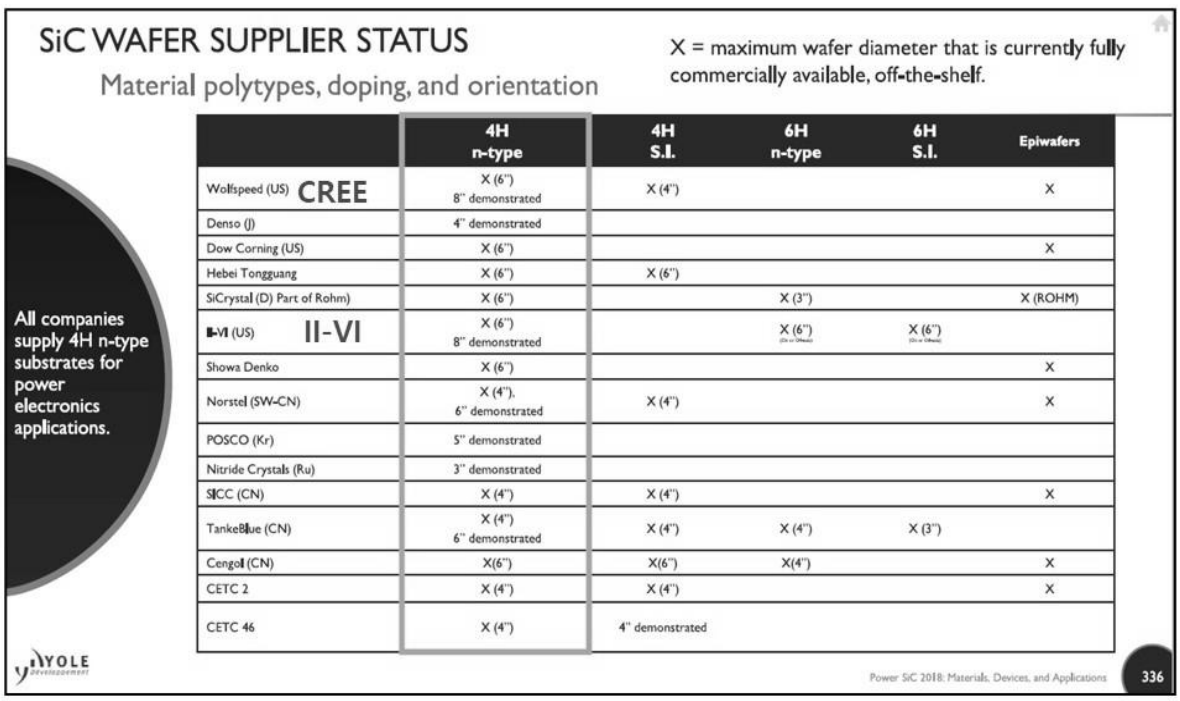
SiC 단결정 wafer 제조사 현황 – 기술력/양산력 비교 ('18년)

경쟁사 분석(China Risk) ➔ 2~3년내 중국의 6" wafer 시장진입 어려움 예상



참고. SiC 단결정 wafer 소재 업계 동향

'23년, 6" SiC wafer 품질/양산 측면 안정적 공급가능업체는 CREE, II-VI (+1~2) 정도...



	4H n-type	4H S.I.	6H n-type	6H S.I.	Epiwafers
Wolfspeed (US) CREE	X (6") 8" demonstrated	X (4")			X
Denso (J)	4" demonstrated				
Dow Corning (US)	X (6")				X
Hebei Tongguang	X (6")	X (6")			
SiCrystal (D) Part of Rohm)	X (6")		X (3")		X (ROHM)
II-VI (US) II-VI	X (6") 8" demonstrated		X (6")	X (6")	
Showa Denko	X (6")				X
Norstel (SW-CN)	X (4"), 6" demonstrated	X (4")			X
POSCO (Kr)	5" demonstrated				
Nitride Crystals (Ru)	3" demonstrated				
SICC (CN)	X (4")	X (4")			X
TankeBlue (CN)	X (4") 6" demonstrated	X (4")	X (4")	X (3")	
Cengol (CN)	X(6")	X(6")	X(4")		X
CETC 2	X (4")	X (4")			X
CETC 46	X (4")	4" demonstrated			

참고. 글로벌 SiC 산업 value-chain 동향(1)

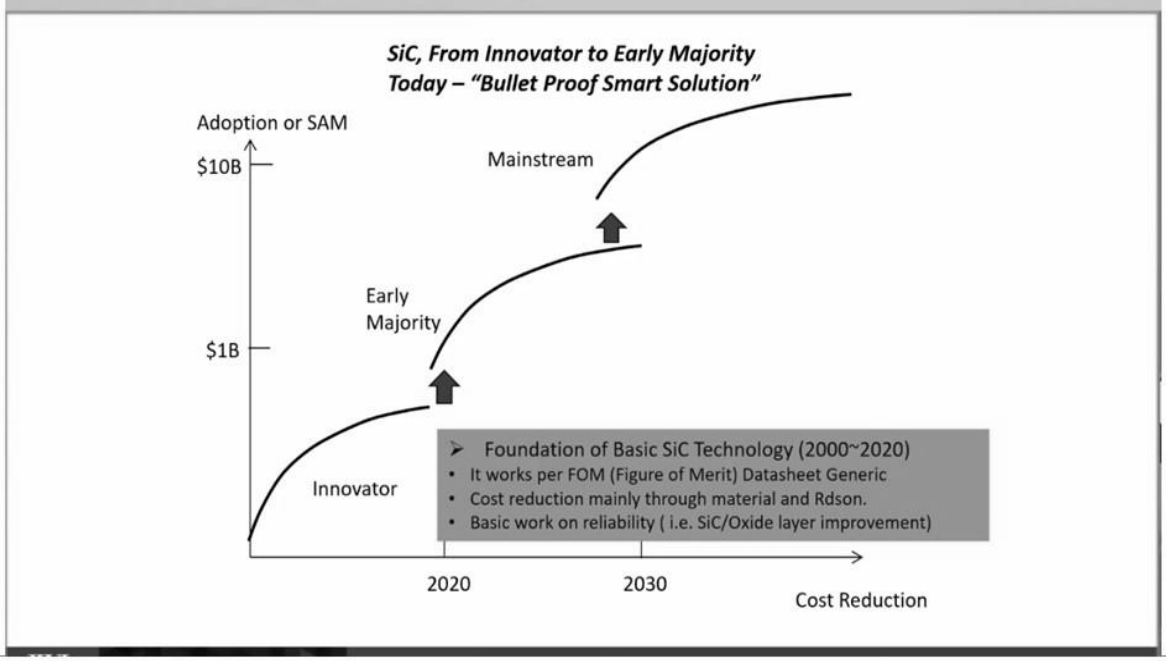
Major 전력반도체社들의 SiC wafer 제조사에 대한 M&A, 투자, 장기공급계약 활발

SiC wafer 제조사	업체별 최근 이슈 사항
- 1위 : CREE 사 (美)	- '17년, Infenion社의 M&A시도 (10억$) → 미국정부 불허 - '18년, Cree사에 10억$ 투자 합의 ➔ 양산 capa 증대 및 장기 공급계약 - 100만장/년 생산규모 달성 예정 (~'24)
- 2위 : II-VI (美)	- 전력반도체社 Ascatron社를 인수 ('20.8) → GE사 협력 연계
- 3위 : SiCrystal (獨→日)	- 일본 RHOM社가 인수 합병 ('14)
- 4위 : DuPont(美)	- SK실트론이 인수 합병 ('19.10) → 미국정부 승인완료 ('20.2) : ~5400억 - 특이사항 : SiC 단결정 성장 / 가공 /에피....
- 5위 : GTAT (美)	- On-Semi(美)가 $415M(~4800억원)에 인수 ('21.8)
...	
- SICC (中, 2위)	- 화웨이社(中)의 투자 ('19.8) (SICC는 반절연기판 세계3위) - 통신용 반절연 SiC 기판 개발 관련 (→ 미중 무역전쟁의 결과)
- 탕케블루(中, 1위)	- 화웨이社(中)의 투자 ('19년.)
- NOSTEL(스웨덴)	- STMicroelectronics社의 M&A ('19.12)

참고. SiC wafer 소재 및 전력반도체 산업 전망 (by II-VI Corp. /21.11.15)

The 5th International Symposium on SiC Materials and Devices 2021 Session I

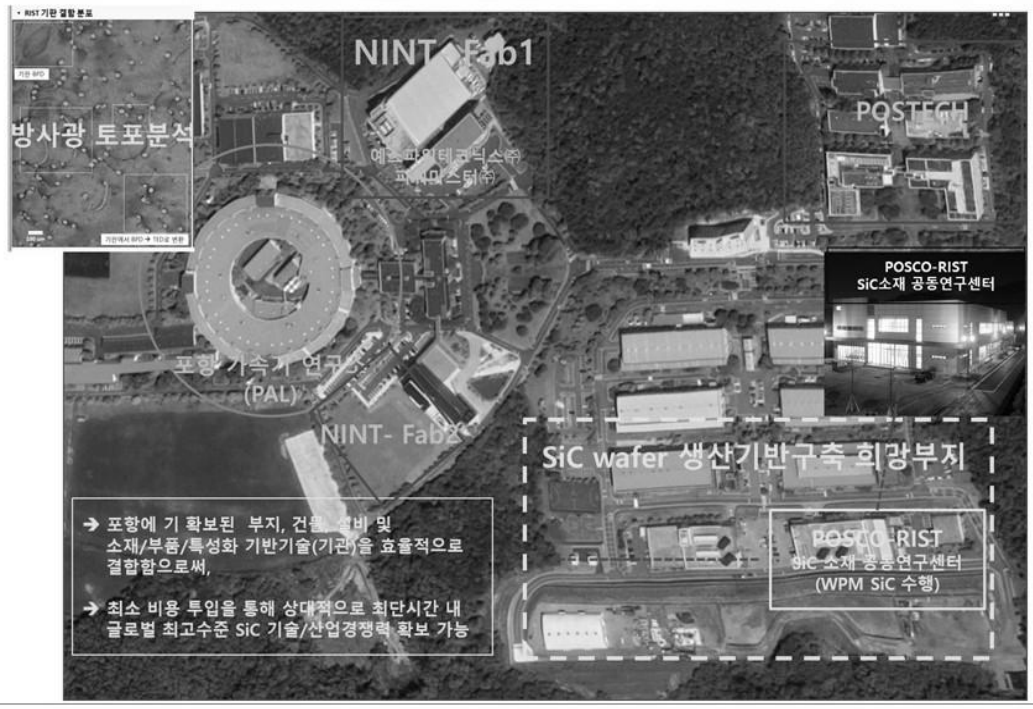
Power Semiconductor I
PS1 : SiC Technology and Product in II-VI Vice



SiC 단결정 wafer 개발 현황 (RIST)

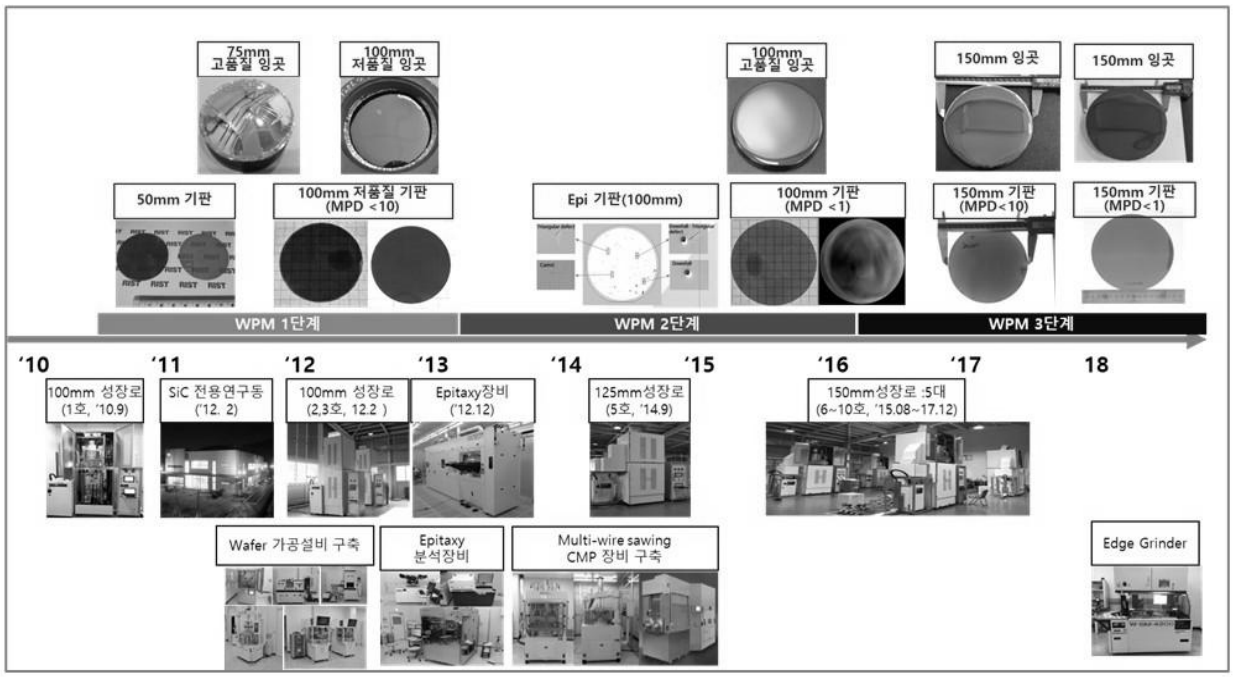
참고. SiC R&BDE Valley / 포항

SiC 단결정 wafer 소재 / 소자 / 응용부품 개발의 최적 입지

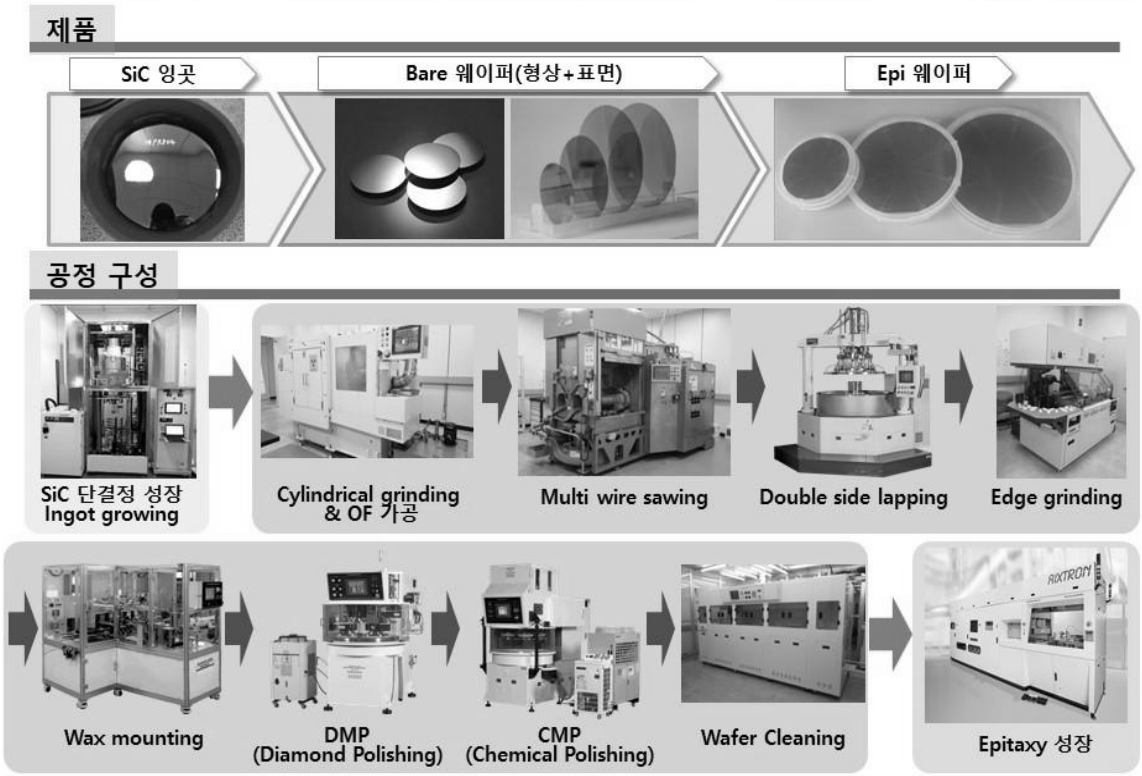


SiC 단결정 wafer 개발 - R&D 히스토리 ('10.1~22.현재)

SiC 단결정성장 → wafer가공 → SiC Epi. 일관 R&D 인프라 구축 및 개발수행

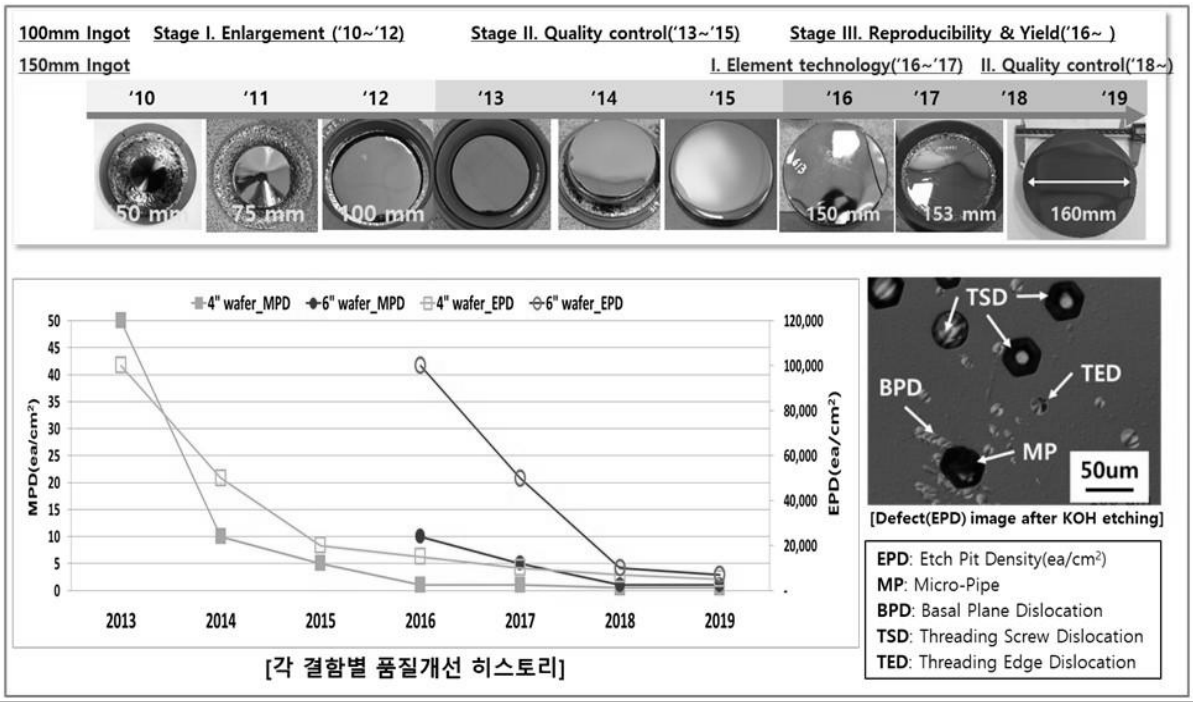


SiC wafer 제품/개발공정 구성



SiC 단결정 성장 기술(1)

SiC 단결정 잉곳 구경 확장 / 품질 개선이력



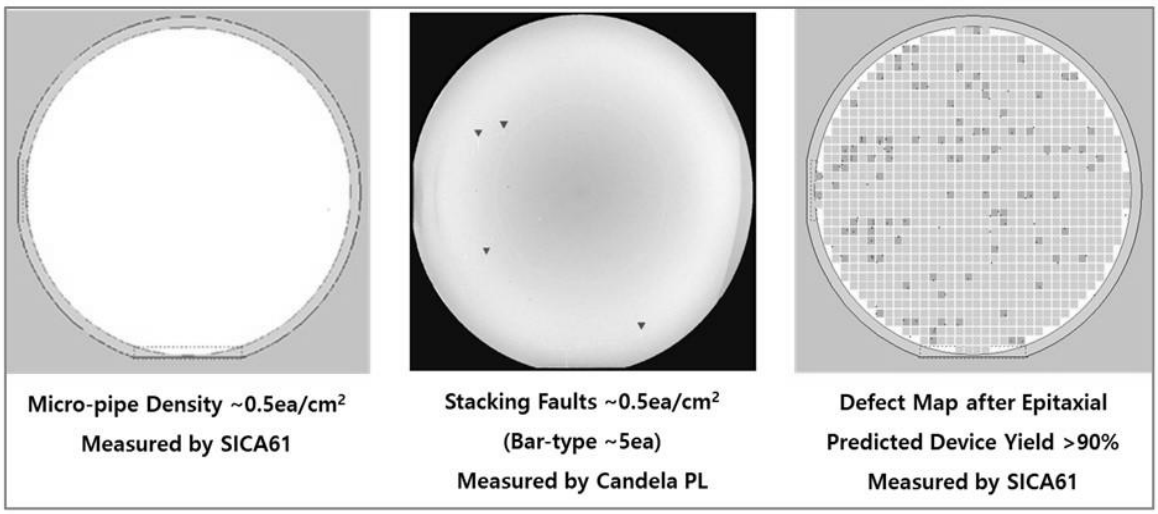
[각 결함별 품질개선 히스토리]

실용화 RIST! 글로벌 RIST! World Top 실용화 전문연구기관 RIST

SiC 단결정 성장 기술(2)

4"(100mm) SiC 단결정 wafer R&D Best 품질

MPD <0.5 cm^{-2}, TSD <500cm^{-2} and BPD <1,000cm^{-2}



Micro-pipe Density ~0.5ea/cm^2
Measured by SICA61

Stacking Faults ~0.5ea/cm^2
(Bar-type ~5ea)
Measured by Candela PL

Defect Map after Epitaxial
Predicted Device Yield >90%
Measured by SICA61

실용화 RIST! 글로벌 RIST! World Top 실용화 전문연구기관 RIST

SiC 단결정 wafer 가공기술 (Wafering)

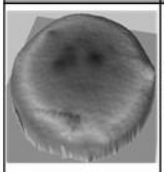
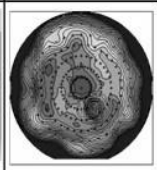
후속 에피공정/소자화에 적합한 4”/6” SiC wafering 기술 내재화

Shape Process	Surface Process	Cleaning	Characterization
Cylindrical Grinding	Lapping	Brush Scrubbing	Stress analysis
Planar Grinding	Edge Grinding	RCA cleaning	Thickness
Multi Wire Sawing	1st & 2nd DMP		Bow/Warp
	CMP		Surface roughness
			Defects / Scratch





[RIST Wafering Process]

Bow/Warp	TTV	Particle	Scratch
			
< 20 um	< 5 um	< 200 ea	~0

[RIST Wafering Quality]

Substrate Property	100mm	150mm
Diameter	100.0 mm +0.0/-0.5 mm	150.0 mm +0.0/-0.5 mm
Thickness	350.0 um ± 25.0 um	350.0 um ± 25.0 um
TTV	≤ 10 um, full substrate	≤ 10 um, full substrate
Warp	≤ 40 um, full substrate	≤ 40 um, full substrate
Scratch	≤ 5 ea	≤ 5 ea

[Commercial SiC Substrate Specifications]

참고. SiC 단결정 wafer 가공 공정 (Wafering)

1. Ingot growing



2. Cylindrical grinding



3. OF/flat grinding



4. Muti wire sawing



5. Lapping



6. Edge grinding



7. Wax boning



8. DMP 1st



9. DMP 2nd



10. CMP 1st



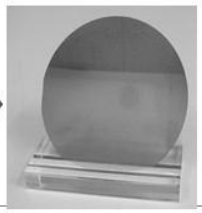
11. CMP 2nd



12. Cleaing



13. Epi-ready wafer

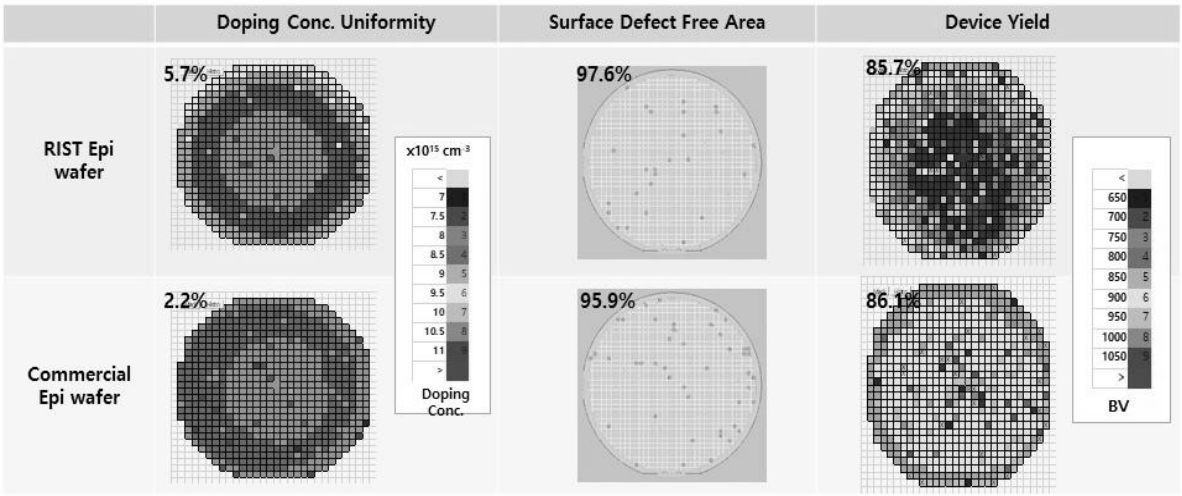


SiC Epitaxy 성장기술

4″/6″ SiC 에피설비 및 기술 내재화 / 6″ epi.는 추가 R&D 필요

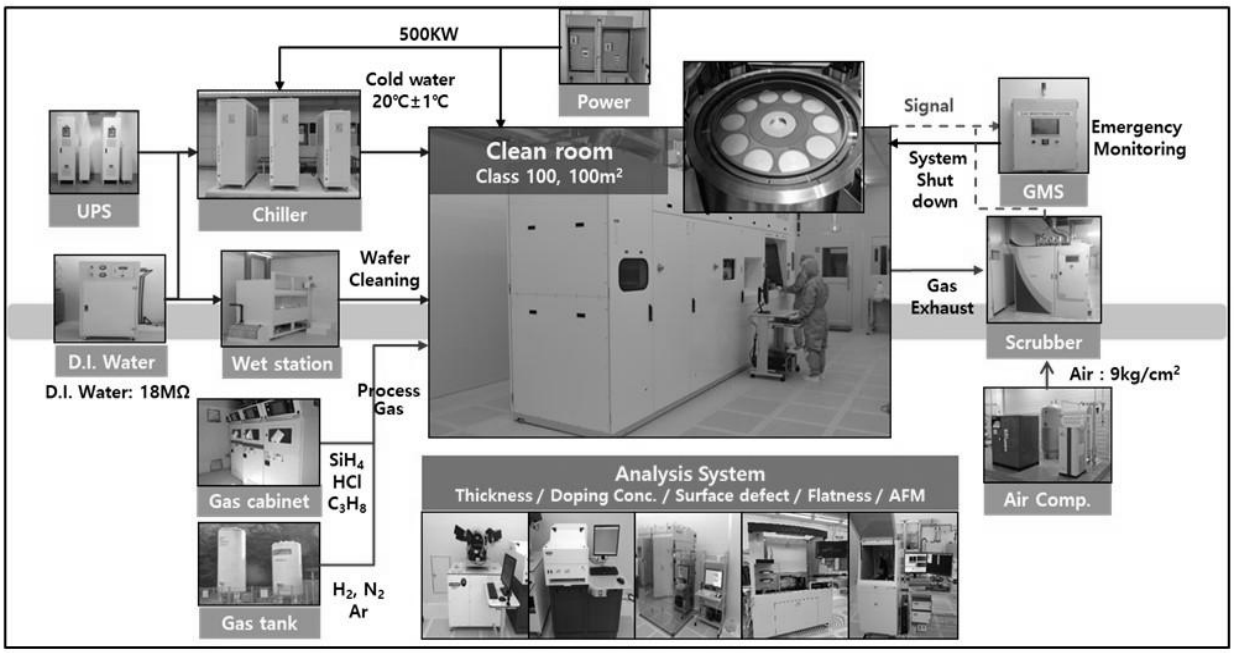
■ 600V SBD Fabrication with 4″ epi wafers in ‘18

Epi quality & Device yield



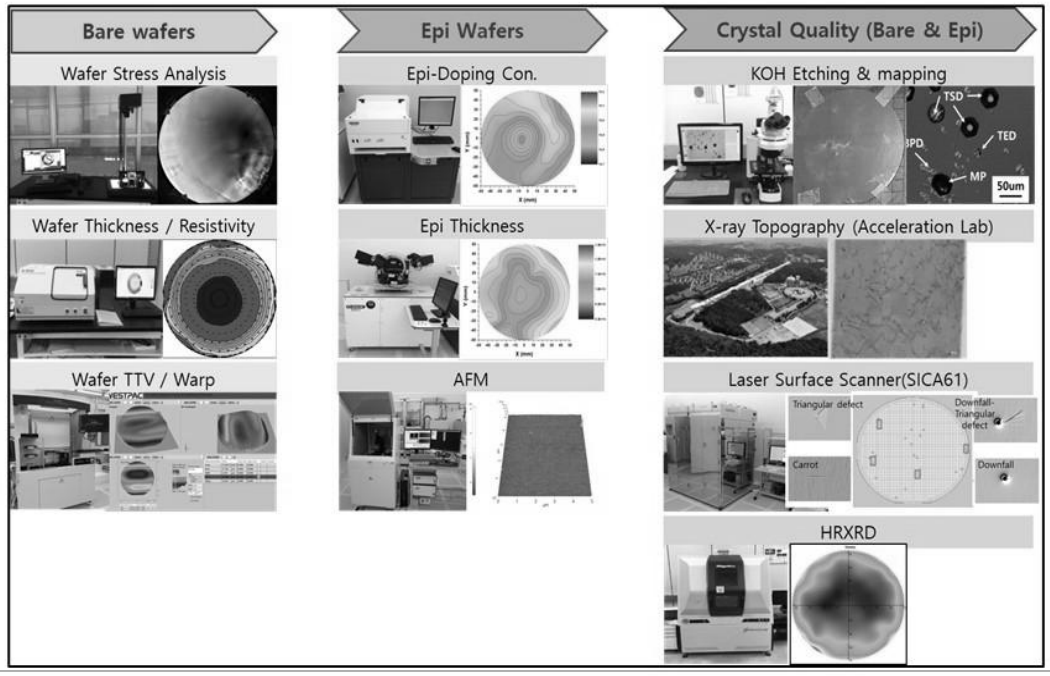
참고. SiC Epitaxy 설비

양산용 SiC 에피설비 보유/운용 (모델 G4 : 4″X10매 or 6″X6매)



SiC bare/Epi. Wafer 품질분석 기술

SiC Bare/Epi 웨이퍼 소재 품질 분석설비 일체 및 운용 기술 보유

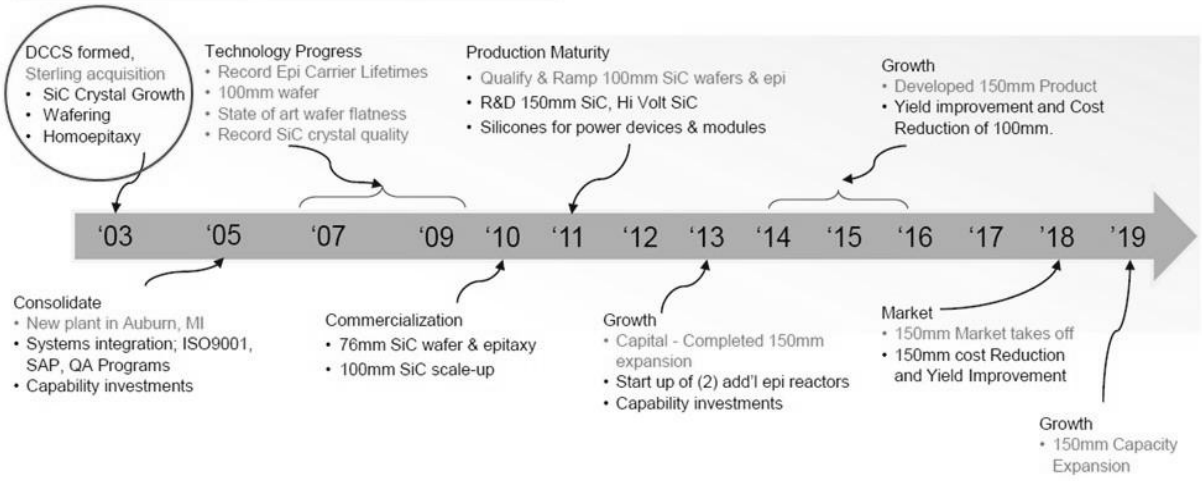


RIST vs. 선진社 비교

참고. A社(외국) SiC 기술/사업 현황

○ '19년 3Q 기준 선진A사 현황요약
- 직원 : 정규직 55명 + 계약직 7명
- 주요 설비 (max. 400억원 규모)
  (1) 보유성장로 : 4"급 31대 / 6"급 20대
  (2) wafer가공설비
  (3) Epi 설비 : 2대
  (4) 기판품질 분석설비
  (5) 부지 및 건물(→ **임차사용/제외**)

'19년 9월, 국내대기업 M&A
: ~5,400억원
'20년 2월 미국정부 승인



실용화 RIST! 글로벌 RIST!

World Top 실용화 전문연구기관 RIST

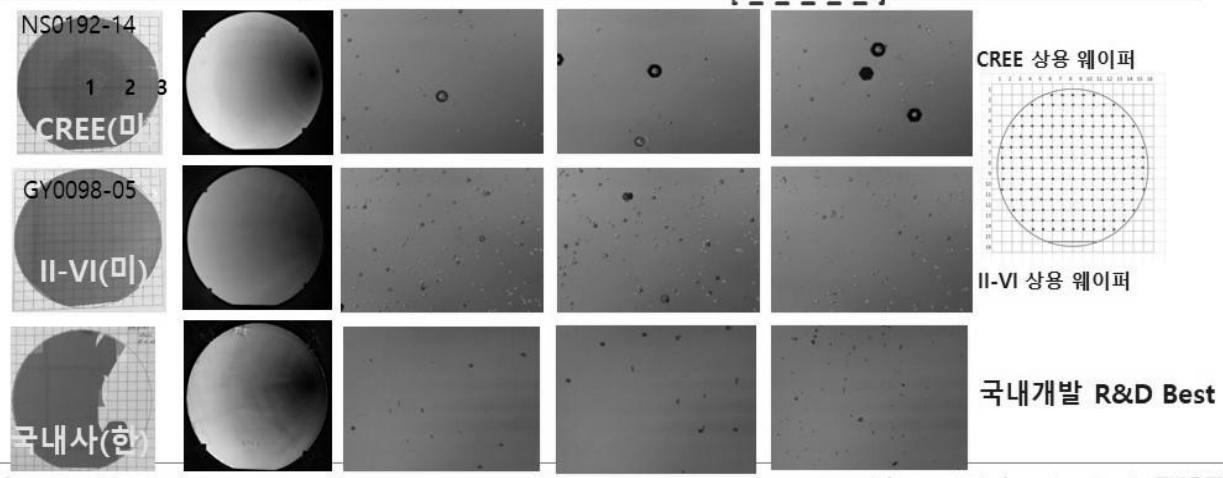
참고. 국내외 6" SiC 단결정 wafer 품질분석 결과

■ 150mm급 상용 기판 / RIST 기판 결함 분석 결과

기판		NS0192-14 (CREE, MPD<1)		GY0098-05 (II-VI, MPD<0.01)		국내개발 (RIST)
		RIST 분석	업체 제공	RIST 분석	업체 제공	
기판 두께		500 um		350 um		500 um
Resistivity (Ω-cm)		0.0181	0.02	0.0163	0.021	0.014
결함밀도	MPD	0.2	<1		<0.01	<1
	TSD	180	-	83	-	50
	BPD	1,787		10,821		2,672
	TED	2,432		3,989		1,118

비고
<M&A社>

Parameter	2019
Diameter	150
MPD	0.5 (0.3)
Etch pit density	12000 (6300)
Threading screw dislocation	500 (200)
Basal plane Dislocation Density	4000 (1700)



CREE 상용 웨이퍼

II-VI 상용 웨이퍼

국내개발 R&D Best

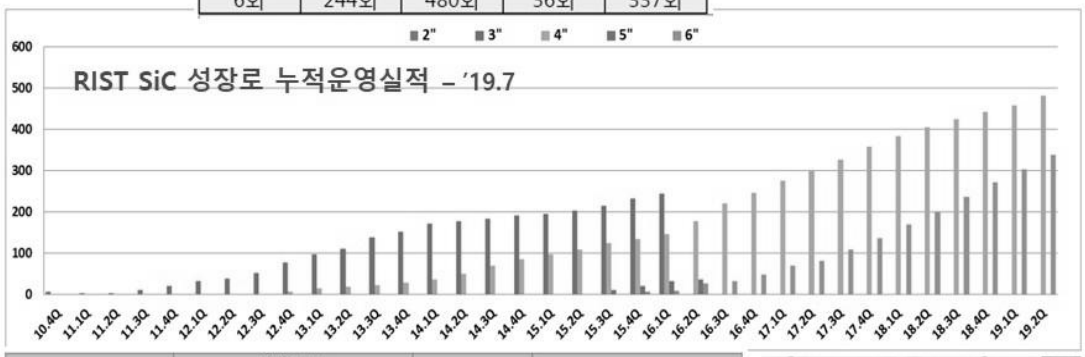
실용화 RIST! 글로벌 RIST!

World Top 실용화 전문연구기관 RIST

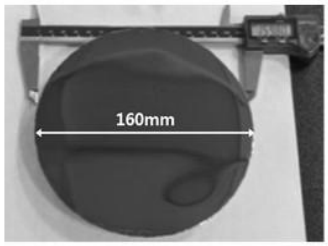
참고. RIST SiC 단결정 성장 실험량

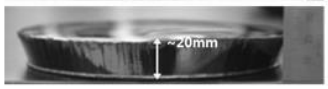
누적 Total				
2"	3"	4"	5"	6"
6회	244회	480회	36회	337회

RIST : 총 1103회 (+280~)



		선진사 수준		RIST (19. 2Q/기술검증)	비고
		Top Tier (Cree/미국)	2nd Tier (II-VI/미국)		
잉곳 성장	잉곳 길이 (mm)	~20	~20 (추정)	12	성장율/잉곳길이 등은 성장로 가격, 소모재 사용주기등과 함께 원가제조 단가로 종합적 제고 필요
	성장율 (um/hr)	> 200	> 200	120	
	양산 수율	~80	50~70	데이터 없음.	Dupont(DowCorning) 사례참고
기판 품질	MPD (ea/cm^2)	< 0.1	< 0.1	< 1	RIST결과: R&D Best 기준 소자수율에 영향을 주는 결함과 Usable Area 관점으로 관리 필요
	TSD (ea/cm^2)	< 1,000	<2,000	<2,000	
	BPD (ea/cm^2)	< 2,000	<5,000	<5,000	
	Stacking Fault				





실용화 RIST! 글로벌 RIST!

World Top 실용화 전문연구기관 RIST

참고. SiC 전력반도체 밸류체인 사업화?

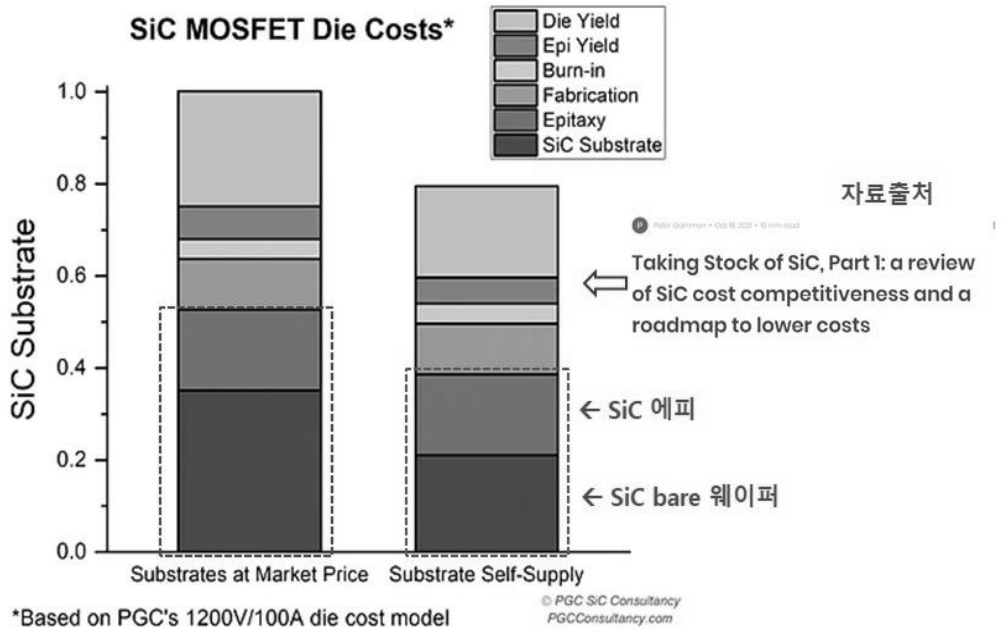


Figure 1: The cost breakdown of a SiC MOSFET die, based on a best-in-class 2021 1200V/100A device produced on a 150mm substrate.

실용화 RIST! 글로벌 RIST!

World Top 실용화 전문연구기관 RIST

감사합니다.

실용화 RIST! 글로벌 RIST!

World Top 실용화 전문연구기관 RIST

목포대학교 파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼

[발표2]

전남 화합물반도체 센터와 생태계

전희석 교수
(목포대학교)

[전라남도]
신성장산업 육성 자체사업

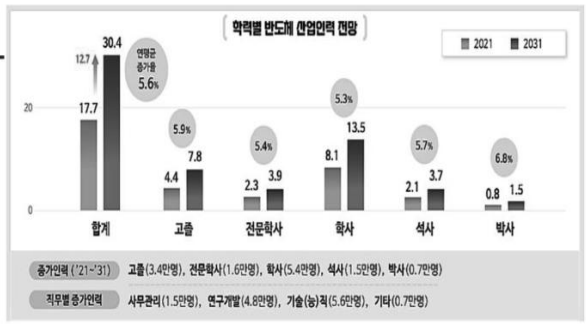
지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성

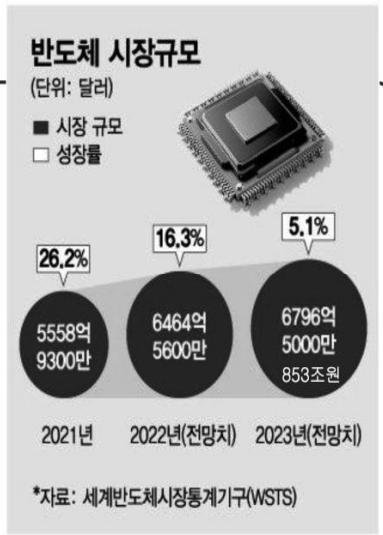
발표자 (책임자) : 전희석 교수 (화합물반도체 센터)

1

1.2 추진 배경 및 관련현황 - 추진계획의 타당성 (반도체인력수급)

반도체 시장 급성장 전망 (2023년 853조원)→ 전남지역 강점에 기반한 반도체 전문인력양성 필요





ㅇ 4차 산업혁명 시대 디지털전환 가속화로 반도체 시장 급성장 전망

* 반도체시장 성장률 : ('18) 12.3% → ('19) △11.7% → ('20) 10.3% → ('21) 26.2%

ㅇ 반도체산업 급성장으로 인해, 향후 10년간 12만 7천여명의 반도체 전문인력양성 필요

* (전문학사 이하) 5만, (학사) 5.4만, (석박사) 2.3만 등 약 12만명 부족 (반도체 산업협회, '21년 추정치 기준)

* 학력별 인력 구성 : (고졸) 39.3%, (전문학사) 17.2%, (학사) 31.6%, (석사) 9.2%, (박사) 2.6%

ㅇ 균형적 지역발전과 수도권 집중 현상을 탈피하기 위해 지역적 강점을 기반으로 반도체 전문인력 양성 필요

2

1.2 추진 배경 및 관련현황 - 추진계획의 타당성 (전남 인력/산업)

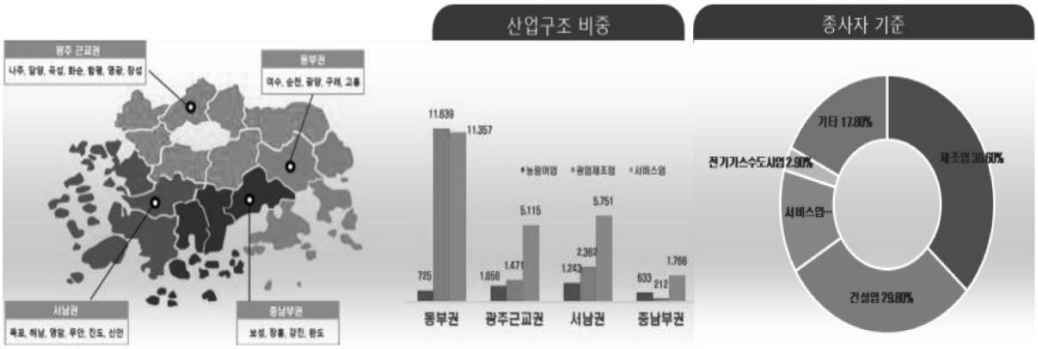
전남의 인적 상황→ 양질의 일자리 부족 및 낮은 경쟁력

전남의 산업구조 → 낙후된 제조업- 전국기준 6.9% 수준, 나머지 농업/어업/관광서비스업

ㅇ (전남) 다른 권역에 비해 양질의 일자리 최하위권 → (대안) 반도체산업 : 높은 부가가치/ 경제성을 가짐.

(2020년 한국고용정보원, 권역별 4년제 대학졸업자 대기업 취업률) * "2020 대학졸업자 취업 동향조사", 한국고용정보원

- 수도권(21.2%), 경기권(19.7%), 충청권(17.8%), 경북권(13.7%), 경남권(13.4%), 강원권(12.9%), 전북권(11.5%), 전남권 (10.2%)



ㅇ 전남-경제의 60% 정도를 동부권의 전통적인 주력 기간산업(광업과 제조업)이 차지, 나머지 (농림, 어업과 서비스업)

- (제조업) 전국의 오직 6.9%에 해당

3

1.2 추진 배경 및 관련현황 - 추진계획의 타당성 (전남과 반도체)

전남의 신산업 육성의지→ (고부가가치) "차세대 반도체 " - 전남/광주 상생1호

지역적 강점을 최대한 연계→ 전라남도 반도체육성 (나주-전력, 차세대 통신-5G/항공/우주 분야, 인근기업)

ㅇ (전남) 반도체 신산업을 광주와 함께 추진 중

항목	주제	주요내용
전남 반도체산업 육성	지자체별 반도체 협력방안	광주전남 반도체산업 육성 추진위원회 출범(2022.09.27.) 광주전남, 반도체 인력양성위 출범 (KBC, 2022.12.06) 광주전남 반도체산업 육성을 위한 상생협력 업무협약 (광주일보, 2023.02.15.) : 한국팹리스산업협회, 한국PCB&반도체패키징산업협회, 한국광기술원 등. 광주전남 상생1호 사업, 반도체 특화단지 유치'(YTN, 2023.02.16) 광주전남 반도체산업 육성을 위한 상생협력 업무협약 (광주일보, 2023.02.15)

출처 : 각 대중매체에서 요약

ㅇ **화합물반도체 분야는 도내 지역산업 (에너지/전력)과 연계성 우수**

(전력산업) ('19.~'24./나주혁신 산단 / 한전 관련 공기업, 및 에너지 관련 회사 501개사 투자유치)

(통신산업) 차세대 유망기술 (6G 이동통신 및 항공우주/국방)과 관련성이 높음

(항공/우주) 전남 우주 항공클러스터 조성을 위해서 대학·연구소, 첨단산업의 R&D에 필요한 전문인력 양성을 비즈니스 모델 제시

*김영록 전남지사 '고흥, 우주항공산업 중심지로 키우겠다.' (머니투데이, 2021.10), '전남 고흥, 발사체 특화지구 지정'

(인근 기업) 전라도-광주, 반도체 대기업 엠코테크놀로지(후공정)와도 우수한 시너지효과 가능

4

1.2 추진 배경 및 관련현황 - 추진계획의 타당성 (화합물반도체)

- 화합물반도체 (연평균 7.3% 성장)→ "차세대 반도체분야"
- 한국 기술 수준 미비 (최고 대비 65%)

ㅇ 화합물 반도체- 두 종류 이상의 원소로 구성된 반도체 [SiC, GaN 및 GaAs등]

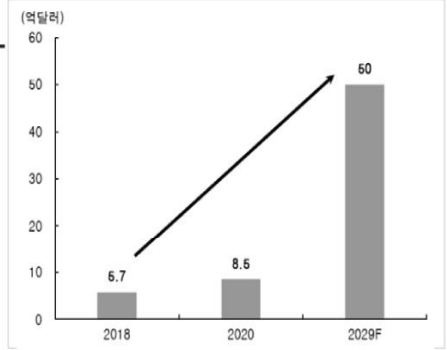
- 기존 Si(실리콘) 대비 전력 효율과 고온에 대한 내구성에 강점

(전기차, 오토모비트, 통신, 방산, 우주항공 등 산업 전반에서 수요 급증)

- 화합물 기반 전력반도체 시장은 2030년까지 연평균 7.3% 성장-"차세대 반도체분야"

(선두업체-미국, 유럽, 일본 등에 집중, 한국- 기술경쟁력 우위 확보 시급)

화합물 전력 반도체 시장 규모 추이

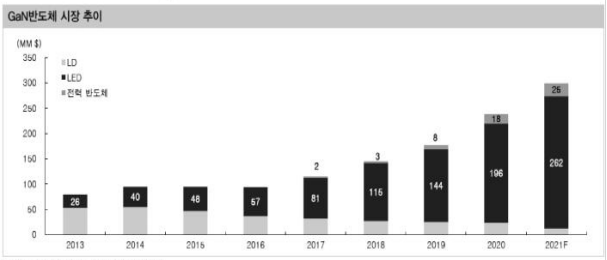


ㅇ 화합물 (전력)반도체 기술수준

- 특허 (미국 50%, 일본 27%, 한국(소재에만 집중) 12%, 유럽 11%)
- 화합물 전력반도체 관련 기술수준 최고기술보유국 대비 65%(평균 77.7%)에 불과
- 정부 : '화합물 전력반도체 고도화 기술개발사업'(2024년~ 2030년, 총 4420억원)

[모듈, IC설계, 소재, 소자, 모델링, 신뢰성] 6개 분야 집중육성

GaN반도체 시장 추이



자료: 전력반도체용 GaN 기판 산업 동향, IBK투자증권

1.2 추진 배경 및 관련현황 - 추진계획의 타당성 (화합물반도체)

- 화합물반도체 (양산형 소자활용)→ 상용서비스 MPW
- 기술사슬 확보 (소자/설계/모듈/패키지)→ 대학연합-기업 함께 그리고 한곳에→센터 중심/연계

ㅇ 화합물 반도체- 두 종류 이상의 원소로 구성된 반도체 [SiC, GaN 및 GaAs등]

- (애로1) 두개 이상의 원소 → 안정적 소자개발 (산포)이 쉽지 않음.→가격 상승 → 최근 개선
- (애로2) 메모리에 편중 → 시스템반도체 (설계)로의 저변 확대 낮음
- (애로3) 안정적 소자기반 모델링, 그로 파생된 설계 → 우주/항공 분야로의 인증의 어려움
- (애로4) (소자, 모델링, 신뢰성, 설계, 패키징-모듈로 이어지는 기술사슬 전반에 "인력부족 심각"

ㅇ 어떻게 할것인가?

- (방안) 안정적인 상용화 소자활용 → (단기적) Cree/Winsemi 사의 파운드리를 활용
- (연계) 이를 기반으로 모델링, 신뢰성(인증) 및 설계로의 파생기술 확보하고, 접근성 확보
- (연계) 직접 개발한 회사들과 소수의 학교전문가들의 강력한 연대를 통해 실질적 교육이 필요

→ 산재해 있는 대학 연구실레벨의 전문가들을 효과적으로 모아 기술적 역량을 확보

→ 산재해 있는 회사들을 모아 안정적인 소자를 확보하여 기술사슬을 이어줌

소자 안정성 확보
(단기-상용 MPW)

↓

설계, 모델링, 모듈 및 패키징
(회사/대학 역량을 한곳에)

↓

MPW를 지원하는
기업이 유치된 센터
*우주항공-인증/신뢰
*모델링 및 설계
*패키징-테스팅 (모듈)-제품
Turn-key solution

센터설립

1.2 추진 배경 및 관련현황 - 추진계획의 타당성 (화합물반도체)

화합물반도체 action item

설계, 모델링, 모듈 및 패키징 (인력양성)

화합물반도체 인력양성"

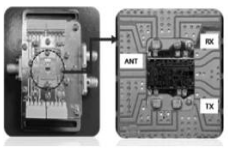
GaN 및 GaAs기반 (설계) 전문인력 양성

Package & Test (후공정) 전문인력 양성

설계, 모델링, 모듈 및 패키징 (회사 역량을 한곳에)

기업지원

화합물반도체 관련 기 보유한 기술을 바탕으로 기업지원 및 육성

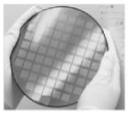




소자 안정성 확보 (단기-상용 MPW)

GaN 및 GaAs기반 MPW서비스 연계 기술개발

참여교수, 대학(원)생 및 기업체에게 다양한 상용화 설계서비스 제공





산학협력 중심 기반조성

유치 기업 및 외부기관과의 산학연협력을 통한 반도체생태계 형성 모색

서울시립대학교 UNIVERSITY OF SEOUL

설계, 모델링, 모듈 및 패키징 (대학 역량을 한곳에)

1.2 추진 배경 및 관련현황 - 추진계획의 타당성 (화합물반도체)

전남의 신산업 육성의 초석→ (산업생태계 형성 5대요소) 인력, 기업, 자금, 인프라 및 정책 → 센터(인프라)중심 인력, 기업유치에 총력

화합물반도체 인력양성"

GaN 및 GaAs기반 (설계) 전문인력 양성

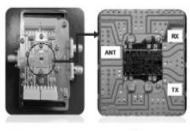
Package & Test (후공정) 전문인력 양성

실무교육 (채용연계)

실무교육 (안정적)

기업지원

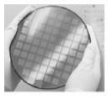
화합물반도체 관련 기 보유한 기술을 바탕으로 기업지원 및 육성





GaN 및 GaAs기반 MPW서비스 연계 기술개발

참여교수, 대학(원)생 및 기업체에게 다양한 상용화 설계서비스 제공





산학협력 중심 기반조성

유치 기업 및 외부기관과의 산학연협력을 통한 반도체생태계 형성 모색

서울시립대학교 UNIVERSITY OF SEOUL

R&D

안정적 기술축적

(1) 기술적 생태계 구축
- 설계/제작/측정-평가

(2) 산업적 생태계 구축
- 인력/기업/자금/인프라

(3) 지역적/기술적 특성화
- 패키징-테스팅 (후공정)
- 항공우주 인증
- 모델링

1.4 기 확보 기업참여 의향서– 화합물 반도체 MPW 현물기부

기업 참여 의사 확인서	
사업명	지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성 사업
참여 기관	㈜웨이브피아
협업내용	화합물 반도체 MPW 설계지원
(참여기업)은 목표대학교가 주관하고 추진하고 있는 위 사업에 대하여 참여할 의사가 있음을 확인합니다.	

별첨4 [해당 시] 기업 참여 의사 확인서

기업 참여 의사 확인서

사업 명	지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성 사업		
협업내용	화합물 반도체 MPW 설계지원		
주관연구기관명	목포대학교	주관연구책임자 성명	전희석
총 연구기간	2023.03.01~2026.02.28	참여기업명	(주)웨이브피아

(참여기업명)은 목포대학교가 주관하여 추진하고 있는 위 사업에 대하여 참여할 의사가 있음을 확인합니다.

(단위 : 천원)

기 간		현 금	현 물
1차년도	2023.03.01~2023.12.31	0	100,000
2차년도	2024.01.01~2024.12.31	0	100,000
3차년도	2025.01.01~2025.12.31	0	100,000
총 액		0	300,000

2022년 3월 1일

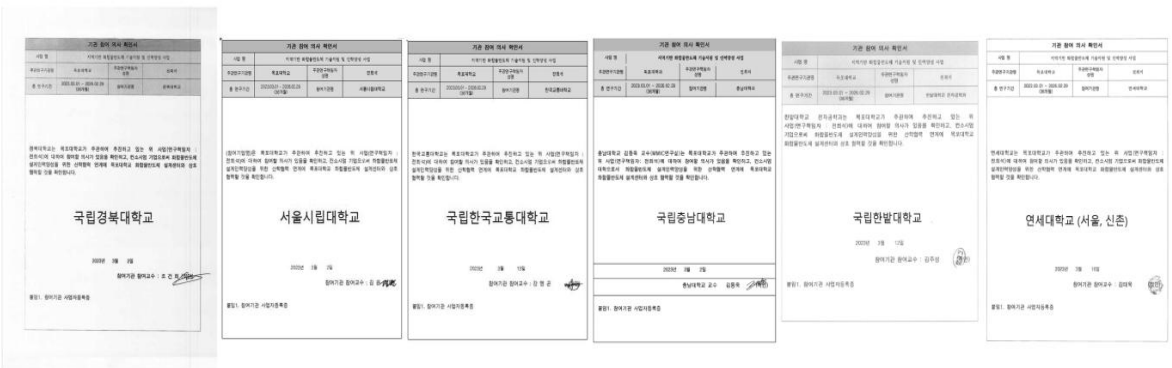
참여기관 장 : (주)웨이브피아 (직인)

135-86-47547
WAVEPIA CO.,LTD.
Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea
CEO LEE SANGHUN

붙임1. 참여기업 사업자등록증

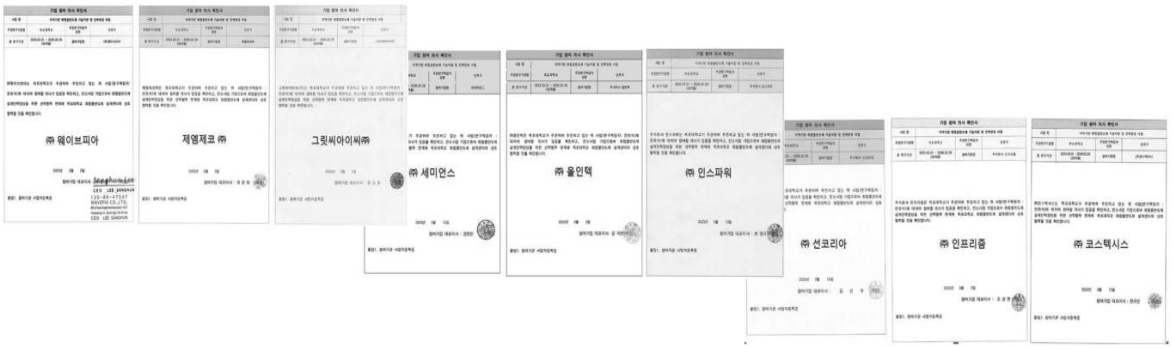
1.4 기 확보 기관참여 의향서– 컨소시엄 기관

기관참여의향서	
사업명	지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성 사업
참여 기관	연세대학교 외 5건
기술유형	연세대학교는 목포대학교가 주관하여 추진하고 있는 위 사업(연구책임자: 전희석)에 대하여 참여할 의사가 있음을 확인하고, 컨소시엄 기업으로써 화합물반도체 설계인력양성을 위한 산하협력 연계에 목포대학교 화합물반도체 설계센터와 상호 협력할 것을 확인합니다.
연세대학교 외 7곳 이상	연세대학교, 경북대학교, 충남대학교, 서울시립대학교, 한밭대학교, 한국교통대학교 등

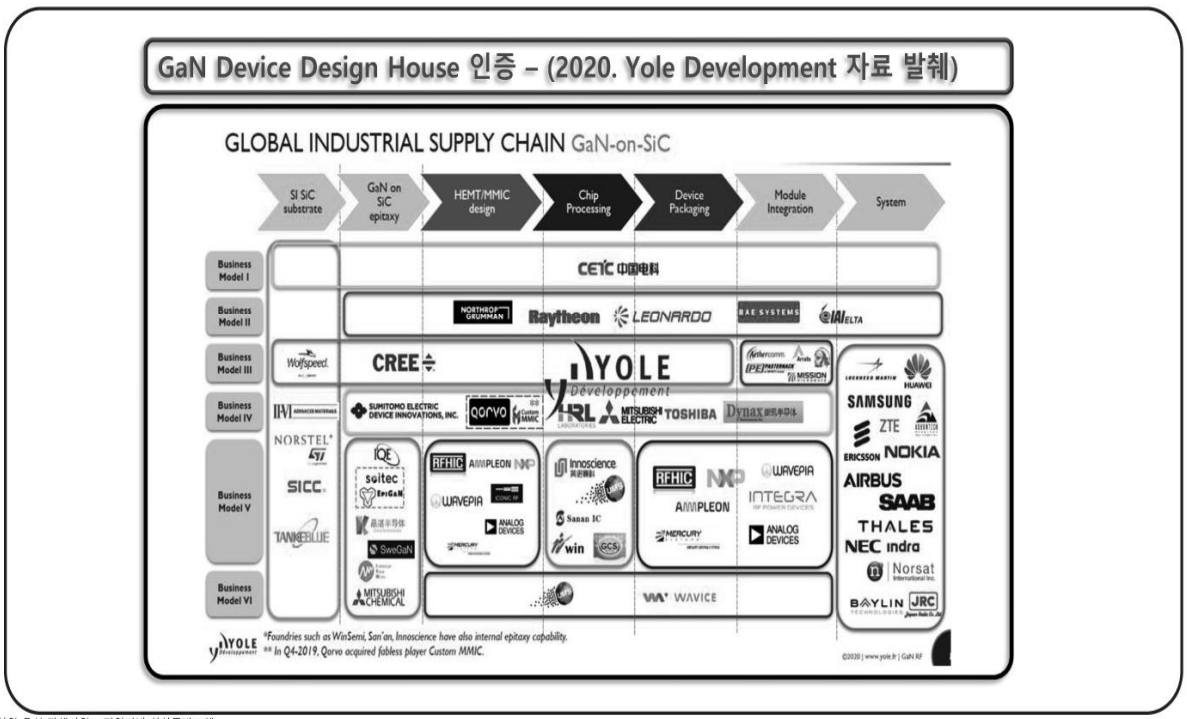


1.4 기 확보 기업참여 의향서– 컨소시엄 기업

기업참여의향서	
사업명	지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성 사업
참여 기관	㈜웨이브피아 외 9건
기술유형	㈜웨이브피아는 목포대학교가 주관하여 추진하고 있는 위 사업(연구책임자: 전희석)에 대하여 참여할 의사가 있음을 확인하고, 컨소시엄 기업으로써 화합물반도체 설계인력양성을 위한 산하협력 연계에 목포대학교 화합물반도체 설계센터와 상호 협력할 것을 확인합니다.
㈜웨이브피아 외 9곳 이상	㈜웨이브피아, ㈜코스텍시스, 제엠제코㈜, ㈜선코리아, 그릿씨아이씨㈜, ㈜세미언스, ㈜올인텍, ㈜인스파워, ㈜인프리즘, 맴스팩



1.4 기 확보 기술 개요 및 특징 – 공동개발기업 2

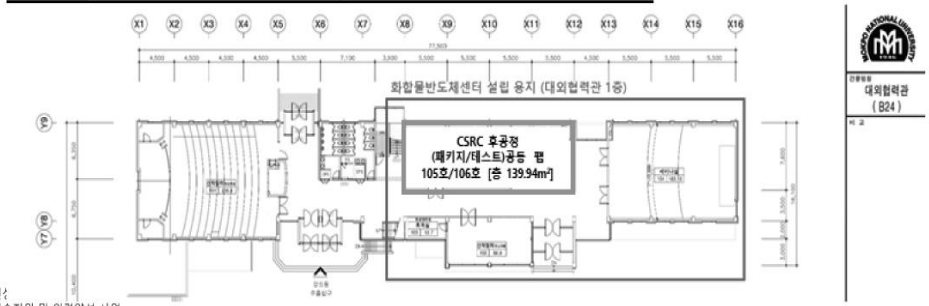


1.4 기 확보 기술 개요 및 특징 – 목포대학교 (공간)

화합물반도체센터 (CSRC, 후공정-패키징/테스팅) 산학공동팹 구축

구 분	내 용	
대 지 위 치	전라남도 무안군 청계면 영산로 1666	
용 도	교육연구시설(대외협력관)	국립목포대학교
건 축 면 적	1,606.24㎡	
연 면 적	5,961.17㎡	
구 조	철근콘크리트구조	
화합물 반도체센터 배정공간	4개실 총 면적: 379.94㎡ 102호(회의실): 56.9㎡ 104호: 183.10㎡ 105호: 78㎡ 106호: 61.94㎡	





신성장산업 육성 자체사업 – 지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성 사업

13

2.1 사업 목표

비전 국내 최초/최고 화합물반도체산업의 메카

전남 화합물반도체센터 (Compound Semiconductor Research Center, CSRC)

목표

화합물반도체 설계/제작/측정 및 평가 turn-key 기술지원체계 완비

- 글로컬 강소기업육성 (DC/AC분야 10개社)
- 화합물반도체 인력양성 (고교, 전문학사, 및 학석박사 1,000명)
- 화합물반도체 중점 연구 (GaN/GaAs기반 R&D육성)

전라남도 [화합물 반도체기반] "산업 생태계 조성"

인재양성 | 회사 육성 | 인프라 | 시장(지역연계)

추진전략

반도체 기업(유지/육성)	시스템반도체/후공정	화합물 반도체	초광역권 협력
화합물기반 반도체 회사 유지 및 육성 [>10곳] (지역주력산업과 연계)	국내최초 MPW 제공 화합물반도체기반 - 파운드리: Winsemi - GaN / GaAs 등 수백nm급	고전력/고주파 GaN/GaAs 화합물반도체 분야에 집중 - (설계) 회로 및 모듈설계 - (후공정) 패키지 및 TEST	(국내외) 반도체연구소 - 서울대, KAIST, 포스텍 fab. - 권역별 반도체 연구센터 - 외국 유수반도체 센터

(주요사업)

기반조성

- CSRC 업주 회사 10社 이상
- CSRC 업주 연증기관 (신뢰성)
- CSRC 설립
  [CSRC - 설계]
  - MPW 설계 제공 (연2회,무료)
    : GaN/GaAs 수백nm급
  - EDA tool (ADS, Cadence)
  [CSRC - 후공정]
  - 패키지제조 (die-att, WB 등)
  - 측정 (DC/RF 검증 및 평가)

인력양성

- 화합물 반도체 교육지원
  - 연 2회이상 MPW 설계 교육
  - 화합물반도체 설계 교육 (고주파, 고출력)
  - 패키지제조 및 측정 교육
  - 화합물반도체 모델링 교육
  - EDA tool교육
  - 채용연계 프로그램 육성
- 고교연계 반도체교육(10곳)

기술개발

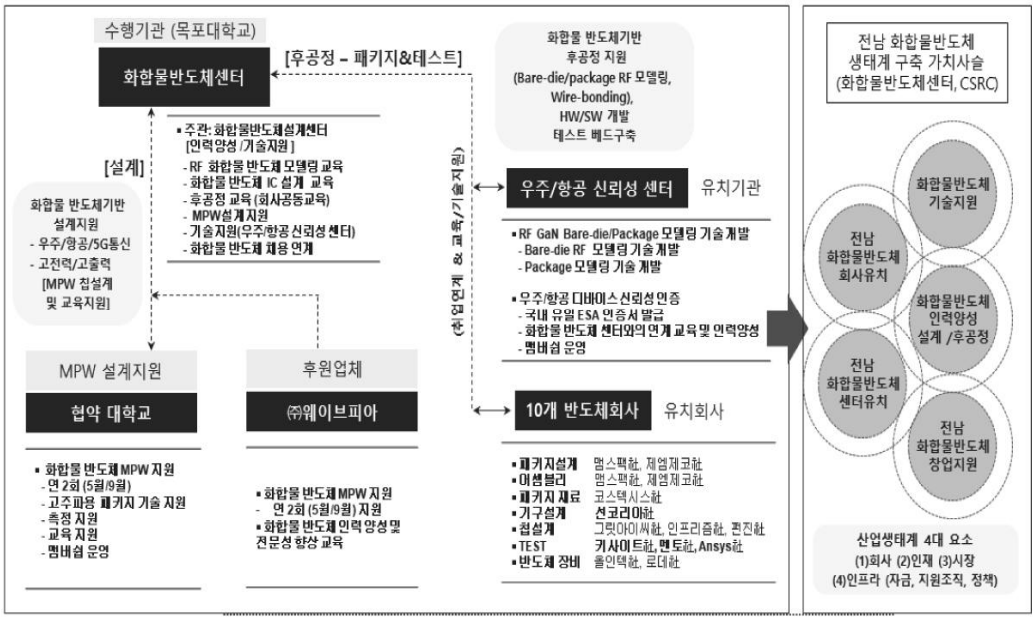
- 화합물 반도체 기술개발
  (설계)-고주파/고전력 분야
  - GaN/GaAs 기반 IC
  - GaN/GaAs 기반 모델링
  (후공정)
  - 패키지/TEST 개발
  (소자) 화합물반도체 소자
  - GaN/GaAs 기반 신뢰성 및 열해석

기업지원

- 화합물 반도체 기술지원
  - RF bare-die 모델링 지원
  - RF package 모델링 지원
  - 산학연계 R&D 기술과제
  - 패키지제작지원
  - 측정지원
  - 설계지원 (EDA tool 및 환경)
  - 우주/항공 연증발급
  - 채용연계 프로그램 기회제공
  - 멤버쉽운영

신성장산업 육성 자체사업 – 지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성 사업

3.1 추진체계 및 역할분담



4.4 결론 및 기대효과

지역기반 화합물반도체 기술지원 및 인력양성 사업

산업적 효과

○ 센터 내 유치되는 산업체 (10개 회사), 외부 인증기관 및 전문인력을 기반으로 전라남도에서 처음으로 반도체 생태계 형성 (회사-인력-인프라 확보)
○ 화합물반도체 센터 구축을 통해 핵심산업 분야 (5G/6G 이동통신, 전기차, 항공·우주)에 필요한 지역내 차세대 제품군 확보
○ 전력반도체 연계기술을 통해 나주에 포진한 전력산업 및 광주에 있는 자동차산업과 우수한 시너지 효과 창출
○ 차세대 인공태양광 개발을 통해 전남 주요산업군인 농어업 및 관광 지역산업 활성화 및 고도화 추진

신성장산업
육성
자체사업

기술적 효과

○ 국내 유일 화합물반도체 공정, 설계, 후공정, 테스트·측정, 및 인증으로 연계된 완성형 화합물반도체 중심센터 모델 제시.
○ 화합물반도체 기반 상용화 수준의 핵심 기술 및 제품확보.
○ 고전력, 고신뢰성, 및 고효율로 대변되는 차세대 반도체기술 확보.
○ 국내 유일 우주·항공산업에서 요구되는 신뢰성 및 인증 기술력 확보.

인력양성 효과

○ 본 센터에서 보유한 설계/제작/측정 통합환경을 기반으로 수요기업과의 연계를 강화하여 국내에서는 처음으로 실무중심형 화합물반도체 인력을 양성함.
○ 화합물반도체 분야는 기존 반도체산업과의 연계성이 매우 우수함. 광주광역시에 있는 세계적 (후공정분야) 대기업인 앰코테크놀로지로의 활발한 취업연계가 기대됨. → 채용연계 프로그램개발
○ 항공우주 신뢰성 센터와의 공조를 통해 미래핵심산업인 반도체 신뢰성 및 인증 능력을 갖춘 독특하고 경쟁력 있는 전문인력을 양성함

지역기반 화합물 반도체 기술지원 및 인력양성
화합물 반도체 핵심 부품의 협업개발로 반도체 산업 활성화 및 신 시장 창출

전라남도의 새로운 산업의 초석을 마련→ 전남 반도체생태계를 구축

[전라남도]
신성장산업 육성 자체사업

2023년도 신성장산업 육성 자체사업

감사합니다 !

목포대학교 산학협력단

17

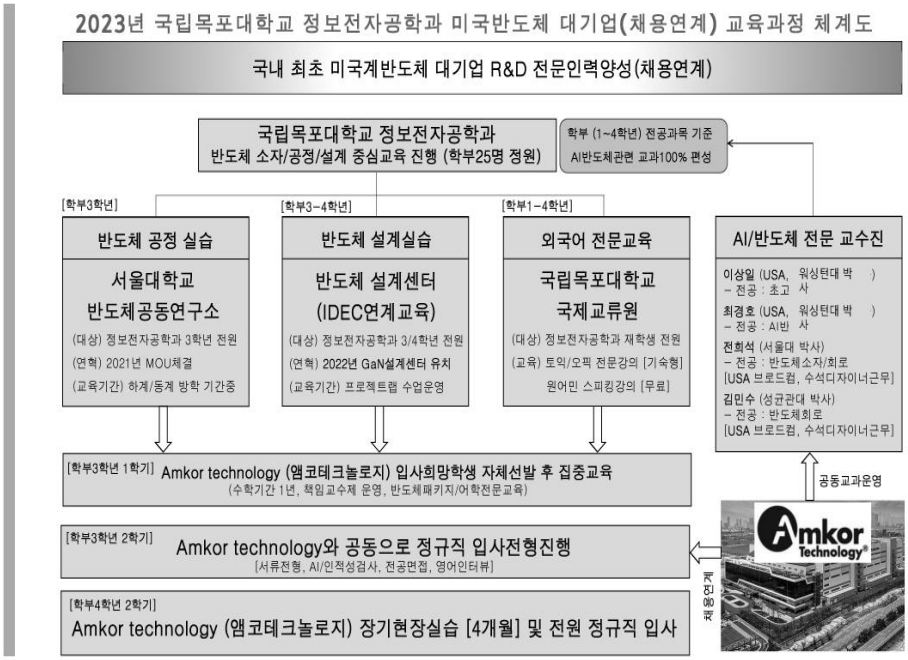
채용연계교육

국립목포대학교
공과대학 정보전자공학과

반도체, 그 중심에 서다!
-외국계 대기업과 취업연계프로그램 운영



채용연계교육



채용연계교육 (결과)



채용연계교육 (결과)

2023년 재학생 13명 외국계 반도체대기업 입사 및 재학생70%이상 유수 반도체회사 취업성공!!

올해 2023년 석사 졸업생 반도체설계분야 (미국계 대기업) Broadcom 정규직 R&D 엔지니어 입사 (연봉 6000만원 이상)

시스템반도체분야

· 매그너칩반도체
· 레오LSI
· (미) Broadcom

2023년 1월, 재학생 3명 입사

국립목포대 정보전자공학과 반도체설계전문회사
(미국 브로드컴, 매그너칩반도체 / LEO LSI -삼성전자협력회사)

목포대 정보전자공학과는 집중적인 반도체설계 교육을 기반으로 (미)Broadcom, 매그너칩반도체 등 시스템반도체 분야에 올해 2023년 1월 정규직 R&D엔지니어로 졸업과 동시에 취업 되었다고 밝힌다. Broadcom은 미국 캘리포니아 산호세에 본사를 두고, 나스닥에 상장되어 시가총액 290조에 달하는 글로벌 시스템 반도체 (세계 3위)에 해당되는 대기업이다. 아시아와 북미를 중심으로 16,000명의 직원을 고용하고 있다. 또한 매그나칩 반도체(MagnaChip Semiconductor)는 약 30년간 7,000여개에 IP 포트폴리오 및 엔지니어링 및 제조 공정 전문 노하우를 바탕으로 약800명의 임직원과 함께 5400억원의 매출을 갖는 국내 시스템반도체 분야의 선두기업으로 알려져 있다. 회사의 재직 연봉은 2022년도 대졸 기준 재직 4600만원 이상인 중견기업이다. 그 외에 시스템반도체 분야 유망회사인 (삼성전자 반도체설계협력업체) LEO LSI에 목포대학교 정보전자공학과 졸대훈 학우가 선발되어 2023년 1월 부터 정규직 R&D로 근무할 예정이다.



매그나칩반도체 (시스템반도체-중견회사), 신입4600만원 이상

(교육) 시스템반도체/반도체설계





목포대학교 정보전자공학과
"시스템반도체 전문교육과정(2022년) "

올해 2023년 재학생3명 국내 GaN 화합물반도체업체 에이프로 입사 (연봉3800만원)

화합물반도체 분야

[㈜에이프로]와 **채용연계 프로그램운영**

2023년 1월 재학생 3명 입사

국립목포대 정보전자공학과-에이프로(주)
채용연계 형 MOU 체결 및 2023년 3명 취업

2022년 8월 1일, 국내 화합물반도체 GaN분야를 대표하는 에이프로와 국립목포대학교 전자정보공학과(정희석 교수)는 상호간의 인력양성을 목표로 산학협력 을 체결했다. 에이프로는 8인치 GaN 에피웨이퍼제조 및 파운드리에서 요구하는 품질 및 균일도, 수율 등의 사양을 모두 만족한 화합물반도체 전문회사이다. 기존에 국내에서 100% 수입에 의존해 왔던 GaN웨이퍼를 자체생산하고 GaN 전력반도체 제품의 생산성 및 가격 경쟁력을 확보하고 있다. 에이프로의 재직 연봉은 2022년도 학부졸업 R&D엔지니어 기준 재직 3800만원 수준이다. 2023년 1월 3명의 재학생 (정선택, 김소영, 이은동)이 취업연계과정을 통해 정규직으로 근무중이다. 목포대 정보전자공학과는 채용연계 프로그램을 기반으로 전남 반도체 특화분야인 화합물반도체분야에 특화교육을 진행중에 있다.



국내 GaN 화합물반도체업체 에이프로, 신입3800만원 수준

목포대학교 파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼

[초청강연2]

무연 압전 에너지 하베스터의 연구 동향

남 산 교수
(고려대학교)

KOREA UNIVERSITY

무연압전 에너지 하베스터의 연구 동향

Sahn Nahm

Department of Materials Science and Engineering, Korea University

Content

I. 비납계 압전체 소개 및 시장 현황

II. KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

- 압전체 (bulk) - PPB 구조 및 texturing
- 박막 (thin film) - low temperature crystallization

III. 비납계 에너지하베스터 연구동향

- 압전체 (bulk)
- 박막 (thin film)
- 메타물질 (meta material)

Content

I. 비납계 압전체 소개 및 시장 현황

II. KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

- 압전체 (bulk) - PPB 구조 및 texturing
- 박막 (thin film) - low temperature crystallization

III. 비납계 에너지하베스터 연구동향

- 압전체 (bulk)
- 박막 (thin film)
- 메타물질 (meta material)

비납계 압전체 소개 및 시장 현황

❖ **Electric Device using Ferroelectrics**

VARIOUS PHENOMENA IN MATERIALS

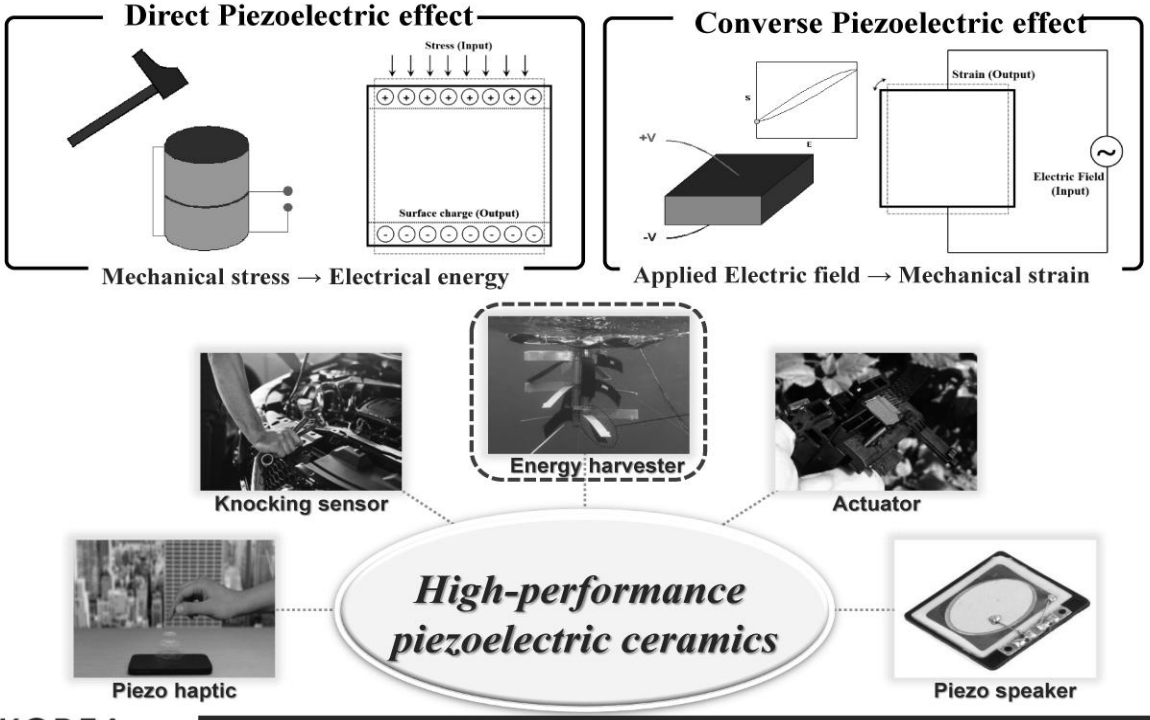
INPUT ⇨ MATERIAL DEVICE ⇨ OUTPUT

INPUT \ OUTPUT	CHARGE CURRENT	MAGNET-IZATION	STRAIN	TEMPERATURE	LIGHT
ELEC. FIELD	Permittivity Conductivity	Elect.-mag. effect	Converse piezo-effect	Elec. caloric effect	Elec.-optic effect
MAG. FIELD	Mag.-elect. effect	Permeability	Magneto-striction	Mag.caloric effect	Mag.optic effect
STRESS	Piezoelectric effect	Piezomag. effect	Elastic constant		Photoelastic effect
HEAT	Pyroelectric effect		Thermal expansion	Specific heat	
LIGHT	Photovoltaic effect		Photostriction		Refractive index

Diagonal Coupling — Sensor

Off-diagonal Coupling = **Smart Material** — Actuator

비납계 압전체 소개 및 시장 현황



비납계 압전체 소개 및 시장 현황

❖ **Piezoelectric Constant**

$$\text{Output} = \bigcirc \cdot \text{Input}$$

$$\text{Strain} = d^* \cdot \text{Electric Field}$$

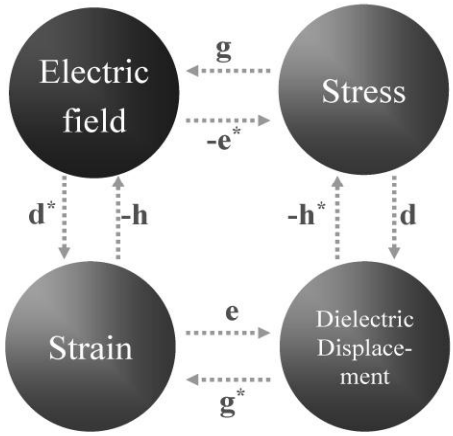
$$\text{Dielec. Displacement} = d \cdot \text{Stress}$$

$$d^* = \frac{\text{Strain}}{\text{Electric Field}} = d = \frac{\text{Dielectric Displacement}}{\text{Stress}}$$

$$h = \frac{-\text{Electric Field}}{\text{Strain}} = h^* = \frac{-\text{Stress}}{\text{Dielectric Displacement}}$$

$$g = \frac{\text{Electric Field}}{\text{Stress}} = g^* = \frac{\text{Strain}}{\text{Dielectric Displacement}}$$

$$e^* = \frac{-\text{Stress}}{\text{Electric Field}} = e = \frac{\text{Dielectric Displacement}}{\text{Strain}}$$



비납계 압전체 소개 및 시장 현황

전기기계결합계수 (k_p) - 에너지 변환 효율을 나타내는 변수

$$k^2 = \frac{\text{출력 에너지 (기계/전기 에너지)}}{\text{입력 에너지 (전기/기계 에너지)}}$$

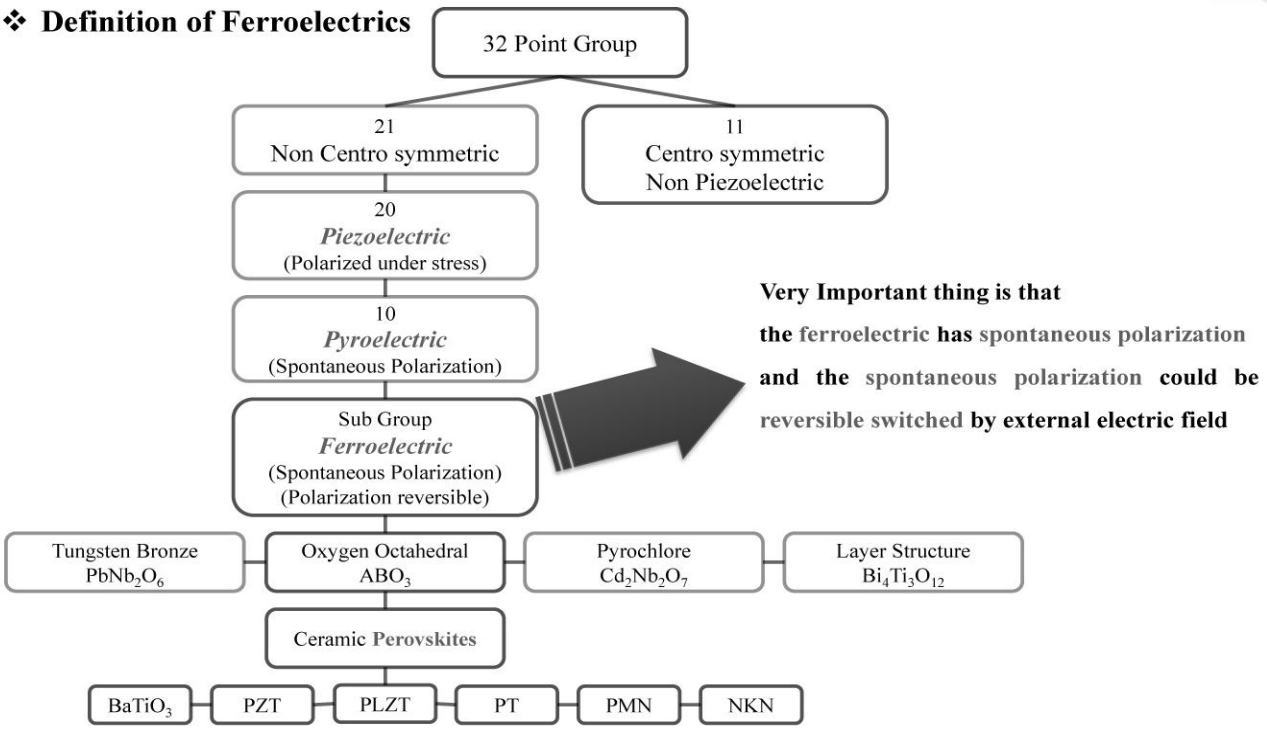
기계적 품질계수 (Q_m)

→ 대부분의 손실은 열이므로, Q_m이 높으면 열 발생 적음

KOREA UNIVERSITY

비납계 압전체 소개 및 시장 현황

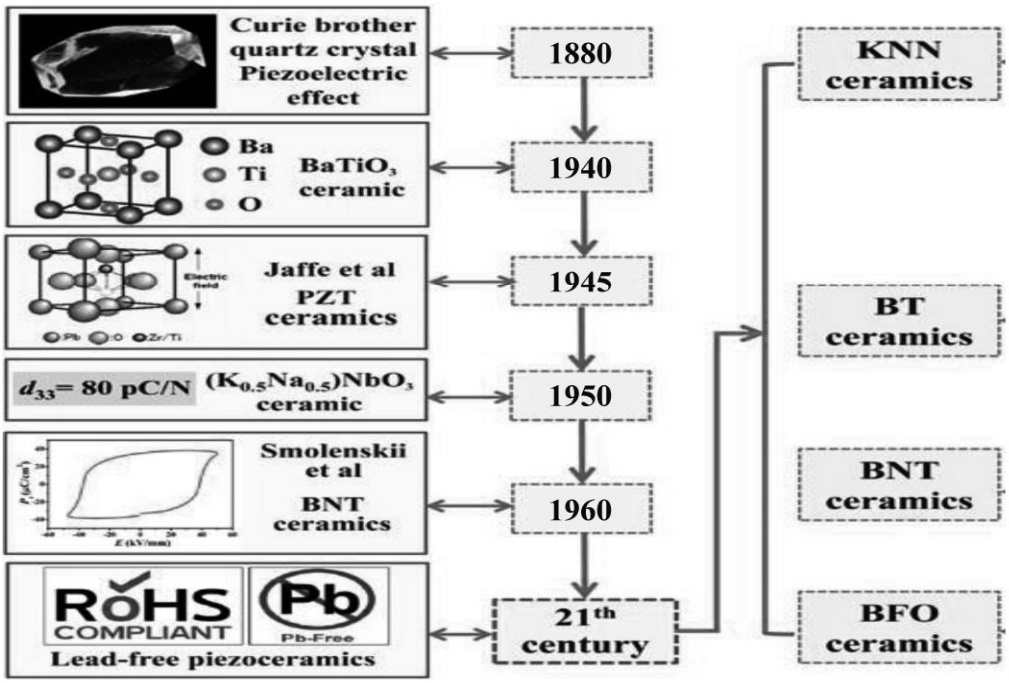
❖ **Definition of Ferroelectrics**



KOREA UNIVERSITY

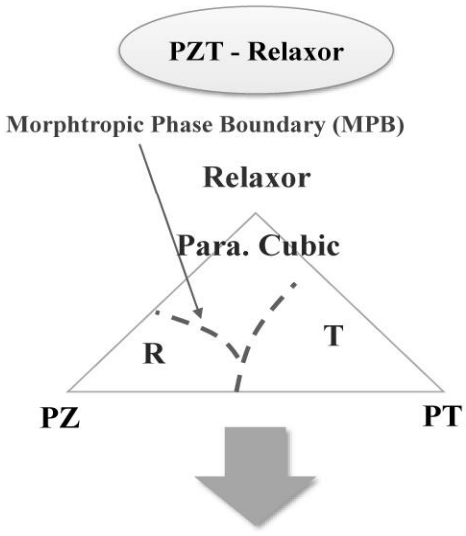
비납계 압전체 소개 및 시장 현황

History of the piezoelectric ceramics



비납계 압전체 소개 및 시장 현황

❖ **$Pb(Zr,Ti)O_3$ [PZT] Based Ceramics: Relaxor Solid Solution**



Soft (high d_{33})

- -PZT-PNN (d_{33}=740 pC/N, k_p=0.63, 2003, JJAP)
- -PZT-PSbN (d_{33}=426 pC/N, k_p=0.67, 1994, JJAP)
- -PZT-PZN (d_{33}=460 pC/N, k_p=0.60, 2004, JACS)
- -PZT-PZN-PMN (d_{33}=533 pC/N, k_p=0.65, 2004, Ceram. Int.)
- -PZT-PYbN (d_{33}=1247 pC/N, 2004, JJAP)

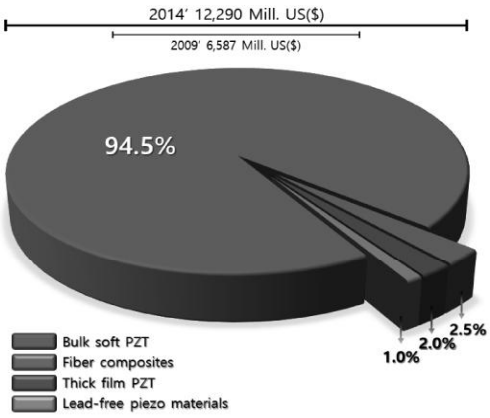
Hard (high Q_m)

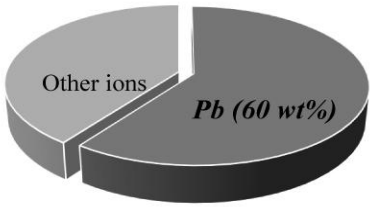
- -PZT-PZN+MnO_2 (Q_m=1160, k_p=0.54, 2004, Materials Science Eng. B.)
- -PZT-PMnN (Q_m=3700, k_p=0.52, 1999, JJAP)
- -PZT-PMnN+CaO+Fe_2O_3 (Q_m=2000, k_p=0.6, 2004, Ceram. Int.)
- -PZT-PZNN+MnO_2 (Q_m=1502, k_p=0.55, 2003, APL)

➢매우 높은 d_{33}를 가짐 : 다양한 종류의 MBP를 가지는 조성 제작가능

비납계 압전체 소개 및 시장 현황

$Pb(Zr, Ti)O_3$ – based piezoelectric ceramics





$Pb(Zr, Ti)O_3$–based piezoceramics

High Curie temperature

High electro-mechanical conversion efficiency

Low sintering temperature

Easy compositional modification

RoHS COMPLIANT

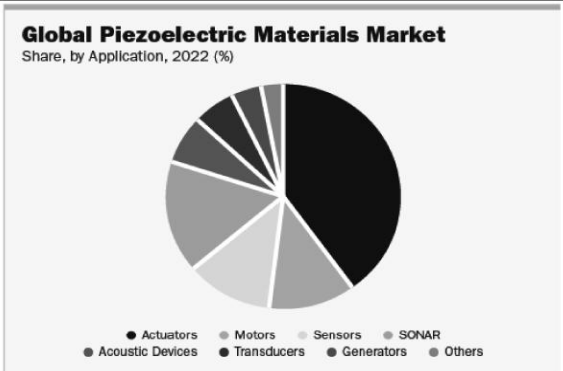
Pb-Free

Environmental policy

- CA Proposition 65, 1986
- EU LoHS, 2003
- China LoHS, 2006

비납계 압전체 소개 및 시장 현황

Piezoelectric Material Market Size
2022. GRAND VIEW RESEARCH

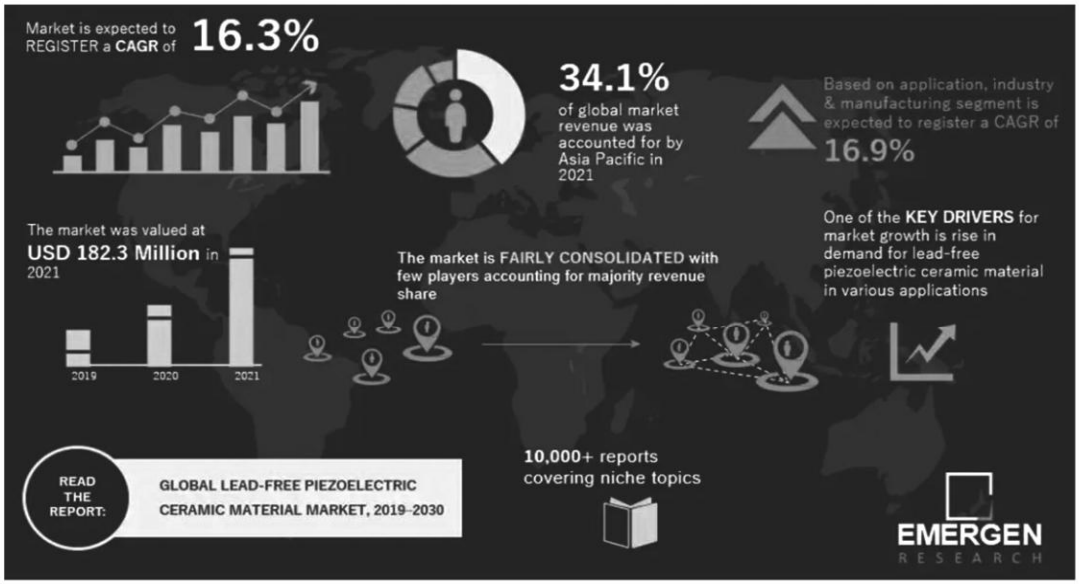


Piezoelectric Materials Market Report Scope

Report Attribute	Details	
Market size value in 2023	USD 1,449.3 million	약 2조원
Revenue forecast in 2030	USD 1,972.2 million	약 2.6조원
Growth rate	CAGR of 4.5% from 2023 to 2030	
Base year for estimation	2022	
Actual estimates/Historical data	2018 - 2021	
Forecast period	2023 - 2030	

비납계 압전체 소개 및 시장 현황

Lead free Piezoelectric Ceramic Material Market
2022. Emergen Research



구분	시장규모 (USD Million)	비고
2021년	182.3	CAGR (연평균 성장률) 16.3%
2030년	710.0	

KOREA UNIVERSITY

13

비납계 압전체 소개 및 시장 현황

Lead free Piezoelectric Ceramic Material Market
2022. Emergen Research

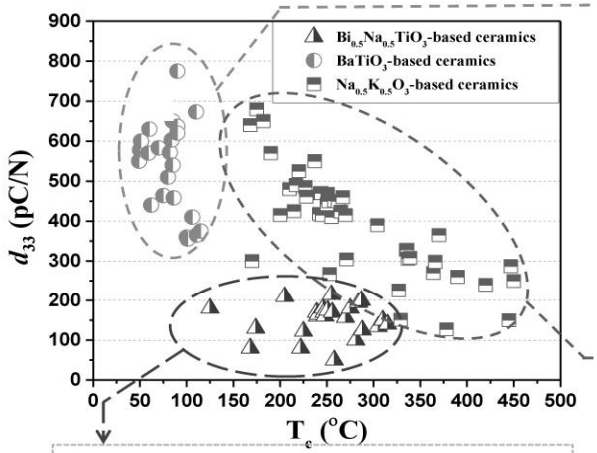


KOREA UNIVERSITY

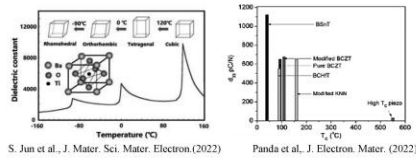
14

비납계 압전체 소개 및 시장 현황

Lead-free piezoelectric ceramics



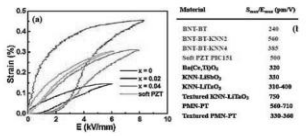
✓ $BaTiO_3$-based piezoceramic



S. Jun et al., J. Mater. Sci. Mater. Electron.(2022) Panda et al., J. Electron. Mater. (2022)

Advantage: high piezoelectric and dielectric properties.
Disadvantage: low Curie temp.

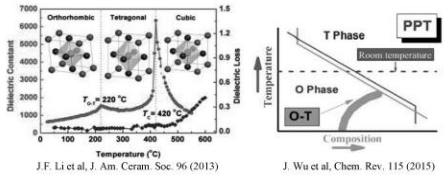
✓ $(Bi, Na)TiO_3$ based piezoceramics



Hao et al., Mater. Sci. Eng. R Rep. (2019)

Advantage: large strain properties and high Curie temp.
Disadvantage: low piezoelectric properties

✓ $(Na, K)NbO_3$ -based piezoceramic



J.F. Li et al, J. Am. Ceram. Soc. 96 (2013) J. Wu et al, Chem. Rev. 115 (2015)

Advantage: high Curie temp., good piezoelectric properties and easy compositional modification.
Disadvantage: poor sinterability

Content

I. 비납계 압전체 소개 및 시장 현황

II. KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

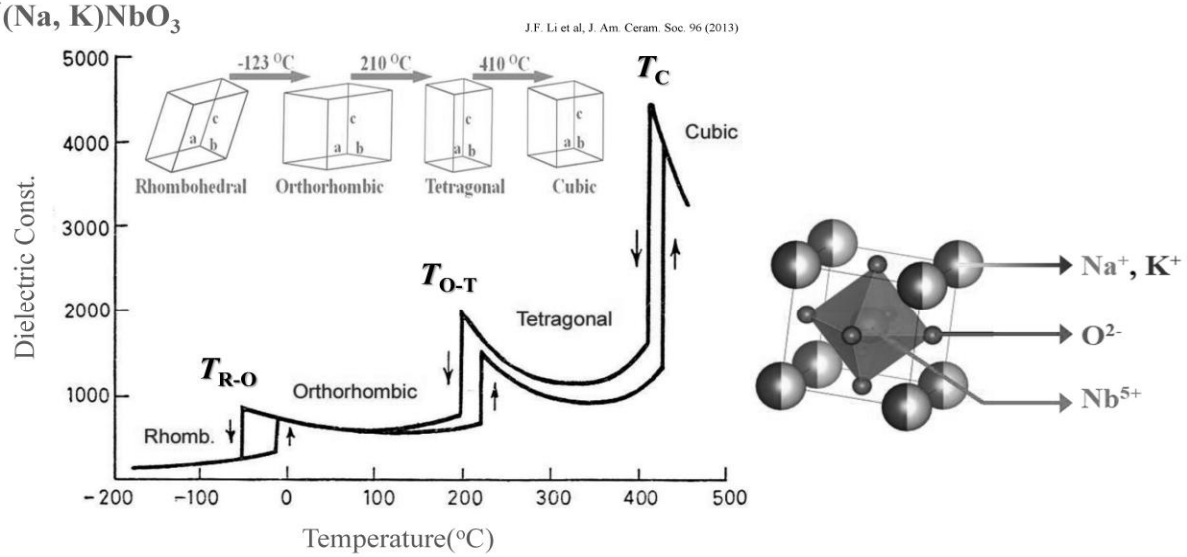
- 압전체 (bulk) - PPB 구조 및 texturing
- 박막 (thin film) - low temperature crystallization

III. 비납계 에너지하베스터 연구동향

- 압전체 (bulk)
- 박막 (thin film)
- 메타물질 (meta material)

KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

✓$(Na, K)NbO_3$



➢ $(Na, K)NbO_3$ 세라믹은 온도구간에 따라 특정 결정구조를 가지고, 특정온도에서 상(phase)가 변하는 상전이 온도를 가짐.

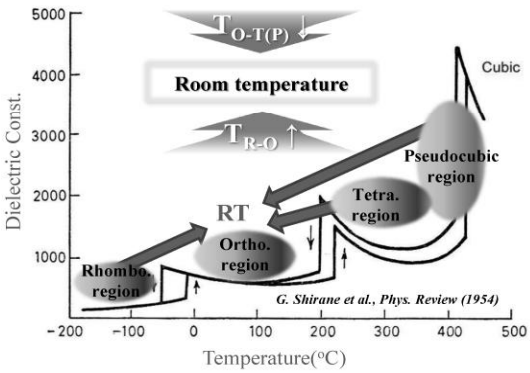
KOREA UNIVERSITY

17

KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

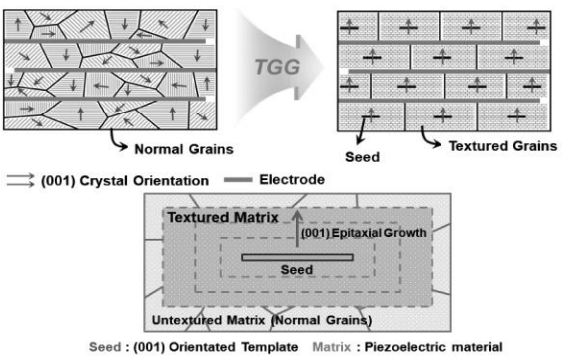
How to improve the piezoelectric properties of Lead-free based(NKN) ceramics

Composition Engineering
Formation of various multi-structures



- **The role of the phase coexistence by a polymorphic phase boundary (PPB)**
  - Easily polarization rotation
  - Low energy domain wall motion

Domain Engineering
Template Grain Growth (TGG)

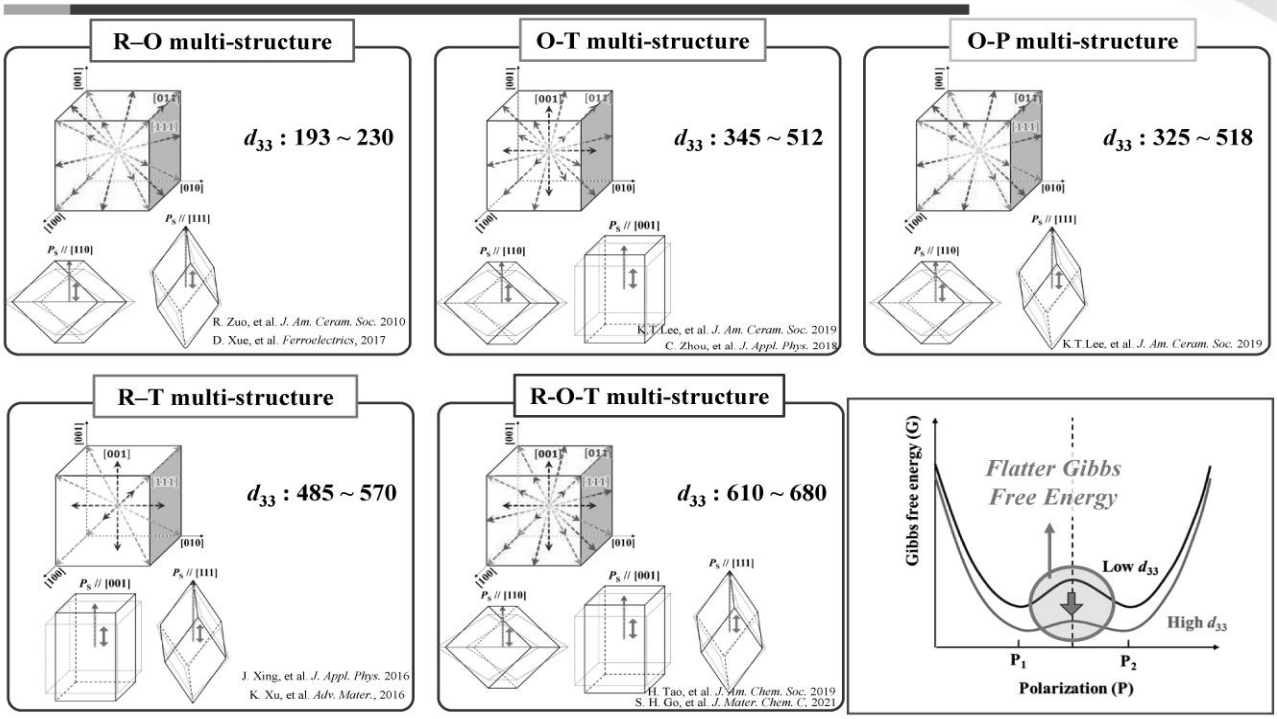


- **The role of the texturing method**
  - Pseudo-single crystallization
  - Increased domain configurations

KOREA UNIVERSITY

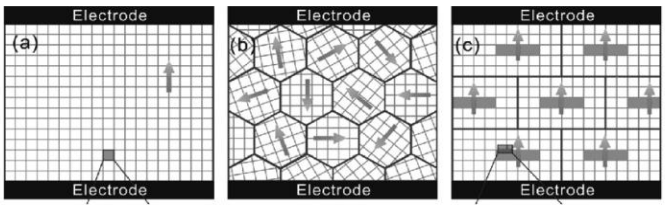
18

KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향



KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

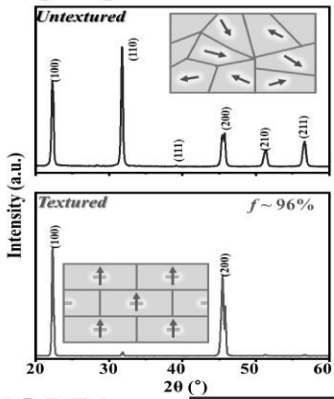
■ Reactive-Template Grain Growth (RTGG)



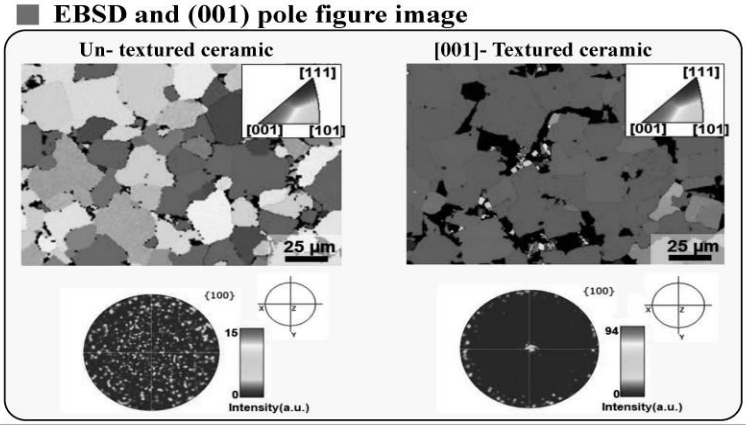
- **Single crystal (LNKN : 689 pC/N)**
  → Ultrahigh piezoelectric performance
  → High cost, Hard process, small-quantity production
- **Textured ceramic (NKN-based : 700 pC/N)**
  → Easy domain configuration
  → Low cost, Relatively easy process, Mass production

P. Li, *Adv. Mater.* 2018

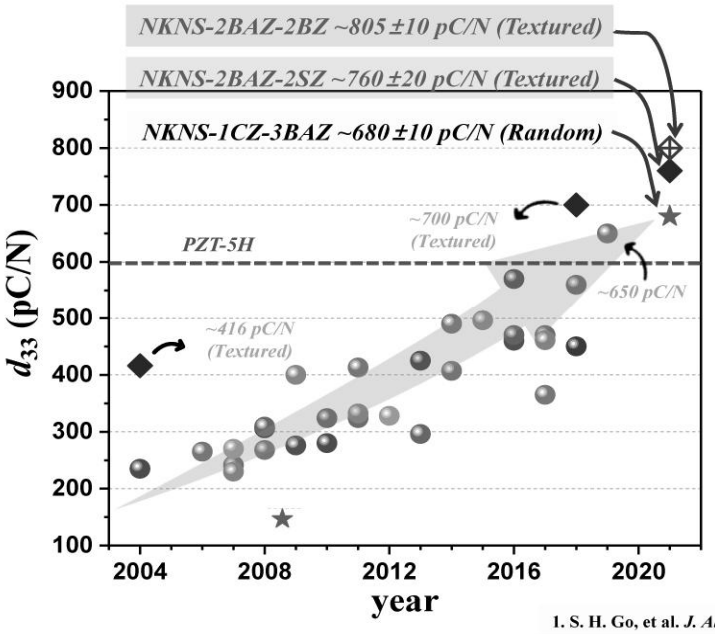
■ Lotgering factor



■ EBSD and (001) pole figure image



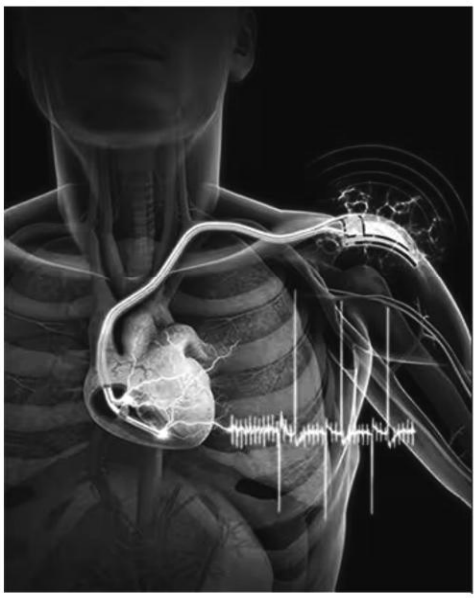
KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

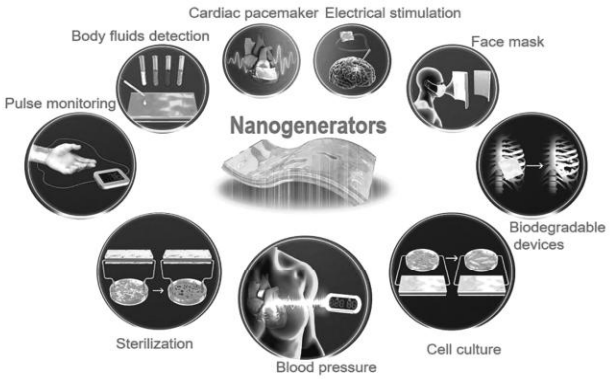


1. S. H. Go, et al. *J. Alloys Comp.*, 2021 (Random)
2. D. S. Kim, et al. *Actuator*, 2022 (Textured)
3. S. H. Go, H. Kim, et al. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2022 (Textured)

KOREA UNIVERSITY

KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향



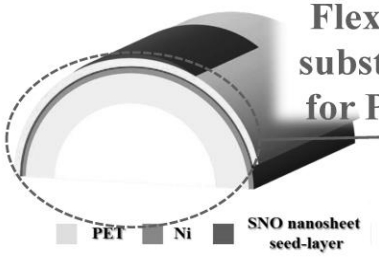


Piezoelectric nanogenerator (PNG) for human body needs

Flexible substrate

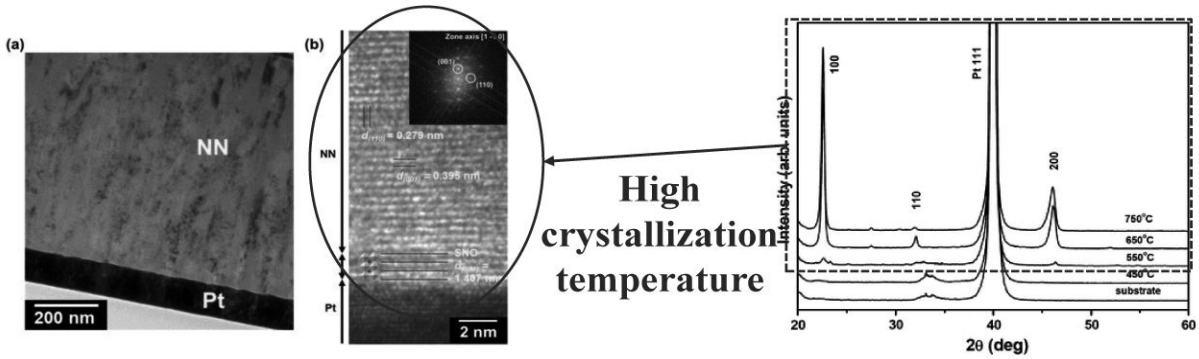
KOREA UNIVERSITY

KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향



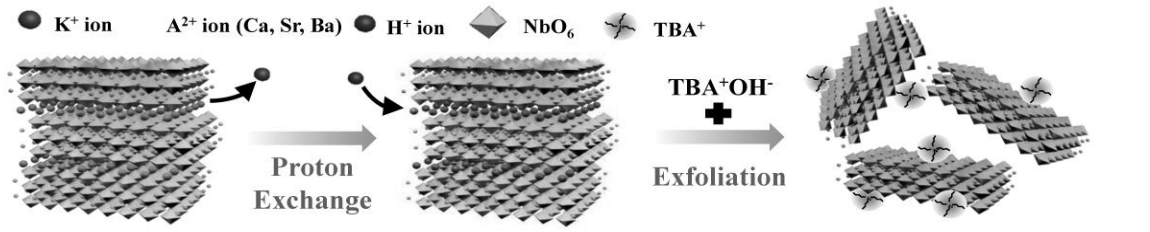
S. No.	Polymer material	Melting Point
1.	PET	260
2.	HDPE	130
3.	Poly Urethane Linear	150 – 185
4.	PP	165 – 170
5.	6, 10 Polyamide	210 – 215
6.	6, Polyamide	215 – 220
7.	6,6 Nylon	255
8.	PC	220 – 360
9.	PTFE	325 – 360

Low melting temperature



KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

$Sr_2Nb_3O_{10}$ (SNO) nanosheet as seed layer



"Layered" metal oxide compounds

$KSr_2Nb_3O_{10}$, $KCa_2Nb_3O_{10}$, $KTiNbO_5$…

Protonic form

$HSr_2Nb_3O_{10}$, $HCa_2Nb_3O_{10}$ $HTiNbO_5$

Colloidal Nanosheets

$[Sr_2Nb_3O_{10}]^-$, $[Ca_2Nb_3O_{10}]^-$, $[HTiNbO_5]^-$

Previous Research of Nanosheet Seed layer

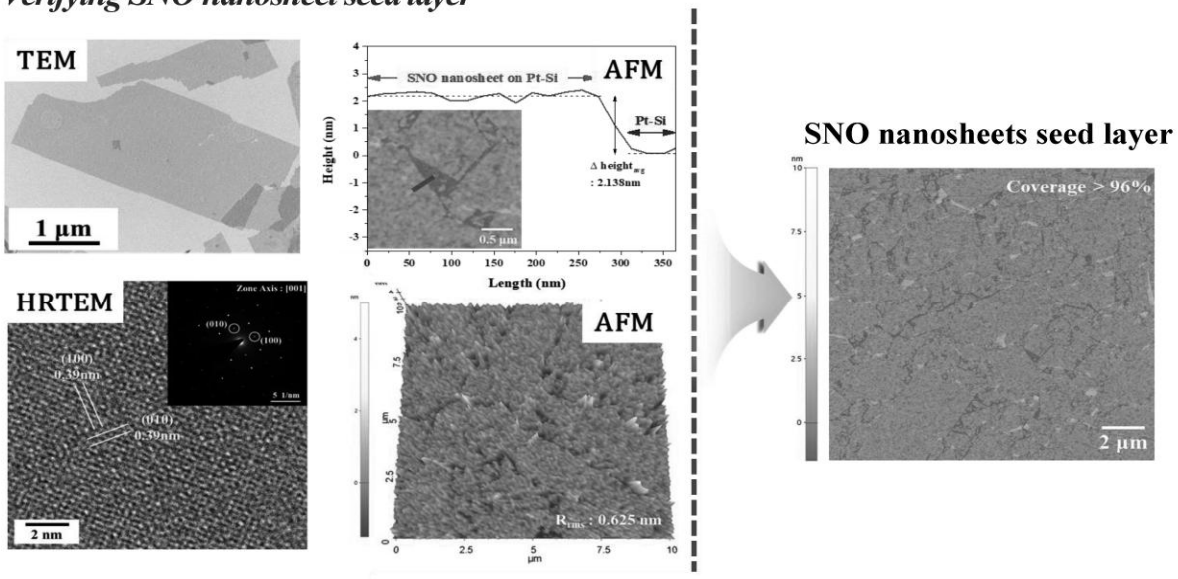
Dep. Temp.	Dep. Method	Dep. Material	Nanosheet Seed	Lattice mismatch
350 °C	Sputtering	$Na_{0.5}K_{0.5}NbO_3$	$Sr_2Nb_3O_{10}$	1.3%
J.H. Kim, S.H. Kweon, S. Nahm, *Nano Research*. 12 (**2019**) 2559				
250 °C	Sputtering	$NaNbO_3$	$Sr_2Nb_3O_{10}$	0.5%
J.U. Woo, I.S. Kim, B. Kim, S. Nahm, *Applied Surface Science*. 593 (**2022**)153464				

Lowered crystallization temperature & oriented crystalline growth

비납계 하베스터 연구현황

J. H. Kim et al., *Nano Res*, 2019

• ***Verifying SNO nanosheet seed layer***



→ **Lattice Parameter of SNO : 0.390 nm ≈ Lattice parameter of NKN : 0.395 nm**

→ **SNO monolayer was well deposited (Coverage ~ 96%)** ➔ **Can be acted as growth seed layer**

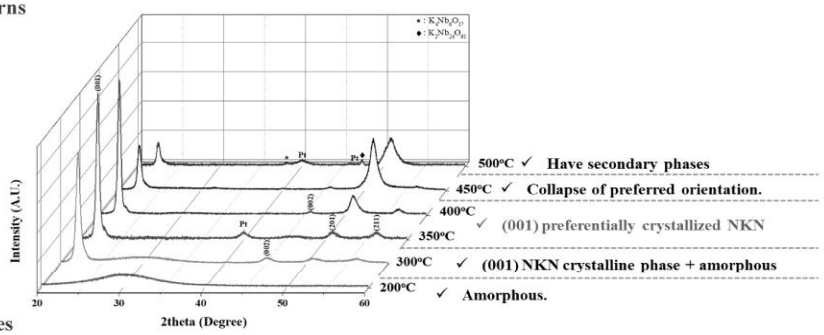
KOREA UNIVERSITY

비납계 하베스터 연구현황

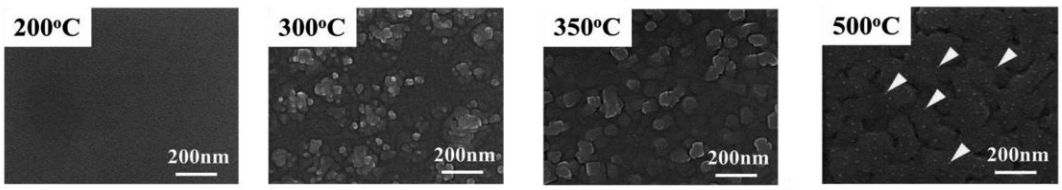
J. H. Kim et al., *Nano Res*, 2019

• ***Crystal structure of NKN thin film on SNO seed layer***

▪ **XRD patterns**



▪ **SEM images**



< 200 °C	300 °C	350 °C	500 °C
Amorphous	Amorphous + (001) Crystalline	(001) Preferentially crystalline phase	Secondary phase + Crystalline

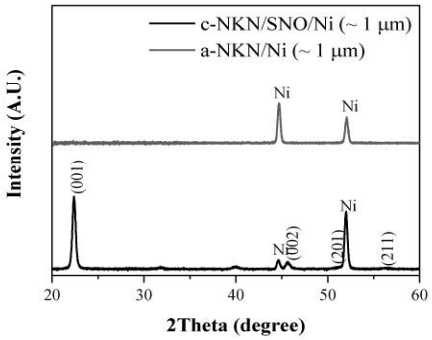
KOREA UNIVERSITY

비납계 하베스터 연구현황

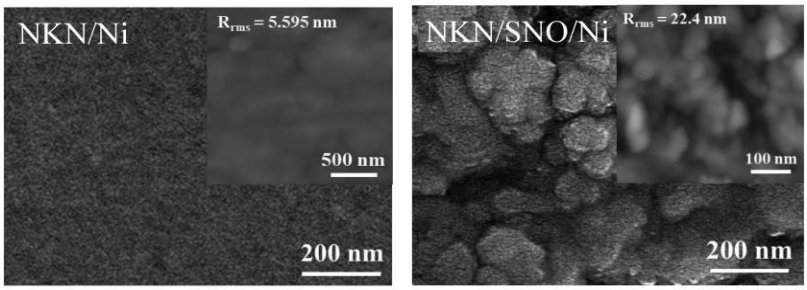
J. H. Kim et al., *Nano Res*, 2019

- ***Structure properties of NKN thin films on flexible SNO/Ni film***

▪ **XRD pattern**



▪ **SEM image**



→ Crystalline NKN phase was well formed along the [001] direction on the SNO/Ni substrate

→ NKN deposited on the SNO/Ni substrate shows dense microstructure

KOREA UNIVERSITY

27

Dep. Temp.	Dep. Method	etc.	Problems
650 °C	Sputtering	- Na^+, K^+ excess target	- Difficulty in controlling composition - **High temperature** process
H.J. Lee, I.W. Kim, J.S. Kim, C.W. Ahn, B.H. Park, Appl. Phys. Lett., 2009, 94, 092902			
RT	Aerosol deposition	- Annealing at **700-800 °C**	- **High temperature** process
C.K. Jeong, J.H. Han, H. Palneedi, H. Park, G.-T. Hwang, B. Joung, S.-G. Kim, H.J. Shin, I.-S. Kang, J. Ryu, K.J. Lee, APL Materials, 2017, 5, 074102			
300 °C	Sputtering	- NKN atmosphere annealing - Annealing at **800 °C**	- Not practical - **High temperature** process
B.-Y. Kim, T.-G. Seong, I.-T. Seo, M.-S. Jang, S. Nahm, J.-Y. Kang, S.-J. Yoon, Acta Mater. 2012, 60, 3107			
580 - 650 °C	Sputtering	- (001) $SrRuO_3$ substrate	- Difficulty in controlling composition - **High temperature** process
J. Mino, S. Kuwajima, T. Suzuki, I. Kanno, H. Kotera, K. Wasa, Jpn. J. Appl. Phys. 2007, 46, 6960.			
850 °C	PLD	- Rh substrate	- Not practical - **High temperature** process
W.J. Maeng, I. Jung, J.Y. Son, J. Cryst. Growth. 2012, 349, 24.			
750 °C	PLD	- (001) $SrTiO_3$ substrate	- Not practical - **High temperature** process
T. Saito, H. Adachi, T. Wada, H. Adachi, Jpn. J. Appl. Phys. 2005, 44, 6969.			
RT	Sol-Gel	- (111) Pt substrate - Annealing at **500 °C**	- Not available for thin film (< 1.0 μm) - **High temperature** process
H. Dong, B. Luo, K. Jin, J. Appl. Phys. 2019, 126, 225101.			
350 °C	Sputtering	$Na_{0.5}K_{0.5}NbO_3$, $Sr_2Nb_3O_{10}$	
J.H. Kim, S.H. Kweon, S. Nahm, *Nano Research*. 12 (**2019**) 2559			
250 °C	Sputtering	$NaNbO_3$, $Sr_2Nb_3O_{10}$	
J.U. Woo, I.S. Kim, B. Kim, S. Nahm, *Applied Surface Science*. 593 (**2022**)153464			

Content

I. 비납계 압전체 소개 및 시장 현황

II. KNN 비납계 압전체 및 박막 연구방향

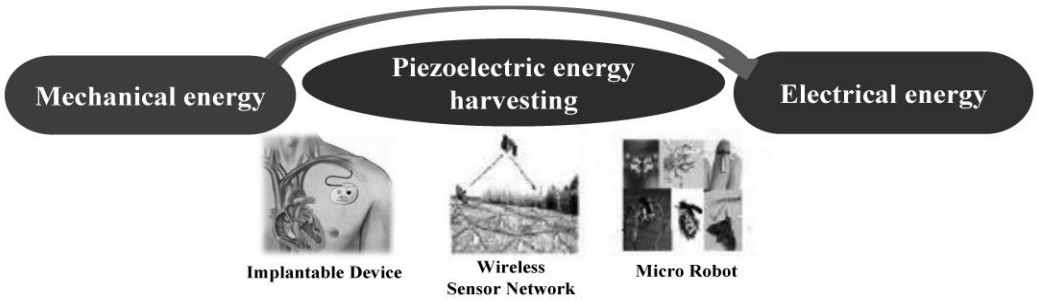
- 압전체 (bulk) - PPB 구조 및 texturing
- 박막 (thin film) - low temperature crystallization

III. 비납계 에너지하베스터 연구동향

- 압전체 (bulk)
- 박막 (thin film)
- 메타물질 (meta material)

Introduction

Energy harvesting: Piezoelectric



Application	Power
Micro robot	0.2mW
Wireless senor	1mW
Remote control device	0.1mW
RFID tag	0.01mW
RF MEMS switch	0.5mW
Humidity sensor	0.3mW
NEMS device	0.01mW

≥

PZT- piezoelectric energy harvester	Power
PZT material[1]	0.45mW
PZT material[2]	1.5mW
0.32PZ-0.39PT-0.29PNN[3]	2.6mW
$Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O3+(0.2\ wt\%\ Cr_2O_3 + 1.0\ wt\%\ Nb_2O_5)$[4]	4.68mW

1. H.Y. Kim, Investigation of piezoelectric ceramic size effect for miniaturing the piezoelectric energy harvester
2. Farbod Khameneifar, A Piezoelectric Energy Harvester for Rotary Motion Applications: Design and Experiments
3. T. G. Lee, Piezoelectric properties of Pb(Zr,Ti)O3-Pb(Ni,Nb)O3ceramics and their application in energy harvesters
4. K. B. Kim, Optimization of the Unimorph Cantilever Generator (UCG) Using $Pb(Zr_{0.54}Ti_{0.46})O_3$ + 0.2 wt% Cr_2O_3 + 1.0wt% Nb_2O_5 thick films

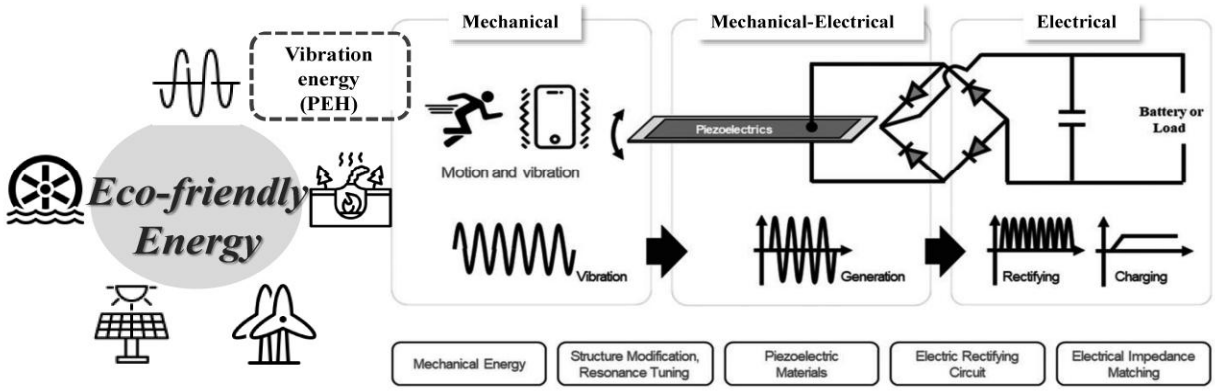
에너지 하베스터의 FOM

Hyun-Cheol Song et al. Adv. Mater. 2020

Converts energy generated from natural energy sources into electrical energy

✓ **Vibration energy is converted using piezoelectric energy harvester (PEH)**

→ *Can be used as an alternative energy source for wireless electronic devices and sensors.*



$FOM_{on\text{-}resonance} = k_{ij}^2 \times Q_m / s_{11}^E$ **@ on resonance.**

$FOM_{off\text{-}resonance} = d_{ij} \times g_{ij} / tan\delta$ **@ off resonance.**

KOREA UNIVERSITY

31

에너지 하베스터의 FOM

Figure of Merit (FOM) for PEH

S. Priya, Criterion for material selection in design of bulk piezoelectric energy harvesters

■ **On-resonance frequency**

$$FOM_{on} = \frac{k_{ij}^2 \bullet Qm}{s_{ij}^E} \qquad k^2{}_{33} \propto \frac{d^2{}_{ij}}{\varepsilon^T{}_{33} s^E{}_{ij}}$$

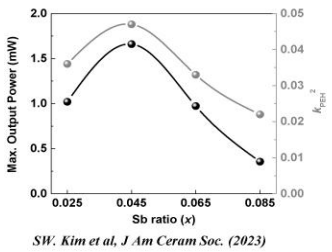
k_{ij} : Electro-mechanical coupling factor
Q_m : Mechanical quality factor
s_{ij}^E: Elastic constant

■ **Off-resonance frequency**

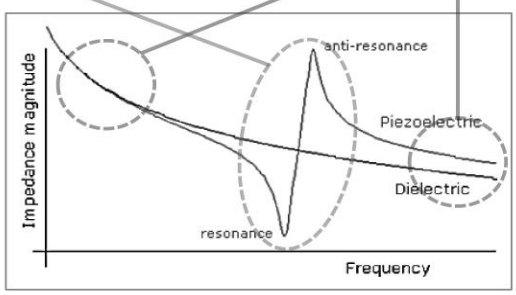
$$FOM_{off} = \frac{d_{ij} \bullet g_{ij}}{tan\delta} \qquad g_{33} = \frac{d_{33}}{\varepsilon^T{}_{33}}$$

g_{ij} : Piezoelectric voltage constant
ε : Dielectric constant
d_{ij} : Piezoelectric charge constant
$tan\delta$: Dielectric loss

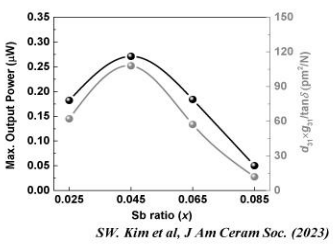
Piezoceramics with ***high k_{ij}***



SW. Kim et al, J Am Ceram Soc. (2023)



Piezoceramics with ***high d & small ε***



SW. Kim et al, J Am Ceram Soc. (2023)

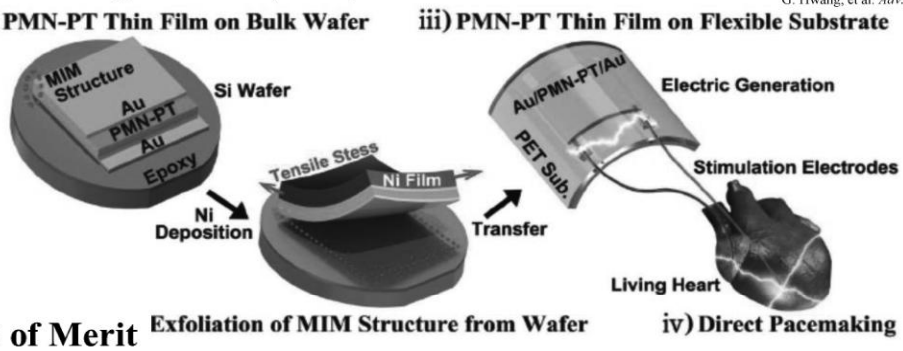
KOREA UNIVERSITY

32

에너지 하베스터의 FOM

• *Piezoelectric nanogenerator (PNG)*

G. Hwang, et al. *Adv. Mater.*, **2014**,26, 4880



● **Figure of Merit**

On-resonance frequency condition

→ using periodic energy source

Output power (W) $\propto k_{ij}^2 \times Q_m$

Off-resonance frequency condition

→ using non-periodic energy source

Output power (W) $\propto d_{ij} \times g_{ij}$

$d_{ij} x\, g_{ij} = d_{ij}^2 / \varepsilon_{ij}^T$ $\quad g_{ij} = d_{ij} / \varepsilon_{ij}^T$

k_{ij}: Electromechanical coupling coefficient

Q_m: Mechanical quality factor

d_{ij}: Piezoelectric strain constant $\quad \varepsilon_{ij}^T$: Dielectric constant

g_{ij}: Piezoelectric voltage constant

비납계 하베스터 연구현황

(ECLAB)

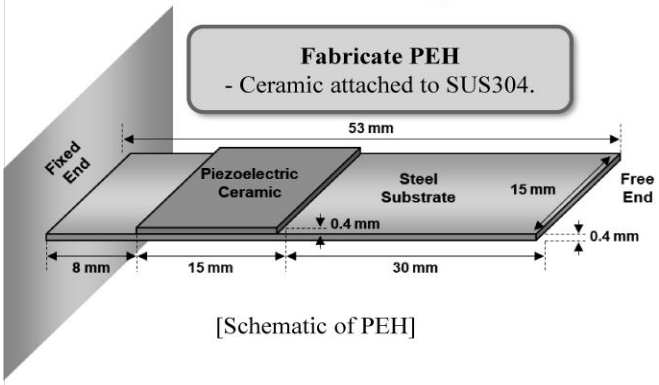
$0.96(Na, K)(Nb_{1-z}, Sb_z)O_3$-$0.03(Bi, Ag)ZrO_3$-$0.01SrZrO_3$ [NKNS-BAZ-SZ]

- ✓ $\varepsilon^T_{33}/\varepsilon_0$: 906
- ✓ k_P : 0.77
- ✓ d_{33} : 500 pC/N
- ✓ $d_{33} \times g_{33}$: 31.2 10^{-12} m^2/N

PEHs using [001]-textured NKNS–BAZ-SZ piezoceramics

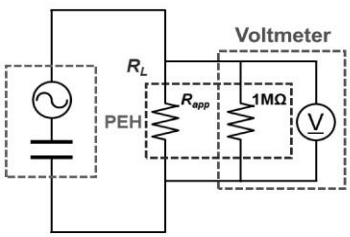
- Simulation of PEHs using [001]-textured NKNS-BAZ-SZ ceramics
- Output power at on- resonance and off- resonance condition

Fabrication of **cantilever type PEHs**



[Schematic of PEH]

Measure **output performance** (voltage, current, power)



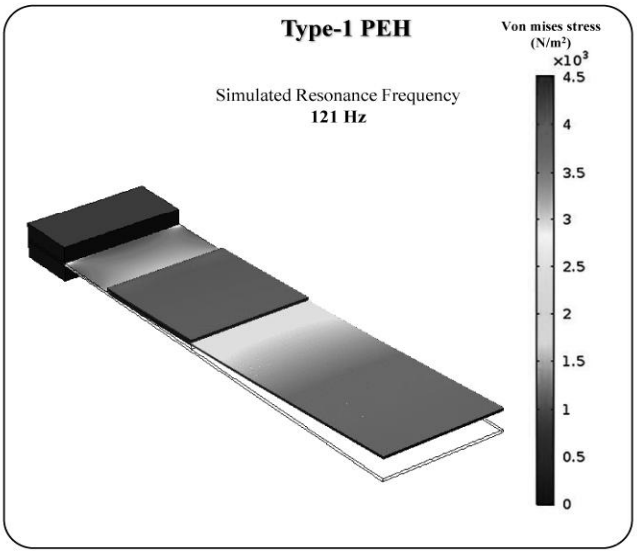
Y.G. Chae et al. International Journal of Energy Research 2023(2023)

비납계 하베스터 연구현황

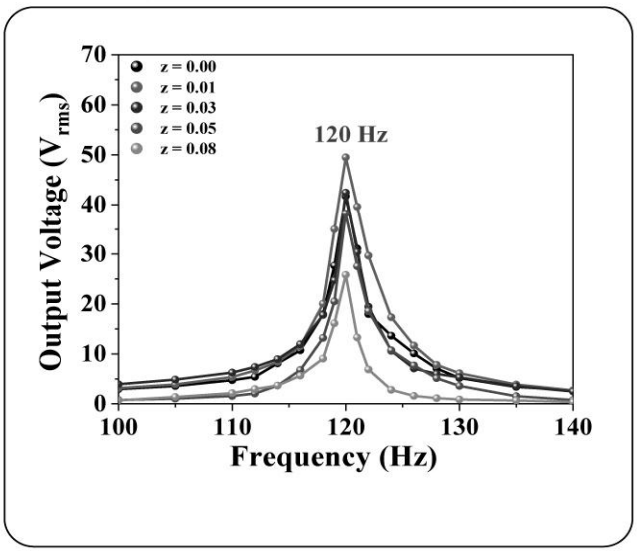
PEHs using [001]-textured NK($N_{1-z}S_z$)-BAZ-SZ piezoceramics

Simulation of PEHs using NKNS-BAZ-SZ ceramics

Calculated about stress distribution of PEH



Measured resonance frequency



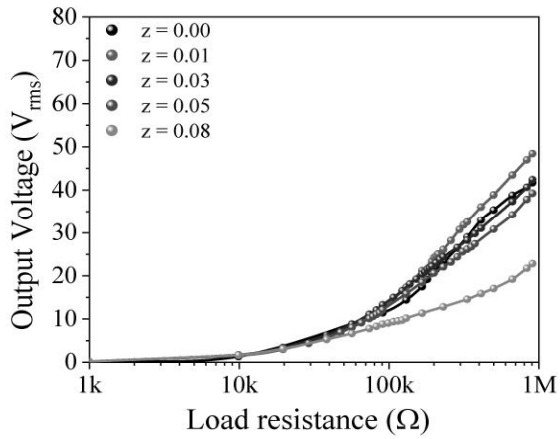
Y.G. Chae et al. International Journal of Energy Research 2023(2023)

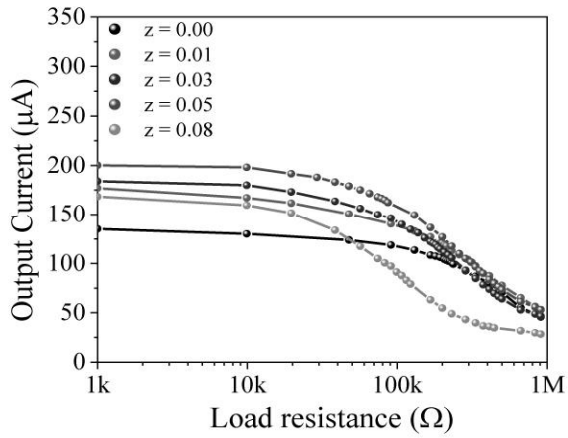
비납계 하베스터 연구현황

PEHs using [001]-textured NK($N_{1-z}S_z$)-BAZ-SZ piezoceramics

On- resonance condition

$$FOM_{on} = \frac{k_{ij}^2 \bullet Qm}{s_{ij}^E}$$





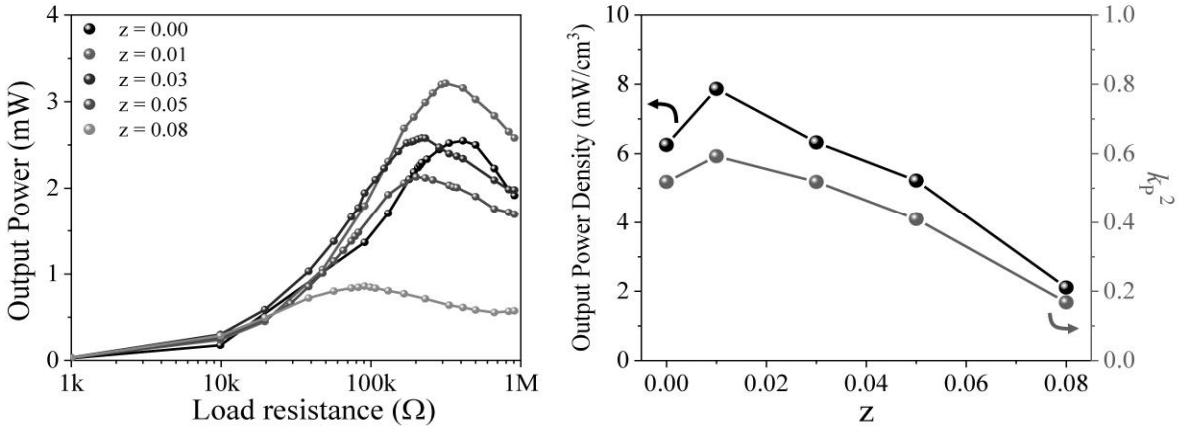
Y.G. Chae et al. International Journal of Energy Research 2023(2023)

비납계 하베스터 연구현황

PEHs using [001]-textured NK($N_{1-z}S_z$)-BAZ-SZ piezoceramics

On- resonance condition

$$FOM_{on} = \frac{k_{ij}^2 \cdot Qm}{s_{ij}^E}$$



Y.G. Chae et al. International Journal of Energy Research 2023(2023)

비납계 하베스터 연구현황

PEHs using [001]-textured NK($N_{1-z}S_z$)-BAZ-SZ piezoceramics

Power densities of various PEHs (On resonance condition)

	Composition	k_p	ε_r	$d_{33} \times g_{33}$ ($10^{-12} \cdot m^2/N$)	Frequency (Hz)	Acceleration (m/s^2)	Output power density (mW/cm^3)	Reference
Lead free-based	This work (Textured NKNS-1BAZ-1SZ)	0.77	906	31.2	120	9.8	7.86	This work
	Textured NKN	0.76	2100	27.7	-	-	-	*L. Peng. et al. Adv. Mater. 30 (2018)*
	Textured NKNS-BZ-BAZ	0.64	2500	29.6	131	9.8	4.3	*S.-H. Go et al. J. Eur. Ceram. Soc. 42 (2022)*
	Textured NKNS-CZ	0.57	1260	25.7	129	9.8	3.6	*S.-J. Chae et al. Ceram. Int. 48 (2022)*
Lead-based	PZT-5H	0.75	3800	12.6	40	9	4.6	*Yan X, Zheng M, Zhu M, Hou Y. Crystals. 10 (2020)*
	PZT-PZN	-	1254	24.1	100	9.8	2.4	*KIM et al. Nano Energy. 57 (2019)*
	PZT-PNN	0.65	1610	25.2	255	9.8	1	*T. –G. Lee et al. J. Eur. Ceram. Soc. 37 (2017)*

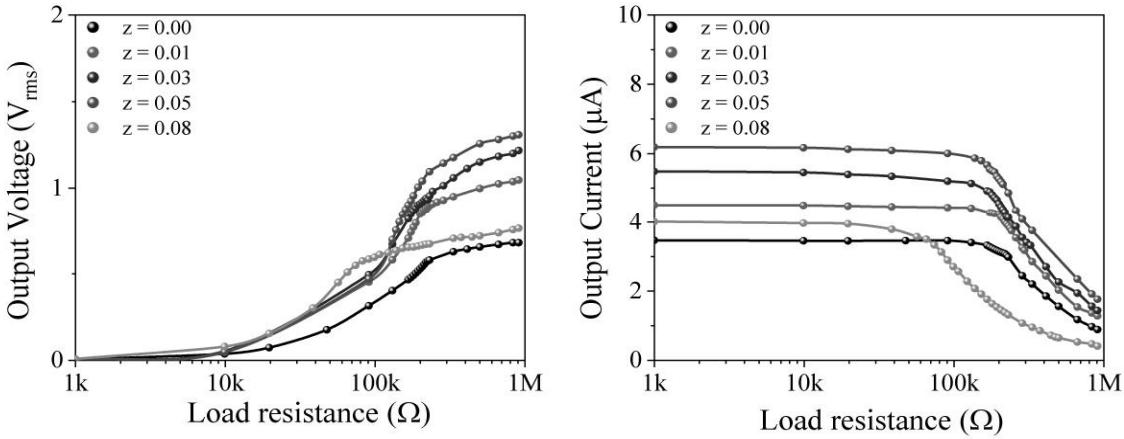
Y.G. Chae et al. International Journal of Energy Research 2023(2023)

비납계 하베스터 연구현황

PEHs using [001]-textured NK($N_{1-z}S_z$)-BAZ-SZ piezoceramics

■ **Off- resonance condition @ 200 Hz**

$$FOM_{off} = \frac{d_{ij} \cdot g_{ij}}{tan\delta}$$



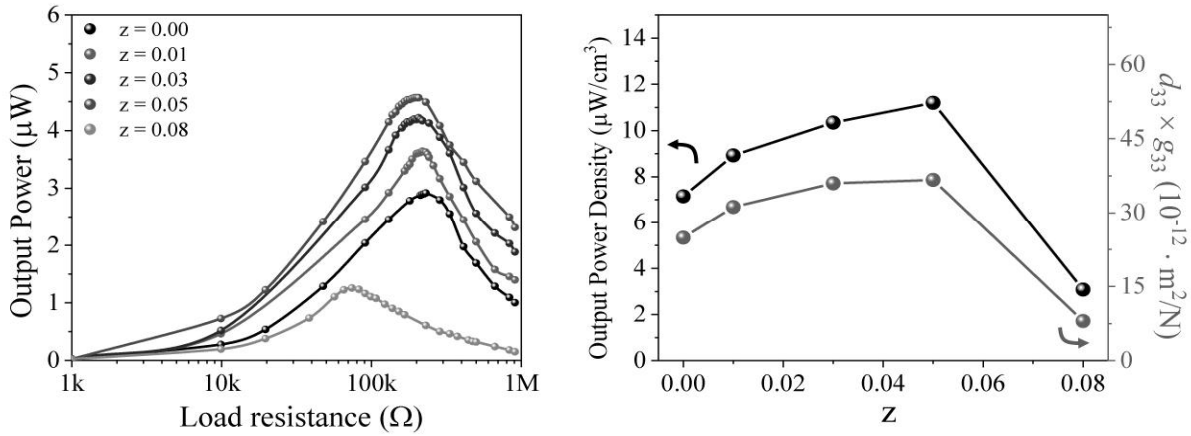
Y.G. Chae et al. International Journal of Energy Research 2023(2023)

비납계 하베스터 연구현황

PEHs using [001]-textured NK($N_{1-z}S_z$)-BAZ-SZ piezoceramics

■ **Off- resonance condition @ 200 Hz**

$$FOM_{off} = \frac{d_{ij} \cdot g_{ij}}{tan\delta}$$



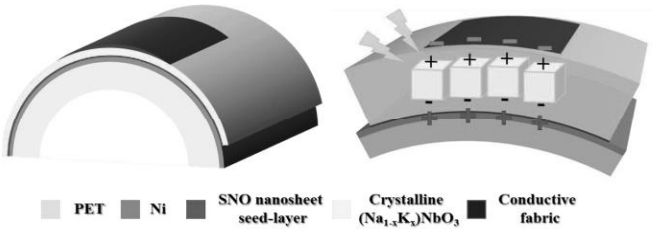
Y.G. Chae et al. International Journal of Energy Research 2023(2023)

비납계 하베스터 연구현황

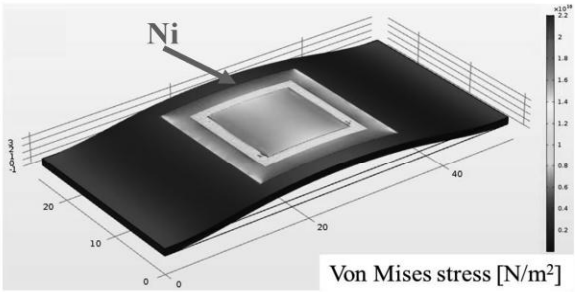
J. H. Kim et al., *Nano Res*, 2019

- ***Schematic and Stress distribution NKN PNG***

▪ **Schematic diagram of NKN PNG**



▪ **Simulated image of stress distribution**

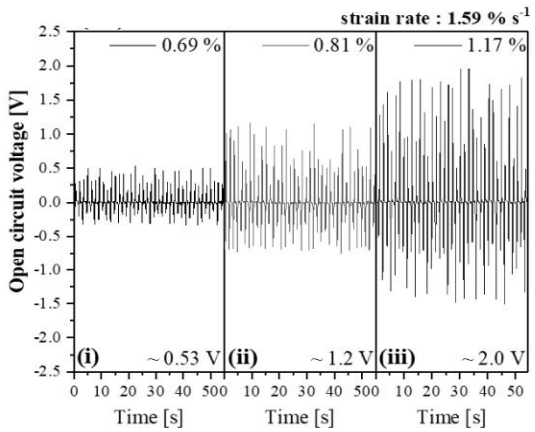


In bending motion, mechanical stress is developed on Ni foil and this stress is transferred to the NKN film

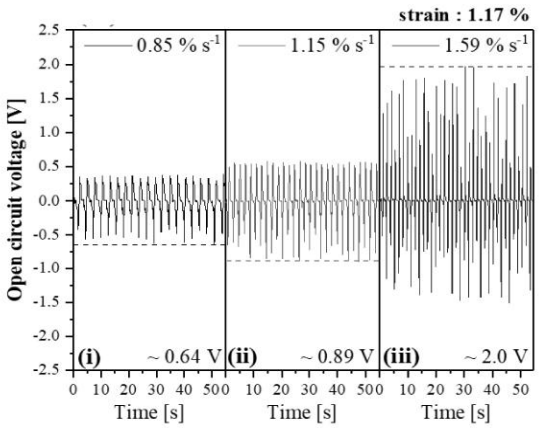
비납계 하베스터 연구현황

J. H. Kim et al., *Nano Res*, 2019

▪ **Open circuit voltage at various strains**



▪ **Open circuit voltage at various strain rates**

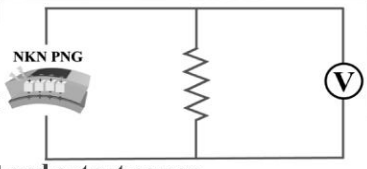


▪ ***As strain and strain rate increased***

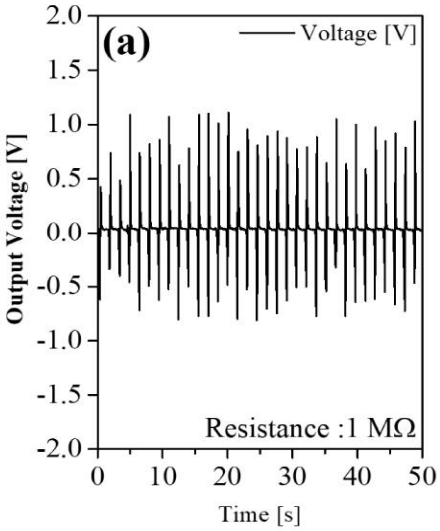
→ open circuit voltage is increased

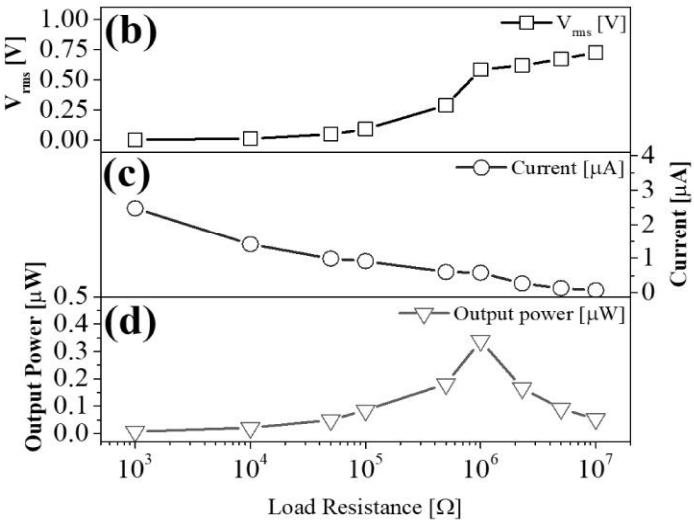
비납계 하베스터 연구현황

J. H. Kim et al., *Nano Res*, 2019



- ***NKN PNG***
  - Output voltage with various load resistances
  - V_{rms}, output current and output power





- ***Output voltage (@ 1 MΩ)***
  → ***Max output voltage: ~ 1.0 V***

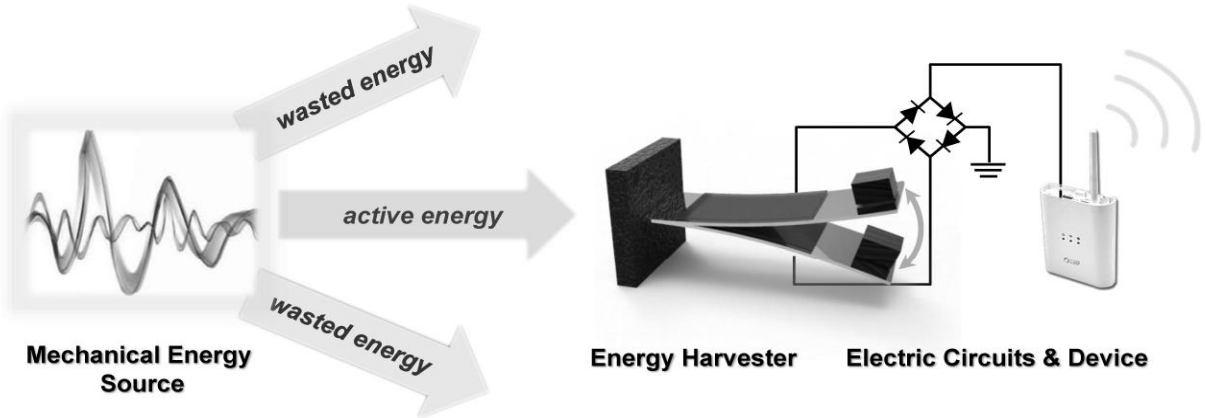
→ ***Saturated output voltage: ~ 0.75 V***
→ ***Max output power: 0.34 μW (@ 1 MΩ)***
→ ***Output power density: 2.4 μW/mm³***

KOREA UNIVERSITY

43

Meta material 적용 하베스터 연구소개

✓ **Piezoelectric Energy Harvesting Issues**



Mechanical Energy is partially harvested & weak

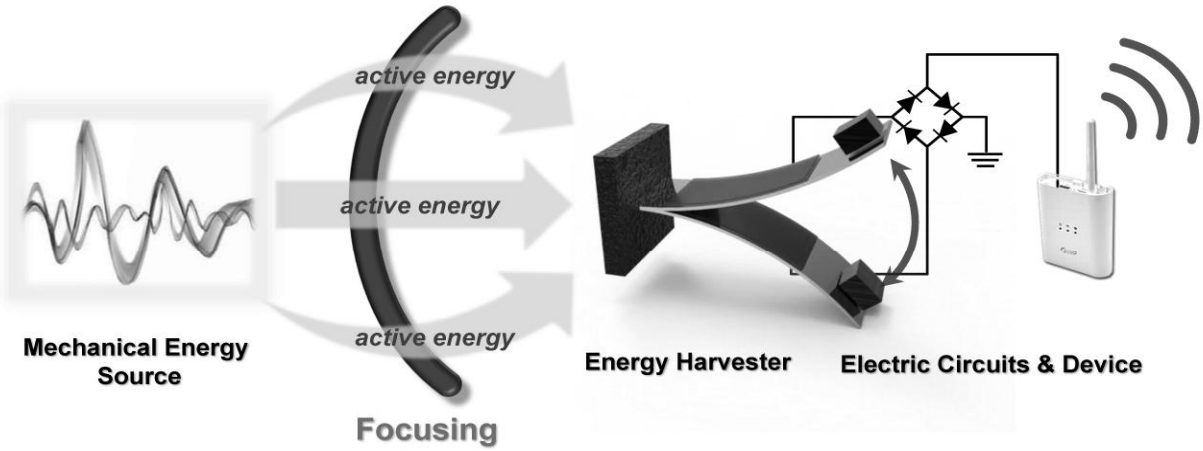
➡ ***Need more energy to harvest***

KOREA UNIVERSITY

44

Meta material 적용 하베스터 연구소개

✓ **Piezoelectric Energy Harvesting Issues**



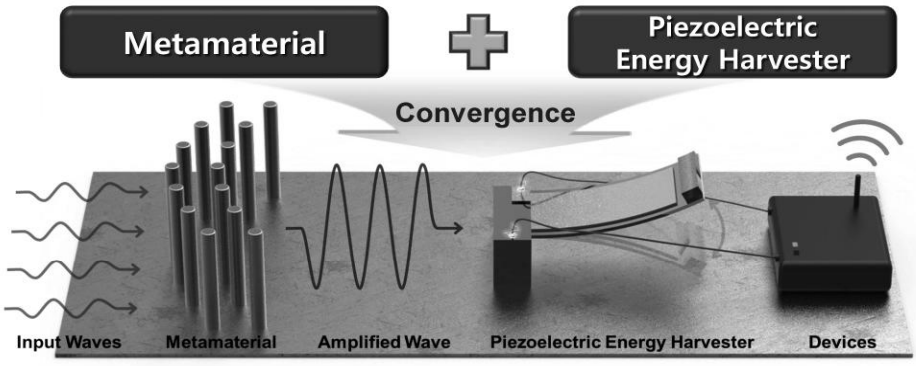
Localization & Focusing of Mechanical Energy

➡ ***Metamaterial***

Meta material 적용 하베스터 연구소개

T.G. LEE et al., *Nano energy*, 2020

✓ **Convergence of Metamaterial & Piezoelectric Energy Harvester**



Metamaterial Energy Harvester
(MEH)

- **Design & Fabricate metamaterial**
- **Certify wave localization**
- **Establish design effect of harvesting device**
- **Investigate power amplification effect**

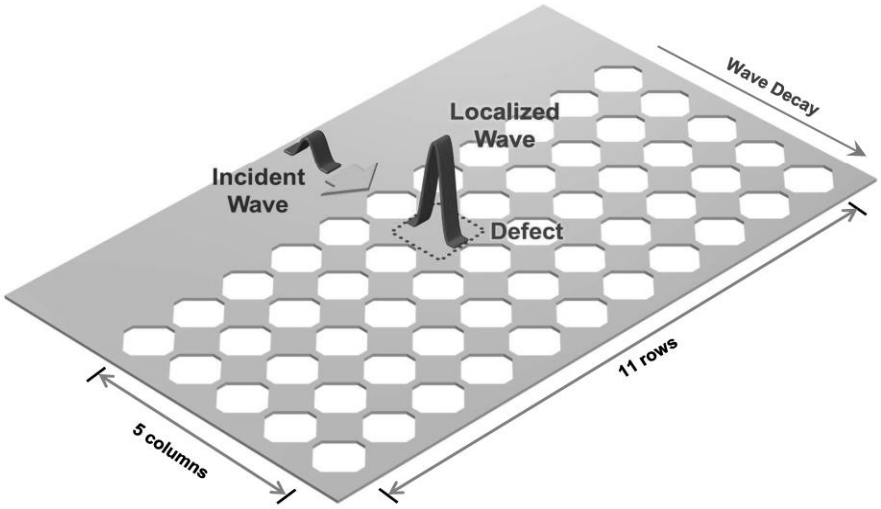
Meta material 적용 하베스터 연구소개

T.G. LEE et al., *Nano energy*, 2020

✓ **Design of Metamaterial**

➢ ***Final Design : Wave Localization by Defect***

Mechanical Wave Target : 50kHz Elastic wave



KOREA UNIVERSITY

47

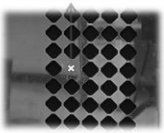
Meta material 적용 하베스터 연구소개

T.G. LEE et al., *Nano energy*, 2020

✓ **Experimental Wave Localization**

➢ ***Displacement Amplification by Metamaterial***

Center of Defect

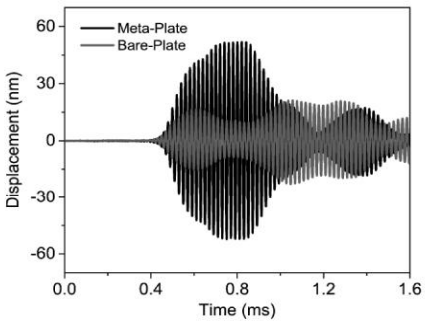


Incident wave :

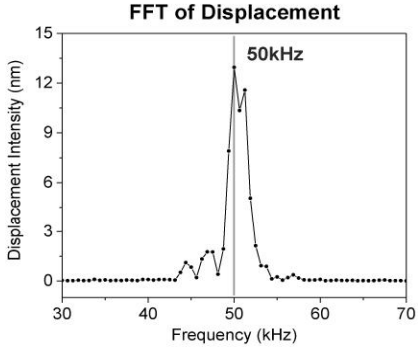
PZT Transducer with **50kHz**

20 cycles
of tone-burst signals

Displacement at defect



FFT of Displacement



- **Displacement at Meta-Plate : ~52 nm**
- **Displacement at Bare-Plate : ~24 nm**

~2 Times Higher

- **Frequency Maintained at 50kHz**

Displacement Amplified!

KOREA UNIVERSITY

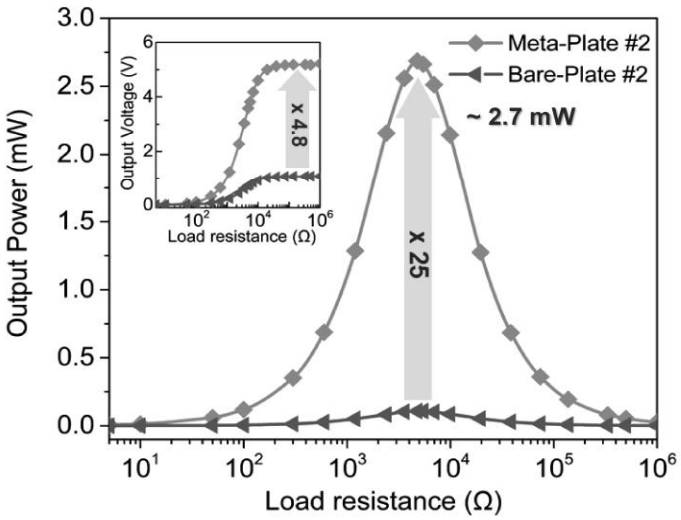
48

Meta material 적용 하베스터 연구소개

T.G. LEE et al., *Nano energy*, 2020

✓ **Power Amplification by Metamaterial**

➢ ***Power Comparison between Meta-Plate & Bare-Plate***



- ✓ **Optimum Device (2.7 mW)**
  - → **Voltage : ~5 times amplified**
  - → **Power : ~25 times amplified**

➡ ***Calculate Amplification Ratio of Power***

KOREA UNIVERSITY

KOREA UNIVERSITY

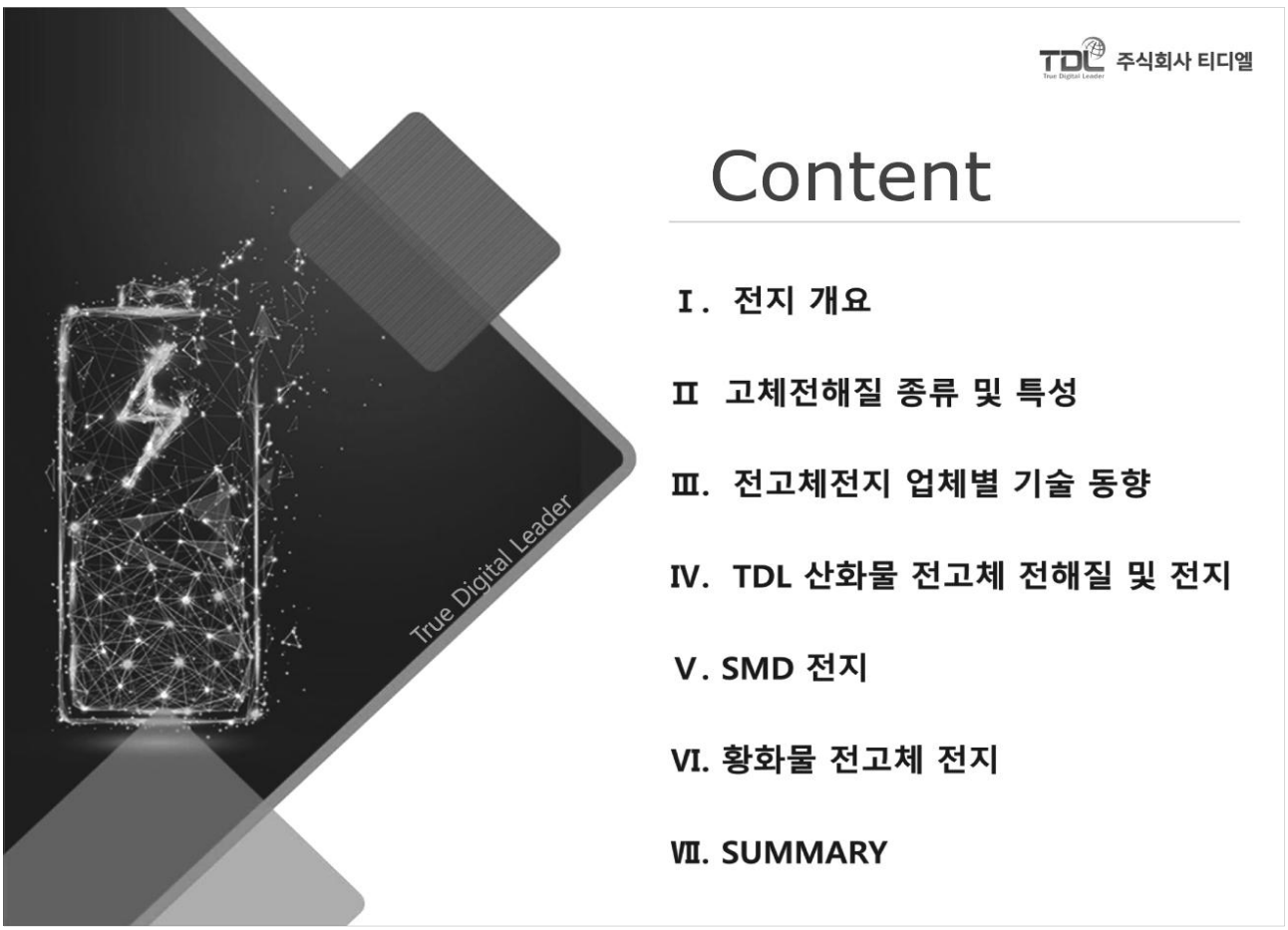
Thank for your attention

목포대학교 파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼

[초청강연3]
전고체 배터리 기술 동향 및 현황

김용석 전무이사
(주식회사 TDL)


True Digital Leader
TDL 주식회사 티디엘
전고체 배터리
기술 동향 및 현황
2023.09.13
㈜ TDL 김용석 전무이사
TDL CO., LTD http://www.tdl.co.kr


TDL 주식회사 티디엘
Content
Ⅰ. 전지 개요
Ⅱ 고체전해질 종류 및 특성
Ⅲ. 전고체전지 업체별 기술 동향
Ⅳ. TDL 산화물 전고체 전해질 및 전지
Ⅴ. SMD 전지
Ⅵ. 황화물 전고체 전지
Ⅶ. SUMMARY
True Digital Leader

전지의 변천사

차세대 전지의 출현 및 플레이어의 변화

2차 전지의 역사

	1900년대	50년	1950년대	40년	1990년대	30년	?
	납축전지		니켈계 전지		리튬이온 전지		차세대 전지
수요	• 자동차 • 산업기기		• 휴대용 전자기기 • 전동공구 • HEV		• 휴대폰 • 태블릿, 노트북 • xEV		• 모바일기기 • 초소형 전자기기 • Xev
요구 기능	• 기기의 상시 전원공급				• 고용량화, 경량화 • 소형화		• 고안전성 • 초소형화 • 플렉서블 • 고용량 및 장수명
주요 기업	• Johnson Controls, Exide, GS Yuasa		• Salt, 산요전기, 도시바, 파나소닉		• LG화학, 삼성 SDI		

자료: LG경제연구원(2017)

ESS 화재사고 일지

2017년 8월	전북고창전력시험센터에서 ESS화재 최종보고 이후 2019년 1월까지 화재사고 총 21건 발생
2019년 1월	'민·관 합동 ESS 화재사고 원인조사 위원회' 출범
3월	산업부, ESS 제조업계 대상으로 비공개 간담회 개최
5월	산업부, 화재원인 조사 추진 등 중간발표
6월	화재원인 및 안전관리대책 등 공개

자료: 언론종합

전지의 대가들



1800년
이탈리아의 물리학자 알레산드로 볼타가 세계 최초로 구리아연전지 발명



1859년
프랑스의 과학자 가스통 플랑테가 납을 이용한 축전지 발명. 그가 사용한 원리는 지금도 자동차 배터리로 적용 중



1901년
미국의 발명왕 토마스 에디슨이 니켈과 철을 활용한 배터리 발명. 제품은 포드의 대중차인 T형에 장착



1955년
미국 기업 말로리에서 알카리 건전지 발명. 소형 가전에 사용하는 원통형 AA 건전지의 전신. 60년대부터 듀라셀이란 브랜드로 판매



1976년
스탠리 위팅엄 뉴욕주립대 교수가 에너지 기업 엑손의 연구 의뢰를 받아 리튬이온전지 발명

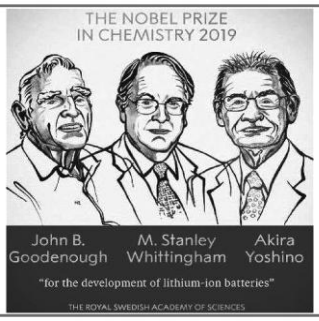


1991년
일본의 소니가 리튬이온전지를 장착한 워커맨 대량생산



2004년
옛밍 치앙 MIT 교수가 인산철을 이용한 현대식 리튬이온 전지 개발. 지금 사용 중인 리튬이온전지의 모델

노벨화학상
2019





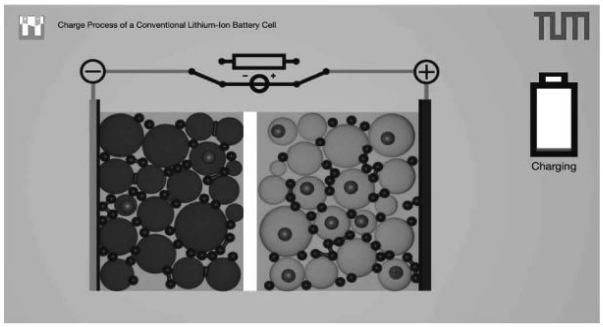




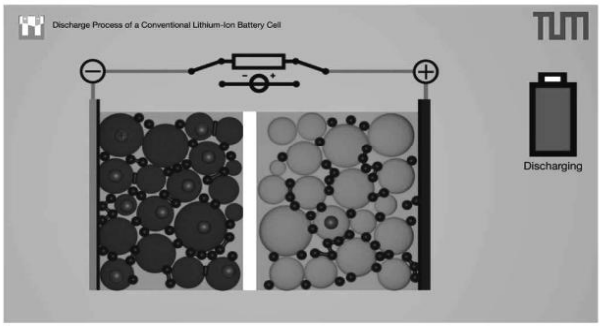
(1922.07.25~2023.06.25)

전지(리튬이온전지)의 원리

Charging



Discharging



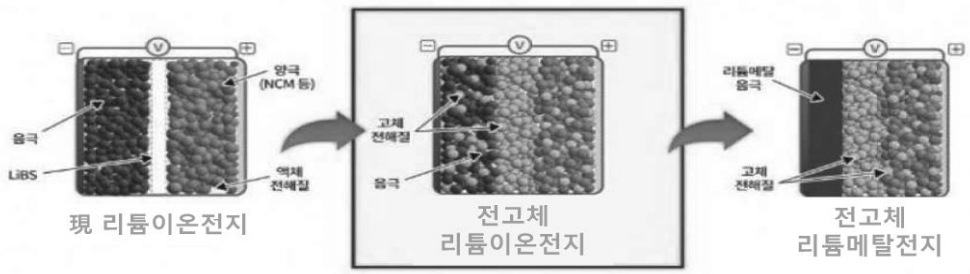
$LiCoO_2 \leftrightarrow Li_{1-x}CoO_2 + x\ Li^+ + x\ e^-$ (cathodic half)

$x\ Li^+ + x\ e^- + 6C \leftrightarrow Li_xC_6$ (anodic half)

Results in Engineering 15 (2022) 100472

전고체 전지란

✓전고체전지란 액체 전해질을 고체 전해질로 대체하여 모든 소재를 고체화한 전지를 의미함
✓현존하는 리튬이온전지 대비 안전성 및 에너지밀도의 획기적 개선을 추구



장점		장점
- 개발 후 30년 이상 고도화 되어 높은 출력과 충방전 가능 - 오랜 시간동안 축적한 대량양산 기술	VS	- 고체 전해질을 사용한 화재 및 폭발 가능성 제로 - 높은 에너지 밀도로 전기자동차에 가장 적합한 배터리
단점		**단점**
- 높은 출력과 쾌속 충방전으로 인한 화재/폭발의 위험성 높음 - 5Volt 이상의 단전지 제작 불가능		- 개발 초기라 출력이 아직 리튬이온전지보다 출력이 낮음 - 양산용 장비의 초기 개발에 시간이 필요

LiB와 전고체전지 안전성

○ 안전성(관통) 테스트_(LiB vs ASSB) 동영상

㈜엔씨티	성적서 번호: NS2211-B001	NCT
18511 경기도 화성시 금곡로 211-71 Tel: 031-323-6070 Fax: 031-323-6071	페이지 (1) / (총 6)	

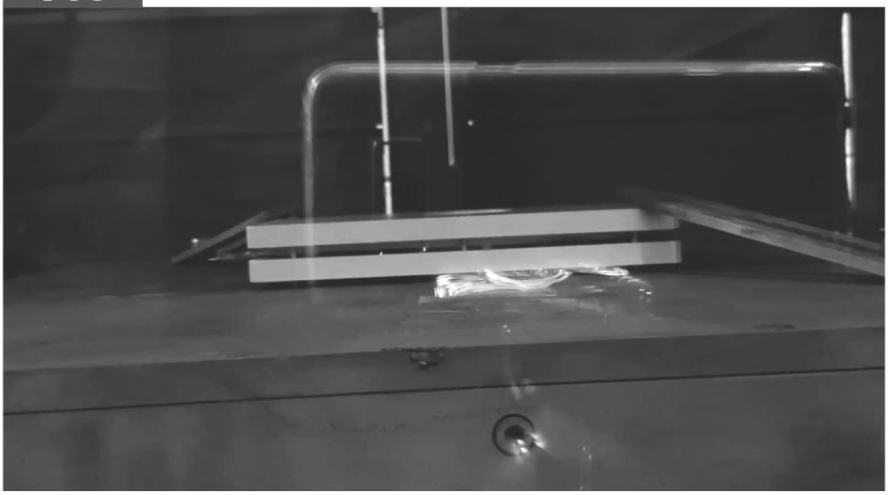
동영상



▲(좌) 기존 리튬이차전지

: "발화, 폭발, 열폭주" 발생

동영상

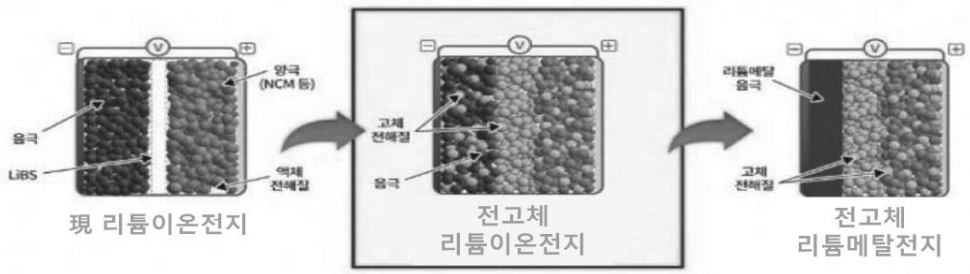


★ TDL 전고체전지 ★ : 발화 및 폭발 없음

LIB VS 전고체 전지 안전성

✓전고체전지란 액체 전해질을 고체 전해질로 대체하여 모든 소재를 고체화한 전지를 의미함

✓현존하는 리튬이온전지 대비 안전성 및 에너지밀도의 획기적 개선을 추구



장점

- 개발 후 30년 이상 고도화 되어 높은 출력과 충방전 가능
- 오랜 시간동안 축적한 대량양산 기술

단점

- 높은 출력과 쾌속 충방전으로 인한 화재/폭발의 위험성 높음
- 5Volt 이상의 단전지 제작 불가능

VS

장점

- 고체 전해질을 사용한 화재 및 폭발 가능성 제로
- 높은 에너지 밀도로 전기자동차에 가장 적합한 배터리

단점

- 개발 초기라 출력이 아직 리튬이온전지보다 출력이 낮음
- 양산용 장비의 초기 개발에 시간이 필요

고체 전해질 종류 및 특성

구분	계열	장점	단점
무기 고체 전해질	산화물계(oxide)	• 공기 중 안전성 우수 • 비교적 높은 리튬이온전도도 (10^{-3}~10^{-4} S/cm)	• 고체 전해질 입계 저항이 큼 (10^{-4}~10^{-6} S/cm) • 전극/전해질간 접촉 계면 형성 곤란 • 1,000℃ 이상의 높은 소결 온도 • 대면적 셀 구동 곤란
	황화물계(sulfide)	• 높은 리튬이온전도도 (10^{-2}~10^{-3} S/cm) • 전극/전해질간 접촉 계면 형성 용이	• 공기 중 안전성 취약 (수분 반응성 높음) • 공간전하층 형성에 따른 전극 전해질 계면에서의 고저항층 발생
유기 고체 전해질	드라이 폴리머	• 전극 계면과 밀착성 우수 • Roll-to-Roll 공정 적용 용이	• 낮은 리튬이온전도도 • 고온 환경에서만 사용 가능
	겔 폴리머	• 전극 계면과 밀착성 우수 • 리튬이온전도도 양호	• 낮은 기계적 강도로 단락 우려

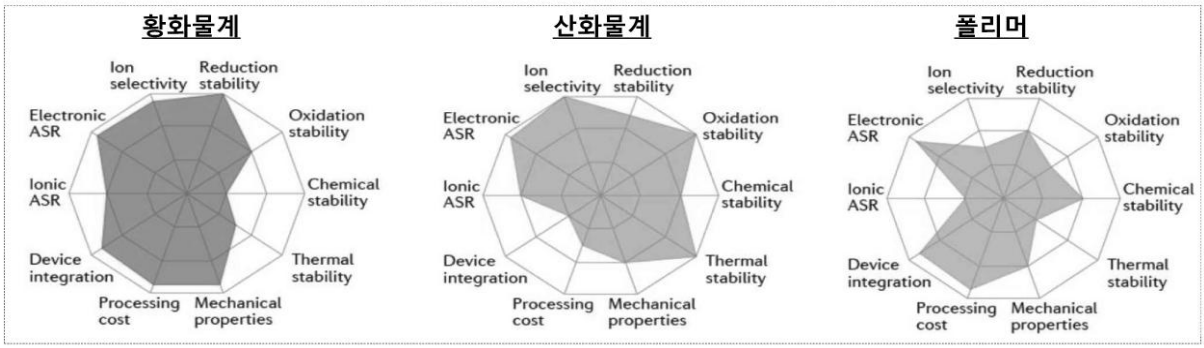


Fig. Nature Rev. Master

고체 전해질 종류 및 특성

고체전해질 소재	이온전도도 (S/cm)	전위창 (V)	수율 (t)	장점	단점
황화물계 (결정, 그라스)	10^{-4}~10^{-2}	0~5.5	1	- 이온전도도, 전위창 매우 우수	- 양극/음극 소재와 반응성 - 고분자와 반응성, 흡습성 (H_2S gas 생성) - 대기중 반응성, 작업성 - 고순도 황화물 요구
페롭스카이트 (LLTO)	10^{-5}~10^{-3}	1.5~5.5	1	- 단결정 상태에서 이온전도성 우수	- 다결정 상태에서 입계 저항 증가 - 음의 전위창이 나쁨
나신콘계 (LATP)	10^{-5}~10^{-3}	2.5~5.5	1	- 단결정 상태에서 이온전도성 우수	- 다결정 상태에서 입계 저항 증가 - 음의 전위창이 매우 나쁨
Garnet 산화물	10^{-5}~10^{-3}	0~5.5	1	- 전위창, 이온전도도 우수 - 대기중 취급용의, 기계적, 화학적 안정성 우수	- 대기 및 수분 중 장기 방치시 표면 반응 및 셀 열화 영향
고분자계 (PEO)	10^{-8}~10^{-5}	0~4.2	~0.5	- 공정, 가공성 우수 - 계면제어 효과 우수 - 음의 전위창 우수	- 상온 이온전도도 낮음 - 양의 전위창 특성 나쁨

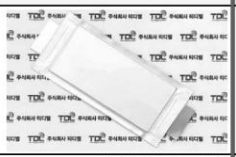
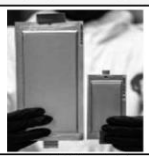
고체 전해질 종류 및 특성_이온전도도

リチウムイオン伝導性無機固体電解質材料

	Composition	Conductivity at 25 °C (S cm^{-1})	Classification	Reference
酸化物系	$Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO_4)_3$	7×10^{-4}	crystal (NASICON)	Aono, Imanaka, Adachi, 1990
	$Li_{0.34}La_{0.51}TiO_{2.94}$	1.4×10^{-3}	crystal (perovskite)	Inaguma, Ito, 1994
	$Li_7La_3Zr_2O_{12}$	3×10^{-4}	crystal (garnet)	Murugan, 2007
	$50Li_4SiO_4 \cdot 50Li_2BO_3$	4.0×10^{-6}	glass	Tatsumisago, Minami, 1987
	$90Li_3BO_3 \cdot 10Li_2SO_4$	1.0×10^{-5}	glass-ceramic	Tatsumisago, Hayashi, 2014
	$Li_{2.9}PO_{3.3}N_{0.46}$ (LIPON)	3.3×10^{-6}	amorphous (thin film)	Yu, 1997
	$Li_{1.07}Al_{0.69}Ti_{1.46}(PO_4)_3$	1.3×10^{-3}	glass-ceramic	Fu, 1997
硫化物系	$Li_{9.54}Si_{1.74}P_{1.44}S_{11.7}Cl_{0.3}$	2.5×10^{-2}	crystal	Kanno, TOYOTA, 2016
	$Li_{10}GeP_2S_{12}$ (LGPS)	1.2×10^{-2}	crystal	Kanno, TOYOTA, 2011
	$Li_{3.25}Ge_{0.25}P_{0.75}S_4$	2.2×10^{-3}	crystal	Kanno, 2001
	Li_6PS_5Cl	1.3×10^{-3}	crystal (argyrodite)	Boulineau, 2012
	$30Li_2S \cdot 26B_2S_3 \cdot 44LiI$	1.7×10^{-3}	glass	Wada, 1983
	$50Li_2S \cdot 17P_2S_5 \cdot 33LiBH_4$	1.6×10^{-3}	glass	Hayashi, Tatsumisago, 2013
	$63Li_2S \cdot 36SiS_2 \cdot 1Li_3PO_4$	1.5×10^{-3}	glass	Takada, Kondo 1992
	$57Li_2S \cdot 38SiS_2 \cdot 5Li_4SiO_4$	2.0×10^{-3}	glass	Tatsumisago, Minami, 1995
	$70Li_2S \cdot 30P_2S_5$	1.6×10^{-4}	glass	Kennedy, 1990
	$Li_7P_3S_{11}$	1.7×10^{-2}	glass-ceramic	Hayashi, Tatsumisago, 2005 IDEMITSU, 2010
	$Li_{3.25}P_{0.95}S_4$	1.3×10^{-3}	glass-ceramic	Hayashi, Tatsumisago, 2003

전해질 특성

○ 고체 전체질 종류 및 특성

항 목	고분자 전해질	산화물 전해질	황화물 전해질	액체 전해질
전지 사진				
전지구성	NCM/폴리머전고체 /Carbon	NCM,LFP/산화물전고체 /Li metal	NCM/황화물전고체 /Carbon or Li metal	NCM/액체전해질+분리막 /Carbon
이온전도도	≤$10^{-4\sim5}$S/cm	≥$10^{-3\sim4}$ S/cm	≥10^{-2} S/cm	≥10^{-2} S/cm
고온 특성	우수	우수	우수	열악
저온 특성	양호	양호	양호	비교적 양호
안전성	안전	매우 안전	보통(황화수소발생)	폭발, 화재(안전성 취약)
제조시 생산시설 비용	낮다	황화물대비 70% 수준	고가	낮다
제조 공정 난이도	중간	중간	높다	쉽다
제조 비용	낮다	황화물대비 60~70% 수준	고가	낮다
기계적 강도 및 신뢰성	낮음	아주 좋음	보통	취약
대표 소재	**PEO**	**LLZO**	LPS	LiPF6-EC/DEC
개발 현황	연구개발 중	연구개발 중	연구개발 중	상용화

▪ 고분자 전해질은 유현성을 가지고 있음에도 낮은 기계적강도/이온전도도(≤$10^{-4\sim5}$ S/㎝)로 사용에 제약이 있었지만, 당사는 무기계에서 가장 안전한 산화물 전해질(LLZO)과 고분자 전해질(PEO)을 복합화하여 전지에 적용함으로써 우수한 이온전도도 특성과 유현성을 겸비한 **독창적인 유무기 하이브리드 전고체전지의 제조기술이 응용분야에 부합**.

전고체 전지 리딩업체의 기술 구성

	ANODE	ELECTROLYTE
QuantumScape	Anode-free Lithium	Oxidic & Sulfidic Ceramic
solid energy	Lithium	Semi-solid Solvent-in-Salt
ionic MATERIALS	Lithium or Graphite	Doped Pi-conjugated Polymer
Sion Power	Lithium	Hybrid Ceramic-Polymer
Solid Power	Lithium	Sulfidic Glass-Ceramic
Bolloré	Lithium	PEO-based Polymer
ProLogium	Lithium or Graphite/Si	Oxidic Ceramic
Hydro Québec	Lithium	e.g. PEO-based Polymer
Panasonic	Lithium	Oxidic & Sulfidic Ceramic
SAMSUNG	Lithium Ag-C coated	Sulfidic Glass-Ceramic

https://www.orovel.net/insights/solid-state-lithium-battery-techno-and-business

전고체전지 리딩 스타트업, 자동차 및 배터리 업계

전고체 전기 스타트업에 투자하는 완성차 업계

전고체 전지 벤처기업	투자기업
솔리드파워	현대차, 포드, BMW 등
퀀텀스케이프	폭스바겐, 빌 게이츠, 카타르 투자청
솔리드에너지시스템 (SES)	SK, GM, 상하이차, 현대차
팩토리얼 에너지	현대차·기아

https://www.mk.co.kr/news/business/10083313

'꿈의 배터리' 전고체 배터리 개발 계획

삼성SDI	-2027년 상용화 목표 -지난해 1회 충전 800km 주행 기술 개발 성공
LG에너지솔루션	-2028년 이후 상용화 목표 -고분자계 전고체 배터리 개발에 집중
SK이노베이션	-리튬메탈 배터리 기술 개발 중 -노벨상 수상자 굿이너프 교수와 전고체 기술 개발
폭스바겐	-지난 3월 '전고체 배터리 긍극적 목표' 밝힘 -배터리 파트너사 퀀텀스케이프 2025년 양산 계획
도요타	-2025년까지 양산 체계 구축 -전고체 배터리 관련 특허 수 1000개 이상

그래픽: 이승현 디자인기자

https://m.news.nate.com/view/20210413n03627

완성차 업체들의 전고체 배터리 개발 현황

	투자 및 제휴 배터리 업체	양산 목표 시점
현대차	솔리드파워(미국)	2030년
폴크스바겐	퀀텀스케이프(미국)	2025년
GM	솔리드에너지시스템(미국)	2030년
BMW	솔리드파워(미국)	2030년
도요타	파나소닉(일본)	2025년

완성차 업체의 전고체 배터리 개발 현황/조선일보 DB

https://biz.chosun.com/industry/car/2021/06/01/FKEMTWSAGRCXPKJ6ZGYRUU5DTQ/

K배터리 전고체 배터리 개발 현황

LG에너지솔루션

2026년 고분자계, 2030년 황화물계 전고체 배터리 상용화 목표

삼성SDI

- 수원 사업장 내 전고체 배터리 파일럿 라인 완공 예정
- 2027년 황화물계 전고체 배터리 상용화 계획

SK온

- 2029년 전고체 배터리 상용화 목표
- 미국 솔리드파워에 3000만달러 투자

https://www.sedaily.com/NewsView/29N0EURV4J

전고체전지 개발 및 상용화 전망

전고체 전지 세계 첫 상용화 목표...배터리 3사 기술개발 박차

자료 : 한국경제 (2023. 4. 20)

전해질 고체 '꿈의 배터리'...에너지 밀도↑ 화재 위험↓
삼성SDI가 기술 앞선 편...상반기 파일럿라인 준공, 2027년 양산 목표



에너지 전문 시장조사업체 SNE리서치에 따르면 전고체 배터리는 2027년부터 양산이 시작돼 2035년께 전체 배터리 시장의 10~13%를 차지할 전망이다.

SNE리서치는 글로벌 전고체 배터리 사용량이 2030년 149~160GWh, 2035년 950~1천413GWh 규모로 성장할 것으로 봤다.

또 2030년 이후 산화물·고분자·황화물·하이브리드 등 다양한 유형의 전고체 배터리가 서로 경쟁하다 황화물계를 중심으로 시장이 확대될 것으로 내다봤다.

이어 2025년에 대형 셀 생산 기술을 개발하고, 2027년 양산에 들어간다는 목표를 세웠다.

삼성SDI는 황화물계 전고체 배터리를 개발하고 있다.

고체 전해질 소재와 리튬 음극재로 수명을 개선한 무음극 기술도 특징이다.

LG에너지솔루션은 고분자계와 황화물계를 동시에 개발하는 '투 트랙' 전략을 추진하고 있다.

상대적으로 기술 난도가 낮은 고분자계 배터리를 우선 2026년에 양산하고, 2030년 이후 황화물계 배터리를 상용화한다는 계획이다.

2021년 LG에너지솔루션은 미국 샌디에이고 대학교(UCSD)와 공동 연구로 기존 60도 이상에서만 충전할 수 있었던 기술적 한계를 넘어 상온에서도 빠른 속도로 충전이 가능한 장수명 전고체 배터리 기술을 개발하기도 했다.

SK온은 전고체 배터리 벤처기업인 미국 솔리드파워와 손잡고 황화물계 전고체 배터리를 개발 중이다.

회사 측은 2021년 10월 미국 솔리드파워에 3천만달러(약 350억원)를 투자했다.

2025년 황화물계 전고체 배터리 시제품을 개발, 2029년 양산 돌입이 목표다.

또 국내에서는 대전 차세대배터리 연구센터를 중심으로 고체 전해질과 리튬메탈 음극 등을 독자 개발하는 등 2029년 전고체 배터리 상용화를 목표로 연구개발(R&D) 능력을 강화해왔다.

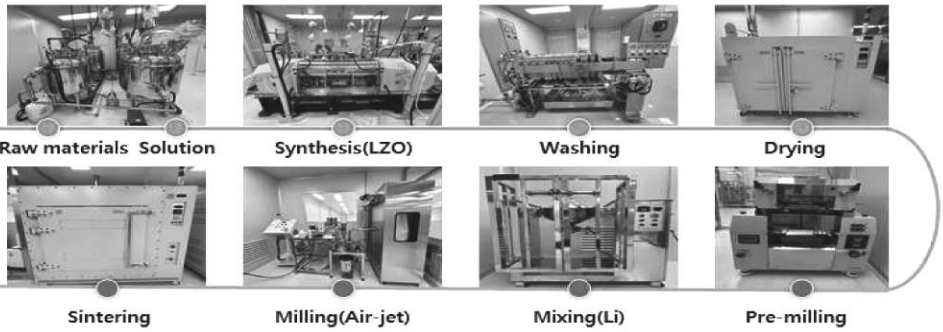
TDL 산화물 전고체 양산 라인 구축

00kg/년 자체 생산라인 나주 공장 구축 및 양산중

*ASSE : All Solid State Electrolyte



400L(50L) Class
Semi-mass
Production Facility



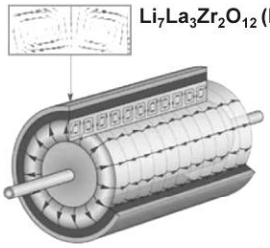
TDL 산화물 전고체 전해질

Solid Electrolyte Mass Production status

○ Couette-Taylor Reaction Principles







동영상

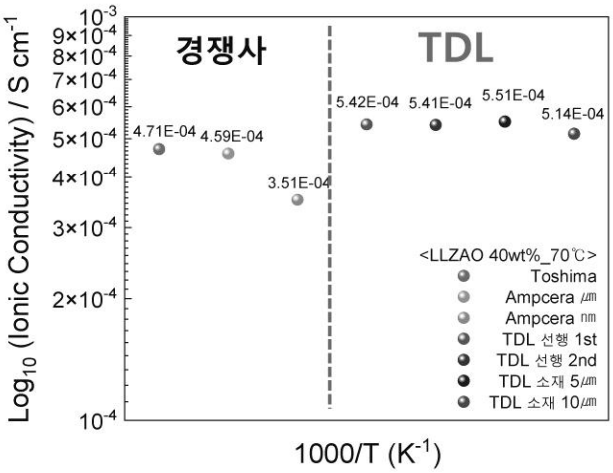


No.	Item	Ga-doping	Al-doping
1	Material	$Li_{6.25}Ga_{0.25}$ $-La_3Zr_2O_{12}$	$Li_{6.25}Al_{0.25}$ $-La_3Zr_2O_{12}$
2	Type	**Pilot**	MP
3	Capa.	100g(SPL)	250kg/M (3ton/Y)
4	Synthesis	Co-precipitation in Talyer-Couette	Co-precipitation in Talyer-Couette
5	Crystal Phase	Cubic Phase	Cubic Phase
6	Particle Size	D_{50} = 3~13 ㎛	D_{50} = 2~10 ㎛
7	Ionic Conductivity	≥ 1 X 10^{-3} S/㎝	≥ 2 X 10^{-4} S/㎝

전고체 전해질 특성 비교

Solid Electrolyte (Sheet)

○ Al-LLZO의 이온전도도 경쟁사 비교(TDL vs 경쟁사)



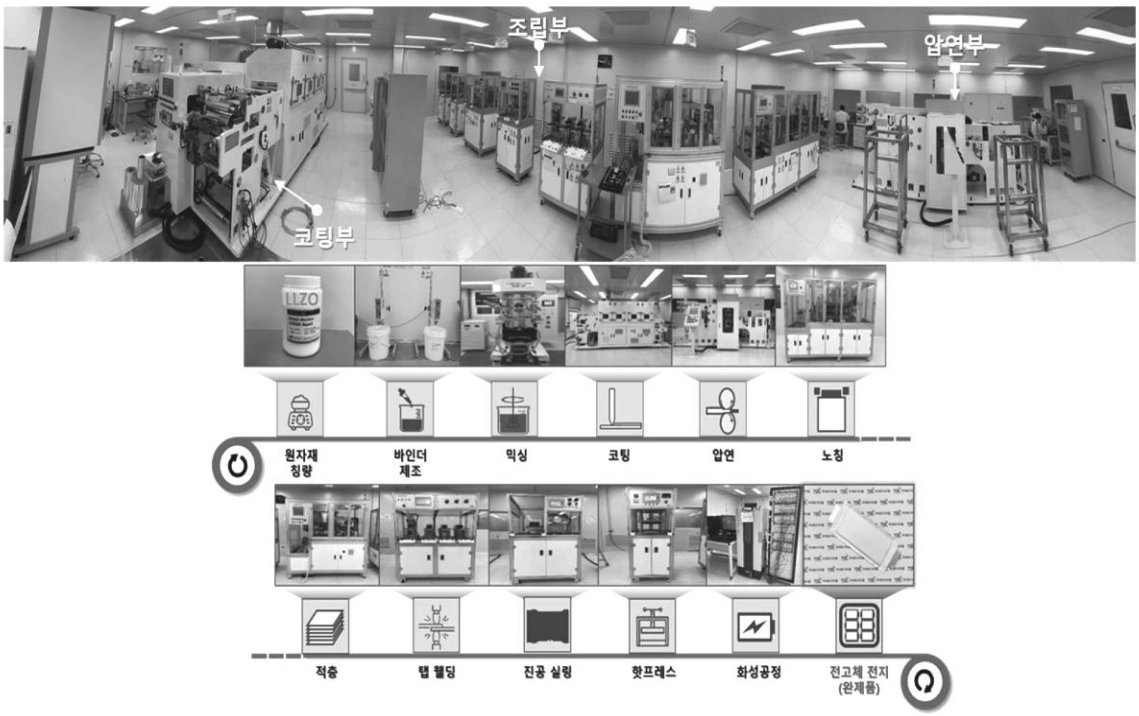
No.	항목	저항	이온전도도	비고
-	(Unit)	(Ω)	(S/cm)	(—)
1	**(日)Toshima**	33.1522	**4.713E-04**	7㎛
2	**(美)Ampcera(A)**	40.1551	**4.598E-04**	10㎛
3	**(美)Ampcera(B)**	51.9483	**3.515E-04**	0.5㎛
4	**TDL 선행 1st**	28.1591	**5.425E-04**	10㎛
5	**TDL 선행 2nd**	33.5750	**5.410E-04**	10㎛
6	**TDL 소재_5㎛**	27.7044	**5.514E-04**	-
7	**TDL 소재_10㎛**	29.9939	**5.143E-04**	-

조건 : 동일한 시트 두께로 70℃에서 이온전도도 측정됨

결과 : 경쟁사(Toshima, Ampcera)-시트에 비해 **TDL-시트의 이온전도도가 우수함**

TDL 전고체 전지 제조 라인

○ 전고체전지 제조 공정 구축완료



19

전고체 전지 제조

○ 전고체 전지 제조 공정 동영상

동영상

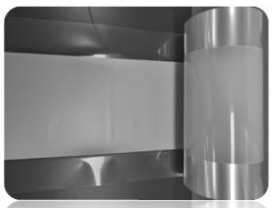
시트 제조(믹싱&코팅&압연)



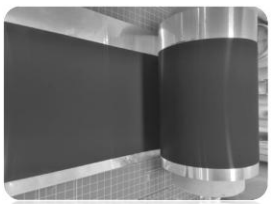
동영상

파우치 셀 조립(노칭&적층&셀 조립)

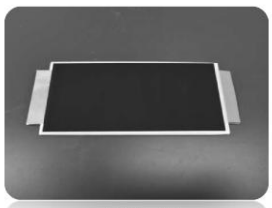




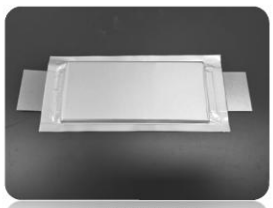
전해질 시트



양극 시트



스택 바

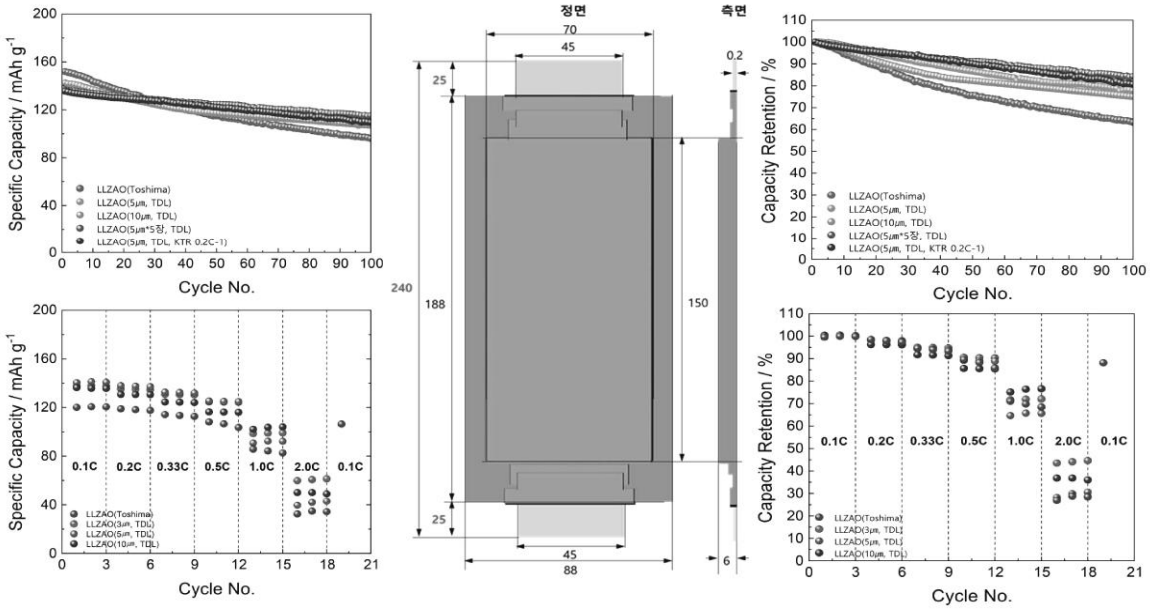


파우치 셀

산화물 전고체 전지

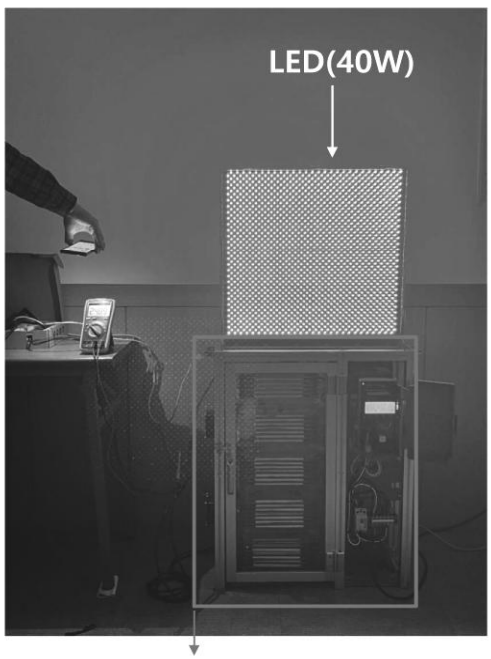
* 양극 : NCM622, Super-P, LLZO, PEO, LiClO4
* 고체전해질 : Al-LLZO, PEO, LiClO4
* 음극 : Li-metal, 작동온도 : 70℃

○ Al-LLZO의 Coin cell 전기화학적 특성 비교(TDL vs 경쟁사)



TDL 전고체전지 채용 모듈

500Wh급 전고체전지로 LED 구현



동영상



SMD 전고체 전지

○ **일본은 한국과 중국에 빼앗긴 세계 배터리 시장의 주도권을 되찾기 위해 전기차 뿐만 아니라 산업 전분야에 걸쳐** 전고체 전지 개발에 적극적으로 투자

○ **2000년대 중반까지 일본 소니와 산요가 세계 배터리 시장을 양분하였으나, 삼성SDI, LG화학 등 국내 배터리사의 공격적인 대규모 양산설비 투자로 20년 이후3위권 아래로 하락 → 전기차 외에 시장의 눈을 돌려** 가전, Wearable, 항공, 우주 분야에 지속적인 개발 및 시장 진입 목표

〈표 8〉 전고체 전지 개발을 추진 중인 주요 일본기업

	주요내용	용도
도요타	2025년 상용화 목표	전기차
TDK	손가락에 올릴 수 있는 소형 사이즈	가전, IoT(사물인터넷)
다이요유덴	수 cm 크기의 소형 타입	스마트워치 등
무라타	마이크로미터 단위의 박막형 타입	콘택트렌즈 등 웨어러블 분야
NGK	고온에서도 사용할 수 있는 칩 타입	스마트카드와 웨어러블 단말기
포르테	무기산화물계 타입	IoT 기기 등
FDK	소형 칩	웨어러블기기, 반도체 백업전원 등
히타치조선	고체분말 배터리재료를 이용하는 벌크형	항공, 우주용

자료 : 해동일본기술정보센터, SK증권

SMD (Surface Mount Device) 전고체 전지

○ **일본은 한국과 중국에 빼앗긴 세계 배터리 시장의 주도권을 되찾기 위해 전기차 뿐만 아니라 산업 전분야에 걸쳐** 전고체 전지 개발에 적극적으로 투자

○ **2000년대 중반까지 일본 소니와 산요가 세계 배터리 시장을 양분하였으나, 삼성SDI, LG화학 등 국내 배터리사의 공격적인 대규모 양산설비 투자로 20년 이후3위권 아래로 하락 → 전기차 외에 시장의 눈을 돌려** 가전, Wearable, 항공, 우주 분야에 지속적인 개발 및 시장 진입 목표

〈표 8〉 전고체 전지 개발을 추진 중인 주요 일본기업

	주요내용	용도
도요타	2025년 상용화 목표	전기차
TDK	손가락에 올릴 수 있는 소형 사이즈	가전, IoT(사물인터넷)
다이요유덴	수 cm 크기의 소형 타입	스마트워치 등
무라타	마이크로미터 단위의 박막형 타입	콘택트렌즈 등 웨어러블 분야
NGK	고온에서도 사용할 수 있는 칩 타입	스마트카드와 웨어러블 단말기
포르테	무기산화물계 타입	IoT 기기 등
FDK	소형 칩	웨어러블기기, 반도체 백업전원 등
히타치조선	고체분말 배터리재료를 이용하는 벌크형	항공, 우주용

자료 : 해동일본기술정보센터, SK증권

SMD 전고체 전지

○ **일본은 한국과 중국에 빼앗긴 세계 배터리 시장의 주도권을 되찾기 위해 전기차 뿐만 아니라 산업 전분야에 걸쳐** 전고체 전지 개발에 적극적으로 투자

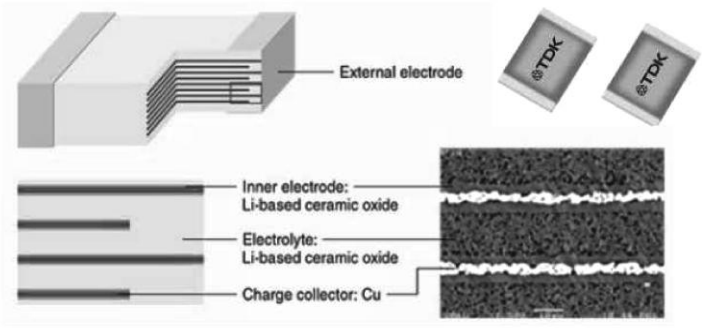
○ **2000년대 중반까지 일본 소니와 산요가 세계 배터리 시장을 양분하였으나, 삼성SDI, LG화학 등 국내 배터리사의 공격적인 대규모 양산설비 투자로 20년 이후3위권 아래로 하락 → 전기차 외에 시장의 눈을 돌려** 가전, Wearable, 항공, 우주 분야에 지속적인 개발 및 시장 진입 목표

〈표 8〉 전고체 전지 개발을 추진 중인 주요 일본기업

	주요내용	용도
도요타	2025년 상용화 목표	전기차
TDK	손가락에 올릴 수 있는 소형 사이즈	가전, IoT(사물인터넷)
다이요유덴	수 cm 크기의 소형 타입	스마트워치 등
무라타	마이크로미터 단위의 박막형 타입	콘택트렌즈 등 웨어러블 분야
NGK	고온에서도 사용할 수 있는 칩 타입	스마트카드와 웨어러블 단말기
포르테	무기산화물계 타입	IoT 기기 등
FDK	소형 칩	웨어러블기기, 반도체 백업전원 등
히타치조선	고체분말 배터리재료를 이용하는 벌크형	항공, 우주용

자료 : 해동일본기술정보센터, SK증권

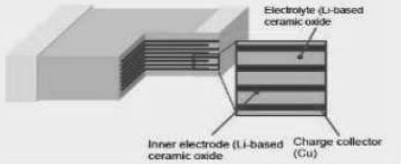
SMD 전고체 전지_TDK (日)





CeraCharge™

- All solid-state rechargeable battery with no liquid electrolyte
- Based on a multilayer technology, similar to MLCCs, but with 1000 times the capacity of a capacitor in the same case size
- Replacement of coin cells and supercapacitors
- To increase capacity and voltage, any number of individual components can be connected in series and parallel.



Key benefits

Intrinsically safe
- Cannot leak, burn, explode
- 100% Pb-free
- No special handling required for recycling

Easy to assemble
- Reflow solderable
- Embeddable
- No need to change battery
- Available in EIA case size

Robust design
- Wide operating temperature range
- Suitable for vacuum applications

Main applications:
IoT devices, real-time clocks, BLE beacons, systems for energy harvesting

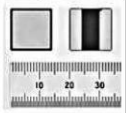
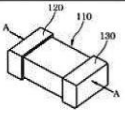
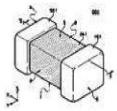
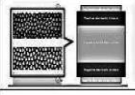
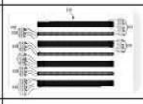
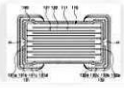
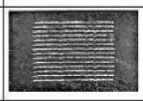
Specification

CeraCharge 1812		
Nominal voltage	[V]	1.5
Operating voltage	[V_{op}]	0 to 1.6
Nominal capacity	[µAh]	100 ±20
Nominal discharge current	[µA]	20
Operating temperature	[°C]	-20 to +80
Case size Dimensions	[EIA] [mm]	1812 4.5 x 3.2 x 1.1
Weight	[g]	0.045

- **Samples:** available
- **Application note:** available

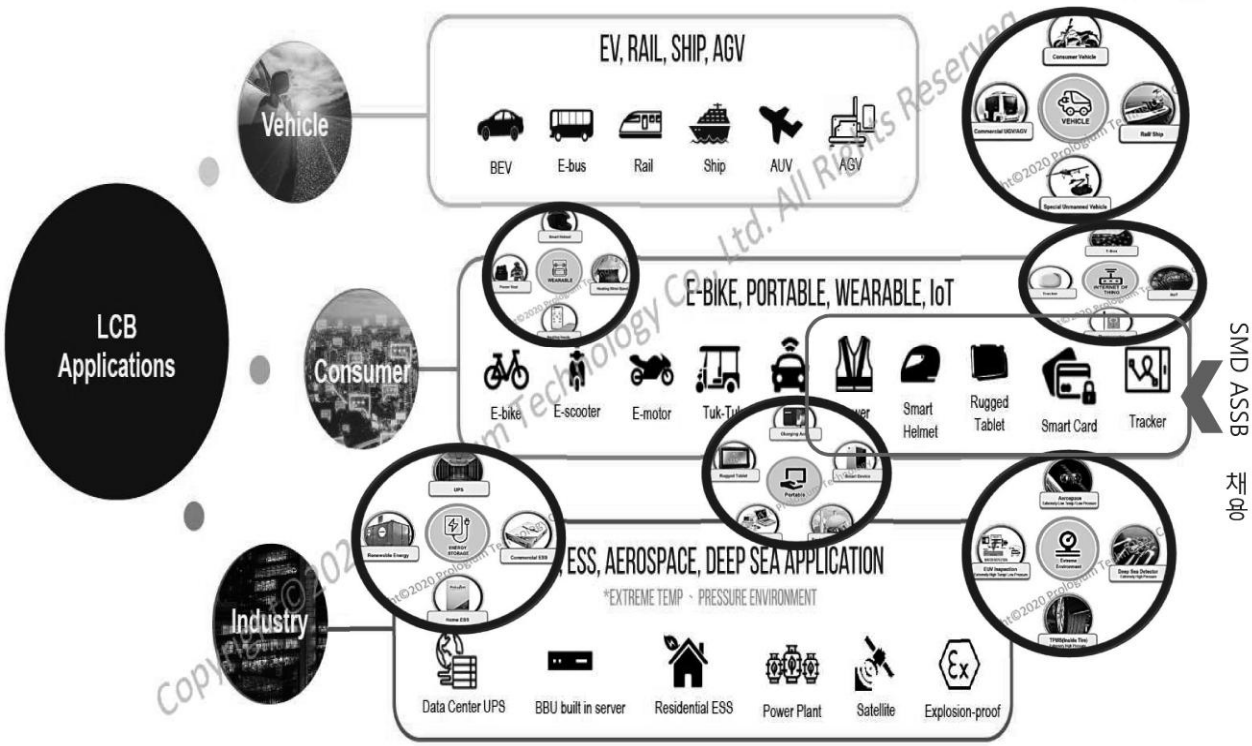
https://www.powersystemsdesign.com/articles/rechargeable-solid-state-smd-battery-for-iot-applications/22/13512

SMD 전고체 전지_기술동향

Items	TDK	muRata	TAIYO YUDEN	maxell	SAMWHA CAPACITOR GROUP	SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS	TDL
Image							
Structure							
Electrolyte	LATP	LAGP	LATP	Li6PS5Cl	Li2O-B2O3-P2O5	LiO2-B2O3-SiO2	LATP
Cathode active material	LVP	LVP/ LFP/LCO/LMO	LMPO/LCPO	LiNi0.6Co0.2Mn0.2O2	LCO/LMO	LCO	LCO/LTO/LVP
Anode active material	LVP	Li free oxide (TiO2, SiO2, SnO etc)	LTO	Carbon	LTO/Carbon	Carbon	LCO/LTO/LVP/Carbon
Sintering condition	850~890℃/N2	600~900℃/N2	800~850℃/N2		Sintering-free	800~900℃/N2	700~850℃/N2
Operating voltage	0~1.6V	0~3.8V	1.5~3.0V	1.0~2.5V	0~3.8V	0~3.8V	0~1.6V
Operating temperature	-20~+80℃	-20~+125℃		-20~+105℃		-20~+125℃	-20~+125℃
Nominal capacity	100 μAh	10 mAh	14.7 μAh	16mAh	150 Wh/L (1C)	6mAh	25~30μAh
Nominal discharge current	20 μAh	2~25 mA(25℃)	1.0 μA	60mA	27.3Ω (DC ESR)	60 μA	5μA
Dimension (L*W*t)	4.4*3.0*1.1mm	5.0*5.0*2.0mm	4.5*3.2*3.2mm	14.5*14.5*4.0mm	1.0*0.5*0.5mm	10*10*5.0mm	5.8*5.8*2.0mm
Weight	0.04g			2.7g			0.16g
Applications	IOT, Wearable device, RTC Power source	IOT, Wireless earphone	Weaable device, IOT, Energy harvesting	Health care applications, wearable devices	IOT, Smart home electrics backup power source	IOT, Wearable devies	Health care applications, wearable devices
Production	30kpcs/M	Under development	Under development	Mass productions in 2023	Under development	Under development	Proto SPL & Pilot production in 2023
Remarks				Sulfide oxide adoption	Buffer layer to perform high C rate	MLCC additives technical applications	Self-material application

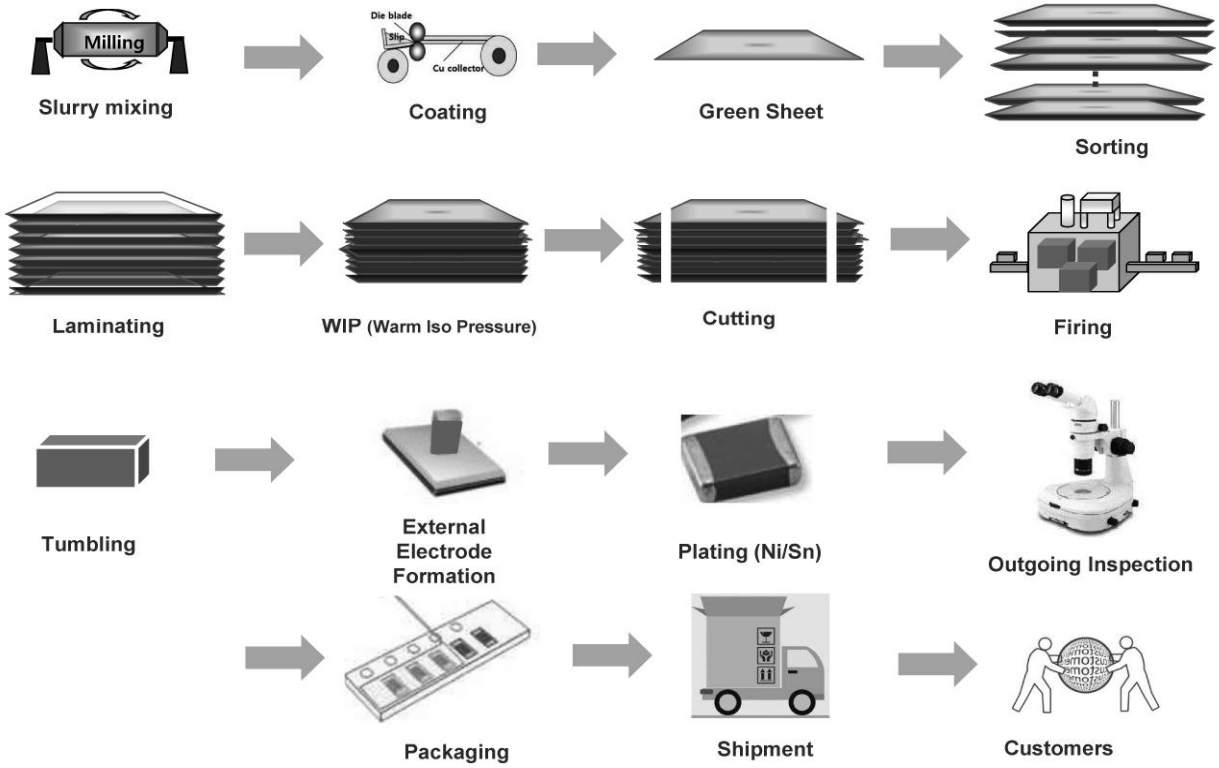
효율 : 90%@20cycle

SMD 전고체 전지 응용분야

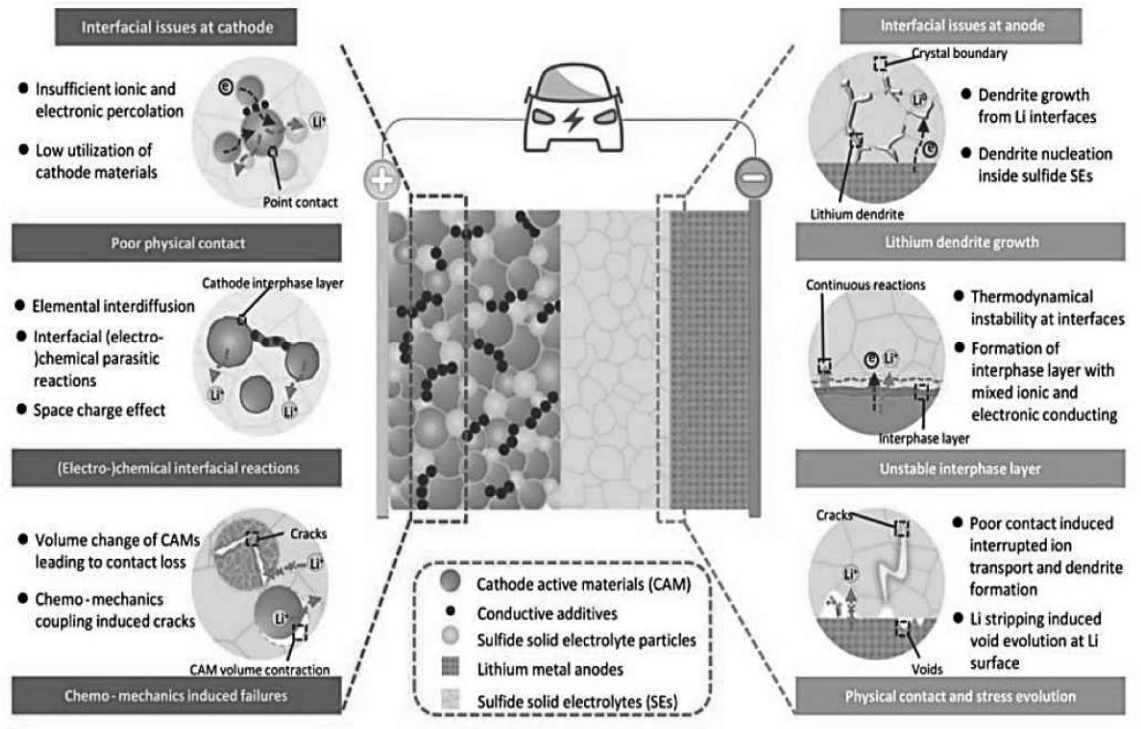


Copyright © 2020 Protoborn Technology Co., Ltd. All Rights Reserved

SMD 전고체 전지 제조

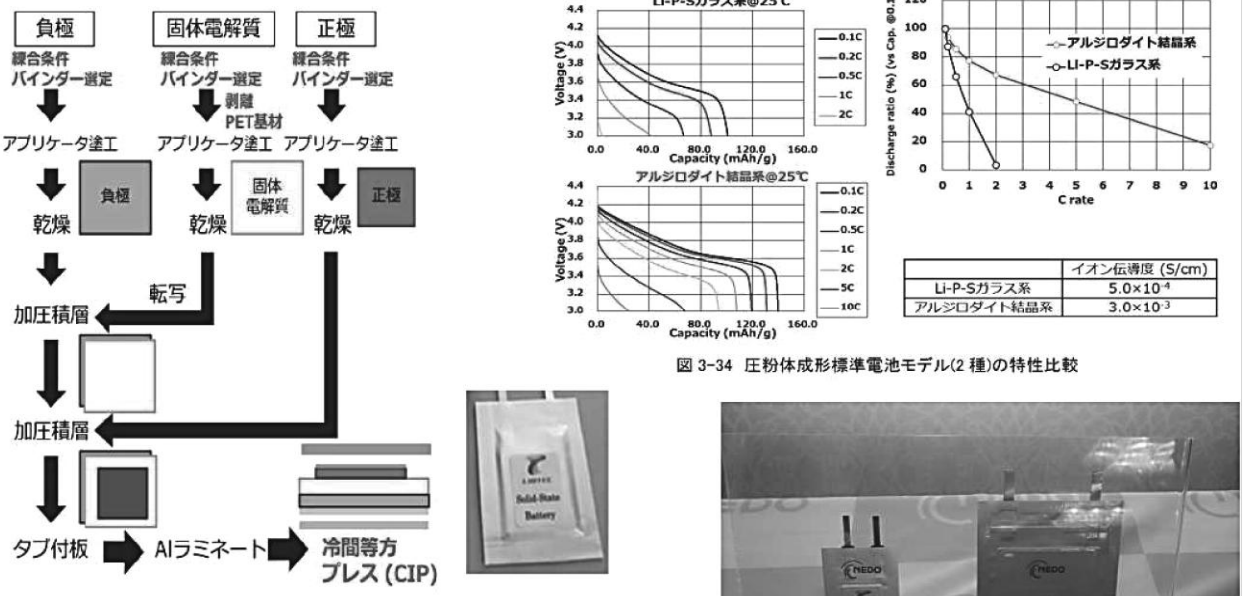


황화물 전고체전지_계면저항이슈



https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/inf2.12292

황화물 전고체전지 _NEDO



	イオン伝導度 (S/cm)
Li-P-Sガラス系	5.0×10^{-4}
アルジロダイト結晶系	3.0×10^{-3}

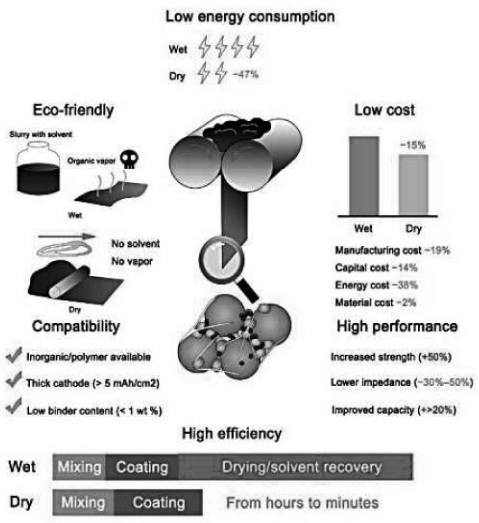
図 3-34 圧粉体成形標準電池モデル(2 種)の特性比較

図 3-35 シート成形電池の試作工程

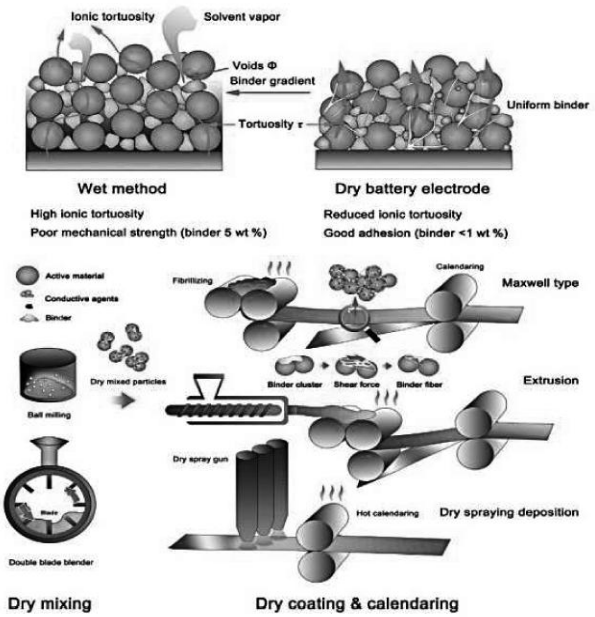
2017년 NEDO 선진 혁신 축전지 재료평가 개발 보고서

황화물 전고체전지 _건식공정

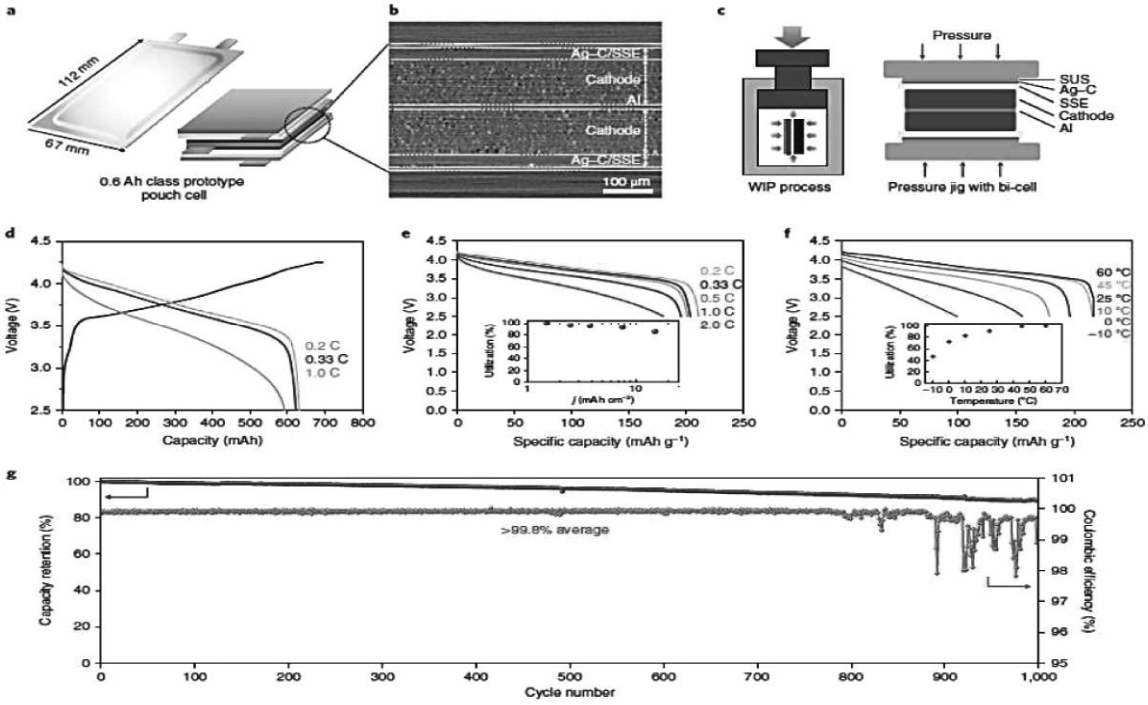
- 건식공정의 필요성
  - 고에너지밀도의 ASSB (> 400Wh/kg) : 전극(>4 $mAhcm^{-2}$), thin SSE (<50 ㎛) 구현
  - 건식공정의 key : 최소 바인더 사용으로 활물질 등과 균일하게 mixing 하는 기술



Matter 5, 876–898, March 2, 2022



황화물 전고체전지 _삼성



Nature Energy **volume 5**, pages299–308 (2020)

황화물 전고체전지 _ISP 공정별 특성

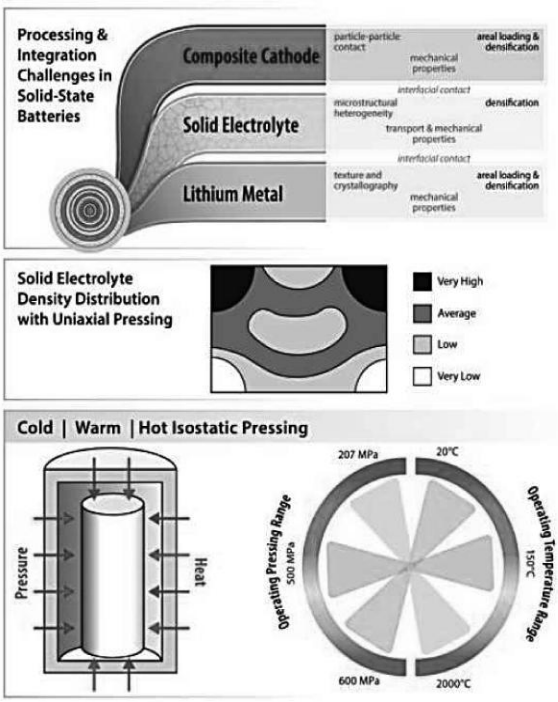
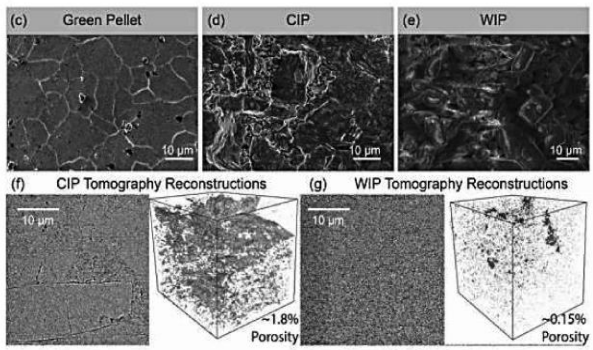


Table 1. Standard Processing Capabilities of Isostatic Pressing Equipment[a]

ISP technique	CIP	WIP	HIP
pressure medium	liquid - water	liquid - oil/ water	gas - argon/ nitrogen
standard temperature rating (°C/°F)	20/68	150/302	2000/3632
standard pressure rating (MPa/ksi)	600/87	500/72.5	207/30
cycle time	o	+	+++
equipment cost	o	+	+++

[a]Qualitative values are represented by o, +, and +++, where o < + < + ++.



ACS Energy Lett. 2022, 7, 3936−3946

SUMMARY

○ **응용분야 구분**

- 소형 : 박막전지, SMD(MLCB type) 전지 등 산화물 중심의 전지
- 중 대형 : 산화물, 황화물, 고분자, 복합 고체전해질 중심의 전지

○ **소재 설계**

- 전해질 : 고분자, 산화물, 황화물, 복합화(하이브리드) / 반고체
- 양음극재 : 저가 LFP / 고출력 Low-Ni or High-Ni NCM, SiO/C, Li-metal, Anode-free(Ag-C)

○ **공정**

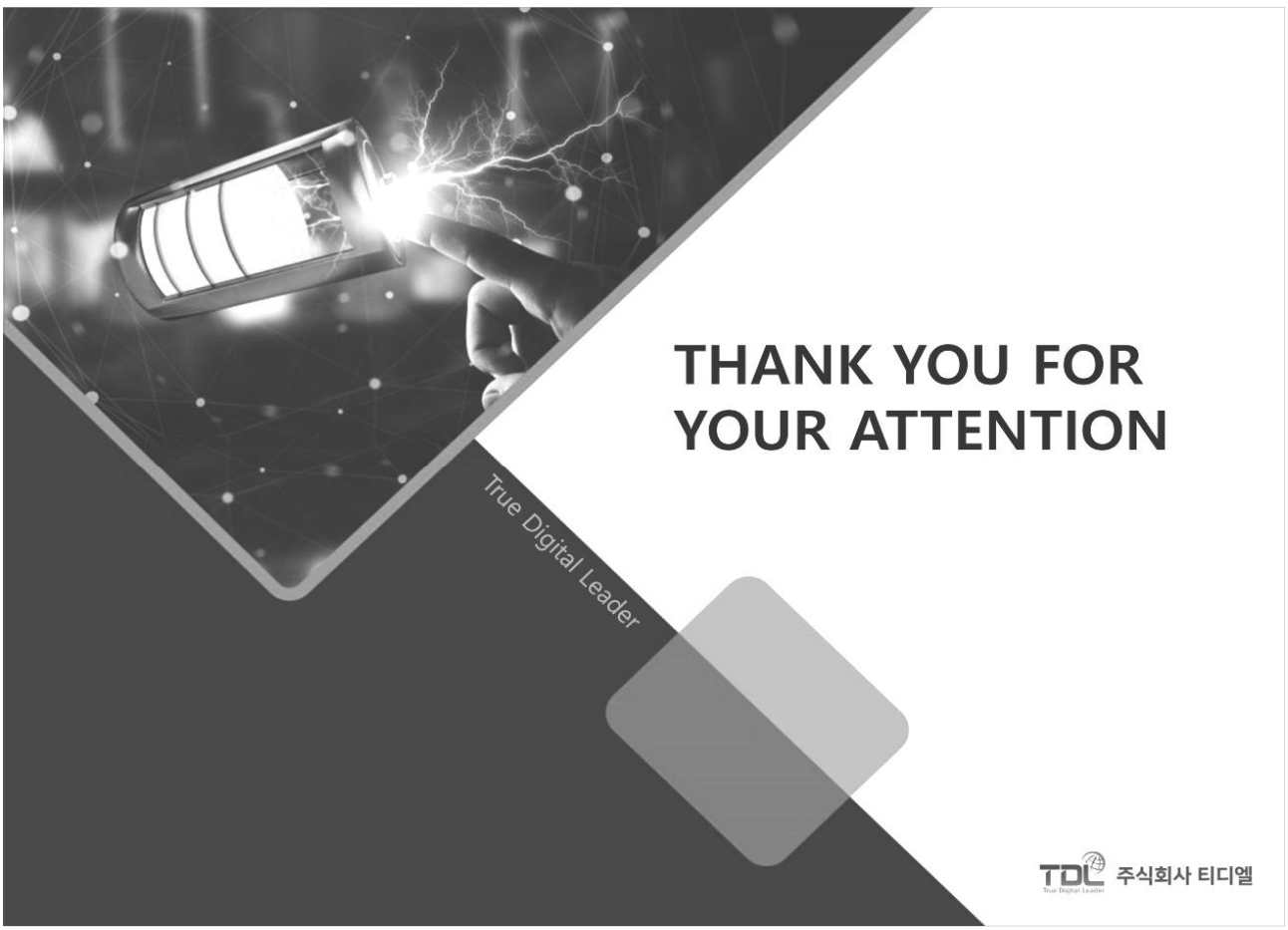
- 공정 (코스트) 중심 : 기존 LIB 공정(습식) VS New 공정(건식 압출 등)

○ **구조**

- 모노폴라 > 바이폴라 구조

○ **상용화 가능시기** : 단기 or 장기 중심

- 단기 : 소형 셀>대형셀, 대형 셀 : 고분자>복합체(무기)>100% 세라믹
- 장기 : 대면적 & 고성능(용량), 저가 소재 & 저가 공정
- 전기차용 고성능 제품 보다, ESS 등 안전성, 내구성, 장수명 기반의 조기 상용화 가능성



목포대학교 파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼

[발표3]

전남 무연 압전 및 전고체 배터리 발전방안

최광표 센터장

(전남테크노파크 세라믹산업센터)


파인세라믹 ICC 산·학·연·관 포럼
전남 전고체 배터리 및
무연 압전소재 발전방안
2023.09.13
전남테크노파크


I
전고체 배터리 소재 발전방안

전남 연관 소재산업 현황 1

세라믹소재/조선/에너지신산업 | 이차전지소재/우주항공/이모빌리티

1. 서부권 세라믹산업

기반/주력육성산업

① 조선산업 (서남권)
② 광부품산업 (광주), 자동차산업(광주, 영광)
③ 바이오 의료산업 (화순, 광주)
④ 에너지신산업 (나주)
⑤ 해상풍력발전산업 (서남권)



2. 동부권 세라믹산업

기반/주력육성산업

① 철강산업(광양)
② 석유화학산업 (여수)
③ 이차전지 소재 (광양)
④ 우주항공/이모빌리티 (고흥)
⑤ 스마트팜 (고흥)

» 권역별 특성

기업 특성

→ 대불국가산단 중심으로 알루미나소재 대량생산 · 공급
→ 전남 서남권 생활자기 관련 기업 다수 소재
→ 첨단세라믹 관련 기업, 신확장 · 신생기업 비중 高

발전 가능성

→ 첨단세라믹 원료소재산업 전략적 육성
→ 에너지관련 수요산업 대폭 확대 (에너지신산업, 해상풍력)
나주에너지밸리 '30년 1,000개 기업 유치, 해상풍력발전 8.2GW 계획

기업 특성

→ 철강산업 연계 제품(내화물, 시멘트 등) 관련 기업 중심 집적
→ 산업부산물 활용 비금속 광물분쇄 업종 기업 다수 소재

발전 가능성

→ 이차전지 소재(양극재) 글로벌 수준 생산공장 구축
양극재, 수산화리튬, 니켈, 이차전지 재활용 등
→ 철강, 화학산업과의 전후방 가치사슬 연계

전남 연관 소재산업 현황 2

케이씨주식회사 케이씨
수산화알루미늄, 보헤마이트, 산화알루미늄, 질화알루미늄

한국알루미나 한국알루미나
초미립 알루미나, 저소다 알루미나

대한세라믹스 (주)대한세라믹스
이소결/구상/용융알루미나, 스피넬 등

제오빌더 ZEObuilder
제올라이트

석경에이티 Sukgyung AT
나노실리카, 석영렌즈소재 등

세원하드페이싱 SEWON HARDFACING
반도체디스플레이/전자산업용 코팅분말

포스포 FORCE4
LED용 형광체, 세라믹소재

코머스 KoMas
촉매담체 소재, 세라믹 구상분말



한국분체 (주)한국분체
유리섬유 원료, 디스플레이 유리원료

포스코퓨처엠
이차전지 양극재, 음극재

포스코필바라리튬솔루션
이차전지용 수산화리튬

포스코HY클린메탈 유가금속 추출

포스코+SNNC 하이니켈

씨아이에스케미칼 전구체

LG화학/제이오 탄소나노튜브 등

피엠시텍 인조 흑연

제이셀 전해질

개발/사업화 준비기업

한경티이씨 HANKYUNG
지르코늄계 소재

포세라 Pocera
판상/구상알루미나

그랩실
이차전지 음극재

카이로스
이차전지 전자 소재

액시드
난연소재

지텍
반도체소재

이노시아
전자소재

전남 고안정성 배터리 발전 비전 및 목표

3

비 전

고안전성 미래 배터리 글로벌 공급 거점 실현

미래운송기기용 고안전성 배터리
기술거점 및 글로벌 시장 전진기지화

기술개발·실증, 생산거점 ⟶ 글로벌 시장 수출 관문

목 표

고안전성 미래 배터리 기술 선도		미래운송기기용 배터리 생산·수출기지화	
핵심 소재	기술 선도	성 장	수 출
고체전해질, 안전소재 상용화	고안전성 미래 배터리 국산화 실현	전문기업 유치육성	수출기지화 실현
			

추진 전략

Ⅰ. 고안전성 배터리 핵심소재 상용화 기술 확보 | Ⅱ. 극한 환경 안전성 실증기술 및 국제 표준화 선도 | Ⅲ. 배터리 제조(셀, 모듈 등) 전문기업 유치·육성

추진 과제

① 고안정성 전고체 배터리 소재·공정 상용화 지원기반 구축

② 조기 상용화 지원을 위한 산·학·연 협력개발 플랫폼 운영

③ 극한 환경 배터리 안전성 설계 및 실증평가 센터 구축

④ 미래운송기기 배터리 안전성 평가기술 개발·표준화

⑤ 전고체 전지 및 특수 배터리 제작사 전략적 유치

⑥ 전문기업 사업화 지원 및 전문인력 양성

고안전성 배터리 발전 추진전략

4

전략 1 핵심소재 상용화 기술 확보 (상용화 연구기반 확충)

고안전성 배터리 소재·공정 상용화 연구 지원 인프라

- 성능 한계 극복을 위한 핵심 소재기술 개발
- 경쟁력 확보가능 고효율 제조기술 개발

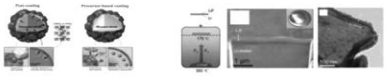
- 개발 소재 적용 전지 성능평가 및 실증
- 배터리셀 평가기술 확립 및 표준화

핵심소재 제조·평가

복합화 유무기 하이브리화 및 최적화
복합 전극화 (Composite-electrode)



코팅·기능화 계면저항 개선 기능성 입자 코팅
Metal Li를 위한 Artificial SEI 형성



소재합성 다양한 고체전해질 소재 합성·제조
(습식합성, 고상반응, Milling 등)



셀 제조 / 실증평가

테스트 셀 제조 소재 평가용 파우치형 표준 테스트셀 제조
시트화 공정 및 전극형성 공정 평가



셀 성능평가 데스트셀 전기화학 및 성능 안정성 평가



전지 적용평가 배터리 제작사 공정 적용 및 성능평가

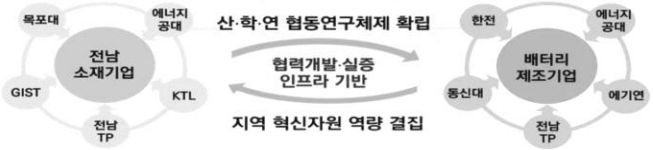


고안전성 배터리 발전 추진전략

5

전략 1 핵심소재 상용화 기술 확보 (산·학·연 협력개발 플랫폼)

이차전지 핵심소재 고도화 및 세라믹 전고체 배터리 조기 상용화 견인을 위한
소재산업 고부가가치화 및 미래 수요 대응 기반 확보

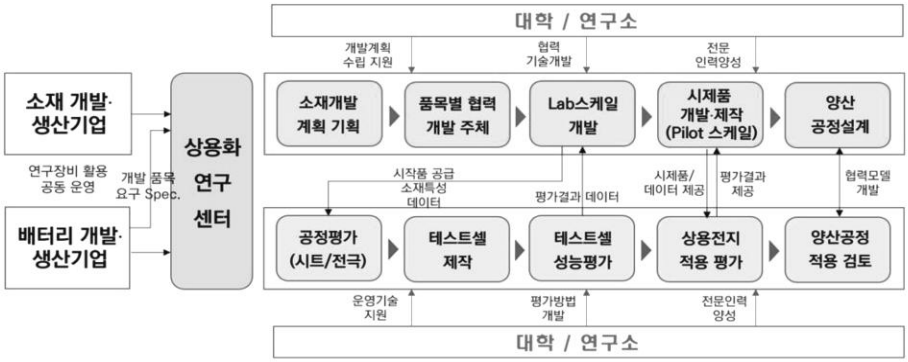


지역 다수의 소재기업이 참여하는 핵심 소재 협력 개발 지원 체계

- 역량있는 지역 소재기업의 참여 견인으로 산업 저변 확대
- 소재 개발 플레이어 확대에 따른 선제적 내재화 견인

지역 산업자원과의 효과적인 연계협력을 통한 체계적인 전주기 성능실증 체계

- 개발소재의 체계적인 성능평가 및 실증평가 지원
- 지역내 전고체 배터리 제조사 조기 상용화 및 경쟁력 제고



고안전성 배터리 발전 추진전략

6

전략 2 극한환경 안정성 실증기술 및 표준화

■ 극한환경 배터리 안전성 평가 실증체계 구축 및 평가방법 개발

극한환경 배터리 시스템 안전성 실증 체계

경량 · 안전 설계 기반	가혹 환경 적용 안전성 평가 기반	고안전성 배터리 성능평가 기반
· 용도별 경량 · 안전설계용 구조설계 · 해석 시스템 · 셀/모듈/팩 열유동 해석 시뮬레이션 시스템	· 방폭형 성능시험 설비 · 고온, 고압, 극저온, 진공 환경 시험 설비 · 충격, 진동, 부식환경에 대한 내구성 평가 설비 등	· 고안전성 배터리(전고체, 리튬황 등) 성능평가 · 배터리 방식 변경에 따른 모듈/시스템 적용 평가

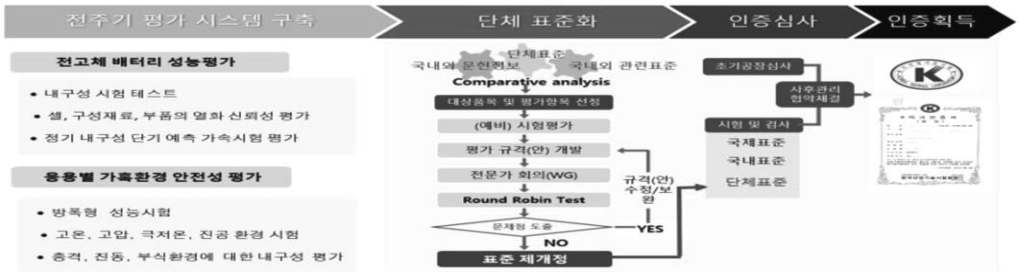
NLAB (일본 NITE)





방폭/내화 챔버
진동 테스트
파괴 테스트
낙하 테스트

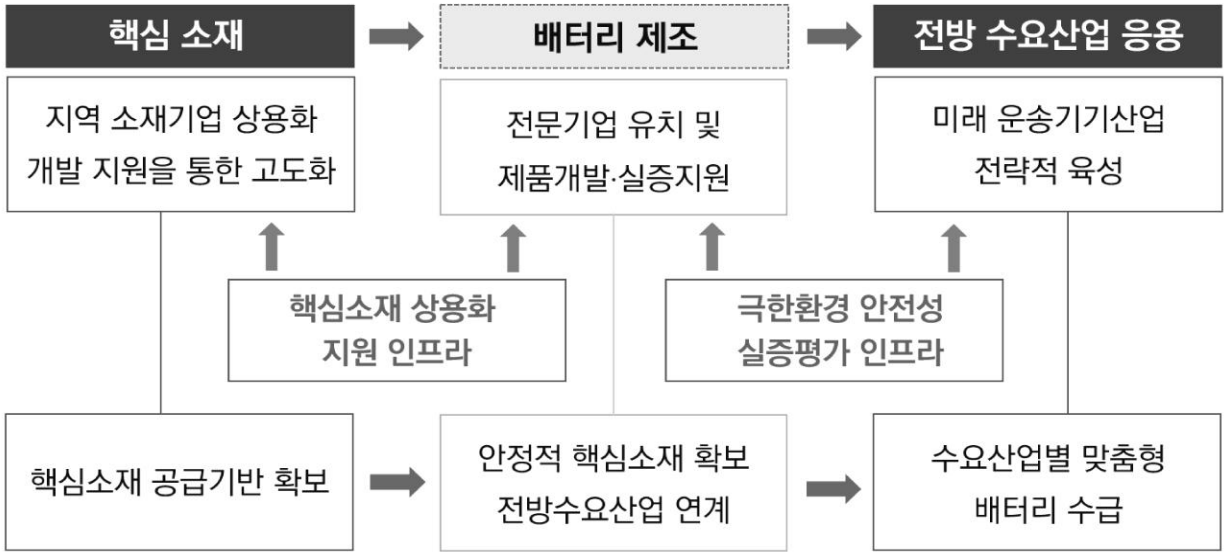
■ 성능·안전성 평가기술 표준화 및 국제표준 선도



고안전성 배터리 발전 추진전략

7

전략 3 배터리 전문기업 유치육성을 통한 전주기 클러스터 구축



고안전성 배터리 산업 미래 비전

8

연관 산업
생태계 구축 및
글로벌 수출
전진기지화 실현



실증체계
구축을 통한
전문기업
유치·육성





Ⅱ 무연 압전소재 상용화 지원방안

지역 혁신자원 연계

9

목포대학교

· 기반, 공정기술 공동개발
· 전문기술 컨설팅
· 기술정보 및 기술 교류
· 기술인력 양성·공급

기술개발 지 원

전남테크노파크

기술 실증 사업화 지원

· 스케일업 테스트 지원
· 수요처 평가 지원
· 국내외 마케팅 지원

무연 압전소재 상용화

· 양산기술 확보 및 양산체제
· 전방공급 확대 및 다변화
· 지역경제 활성화

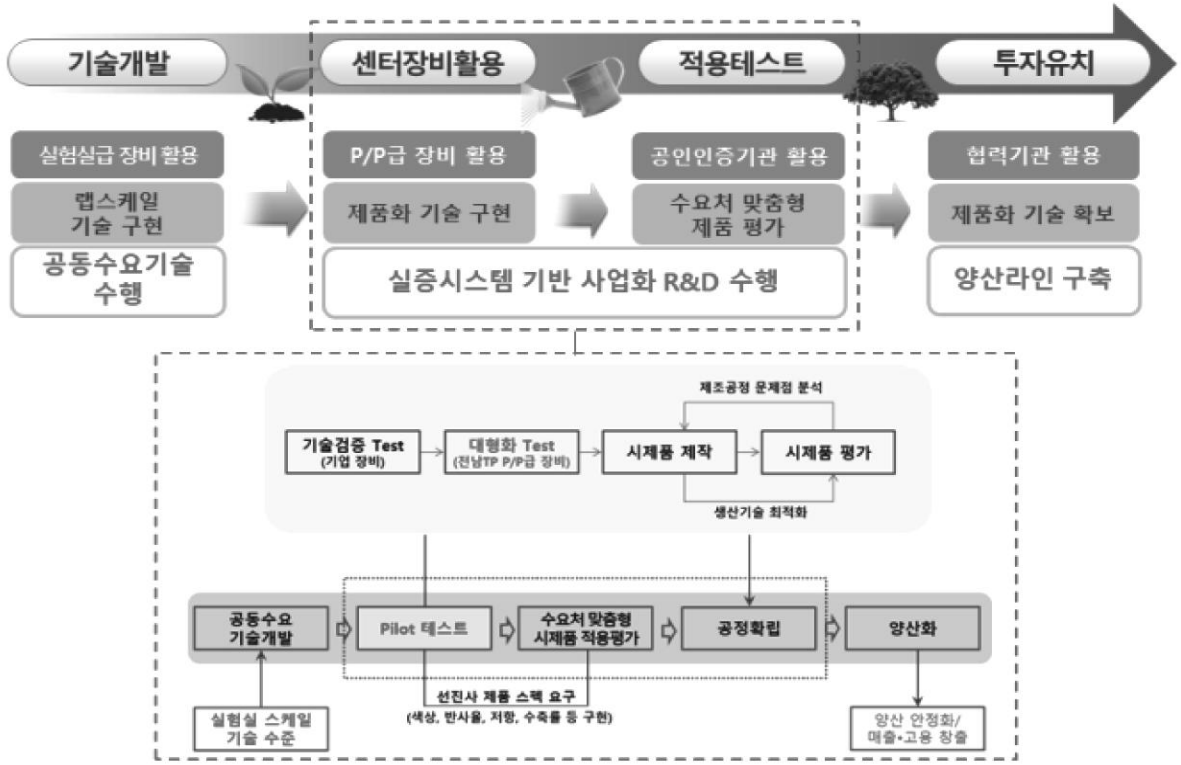
전라남도
목포시

행정 지원 자금 알선

· 사업화 행정·정책 지원

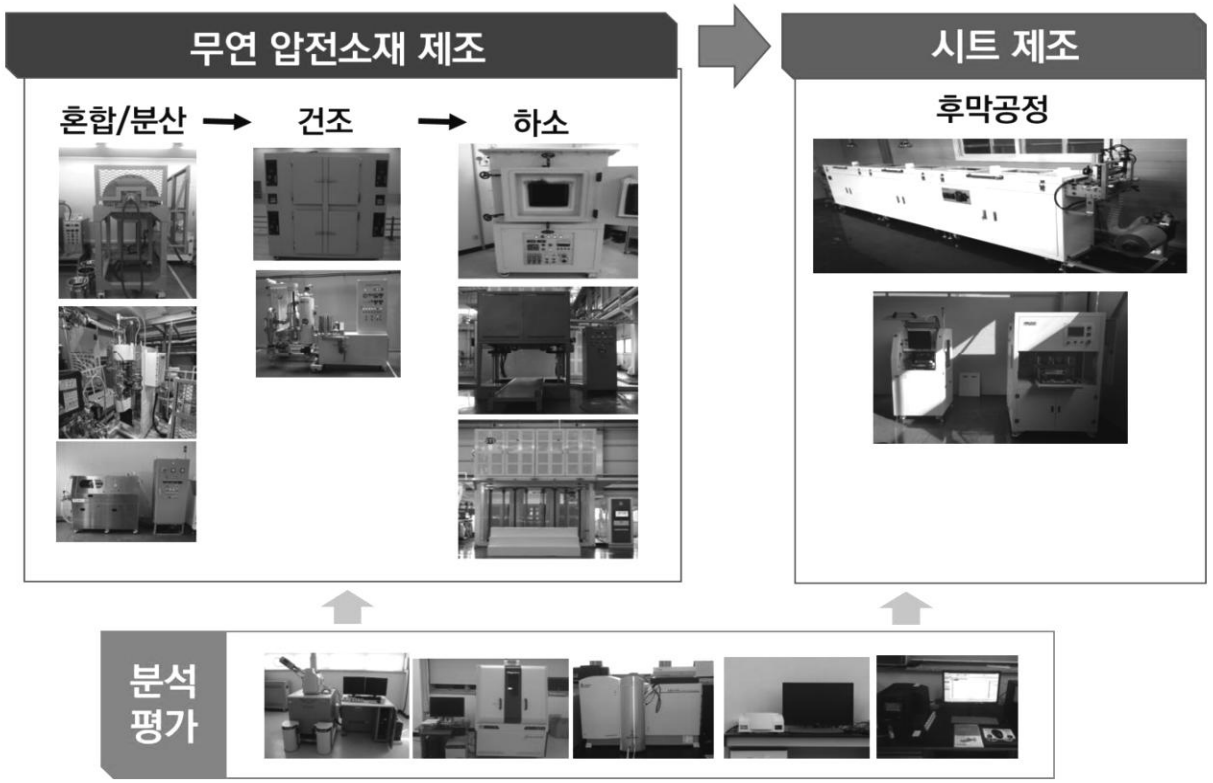
상용화 단계별 지원

10



스케일업 테스트 지원

11



상용화 기대효과

12

○ **핵심소재 상용화로 다양한 수요산업 공급망 안정성 확보**

○ **수입 의존적 산업에서 수출형 산업으로 경쟁력 강화**

- 원재료 및 가공소재 수입대체 및 수출 확대 예상
- 글로벌 소재 경쟁력을 토대로 기술과 시장 선점
- 친환경 에너지소자 및 압전 센서 등 관련 산업 파급효과 大

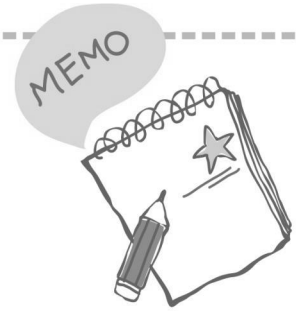
→ 국내 소재, 소자부품, 완성형 전자제품의 경쟁력 강화

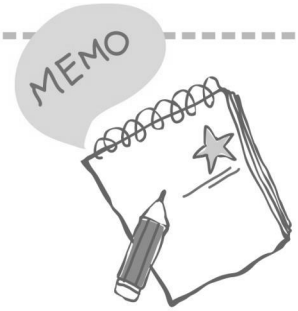
○ **압전소재 양산 시스템을 전남 지역에 구축하고 사업화 성공**

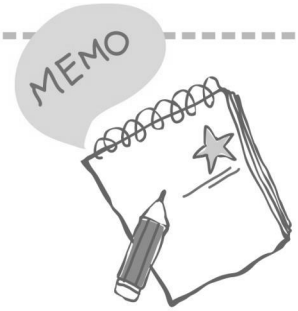
→ 지역 내 고용창출 및 매출증대

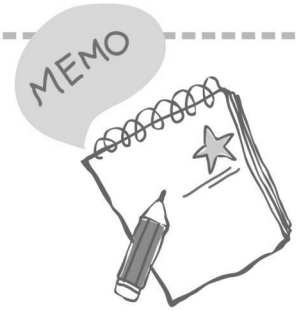
- 전문고급 인력의 지역유출 방지 및 지역경제 활성화 기대

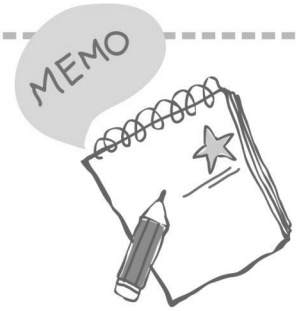



MEMO


MEMO


MEMO


MEMO


MEMO