



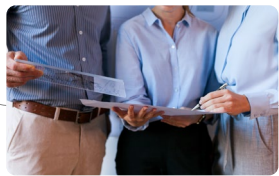
국가과학기술연구회 공동TLO마케팅사무국이란?

국가과학기술연구회 소관 25개 정부출연연구소(이하 출연(연))의 연구성과에 대한 공동 마케팅을 통해
기술이전과 출자 등 **기업의 기술사업화** 지원을 위한 전문조직입니다.



공동TLO마케팅사무국을 통해 무엇을 도움 받을 수 있나요?

신규 사업 아이템 및 기술 업그레이드 등 기술 고민이 있는 예비창업자 및 기존 사업자에게 25개 출연(연)이 보유하고 있는
약 10만여 건의 특허 외에 연구자 노하우 및 연구·시험장비 등을 활용하여 기업의 기술애로를 해결해드리고 있습니다.



기업 애로해결 지원

- 기술도입 및 사업화 유망기술 발굴
- 기술창업용 출자기술 발굴
- 공동연구 대상 전문연구자 연계



정부과제 소개 지원

- 기술도입형 R&BD 과제 연계



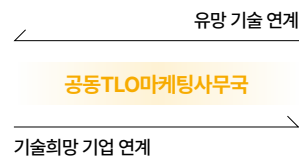
연구장비 지원

- 분석 및 실험장비 연계



IP인수보증 자금 연계 지원

- 기술보증기금, 신용보증기금 등



국가과학기술연구회

과학기술분야 정부출연연구기관을 지원육성하고 체계적으로 관리함으로써 국가 연구사업 정책 지원 및
지식산업발전을 견인하고자 만든 과학기술정보통신부 산하 정부기관임



문의처

국가과학기술연구회

T. 044-287-7369 E. gylee@nst.re.kr

공동TLO마케팅사무국

T. 042-862-6015 E. seungtae100@wips.co.kr



TLO Tech Trends

2024

국가과학기술연구회 공동 TLO 마케팅 사무국
Technology Licensing Organization



01

반도체 · 디스플레이의 세계

- 04 반도체 · 디스플레이란?
- 06 반도체 · 디스플레이 역사

02

반도체 · 디스플레이 기술의 혁신

- 08 차세대 SSD 기술 개발 협업 (WD)
- 08 고성능-저전력 AI 반도체 공개(NVIDIA)
- 09 장비 확보 경쟁, 유리한 고지 선점(TSMC)
- 09 차세대 기술로 트렌드 선도(BOE)
- 10 산업 속 반도체 · 디스플레이 기술활용

03

국가전략기술 '반도체 · 디스플레이' 이야기

- 14 국가전략기술로서의 '반도체 · 디스플레이'
- 16 반도체 · 디스플레이 우리의 정책과 산업 위치
- 18 반도체 · 디스플레이 중점기술분야

04

출연(연) 보유 '반도체 · 디스플레이' 기술

- 26 한눈으로 보는 출연(연) 기술 보유현황
- 28 반도체 · 디스플레이 기술개발 연구자 인터뷰

01 반도체 · 디스플레이의 세계

반도체 · 디스플레이란?

반도체

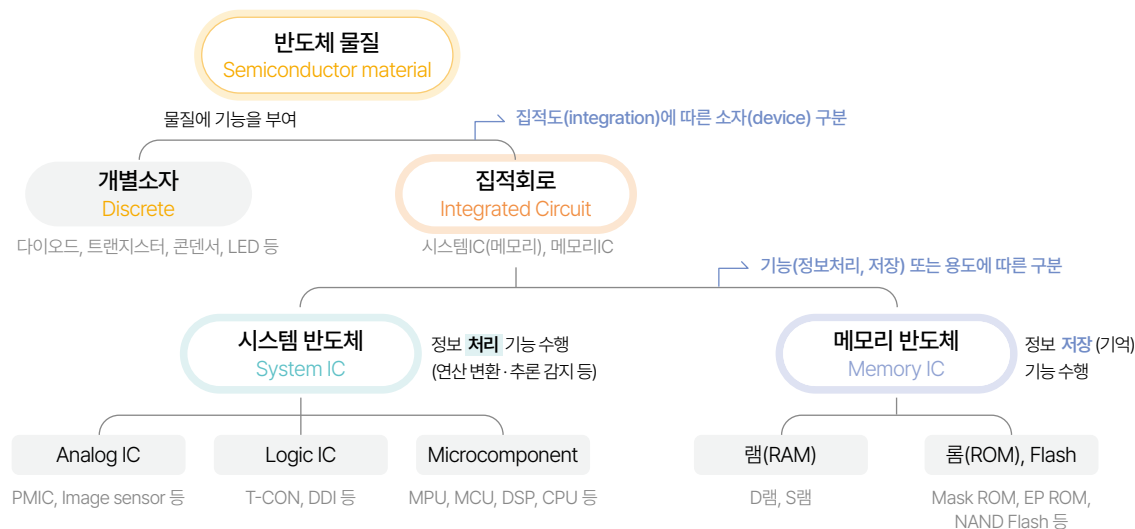
반도체(semi-conductor)란 상온에서 전기전도율이 구리와 같은 도체(전도체)와 애자, 유리 같은 부도체(절연체)의 중간 정도인 물질로, 순수한 상태에서는 전기가 통하지 않지만 빛이나 열을 가하거나 특정 불순물을 첨가하면 도체처럼 전기가 흐르게 되는 특성을 가지고 있어 전기전도성을 조절할 수 있다. '반도체'란 용어는 우리가 물질을 분류하는 하나의 물리적 성질의 종류이고, 통상적으로 반도체 산업 · 기술 등은 반도체 물질을 이용한 개별소자(트랜지스터, 다이오드 등)와 집적회로(시스템 IC, 메모리 IC 등) 등의 반도체 소자 기술을 의미한다.

반도체는 기능(정보 처리, 저장)에 따라 메모리 반도체와 비메모리 반도체로 나뉜다. 메모리 반도체는 데이터를 저장하는 역할을 수행하며, 대표적으로 램(RAM), 롬(ROM)이 있다. 이는 전원이 on/off 상태에 따라 정보저장방식에서 차이를 보인다.

비메모리 반도체는 데이터를 저장하는 대신 정보 처리를 목적으로 제작된 반도체이다. 시스템 반도체라고도 불리며, 전자제품의 두뇌 역할을 수행한다. 주요 예로는 전자 기기의 중앙처리장치(AP, CPU 등), 디지털 신호 처리기(DSP) 등이 있다. 과거에 비해 비메모리 반도체의 시장 비중이 메모리 반도체의 시장 비중보다 높아져, 현재는 비메모리 반도체가 전 세계 반도체 시장의 70% 이상을 차지하며, 우리나라 정부도 이를 3대 육성 산업으로 선정하며 그 중요성을 강조하고 있다.

반도체는 현대 생활에서 전기를 사용하는 곳이라면 어디든 사용되고 있다. 전자제품(스마트폰, 컴퓨터, 가전제품), 자동차, 의료기기, 산업 자동화, 에너지 관리 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며 인공지능, 사물인터넷, 자율주행 등과 같은 기술들이 발전하면서 반도체 산업의 지속적인 혁신과 발전이 거듭될 것으로 전망된다.

반도체의 종류



출처 : 반도체 산업 경쟁력 어떻게 확보할 것인가? - 글로벌 경쟁 우위 확보 방안, 국회입법조사처, 2023.01.03

디스플레이

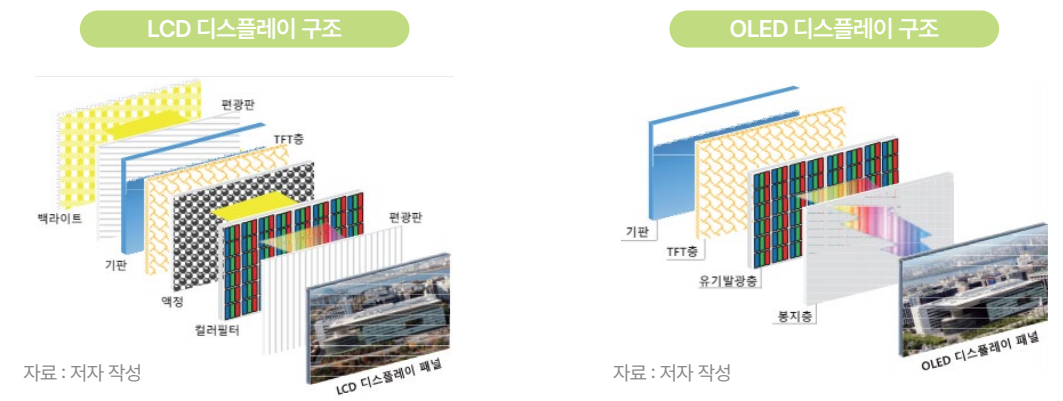
디스플레이(Display)는 전자기기로부터 출력되는 전기신호를 통해 인식할 수 있는 화상 정보로 나타내어 주며, 정보를 전달함으로써 인간과 기계를 연결시켜 주는 화면표시장치이다. 단순한 정보를 표시하는 소자에서, 터치 패널, 조도센서 등 다양한 이력 장치와 결합된 새로운 UI/UX를 포함하는 종합 정보 입출력 장치로 지속적으로 기술 및 산업 영역을 확대해 나가고 있다.

동작 원리에 따라 CRT, LCD, PDP, OLED, QLED 등으로 나뉜다. 주요 기술로는 LCD와 OLED가 있다. LCD는 패널 뒷면에 있는 백라이트 유닛을 광원으로 하여 화면을 구현하는 비발광형 디스플레이이다. OLED는 전기를 가하면 스스로 빛을 내는 발광 유기물질을 활용하여 화면을 구현하는 발광형 디스플레이로 PMOLED와 AMOLED 두 종류가 있지만, 통상적으로 OLED는 AMOLED를 의미한다.

한국의 디스플레이 산업은 1995년 LCD 양산을 시작한 이후로 급속한 성장을 거듭하여 국가 주력산업으로 부상하였다. 2004년 이후 17년간 디스플레이 시장 세계 1위 타이틀을 유지해오다 중국의 매서운 추격에 자리를 내주고 말았다. 하지만 LCD 기술 시장의 성장세가 감소될 것으로 전망되며, 증가하는 OLED의 기술 시장의 성장세를 보았을 때, 한국이 다시 세계 1위를 탈환할 것으로 전문가들은 내다보고 있다.

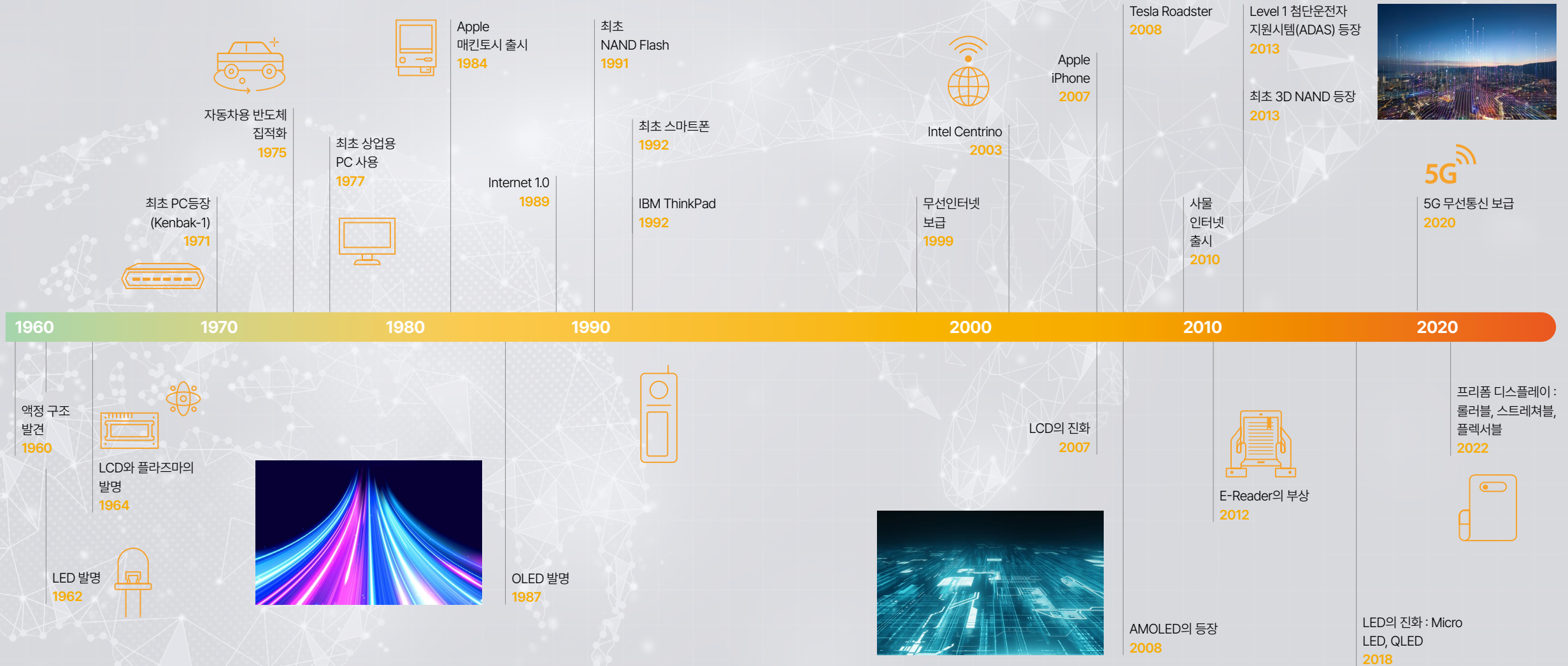
오늘날 현대인들은 아침부터 잠자리에 들기까지 디스플레이가 탑재되어 있는 IT제품(스마트폰, 노트북 등) · 가전제품(TV, 냉장고 등) · 자동차 등과 접촉하며 생활한다. 이처럼 디스플레이가 우리의 일상 속 많이 활용됨으로써 중요성 또한 커질 수밖에 없다. 미래에 인간과 기계는 자판이 아닌 스크린을 통해 소통하고, 5G 등 통신 기술발달로 '사물디스플레이'를 앞당길 것으로 전망된다.

LCD · OLED 디스플레이 구조



출처 : 디스플레이산업을 둘러싼 환경변화와 시사점, KDB미래전략연구소, 2021.10

반도체 역사



디스플레이 역사

02 반도체 · 디스플레이 기술의 혁신

차세대 SSD 기술 개발 협업 (WD)

스토리지 전문업체 '웨스턴 디지털'이 시스템 반도체 펌리스 기업 '파두'와 파트너십을 체결하여 차세대 기술인 'FDP(Flexible Data Placement)'를 공동 개발 중에 있다. FDP는 차세대 데이터센터의 표준을 논의하는 OCP(Open Compute Project)의 표준으로 제시된 기술이다.

해당 기술은 실제 데이터보다 더 많은 데이터가 기록돼 SSD의 수명과 성능에 영향을 주는 '쓰기 증폭 현상'을 크게 줄여줘 SSD의 쓰기 성능을 최대 2~3배까지 향상, 수명도 대폭 늘려 줄 수 있어 막대한 데이터가 오가는 초대형 데이터센터 환경에서 매우 중요한 기술적 혁신으로 평가를 받고있다.

일본의 키옥시아와 차세대 반도체 메모리 생산을 위한 합작하여 3D NAND 기술 개발에 본격적으로 뛰어든 전망이다. 3D NAND 플래시 기술은 지난 2013년 삼성이 세계 최초로 선보이며 기술 혁신이 많이 이루어진 상태로, 후발 주자로서 기술 경쟁에 뛰어들어는 것은 차세대 메모리 반도체의 시장 요구가 높아지고 있고 후발 주자로서 가질 수 있는 이점을 활용하는 전략으로 미루어 짐작할 수 있다. 기존 기업들의 시행착오와 성공 사례를 분석하며, 진보된 기술로 시장에서 주도권을 가져 오기 위한 기회가 될 수 있다.



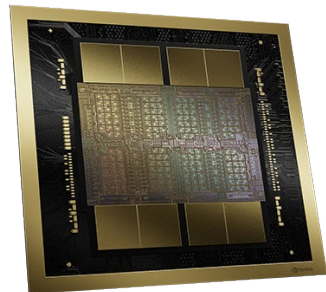
출처 : MTN 뉴스

고성능-저전력 AI 반도체 공개 (NVIDIA)

엔비디아는 2022년에 엔비디아 호퍼 아키텍처를 발표한 이후, 2년 뒤 'GTC 2024'에서 후속 기술로 블랙웰 아키텍처를 발표했다. 해당 아키텍처는 2,080억 개의 트랜지스터를 탑재하고 있으며 TSMC 4NP 프로세스를 사용하여 제조되었다. 블랙웰 아키텍처와 관련된 제품은 10TB/s 대역폭의 칩 간 상호 연결이 가능하도록 한다. 연결된 레티클 제한 다이 2개가 캐시를 완전히 일관되고 CUDA와 호환되도록 하여 단일 GPU 슈퍼칩에서 GPU 다이 2개의 성능을 구현할 수 있다. 블랙웰 'B100'은 현존하는 최신 AI칩으로 평가받는 자사의 'H100'의 성능을 뛰어넘는 차세대 AI칩으로 부상한다.

블랙웰은 최대 10조 개의 파라미터로 확장되는 모델에 대한 AI 훈련과 실시간 거대 언어 모델(LLM) 추론을 지원한다. 덧붙여 기존 H100보다 처리속도가 2.5배 빠르고, H100을 사용할 경우 GPT 훈련기간이 90일 동안 8,000개의 GPU가 필요하다면, 블랙웰 GPU의 경우 같은 기간에 단 2,000개의 GPU 만으로도 훈련을 수행할 수 있다고 엔비디아는 설명했다.

최종 제품형태는 블랙웰 GPU 72RO와 자체 중앙처리장치(CPU)인 그레이스를 36개 결합한 'GB200 NVL72'라는 컴퓨팅 유닛으로 제공된다. 'GB200'은 거대언어모델(LLM)에서 H100 대비 최대 30배의 성능 향상을 제공하며, 비용과 에너지 소비는 최대 25분의 1 수준으로 저감할 수 있다.



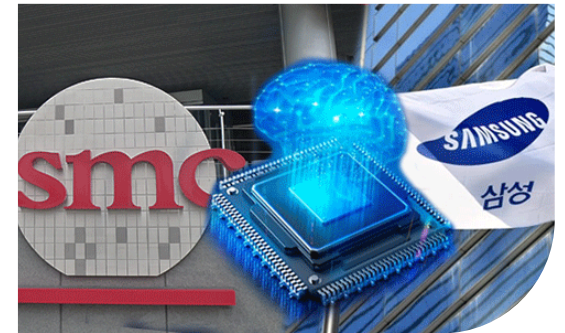
출처 : NVIDIA

장비 확보 경쟁, 유리한 고지 선점(TSMC)

세계 최대 반도체 수탁생산(파운드리) 기업인 대만 'TSMC'가 경쟁사들 보다 앞서 차세대 핵심 공정 장비인 'EUV'를 선점하며 기술 경쟁에서 유리한 고지에 섰다. 잠재적 파운드리 경쟁사인 미국 인텔도 이 장비의 초도 물량을 일찌감치 확보하며 경쟁에 뛰어들었다.

TSMC는 네덜란드 장비업체 'ASML'의 최신 극자외선(EUV) 노광장비인 '하이 NA EUV' 구매하였는데, 이는 반도체 회로를 더욱 세밀하게 그릴 수 있는 ASML의 차세대 장비로, AI 응용 프로그램과 첨단 소비자 전자제품용 칩 제조에 사용된다. 본 장비는 대만 남부 가오슝 지역의 2나노미터 (nm·10억분의 1m) 공장에서 '하이 NA EUV' 장비를 이용해 오는 2025년부터 후면 전력 공급이 가능한 N2P 제품을 생산할 예정이다.

반도체 업계에 따르면 TSMC는 2023년 기준 100대 이상의 EUV 장비를 보유하고 있고, 삼성전자는 40~50대를 확보해 가동 중인 것으로 전해졌다. 파운드리 시장 점유율을 선점하고 있는 두 기업 간의 격차는 점차 벌어지는 추세인 것으로 파악되어 이를 해소하기 위한 적극적인 투자 및 장비확보에 집중해야 미래 시장 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 전망된다.



출처 : 비즈니스 포스트

차세대 기술로 트렌드 선도(BOE)

중국 디스플레이 제조업체인 'BOE Technology'는 '디스플레이를 통한 사물인터넷 강화'라는 전략에 따라 기술 혁신과 친환경 개발을 지속적으로 추진하고 있다. 2024 세계 최대 규모의 디스플레이 전시회인 'SID 디스플레이 위크 2024'에서 세 가지 무기발광 디스플레이 기술들을 선보였다.

가장 주목받은 제품은 세계 최초 110인치 16K 무안경 3D UHD 디스플레이로 초고해상도, 다중 시점, 폭넓은 색 영역 커버리지 등 다양한 기능을 탑재하고 있다. Mini LED 백라이트 기술과 자체 개발 16K 인터리브 어레이 알고리즘을 통해 60도의 넓은 시야각을 구현한다.

유연하게 형태를 조절할 수 있는 전동 콕핏 제품도 선보였다. 이는 곡률 그라디언트가 적용된 17인치 중앙 디스플레이와 400mm 굴곡 반경의 15.05인치 전동 접이식 스크린으로 구성되어 있으며, 산화물 기술을 적용해 100만 대 1의 명암비와 2,000니트의 최고 밝기를 자랑하는 44.8인치 스마트 콕핏도 큰 화제를 모았다.

이 밖에 P0.3 Micro LED는 2,000니트의 최고 밝기, 4만 대 1의 명암비, 110%의 NTSC색 영역 커버리지를 구현하고, 베젤이 없는 곡선형 슬라이딩식 차량용 프로토타입은 모듈식 접합 방식을 채택해 매끄러운 화면 레이아웃을 실현할 수 있다.



출처 : BOE Technology

산업 속 반도체 · 디스플레이 기술활용



2020년부터 낸드플래시 시장에서 1위 자리를 지키고 있는 삼성전자는 최고 수준의 성능과 품질을 갖춘 제품으로 업계에 주도하고 있다. 이후 2006년 세계 최초로 '2차원 CTF 구조'를 개발해 초창기 낸드 기술을 선보였다. 하지만 미세화에 대한 난관에 봉착했고, 끊임없는 연구개발 끝에 '3차원 집적 구조' 양산에 성공했다. 이는 'V낸드'라고도 불린다.

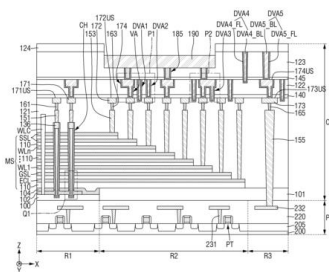
낸드플래시 기술은 반도체의 셀이 직렬로 배열되어 있는 플래시 메모리의 한 종류로 용량을 늘리기 쉽고 쓰기 속도가 빠른 장점이 있다. 삼성전자의 V낸드는 단층 구조가 아닌, 3차원의 구조로 쌓는 방식을 사용해 데이터 저장의 새로운 랜드마크를 건설해 가고 있다. 2024년 4월 삼성전자는 업계 최초로 1Tb TLC 9세대 V낸드 양산을 시작하여 낸드플래시 시장에서 선두를 공고히 하며 다양한 혁신 기술을 적용해 제품 품질 및 신뢰성을 높이고 있다.



출처 : 삼성반도체 뉴스룸



01 반도체 메모리 장치의 구조를 최적화된 구조를 통해 전기적 효율성과 성능을 향상시켜주었다. 우선 기판 위 셀 어레이와 연장 영역의 구조적 분리를 통해 데이터 저장과 통신을 최적화 하였으며, 두번째, 채널 구조체가 몰드 구조체를 관통함으로써 게이트 전극과 교차 설계로 데이터 전송 경로를 단축하였다. 세번째, 중간 절연막이 채널 구조체와 셀 컨택을 덮어 전기적 간섭을 줄이면서 금속 패턴을 통해 효율적인 신호 전달을 한다. 네번째, 제1블로킹 층이 전기적 절연을 통한 더미 비아의 전기적 연결을 최적화하여 신호 경로를 개선하였다. 마지막으로 중간 절연막과 비아를 이용하여 구조를 복잡하지 않게 만들어 효율적인 데이터 전송이 가능하게 되었다.



셀 어레이 영역, 및 연장 영역을 포함하는 기판
(KR 10-2022-0166848)

02 전압과 프로그래밍 방식을 최적화하여 에너지 효율을 높이는 방법을 통해 SSD에서 데이터를 NAND 플래시 메모리로 전송할 때 전력 손실을 감지하고, **저전력 상태에서의 데이터 전송을 최적화하였다.** 이를 통해 전력 소비를 줄이고, 백업 캐패시터에 대한 필요성을 감소시켜 비용을 절감할 수 있다.



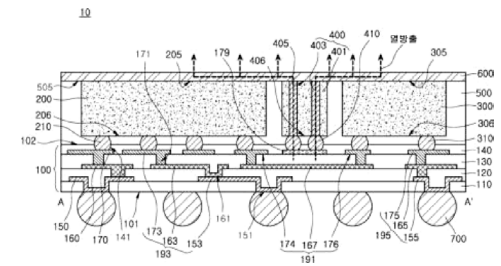
4차 산업혁명 시대가 도래함에 따라 인공지능(AI), 5G, 자율주행 등 첨단기술이 확산되고 있다. 고성능, 초소형 반도체 수요가 폭증하며 반도체가 솔루션화 되어 높은 부가가치를 발휘할 수 있도록 하는 '패키징'기술이 주목받고 있다.

이러한 가운데 SK하이닉스의 메모리 반도체 부문 패키징 기술 수준은 업계 최고 수준으로 평가받으며, 다양한 분야의 패키징 경쟁력을 강화하며 메모리 솔루션의 가치를 높이기 위한 기술들을 개발하고 있다. 자체 개발한 MR-MUF라는 자체 특화 기술을 세계 최초로 개발해 HBM 제품에 적용했다. 이 기술을 기반으로 열 방출 성능을 향상시켰다. 또한 TSV기술을 통해 DRAM의 처리속도를 혁신적으로 향상시켰다. TSV는 현재 SK하이닉스가 주력하고 있는 WLP 기술 중 하나로, 업계에서 경쟁력을 갖추고 있다.



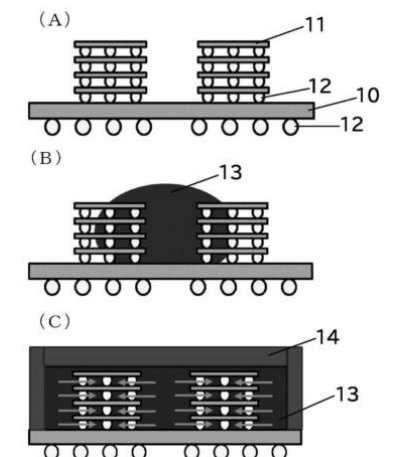
출처 : SK하이닉스 뉴스룸

01 AP 칩과 메모리 칩을 하나의 패키지로 통합하여 공간을 절약하고 데이터 전송 속도를 높일 수 있게 되었다. 패키지 내의 발열 문제를 해결하기 위해서 열 전달 블록과 방열 층을 포함하며, 반도체 패키지 구조는 열 응력을 줄이고 뒤틀림이나 균열을 방지할수 있게 되었다. 이러한 구조는 휴대용 전자 기기와 웨어러블 장치에 적용될 수 있다.



칩 간 열 전달 블록 배치 반도체 패키지
(KR 10-2016-0173987)

02 TSV기술을 위한 몰드 언더필 조성물을 사용하여 고밀도의 배선을 형성한다. 본 조성물은 적절한 밀봉성 및 우수한 형성성을 제공하도록 설계되어 고밀도 배선을 가진 전자 부품의 효율적인 제조를 보장한다. 해당 특허는 카본 블랙 및 클로라이드 이온의 함량을 최적화함으로써 바이어스 HSAT 테스트 동안 발생하는 단락 문제를 해결한다. 그리고 편성 및 절연 신뢰성을 평가하고, 단락을 방지하고 전자 부품의 높은 신뢰성을 보장할 수 있다.



TSV용 몰드 언더필 조성물에 의한 밀봉 및 오버몰딩 순서도
(KR 10-2022-0057882)



반도체 장비는 반도체 산업의 핵심 요소로서, 기술 혁신, 생산 효율성, 비용 절감 등 다양한 측면에서 중요한 역할을 한다. 반도체 산업의 발전과 함께 반도체 장비의 중요성도 더욱 커지고 있다. 이러한 가운데 국내 최대 반도체 장비회사 '세메스'가 주요 공정 장비들을 개발 및 생산하며 국내 반도체 및 디스플레이 기업들과 긴밀하게 협력하고 있다.

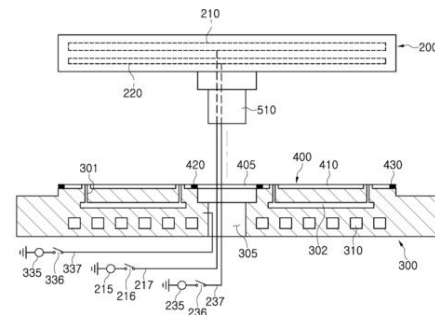
최근 반도체 제조용 고온 매엽인산 세정장비인 '블루아이스 프라임'을 신규 개발하며 국내 장비 제조 경쟁력을 공고히 하고 있다. 매엽식 인산 공정은 웨이퍼 상부에 170°C 이상의 고온 인산(H3PO4)을 토출해 패턴면을 처리하는 기술로, 식각 균일도와 불순물 제거 기술확보가 어려워 많은 기업들이 개발에 어려움을 겪고 있다. 이러한 상황에서 해당 기술의 개발은 한줄기 빛이 되고 있다.

고온매엽인산 블루아이스 프라임 설비



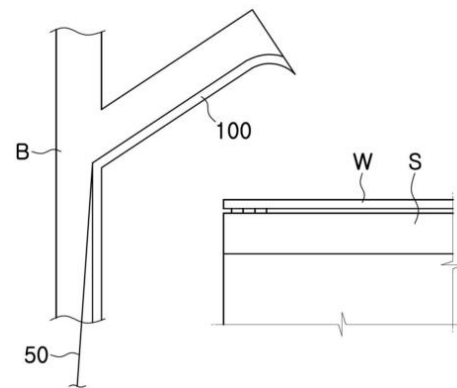
출처 : 세메스

01 자체 개발한 정전척 기술을 사용해 기판의 열전달 및 유지관리가 가능하게 되었다. 기존의 정전척 기술은 150°C 이상의 고온에서 열전달 효율이 떨어지거나 사용이 불가능한 실리콘 본딩층 문제로 유지 관리가 어려웠다. 하지만 연구를 통해 척 가압 유닛과 승강 유닛을 사용해 고온에서도 열전달을 일정하게 유지할 수 있도록 개선하였고, 기판의 열전달과 유지 관리가 용이하여 고온에서도 안정적인 성능과 편리한 장비 관리가 가능하게 되었다.



정전 척, 기판 처리 장치 및 방법 (KR 10-2020-0058285)

02 전기 습윤 구조를 갖춘 혁신적인 보울을 개발하여 기존의 매엽식 세정장치의 재분사로 인해 웨이퍼가 다시 오염되는 문제를 해결하였다. 이 보울은 내면에 소수층, 유전체, 전극 및 기판이 포함된 전기 습윤 구조를 형성하여, 액액이 다시 반사되어 웨이퍼로 비산되는 것을 막는 덕분에 세정효과가 극대화되며, 반도체 웨이퍼의 품질과 생산 효율을 높일 수 있다.



전기 습윤 구조의 매엽식 세정장치 (KR 10-2021-0189397)



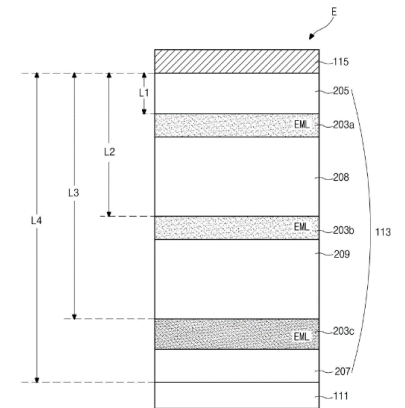
LG디스플레이는 LCD, OLED, P-OLED, 투명 OLED 등 다양한 디스플레이 기술을 보유하고 있으며, TV, 스마트폰, 태블릿, 자동차 IT제품 등의 분야에 디스플레이를 공급하고 있다. 그 중 OLED기술의 선도주자로서 디스플레이 산업 전반에 걸쳐 중요한 역할을 하고 있다.

최근 LG디스플레이가 탠덤 OLED기술에 주력하고 있는데, 해당 기술은 여러 개의 OLED 층을 쌓아 올려서 더 높은 밝기와 더 나은 내구성, 에너지 효율성 등을 구현할 수 있다. SDV로의 전환이 활발히 이루어짐에 따라 모빌리티 산업 내 포괄적으로 활용되고 있으며 이후 노트북, 모니터, 태블릿 등 화면 사용 시간이 상대적으로 긴 IT 제품에도 최적화된 기술로 평가받고 있다. 최근 LG디스플레이는 업계 최초로 노트북용 '13인치 탠덤 OLED 패널' 개발하여 최근 양산에 들어간 것으로 전해진다.



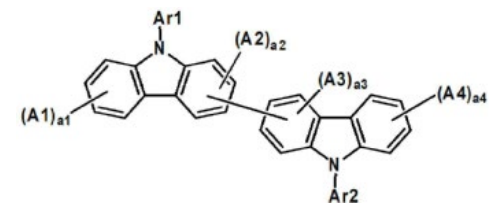
출처 : LG디스플레이

01 광 추출 효율을 향상시키고 수명이 증가된 유기발광 다이오드를 만들었다. 핵심은 마이크로 렌즈를 유기발광층의 유교 발광 영역과 광학적 특성인 캐비티 피크를 모두 만족하도록 배치한 것으로 기존 OLED의 발광 범위를 뛰어넘어 마이크로 렌즈를 앞쪽에 배치하면서도 최대의 발광 효율을 구현했다. 뿐만 아니라 얇아진 두께와 향상된 효율로 전력 소모는 줄이고, 수명은 늘리며 더 밝고 오래가는 OLED 디스플레이를 기대할 수 있게 되었다.



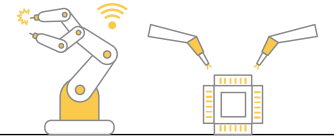
유기발광표시 장치 '발광다이오드 도면' (KR 10-2018-0095139)

02 LG디스플레이와 LG화학이 차세대 디스플레이 탠덤 OLED를 개발하는데 성공했다. 탠덤OLED는 유기 발광 소자로서, 제1전극과 제2전극 사이에 있는 유기층에서 빛을 발산하는 방식으로 작동하며, 유기층은 특정 화합물을 포함하고 있어 장치의 수명을 늘리고 낮은 전압에서도 작동이 가능하다. 게다가 발광층에는 인광 도펀트를 포함할 수 있어, 더 밝고 선명한 화면을 제공할 수 있게 되었다.



유기발광소자 화학식 (KR 10-2020-0173153)

03 국가전략기술 '반도체 · 디스플레이' 이야기



국가전략기술로서의 '반도체 · 디스플레이'

반도체

최근 미국의 첨단 반도체 수출통제 등으로 공급망이 재편되고 있는 가운데, 분업화된 공급망 내에서 우리의 경쟁력을 높이기 위해 초격차 기술을 확보하고 소·부·장에 대한 의존도를 완화해야 한다. 특히, 10nm 이하 제조 공정 시장의 성장은 기술적 난이도가 높아지고 있으며, 이를 극복하기 위해서는 후공정 단계의 성능을 높이는 노력이 필요하다. 또한 인공지능 산업의 성장으로 고대역폭 메모리와 저전력 고효율 소자가 중요성을 더하고 있다. 국내 반도체 산업에서는 기술 자립화가 시급한 상황이며, 특히 차량용 반도체와 고성능 센서 분야에서 민군 겸용 분야로의 확대가 이뤄져야 한다.

메모리 공급망 경쟁력 유지를 위해 미국은 [반도체와 과학법]의 제정을 통해 메모리 반도체 분야에서의 리더십을 회복하고자 하는 움직임을 보이고 있다. 이는 대중 수출통제의 본격화로 공급망이 블록화되는 상황을 심화시키고 있다. 특히 제조장비와 AI반도체 등 핵심 부분에서의 블록화는 주요 이슈로 부상하고 있다. 이에 애플과 테슬라 등의 주요 IT기업들은 자체 설계역량을 확보하고자 발빠르게 움직이고 있다. 한편 한국의 기업들의 경우, 분업화된 공급망 내 공정 핵심 소·부·장의 해외 의존도가 높아 이를 완화하기 위한 초격차 기술확보를 위한 노력이 필요해 보인다.

반도체 미세화 공정은 낮은 수율과 성능 향상에 대한 제약 등 여러 가지 한계를 갖고 있다. TSMC를 비롯한 주요기업들은 미세화 공정 한계 극복을 위해 후공정에 대한 투자를 본격화하고 있다. 후공정은 반도체 제조의 마지막 단계로, 미세화된 반도체 기술에 따라 지속적으로 발전하고 있으며, 후공정은 낮은 수율 문제를 해결하고 성능을 향상시키는 역할을 한다.

AI 본격화 대비 저전력화는 반도체 산업에서 초거대 인공지능(AI)의 급격한 발전으로 인해 데이터 학습용 소비 전력의 폭발적인 증가로 인해 대두되고 있다. 이로써 자율주행과 같은 기술 분야에서 사용되는 전력 반도체 및 센서 등의 수요가 더욱 증가하고 있다. 특히, 미국 기업들이 GPU 시장을 지배하고 있는 상황에서, 차세대 신경망 처리장치(NPU) 시장을 선점하는 것이 절실히 과제로 대두되고 있다. 이러한 동향을 고려하여 한국은 차세대 NPU 기술에 집중하고 경쟁력을 확보할 필요가 있다.

디스플레이

세계 디스플레이 산업은 주요 국가들이 다양한 기술과 전략으로 경쟁하며 빠르게 변화하고 있다. 대한민국과 중국은 OLED와 차세대 디스플레이 기술 개발에서 선도적인 역할을 하고 있으며, 특히 대규모 투자와 생산 능력 확대에 집중하고 있다. 일본과 미국은 고급 디스플레이 소재와 AR/VR, MicroLED 등 혁신적인 기술 개발에 주력하고 있다. 미국의 실리콘 밸리에서는 스타트업들이 새로운 기술 혁신을 이끌고 있으며, 특히 확보를 통해 경쟁력을 강화하고 있다.

대만은 LCD 생산을 주도하며, OLED 기술 개발에도 힘쓰고 있다. 유럽은 독일의 메르크와 같은 기업들이 디스플레이 소재와 친환경 기술 개발에 중요한 역할을 하고 있다. 전반적으로, 모든 국가들은 기술 혁신과 생산 효율성, 친환경 기술 개발에 중점을 두고 있다. 이러한 글로벌 경쟁과 협력은 디스플레이 산업의 지속적인 성장과 발전을 촉진하고 있다.

성능 초격차화를 통해 경쟁국들의 추격을 대비해야 한다. 국내 기업들은 OLED 기술을 중심으로 대형 TV부터 스마트폰, 스마트워치 등 다양한 제품의 OLED 디스플레이들을 생산하며 높은 세계 시장점유율을 차지하고 있다. 그러나 경쟁국들 또한 높은 수준의 기술력과 투자를 바탕으로 저가형 LCD부터 OLED까지 다양한 디스플레이 생산 기술을 보유하고 있어 한국의 주도권을 위협하게 하고 있다.

차세대 시장 선점을 위해서 폴더블, AR/VR 등 차세대 디스플레이 시장 상용화 단계에 발맞춰 다양한 소비자 수요를 충족하는 신시장 선점이 중요해지고 있다. 글로벌 폴더블폰 판매량은 2021년에 900만대였으며, 2023년에는 2,270만대로 증가할 것으로 예측된다. 또한, 디스플레이 소부장자의 자립도는 2022년 기준으로 65% 수준으로 상당히 향상되었지만, 여전히 핵심품목은 해외 의존도가 높아 자립화 노력이 지속되어야 미래 경쟁력 확보가 가능할 것으로 보인다.

또한, 핵심 공급망 안정화가 필수적이다. 한국 디스플레이 소재·부품·장비의 자립도는 2022년 기준으로 65%를 달성하며 긍정적인 성과를 보였다. 하지만 OLED 발광 재료, LCD 유리판, 반도체 공정장비, 감광액, 고해상도 컬러필터 등의 핵심품목의 해외 의존도는 여전히 높아 자립화 노력이 지속되어야 할 것으로 보인다. 전문가들은 기술개발과 함께 국내 생산 인프라를 확충하는 것이 중요하다고 지적한다.



GPU란 컴퓨터 그래픽스를 처리하는데 사용되는 전문적인 칩을 지칭함. 주로 게임, 영상, 편집, 디자인 소프트웨어 등에서 사용됨



03 국가전략기술 '반도체 · 디스플레이' 이야기

'반도체 · 디스플레이' 우리의 정책과 산업 위치

반도체

미·중 기술경쟁패권의 핵심 기술인 반도체는 공급망 확보 경쟁이 치열해지며 경쟁력 상실과 전략적 통제 시 경제안보에 치명적 위협이 될 수 있다. 미국은 국가안보를 이유로 인텔의 중국 내 반도체 생산 확대를 저지하기도 했다. 주요국들은 대규모 지원책을 마련하며 새로운 반도체 패권 경쟁을 본격화하고 있으며, 미국은 선진기업의 신규 투자를 통해 공급망 강화를 추진하고 있다.

공급망 개편을 위해 미국은 반도체 자국 내 생산 투자를 지원하는 [미국경쟁법]을 제정하여 반도체 제조 및 연구개발에 520억 달러를 투자하고 있다. 중국의 경우, 거대한 내수시장과 정부 지원을 통해 반도체 팹리스 시장에서 점유율을 늘려가고 있다. 유럽(EU) 또한 자국 내 생산능력 강화를 목표로 총 430억 유로 규모의 공공·민간 투자계획이 담긴 '21년 [Chips Act]법안을 제정하였다. 이를 통해 반도체 생산역량을 강화하고 첨단 차세대 반도체 기술 개발에도 박차를 가하고 있다.

파운드리 주요 플레이어 기업인 'TSMC'는 Fab 신설에 390억 달러를 투자하는 등 향후 3년간 1,000억 달러를 투자계획에 대해 발표했다. 미국의 '인텔'은 파운드리 분야 진출을 위한 200억 달러 상당의 투자 계획을 발표하며 각국 정부의 글로벌 반도체 공급 확대 요청에 주요기업들이 대응하고 있다.

주요 기업의 적극적인 인수합병 등을 통한 기술 경쟁력 확보도 치열하게 전개되고 있다. '인텔'은 미국의 FPGA업체 '알테라' 인수를 통해 인공지능 솔루션 기술력을 확보했다. 메모리 반도체 기업 '웨스턴 디지털'은 낸드플래시 기업 '샌디스크'를 인수하여 낸드플래시 분야 세계 3위에 오르는 등 기업 간의 기술경쟁력 확보를 위한 경쟁이 치열해지고 있다.

하지만 반도체 공정 미세화의 물리적 한계 도달로 고성능화가 정체된 가운데, 미국의 '마이크론'의 기술추격과 중국 기업의 메모리 시장진입 등 경쟁이 심화되고 있다. 이에 대응하기 위해 국내 기업은 공격적인 설비투자과 최고 수준의 메모리 제조공정을 바탕으로 주요국과의 경쟁에서 아직까지 우위를 점하고 있다. 한국은 글로벌 D램시장의 약 70%, 낸드 플래시 시장의 45%를 점유 중이며, 대만에 이어 파운드리 분야에서 2위에 올라있다.

인공지능 반도체 등 시스템반도체 분야의 미래기술 확보도 속도전으로 번지는 양상을 보인다. 딥러닝 등 AI 기술의 혁신을 계기로 인공지능 반도체는 1세대의 CPU와 GPU의 융합으로 2세대 NPU가 탄생했고, 더 나아가 3세대 PIM반도체로까지 발전할 것으로 전망된다. 한국은 세계 최초로 상용 수준 AI메모리 반도체를 개발했으며, 정부 주도의 대형 R&D사업 추진으로 세계최고 수준 기술 확보·선점이 기대된다.

첨단패키징 소재 및 장비의 해외(일본, 미국) 의존도가 높고, 반도체 설계기술 확보 및 원자재 수급에 차질시 대체가 어려운 상황이다. 한국은 미국, 중국, 일본에서 중간재를 수입하는 비중이 점점 늘어나고 있어 대체제 개발이 시급하다. 이에 한국은 다양한 목적의 기술개발 지원 및 생태계 조성을 통해 메모리 초격차 유지, 신시장 선점, 후공정 자립성 확보 및 수요 연계 제품화 추진할 예정이다. 또한 반도체 전주기 인력 지원을 통해 전문인력 수급의 부조화를 해소할 전망이다.



반도체 국내 반도체 기술력은 메모리 분야를 제외하고는 세계 수준에 비해 부족하며, 전력반도체와 센서분야에서는 기술격차와 인프라가 문제

디스플레이 무기발광 디스플레이 기술과 프리폼 디스플레이 기술은 국내 기업의 기술력과 국산화에 대한대규모 투자가 필요하며, 반도체·디스플레이 소재·부품·장비기술은 한국이 세계 최고 수준이지만 핵심소재 및 장비의 추가 국산화가 필요

디스플레이

LCD 이후 대한민국의 주력분야인 OLED 분야는 차세대 기술 패권을 위한 중국, 일본 등 간의 치열한 경쟁 구도가 펼쳐지고 있다. 미국과 유럽은 원천·요소 기술에 강점을 가지고 있고, 일본은 소재·장비, 중국은 적극적인 기업 지원을 하고 있다.

미국은 디스플레이 제조 기반은 없으나 TFT 공정 장비 등에서 강점을 보이고 있다. 독일의 경우, 제조 기반은 없고 OLED 화소형성 소재 등에서 우수한 기술력을 인정받고 있다. 중국은 BOE, Tianma 등 패널기업에 대한 OLED분야 신규투자 확대로 중소형 OLED의 급속한 성장 및 초대형 마이크로 LED 디스플레이의 연구개발이 활발히 진행 중에 있다. 일본의 경우, 정부 주도 구조조정은 실패했으나, 차세대 핵심소재 수출규제 및 특허소송을 통해 경쟁국을 견제하고 있으며 LCD-OLED 공용 소재·장비에서 선두를 달리고 있다.

한국은 LCD 기술 선점으로 '04년 이후 세계 디스플레이 시장 1위를 유지했으나, '12년을 기점으로 점유율이 하락하여 '21년 중국에 역전당했다. 삼성의 LCD사업 철수와 LG디스플레이의 LCD 생산 비중 감소 등이 영향을 미친것으로 보인다. 또한, 중국의 물량·가격 공세에 점유율이 상승하고 있다.

OLED 시장은 기술 우위를 바탕으로 한국이 독보적으로 1위를 유지하고 있으나 18'년 이후 중국의 OLED 생산 확대에 따른

점유율이 상승하고 있는 추세이다. 프리폼 디스플레이는 소비자의 요구에 적극적으로 대응할 수 있는 다양한 형태로 변모하고 있다. 폴더블, 롤러블, 웨어러블, 스트레처블 등으로 출시되고 있으며, 현재 한국이 글로벌 시장을 선도하고 있다. 무기발광 디스플레이는 OLED의 한계를 극복하고 저전력, 고화질, 초소형, 초대형이 가능하여 IT기기 고성능화, 디지털사이니지 등 신시장 개척이 가능한 차세대 디스플레이로 자리잡고 있다.

디스플레이 산업은 전체 설비투자 중 장비 투자 비중이 60% 이상인 장치산업으로 대규모 생산설비를 갖춘 패널 대기업이 중소·중견기업으로부터 장비·소재·부품을 공급받는 수직계열화된 선단형 (플랫폼) 산업의 특성을 갖는다. 플렉서블 OLED 생산을 위한 핵심 소·부·장은 일본의 의존도가 높고, OLED 발광재료·FMM·이온주입기·노광기 등은 전량 해외에서 조달하고 있는 상황이다. 이에 국내기업들은 퀀텀닷 기술 등 차세대 디스플레이에 대한 연구개발에 집중하고 있으며, 탄소중립의 일환으로 에너지 효율을 높이고, 환경영향 최소화 공정 도입 등을 추진하고 있다. 정부 또한 인력 양성 및 R&D 투자에 대한 세금 혜택, 산업 인프라 등을 지원하고 있다.



반도체 미국은 전력반도체, 패키징 기술, 차세대 고성능 센싱 기술 등에서도 세계적인 기술력을 보유

디스플레이 마이크로LED기술을 주도하면서, 전후방산업 경쟁력을 적극 활용



반도체 미국과 다소 격차를 보이고 있으나, 전력반도체, 고성능 센싱기술은 미국에 이어 Top 수준

디스플레이 다양한 원천기술을 보유하고 있으나, 제조 측면에서 다소 뒤짐



반도체 고성능·저전력 인공지능 반도체기술분야에서 다소 뒤처지고 있으나, 소재·부품 장비 기술은 여전히세계 최고수준이며, 패키징·전력반도체·고성능 센싱 기술은 우리나라보다 우위

디스플레이 소재·부품·장비는 여전히 세계 최고 수준이나, 타 분야는 다소 저조



반도체 고성능 저전력 인공지능 반도체 기술에서 미국에 이어 2위권의 기술력을 확보하고 있으며, 전력반도체기술도 우리보다 높은 수준으로 나타남

디스플레이 원천기술은 다소 부족하나, 대규모 투자 및 정부의 지원으로 급속도로 성장 중

국가별

반도체 · 디스플레이 기술수준

반도체 · 디스플레이 중점기술 분야

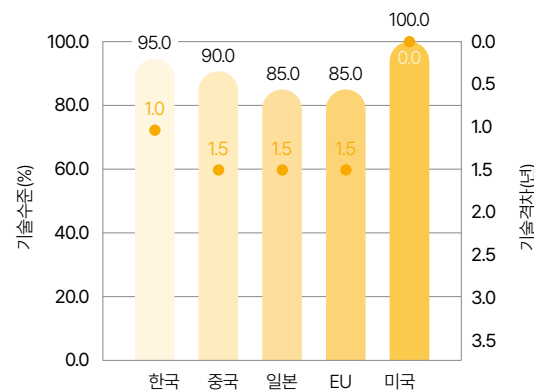
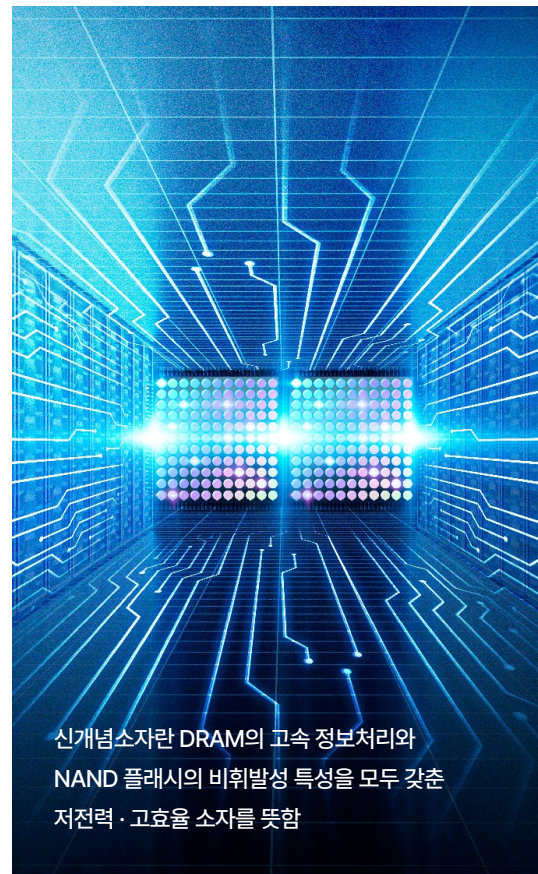
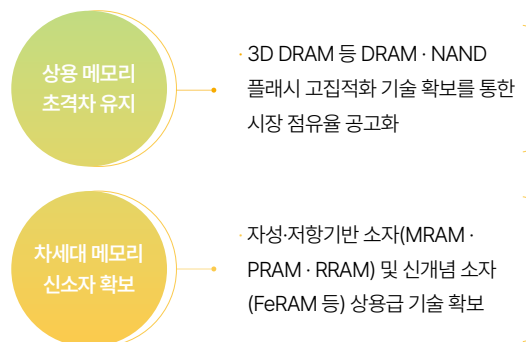
고집적 · 저항기반 메모리

#3D #DRAM #MRAM #FeRAM

인공지능 기술의 본격화로 인해 고대역폭 메모리(HBM)와 저 전력 · 고효율 소자의 중요성이 높아지고 있다. 이에 따라 주요 국들은 메모리 주도권을 확보하기 위해 R&D투자와 인수합병 등을 국가 차원에서 집중적으로 지원하고 있다.

한국은 이러한 글로벌 경쟁 속에서도 메모리 반도체의 우수한 기술력 및 파운드리 · 공정 기술을 보유하고 있다. 이에 상용 메모리 초격차 유지를 통해 시장 점유율을 공고히 하기 위한 전략으로 3D DRAM 등 DRAM · NAND 플래시 고집적화 기술들을 확보하는 것이 중요해지고 있다. 3D DRAM은 기존 2D 평면구조에서 벗어나 셀을 수직으로 쌓아 올려 더 높은 용량의 DRAM을 소형패키지에 구현할 수 있도록 한다.

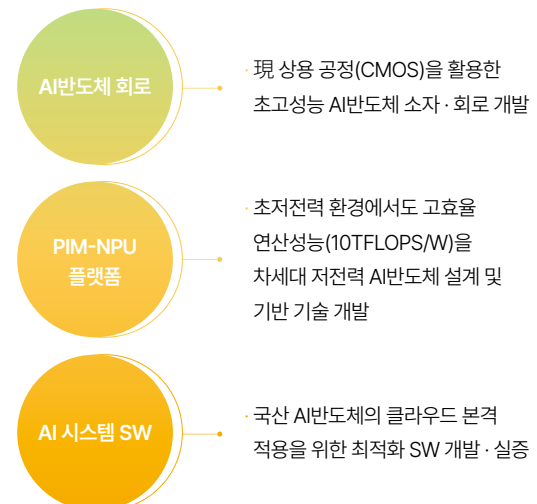
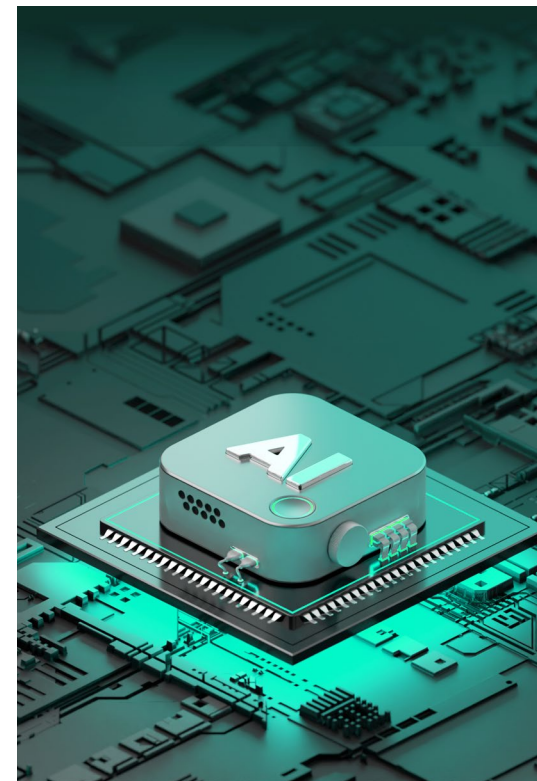
차세대 메모리 신소자 확보 등 미래 시장을 선점하기 위한 AI 구현에 최적화된 자성 ·저항기반 소자(MRAM · PRAM · RRAM) 및 신개념 소자(FeRAM 등) 상용급 기술 확보가 중요해지고 있다. 국내 기업이 임베디드 MRAM을 세계 최초 성공 등 국내 IDM 업체도 MRAM, RRAM, PRAM 등의 상용화 단계 기술을 보유하고 있다. 차세대 메모리 소자의 BEOL 집적화를 통한 CMOS+신소자 구조의 양립가능성을 향상시키는 것이 용이할 것으로 전망된다. 하지만 임베디드 차세대 메모리는 비용과 복잡도 문제로 추가 미세공정 및 저비용 공정 개발이 필요할 것으로 판단된다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

AI 적용 특화

AI 밸류체인



고성능 · 저전력 AI반도체

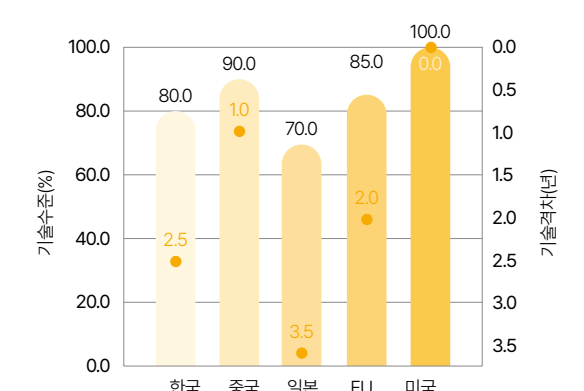
#인공지능 #플랫폼 #PIM-NPU #소프트웨어 #클라우드

최근 인공지능(AI) 반도체와 시스템 반도체 분야에서 미래 기술 확보를 위한 경쟁이 치열해지면서, 고성능 · 저전력 반도체 자립화도 가속화되고 있다. 한국은 세계 최초로 상용 수준의 AI 메모리 반도체(HBM-PIM)를 개발했으며, 정부 주도의 대형 R&D 사업을 통해 세계 최고 수준의 기술 확보와 선점을 목표로 하고 있다.

현 상용 공정(CMOS)을 활용한 초고성능 AI 반도체 소자 · 회로 개발 및 실증을 통해, 초저전력 환경에서도 10TFLOPS/W 이상의 고효율 성능을 구현하는 플랫폼을 마련할 예정이다. 이와 함께, 국산 AI 반도체의 클라우드 본격 적용을 위한 최적화 SW 개발 및 실증도 추진된다.

PIM-NPU 플랫폼 및 기반 기술 개발에 주력하고 있다. 이는 단위 전력(1와트) 소모 시 초당 1조 번의 연산을 수행할 수 있는 효율(TFLOPS/W)을 구현하는 차세대 저전력 AI 반도체 설계를 가능하게 한다.

또한, 국산 AI 기반 시스템 반도체 소프트웨어(SW) 개발 및 상용화를 통해 AI 밸류체인을 구축하고, 자율주행 등 신기술에 특화된 AI 반도체 개발 및 관련 인력 양성도 지원할 계획이다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

반도체 첨단 패키징

#설계 #이종집적 #미세화 #소부장

초거대 AI 컴퓨팅을 실현하기 위한 반도체 첨단 패키징 기술이 주목받고 있다. 첨단 패키징 설계 기술, 이종집적 공정 플랫폼, 제조·테스트 소부장 등으로 구성할 수 있다.

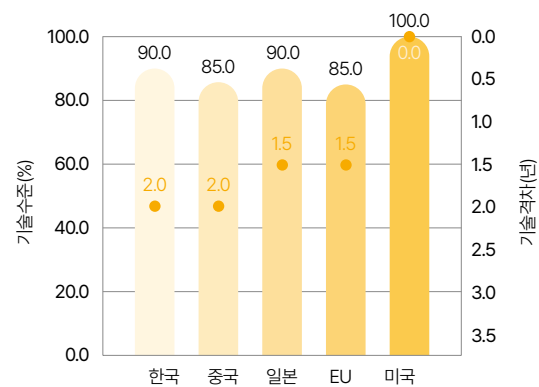
첨단 패키징 설계 기술에서 2.5D 및 3D 패키징 설계는 핵심 요소로 자리 잡고 있다. 이러한 설계는 더 높은 집적도를 가능하게 하고, 데이터 전송 속도를 증가시키며, 전력 소비를 줄인다. 또한, 고성능칩의 발열을 효율적으로 관리할 수 있는 고방열 기술 역시 수반되어야 한다.

이종집적 공정 플랫폼은 하이브리드 본딩 등 초미세·대면적 이종집적 칩렛 패키징을 중심으로 전극 접합 공정 플랫폼을 구축하는 것을 목표로 한다. 이는 다양한 재료와 구조의 칩을 연결하여 높은 신뢰성·성능을 보장하며, 배선의 배치공간을

효율적이게 하여 데이터 전송 속도를 높인다. 또한, 전극 간의 신뢰성 높은 접합 기술은 신호 전달의 정확성을 높이고 시스템의 성능을 향상시키는 데 기여한다.

패키징을 위한 제조·테스트 소부장에는 기존의 기능성 소재의 특성을 개선하여 성능과 내구성을 높이는 연구가 진행 중이다. 초미세·고밀도 공정 및 테스트용 부품·장비 기술의 개발 역시 중요한 과제로 떠오르고 있다. 미세 공정 기술을 통해 패키징의 정밀도를 높이고, 테스트 장비의 성능을 강화하여 제조 과정의 효율성을 극대화하는 것을 목표로 투자가 이루어지고 있다.

초거대 AI 컴퓨팅

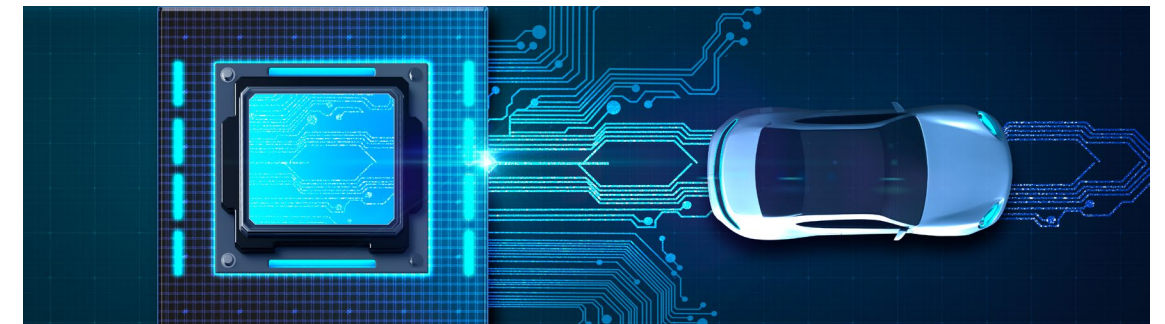


2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

전력반도체

전세계적으로 전력반도체가 주목받고 있다. 그 배경은 차량용 반도체 공급난이 지속되는 가운데, GaN 기반 전력 증폭기는 수출 허가가 필요한 품목으로 지정되어 대체 기술 확보가 시급성을 띠게 되면서 영향요인 중 하나로 작용하였다. 또한, 에너지 절감형 소·부·장 기술과 전력 반도체 기술은 2050 탄소중립 목표 실현을 위한 개발의 중요성이 대두되고 있는 현재 상황도 영향요인으로 작용하고 있다.

소재 다변화와 양산화에서는 기존 실리콘 기반 반도체를 대신할 SiC, Ga2O3 등 화합물 소재가 주목받고 있는데, 이러한 소재는 전력 효율성을 크게 향상시킬 수 있으며, 고온 및 고전압 환경에서도 안정적인 성능을 제공한다. 이를 통해 더 나은 전력 변환·관리 솔루션을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

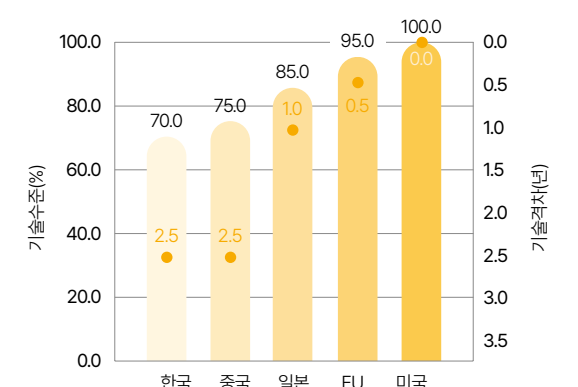


전력반도체

#GaN #에너지절감 #소재

소자 설계 및 공정 분야에서도 혁신이 필요하다. 초고전압 전력 소자와 구동회로 일체형 소자 기술확보를 통해 전력 변환 효율을 높이며, 전기차용 전력변환 모듈 및 파워IC의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 전망된다.

IC·모듈·상용화를 위해 이러한 기술들은 현재 실증 단계에 있으며, 전기차와 같은 첨단 산업에서 필수적인 요소로 자리 잡고 있다. 기술 개발과 함께 실증도 병행하여 진행되고 있다. 이는 개발된 기술이 실제 산업 현장에서 어떻게 적용되고, 어떤 성능을 발휘하는지를 확인하기 위함으로 전기차용 전력변환 모듈 및 파워IC 등 다양한 응용 분야에서 실증을 통해 기술의 신뢰성을 확보하고 있다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

반도체 · 디스플레이 중점기술 분야

차세대 고성능 센서

#고정밀 #초지능 #저전력

반도체 기술이 급속히 발전하면서 차세대 고신뢰성 센서의 개발 및 상용화가 주요 산업의 경쟁력을 강화하고 있다. 이러한 센서는 고정밀화, 조지능화, 저전력화와 같은 혁신적인 특징을 바탕으로 다양한 분야에서 활용될 수 있으며, 이를 통해 공급망 자립도를 획기적으로 높일 수 있다.

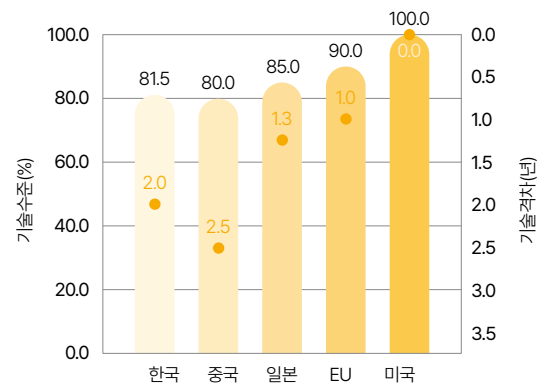


스마트 기기 분야에서의 고정밀화는 사용자 경험을 향상시키고 있다. 스마트폰, 웨어러블 기기 등에서 사용되는 고정밀 센서는 나노미터 단위의 정밀도를 자랑한다. 이러한 고정밀 센서는 더 나은 사진 및 영상 촬영, 정확한 생체 신호 측정, 위치 측정 등을 가능하게 한다.

첨단 모빌리티 분야에서는 초지능화 센서가 핵심적인 역할을 한다. 인공지능과 결합된 초지능화 센서는 데이터를 실시간으로 분석·예측하여 자율주행 등 첨단 모빌리티용 인지센서로 활용된다. 레이더, 라이다, 비전센서 등 다양한 인지센서 등이 있다.

극한 환경에서의 저전력화 센서는 특히 우주와 국방 분야에서 중요한 역할을 한다. 최소한의 전력으로 최대의 성능을 발휘할 수 있도록 설계되어, 배터리나 외부 전력 공급 없이도 장기간 작동이 가능하다. 전원 자립형 기술과 전력 소모량 50% 저감, 자체 에너지 자립 및 내구성 강화 기술과 같은 신기술을 확보하여 에너지 효율성을 극대화하면서도 높은 신뢰성 유지할 수 있도록 해야 한다.

트랙레코드



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

기술 검증 인프라



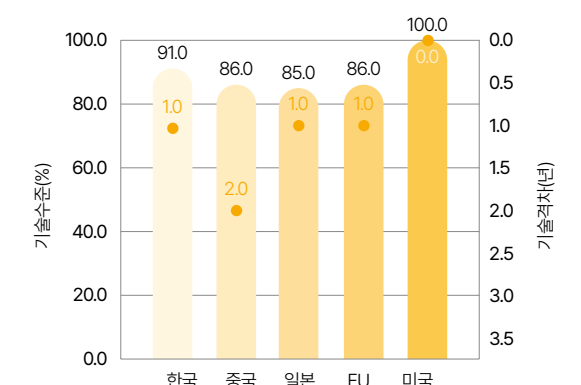
무기발광 디스플레이

#LED #고속전사 #초미세화소

첨단 디스플레이 기술의 발전이 가속화되면서, 무기발광 디스플레이(LED) 분야에서 마이크로 LED 등 차세대 주력 상품에 대한 기술력 확보가 뜨거운 이슈로 떠오르고 있다. 세계적인 디스플레이 제조업체들은 차세대 기술을 선도하기 위해 혁신적인 연구와 개발에 막대한 자원을 투자하고 있으며, 이를 통해 시장에서의 경쟁력을 한층 강화하고 있다.

광원기술 고성능화를 통해 마이크로 LED칩의 소형화(5μm) 및 고효율화 기술로 원가경쟁력을 확보할 수 있다. 마이크로 LED는 기존의 OLED와 LCD를 대체할 차세대 기술로 주목받고 있으며, 이는 각각의 픽셀이 독립적으로 발광하는 구조를 가지고 있다. 이때문에 보다 선명한 화질과 뛰어난 에너지 효율성을 제공한다. 또한 번인(burn-in) 현상이 없어 내구성이 뛰어나고, 높은 밝기와 빠른 응답속도를 자랑한다.

이와 더불어, 산업계에서는 양산기술 고도화를 위해 다양한 첨단 공정기술들이 도입되고 있다. 특히, 초당 1만칩 이상의 고속전사 기술과 초미세 화소 검사 기술의 확보가 중요해지고 있다. 이들 기술은 해상도와 품질을 높이는데 중요한 역할을 하며, 생산된 제품의 신뢰성을 향상 시킨다. 또한 UI·UX 기술, 생체 · 환경 인식 센서 등을 활용하는 응용제품에 대한 기술력 확보를 통해 시장경쟁력 다각화를 위한 노력을 해야 한다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

반도체 · 디스플레이 중점기술 분야

프리폼 디스플레이

#폴더블 #롤러블 #스트레처블

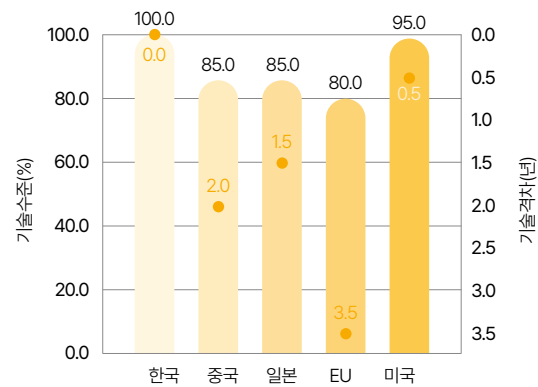
프리폼 디스플레이 기술은 최근 몇 년 동안 급격한 발전을 이루며 더 이상 평면에 머물지 않고 다양한 형태와 크기로 변형할 수 있게 되었다. 이 기술은 곡면, 구부러짐, 접힘 등 다양한 형태로 제작 가능하며, 여러 산업분야에서 혁신적인 응용이 기대되고 있다. 시장 경쟁력을 갖추기 위한 주요 핵심 전략으로 고변형자유도 기술 상용화와 형상가변 기능 고도화가 주목받고 있다.

폴더블 · 롤러블 등 고변형자유도 기술 상용화를 통해 곡률반경 5R이하 슬라이더블 (두루마리) 형태와 다축·다중접이식 디스플레이를 구현할 수 있다. 이는 자동으로 감거나 펼칠 수 있어 복잡한 변형에도 선명한 해상도를 유지할 수 있게 한다. 또한 센서와 자동 제어 시스템이 통합되어 변형 상태를 실시간으로 모니터링하고 제어할 수 있어 사용자에게 최적의 사용 경험을 제공한다.

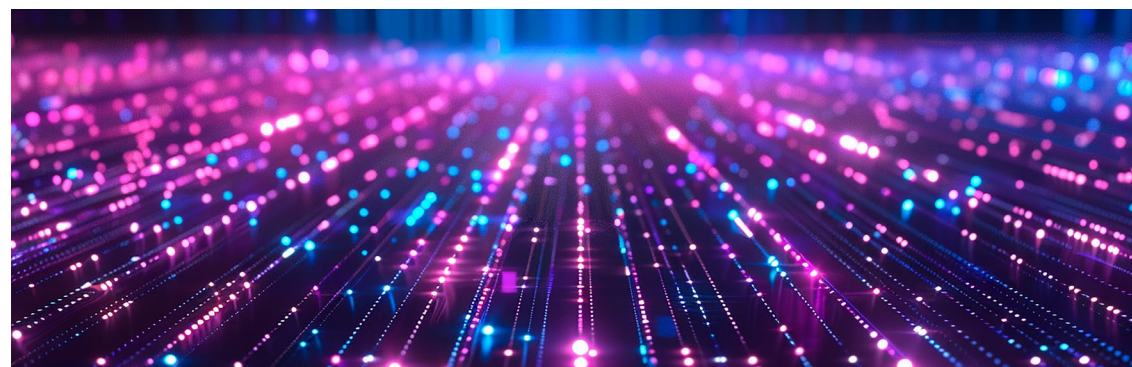
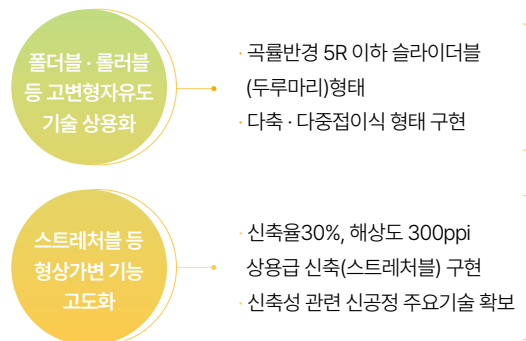
신소재 · 신개념 DP

스트레처블 등 형상가변 기능 고도화를 위해서는 신축율 30%, 해상도 300ppi 등을 만족할 수 있는 고유연성 소재(고성능 폴리머, 그래핀, 나노튜브 등), 다중층 구조 설계와 같은 각 층이 독립적으로 움직일 수 있어 내수성을 높일 수 있는 상용급 신축(스트레처블) 등의 성능 제고가 뒷받침되어야 한다. 이 외에도 정밀제어 메커니즘, 롤투롤 공정, 액정 및 전극 제조, 유연한 배터리 제조 등이 수반되어야 한다.

이러한 기술적 진보는 스마트폰, 웨어러블 디바이스, 자동차, 상업용 디스플레이 등 다양한 분야에서 활용가능성을 열어주고 있다.



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29



반도체 · 디스플레이 소 · 부 · 장

#노광 #식각 #증착 #대면적 #초소형

반도체 패키징과 차세대 미세화를 위한 기술이 동시에 발전하면서 반도체 소재, 부품, 장비의 뒷받침 되어줘야 한다. 3나노 이하급 초미세 반도체 前공정 핵심기술의 자립화가 중요하다.

노광 공정에서 활용되는 핵심 소재 · 부품(감광재, 마스크 등) 자립화 향상을 통해 미세화 핵심 공정을 확보해야 한다. 초미세 공정을 구현하기 위해 필수적인 EUV기술 이후 초미세 원자수준(BEUV급) 리소그래피 원천기술 확보가 시장의 선두주자를 결정하는 핵심요소로 작용할 것이다.

플라즈마 식각을 활용한 고유전체 소재(High-K)용 원자단위 박막 애칭(ALE) 공정 부품장비 기술 확보가 중요하다. 이를 통해 정밀한 회로 형성 및 패턴 구현할 수 있다. 또한 초미세화 공정에 적합한 식각 장비의 개발 및 자립화가 함께 이루어져야 한다.

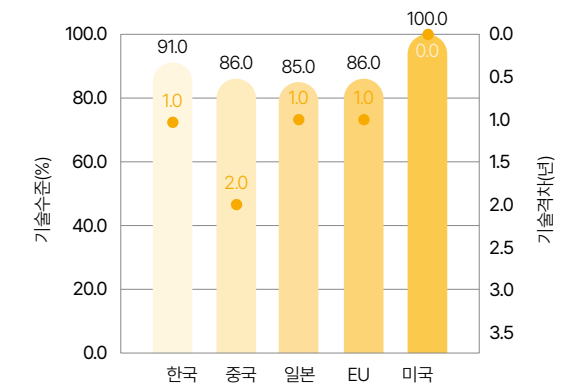
원자단위 박막 증착(ALD) 및 화학 기상 증착(CVD) 기술을 확보하여 정밀한 두께 조절과 균일한 코팅이 가능한 반도체 미세화 및 고성능 반도체 생산이 가능하도록 하여 증착공정 자립화를 이룰 수 있다.

OLED 기술은 세계 최고 수준이지만, 소재 (투명패널 고도화, 임베디드 소재 및 부품 등) 및 생산장비는 해외 의존도가 높아 이를 대체할 품목의 개발이 지속될 수 있도록 지원이 필요하다. 고효율·고신뢰성 발광 소재·부품 자립화를 통해 초격차 분야 우위 선점을 궁극적인 목표로 해야 한다.

대형 OLED 생산을 위한 핵심 장비(노광기, 증착기 등)와 초고해상도 온실리콘(OLEDs) 증착 및 검사 장비 기술을 확보하는 것이 중요하다. 대면적 · 초소형 OLED 제조 · 검사장비 자립화를 통해 핵심 공급망 안정화를 도모할 수 있다.

탄소중립정책이 시행되고 있는 현 시점에서 탄소 및 유해물질 저감, 중금속 없는 핵심소재 및 공정·평가·인증 기술 자립화 또한 신속히 이루어져야 한다. F-Gas를 대체할 수 있는 소재 · 공정 및 무독성 · 친환경 · 고효율 퀀텀닷 발광 소재 등을 확보함에 따라 환경규제 충족함과 동시에 시장을 주도할 수 있는 계기가 될 것이다.

기술 검증 인프라



2022년도 기술수준평가 결과, 과기부, 2024.02.29

04

출연(연) 보유 '반도체 · 디스플레이' 기술

한눈으로 보는 출연(연) 기술 보유현황



반도체 · 디스플레이 중점기술 분야별

기술 보유현황

출연(연) 보유 반도체 ·
디스플레이 주요기술

고집적 · 저항기반 메모리

- KAERI** · 고순도/고결정성 그래핀 양자점 패터닝 기술 / 하준목
- KRICT** · 멀티 비트 연산을 위해 최적화된 저항 스위칭 장치의 제조 방법 / 박보근
- KIMM** · 캐리어 웨이퍼가 필요없는 빌드업/Bump-less 초박형 웨이퍼 적층 기술 / 송준엽
- KRISS** · 플라즈마 공정을 적용한 반도체 양자점의 생성 및 크기 제어 / 김정형

반도체 첨단 패키징

- KIMM** · 초박형 유연반도체 패키지 접속 및 3D 적층 기술 / 이재학
- KERI** · 탄화규소 웨이퍼의 TSD와 TED 결함 비파괴 분석법 / 나문경
- KAERI** · 이온빔 조사를 이용한 생체 적합형 그래핀 양자점 제조기술 / 하준목

차세대 고성능 센서

- KRICT** · 옵티컬 솔더링을 이용한 결합 구조에서 이차원 박막 반도체 물질의 광특성 생성 및 제어하는 방법 / 김현우
- 반도체 소자 및 이를 포함하는 센서 / 이정오
- 페로브스카이트 양자점-전이금속 칼코겐 화합물 복합소재 기반의 광센서 및 이의 제조 방법 / 송우석
- KIMM** · 다양한 형상의 표면에 미세전극 제작이 가능한 레이저 패터닝기술 / 최지연

프리폼 디스플레이

- KITECH** · 플렉시블 디스플레이에 적용 가능한 고강도 투명 유연 광학 필름 제조 개발 / 홍성우
- KAERI** · 경제적이고, 친환경적인 폴리이미드계 고분자 수지의 성형품 표면 친수화 방법 / 여순목
- KIMM** · Flexible OLED 롤투롤 증착시스템 기술 / 권신
- KRICT** · 신축성을 갖는 유기 반도체 고분자, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 유기 전자 소자 / 정서현

고성능 · 저전력 AI반도체

- ETRI** · HBC-MCU SoC 설계 기술 - 마이크로 네트워크온칩 (uNoC) IP 기술 / 이재진
- KRICT** · 옵티컬 솔더링을 이용한 이차원 박막 물질의 접합 및 결정 구조 형성 방법과, 그 접합 및 결정 구조 / 김현우

전력 반도체

- ETRI** · 갈륨옥사이드 전력반도체 소자 기술 / 문재경
- KIER** · 화학기상증착법을 이용한 고품질 저비용 에피택시 실리콘 기판 제조 기술 / 오준호
- KITECH** · 표면실장형 전력반도체용 이중 방열 구조 / 김명복
- KERI** · WBG(Wide Band Gap) 전력반도체 구동 집적회로 / 김기현

무기발광 디스플레이

- KRICT** · 신규한 N-헥테로고리 화합물 및 이를 포함하는 유기 발광 소자 (OLED) / 이재민
- KERI** · 고효율 그래핀 UV-LED 제조 기술 / 정승열
- KIMM** · Flexible/Stretchable 디바이스 및 디스플레이 대응 미세 배선 형성 기술 / 김용진
- 상변화 물질을 이용한 축열 및 방열 일체형 LED 조명기구 / 강재식

반도체 · 디스플레이 소 · 부 · 장

- KIMS** · 반도체 장비용 내플라즈마 세라믹 / 박영조
- IR 윈도우 및 레이저 발진용 투명세라믹 기술 / 박영조
- KIMM** · 투명전극 및 투명전극필름 제조기술 / 조정대
- KRICT** · 불소계 고분자 조성물을 이용한 불소계 고분자막 / 손은호

반도체 · 디스플레이 기술개발 연구자 인터뷰

산화갈륨 전력반도체의 미래 솔루션

ETRI

문재경 박사

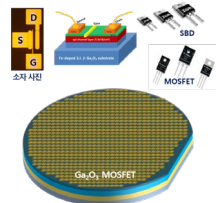
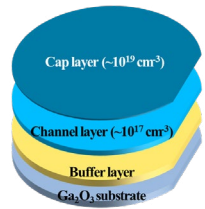
산화갈륨 전력반도체로의 전진

문재경 박사는 2013년부터 3년 동안 산업부와 함께 파워반도체 상용화 예타기획 위원으로 활동하면서 질화갈륨(GaN) 전력반도체 책임자로 일했다. 2016년, 차세대 전력반도체 연구 주제로 다이아몬드와 산화갈륨(Ga_2O_3) 중에서 기판 기술과 도핑 기술 등을 고려해 산화갈륨을 선택하였다. 이후 국내 WBG (GaN, SiC 등) 전문가들과 함께 중장기 대책 과제를 기획하여 성공적인 수행과 연구개발을 하고 있다. 연구하는 산화갈륨(Ga_2O_3) 소재는 기존 전력반도체 소재인 실리콘(Si), 질화갈륨(GaN), 탄화규소(SiC)보다 높은 밴드갭 에너지(4.8eV)를 가지고 있어 더 높은 전압에서도 견딜 수 있다. 이는 온도, 빛, 방사선 등의 외부 환경에 강한 저항성을 의미하며, 고온 환경이나 극한 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있는 장점이 있다. 특히, 고품질의 단결정 기판을 대규격으로 생산할 수 있어 비용 효율적이며, 기존 WBG 전력반도체보다 성능이 우수하고 비용이 저렴한 전력반도체를 만들 수 있다. 이는 전력반도체의 크기를 줄이고 효율을 높이며 가격을 낮출 것으로 기대된다.

산화갈륨 에피소재

단위공정 및 집적화 일괄공정

전력반도체 모스펫 및 웨이퍼



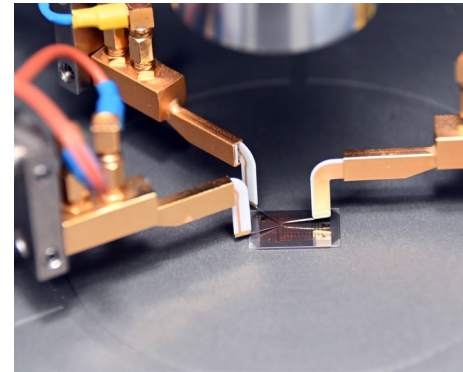
갈륨옥사이드 전력반도체 소자공정 기술

갈륨옥사이드 전력반도체 소자

조각 ▶ 2인치 ▶ 4인치 공정 완료 웨이퍼



현재 개발하고 있는 갈륨옥사이드 전력반도체 모스펫(MOSFET) 소자 기술은 전압에 따라 트랜지스터의 채널이 온-상태와 오프-상태를 전환하는 스위칭 기능을 수행하는 반도체 소자의 설계 및 제조 공정에 관한 것이다. 좋은 전력반도체 모스펫은 전류가 흐르는 상태(On-state)에서는 온-저항(Ron)이 낮고, 오프-상태에서는 항복전압(VBD)이 높아야 하며 스위칭 속도가 빨라야 한다. 산화갈륨 반도체는 이러한 요구사항을 모두 충족하며, 초고전압에서도 전력 변환 손실이 적어 효율 높은 전력반도체 모스펫 소자와 전력모듈, 시스템 소형화를 가능하게 한다. 아직까지 산화갈륨 전력반도체 소자는 글로벌 기술개발 초기 단계로 상용화되지 않았지만, 개발이 완료되면 질화갈륨(GaN)이나 탄화규소(SiC)보다 낮은 온-저항 값과 높은 전력변환 효율을 가질 것으로 전기자동차, 스마트 그리드, 고속철도, 풍력발전, 산업용 로봇, 선박 등 다양한 분야에 적용될 수 있으며 극고온 및 극저온, 내방사선 특성이 필요한 우주항공 및 원자력 산업에서도 활용 가능성이 높다.



갈륨옥사이드 전력반도체 모스펫 (MOSFET) 소자 측정을 위한 프로빙 모습



갈륨옥사이드 전력반도체 측정 진행

상용화를 위해서는 우수한 균일도와 품질을 갖춘 산화갈륨 기판과 에피 웨이퍼의 상용화가 선행되어야 한다. 이를 위한 소자 제조 공정 측면의 미세패턴 식각기술, 저저항 오믹접촉 기술, 고내압 전계 완화 기술, 저결함 유전체 박막기술, 그리고 웨이퍼 스케일의 대면적 소자 집적화 공정 개발이 필요하다. 뿐만 아니라, 산화갈륨 반도체의 경우 실리콘(Si)이나 주석(Sn)을 도핑해 n-형 채널은 쉽게 만들 수 있으나, p-형 도핑 기술이 개발되지 않았으며, 낮은 열전도 역시 해결해야 할 숙제로 남아있다. 게다가 6인치 이상의 대면적 웨이퍼를 이용한 양산 공정에서는 특정 결정면으로 잘 깨지는 웨이퍼의 벽개면 특성(cleavage plane)도 심각한 이슈가 될 것이다.

문재경 박사는 산화갈륨 전력반도체 기술은 기존 GaN, SiC와 같은 WBG 전력반도체보다 밴드갭 특성($E_g > 4.8\text{eV}$)과 기판의 액상 성장(melt-growth) 기술이 용이하여 저가 고품질의 초고전압용 고효율 전력반도체를 만드는데 좋은 솔루션이 될 것으로 예상하고 있다.

산화갈륨 반도체 기판 기술은 일본 타무라가 가장 먼저 상용화를 진행하여 분사한 노벨크리스탈(Novel Crystal Technology : NCT)에서 제품을 공급하고 있다. 그러나 해당 전력반도체 모스펫 기술은 전 세계적으로 아직 상용화가 되지 않은 연구개발 초기 단계 기술로 누가 가장 먼저 상용화를 하느냐는 전 세계적 관심사로 보고 있다. 우리나라에서 에피소재와 소자공정 기술이 동시에 국산화가 됨으로써 가장 빠르게 제품을 출시할 가능성이 높아졌으며, 국내 여러 연구개발 상황을 고려하여 2027년 정도에는 기술 상용화가 될 것으로 기대한다.



산화갈륨 에피소재와 모스펫 (MOSFET) 소자를 공동연구 ETRI와 KICET 공동연구진

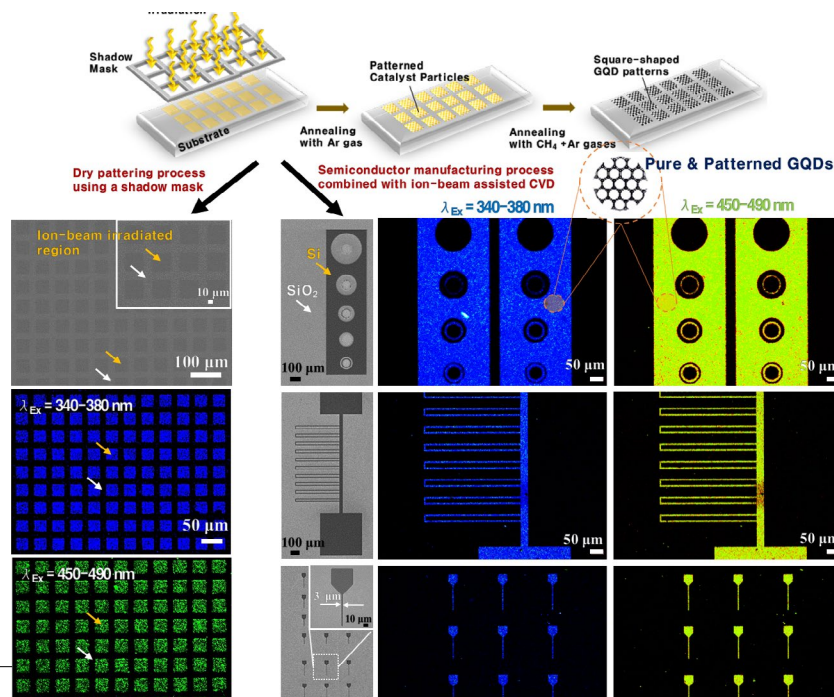
2017년, 한국전기전자재료학회 산하 한국 산화갈륨기술연구회를 설립한 이후 매년 전 문학술워크숍을 개최하여 국내외 산·학·연 연구자들이 네트워킹과 개방적 연구를 할 수 있는 장을 마련하고, 산화갈륨 기술의 중요성을 전파하며 정부 지원의 필요성을 강조하는 문재경 박사는 최근 과학기술정보통신부의 지원으로 3kV 모스펫의 우수한 연구결과를 얻으며 산화갈륨 전력반도체 기술에 앞장서고 있으며, 세계를 선도할 수 있기를 기대하고 있다.

혁신적인 그래핀 양자점 연구

한국원자력연구원
하준목 박사



한국원자력연구원의 하준목 박사는 '방사선과 물질간의 상호작용'을 연구하던 중, 원소배치를 용이하게 하는 이온빔 장치 등을 접하게 되면서 연구방향의 새로운 전환점을 맞이하게 되었다. 그래핀 양자점은 크기가 수 나노미터로 작아져야 반도체적 성질을 가지며, 기존 화학적 공정으로만 만들어지던 그래핀 양자점은 여러 문제점이 있었다. 그러나 이온빔 장치를 통해 그래핀 양자점을 보다 정밀하고 효율적으로 제조할 수 있는 가능성을 발견한 하 박사는 이 방법이 기존 화학공정의 한계를 뛰어넘는 혁신적 방법이라 판단하여 연구를 시작했다. 게다가 그래핀 양자점은 생체 적합성이 높은 유기물 탄소 기반 물질로, 중금속 양자점을 대체할 수 있는 유망한 후보 물질이며 2023년 노벨화학상이 양자점 연구에 수여된 점은 양자점의 중요성을 보여주고 있다.



그래핀 양자점 기술

기술의 중요성

그래핀 양자점은 수~수십 나노미터 크기의 0차원 그래핀으로 발광 특성, 생체 적합성, 안정성 및 값싼 재료 등의 장점을 가져 기존 중금속 양자점의 단점을 보완할 수 있는 대체물질로서 최근 의료 및 산업 분야에 각광받는 물질이다. 하지만, 국내외 거의 모든 기존 그래핀 양자점 제조 방법은 액상의 화학적 공정을 기반으로 하며, 산이나 인체에 유해한 화학물질을 이용하기 때문에 제조된 양자점은 불필요한 부산물이 포함되어거나 인체 유해성을 가지며, 액상으로 제조되기 때문에 패터닝이 어렵다는 단점으로 인해 그래핀 양자점은 의료분야나 산업분야에서의 활용을 지금까지 제한하고 있다.

기술의 주요 기능

연구한 이온빔 조사방법은 원자단위 촉매제공 개념으로 개질, 증착, 열균 등에만 사용되던 기존 조사기법에 대한 발상을 완전히 전환하였다. 다시말해 이온빔이 조사되는 위치에만 순수 그래핀 양자점을 제조할 수 있는 기술로, 특히 순수 그래핀 양자점을 기판에 원하는 모양 회로로 배치해 형성하는 패터닝까지 세계 최초로 성공 하였다.

기존 양자점은 의료분야나 산업분야 등에 이미 활용되고 있으며, 기타 기존 양자점의 한계 등으로 본 기술의 활용을 기대하고 있다. 일반 기업에서 제조하는 QLED의 핵심물질이 양자점이지만, 양자점의 주성분이 카드뮴, 납 등 인체에 해로운 중금속 기반 물질로 의료분야는 물론 최근 친환경 트렌드로 진행되는 산업분야에도 맞지 않기에 기존 중금속 기반 양자점의 활용분야를 대체할 수 있도록 기술을 발전시켜 나가고 있다.

이온빔을 통한 그래핀 양자점 제조의 가장 큰 장점은 종래의 공정과 비교하여 패터닝 및 소자 생산이 매우 용이하다는 것으로 기존의 화학 공정에서는 불가능했던 나노 단위 수준의 패터닝 기술이 이온빔 조사를 통해 가능해져, 반도체, 2차 전지, 연료전지, 자동차, 태양전지 등 에너지소자 포함 산업 전방위 분야에서 활용될 수 있다. 게다가 그래핀 양자점의 반도체적 성질을 이용하여 수질 오염 물질 분해 및 수소 생산이 가능한 광촉매 분야 발전에도 적용시킬 수 있다. 이외에도 그래핀 양자점 고유특성인 높은 열·전기전도도를 활용하면 그 응용분야가 확대될 수 있다.

상용화 및 개발 전망

이온빔과 같은 방사선을 이용한 수 나노미터 수준의 그래핀 양자점 건식제조 및 패터닝 기술 개발은 독창적으로 새롭게 발굴한 연구 분야로, 원천특허까지 모두 등록 및 출원 완료하였으며, 응용연구 특허까지도 출원 예정으로 최근에는 그룹 내 연구하는 센서 관련 특허를 기술이전을 하기도 하였다. 그 외에도 여러 산업체와 협력하며 기술이전과 상용화를 위한 논의를 하고 있다. 다만, 본 기술의 경우 원천특허의 개념이 강하고, 업체에서는 바로 제작해 판매할 수 있는 응용 아이템에 보다 관심을 가지는 경우가 많은 실정이다. 이에, 본 기술의 상용화 용이성을 증대시키기 위해, 그래핀 양자점의 바이오, 센서, 전지 등의 응용연구 기획을 노력하고 있으나, 후속과제가 단절되어 연속적인 추가응용연구에 한계를 느끼고 있는 실정이다.

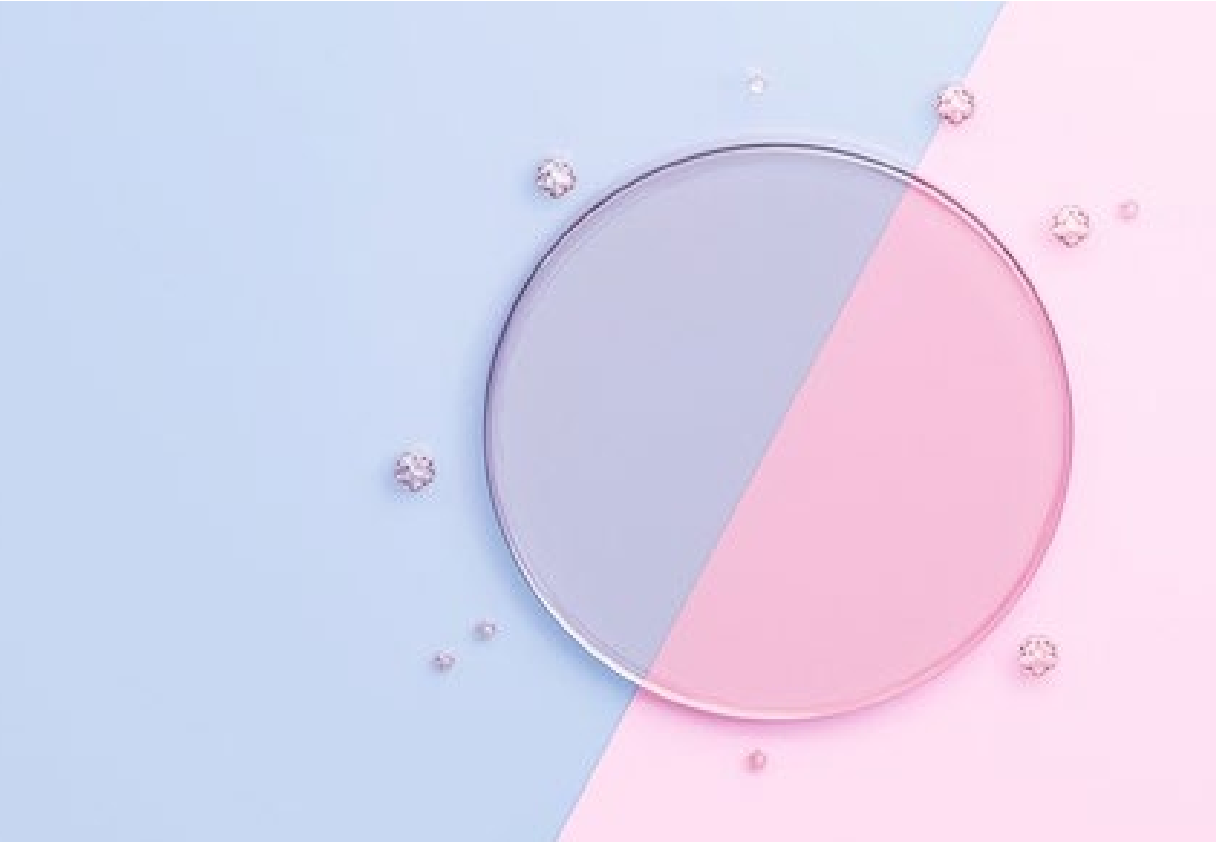
미래 전망

본 기술은 제조 공정에서 산이나 인체 유해한 화학물질이 사용되지 않고, 그래핀 양자점 성장을 위해 사용된 촉매는 공정 중 완전히 제거된다. 따라서 본 기술을 통해 제조된 그래핀 양자점은 탄소 기반 순수 물질 및 생체 적합성을 가지기 때문에 기존에 부작용이 많았던 바이오 이미징, 조영제 및 약물 전달체를 대체할 수 있어 의학 분야에 큰 파급력을 가질 것으로 생각한다. 또한 그래핀 양자점은 자체 발광 특성으로 최근 개발되고 있는 투명 플렉서블 디스플레이, 센서 등 산업 시장에서도 활용이 가능하며, 기존에 산업현장에서 사용되는 카드뮴, 납, 코발트 등 인체 유해한 물질이 주성분을 이루고 있어, 본 순수 그래핀 양자점 제조 기술 개발은 더욱 친환경적인 제품 생산을 가능하게 해주어 기존 문제가 되었던 의학 분야뿐만 아니라 산업 분야에도 그 파장이 클 것이라 기대된다.

결론적으로, 기존의 기술적 단점을 창의적 접근으로 해결한 획기적인 기술이기 때문에, 기존 양자점(중금속 or 그래핀 양자점)이 활용되었거나 혹은 기술부족으로 사용이 제한된 분야 모든 곳에 대체 혹은 활용될 수 있는 기술로 의료, 산업, 환경 등 다양한 곳에 큰 파급력을 가질 것으로 기대된다.



극한 환경을 극복한 투명세라믹



한국재료연구원
마호진 박사

투명 세라믹의 필요성과 혁신 방향

아주 빠른 속도로 타겟을 추격하는 미사일의 앞부분은 상당한 열이 발생하기 때문에 열적, 기계적 안정성이 높은 소재를 사용하는 것이 중요한데, 적외선 센서가 미사일의 앞부분에 위치하고 있어 IR원도우나 돔은 적외선 빛을 손실 없이 투과할 수 있어야만 한다. 연구를 시작할 당시 미국, 일본, 중국에서는 적외선 투명세라믹이나 레이저 발진용 세라믹의 연구가 활발한 상황이었지만 국내는 전무하여 레이저 발진체용 세라믹은 전량 수입하는데 손바닥만한 크기가 수천만원에 이를 정도로 상당히 고가였다. 게다가 국가 전략소재로 적용될 수 있기 때문에 대량 확보하기 어려운 문제도 해결할 필요가 있었다.

미사일 앞에 위치하는 IR원도우용 투명 이트리아(Y_2O_3) 소재 개발을 돕는 것으로 처음 관련 연구를 시작하며 해외에서 발표된 논문들을 읽고 실험을 하던 중 열적, 기계적 특성이 우수한 나노복합체나 다른 소재들도 적외선 파장대의 투명세라믹으로 적용이 가능할 것이라 생각하게 되었다. 이후 나노 분말을 합성하고 소결하여 다양한 세라믹을 투명하게 만드는 기술을 확보하며 형광체나 신틸레이터, 레이저 발진체와 같이 투명세라믹이 필요한 다양한 분야에 적용하기 위한 연구를 진행하였다.

투명 소재의 기공 제거 기술

투명한 소재는 우리가 음료를 마실 때 자주 사용하는 플라스틱이나 유리가 대표적으로 쉽게 볼 수 있다. 하지만 대부분 고온에서 잘 버티지 못하고 외부의 힘이 가해졌을 때 쉽게 부서지거나 깨지는 특성을 볼 수 있다. 실리콘이나 사파이어 같은 단결정(single crystal) 소재는 투명하지만, 제품을 크게 만들거나 고출력 레이저 발진을 위해 희토류 원소를 첨가할 때 편석 등의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 기존 소재들의 단점을 개선할 수 있는 다결정 세라믹 투명세라믹을 만들어 2,000°C 이상의 녹는 점과 우수한 기계적 물성을 바탕으로 극한 환경에서도 IR투과창으로 사용될 수 있으며, 고출력 레이저 발진체의 이득 매질(gain medium)로 활용할 수 있게 되었다.

고순도의 나노 분말을 합성하고 최적화된 소결 조건을 확보하여 세라믹 미세구조 내에 잔류하고 있는 기공을 완전히 제거하는 것이 높은 투광도를 얻기 위해 가장 중요한 요소이다. 빛이 물질 내로 왔을 때 기공을 만나면 큰 굴절률 차이로 인해 내부 산란이 발생하게 되고 빛의 경로가 들어져서 투명하지 않게 되는데, 그렇기에 100%에 가까운 밀도를 확보하는 것이 가장 중요하게 된다.

주로 다결정 투명세라믹은 군사용 목적으로 사용되어, 유도무기 센서 방호용 원도우 소재나 IR seeker 등으로 사용이 된다. 특히 방탄 특성이 있기 때문에 차량이나 항공기, 함정 및 개인 방호용 방탄투명창으로도 만들어 진다. 뿐만 아니라 기공을 최대한 제거되었다는 특성을 활용하여 반도체 공정 장비용 소재 등에도 활용될 수 있다.

다양한 활용처와 개발 전망

현재까지 연구로 작은 크기의 고광투과도 시편을 만드는 것은 국내에서도 충분한 경쟁력을 확보하였다. 하지만 대형화 또는 복잡한 형상을 갖는 IR원도우와 레이저 발진체용 투명세라믹의 제작 기술이 부족한 실정이다. 군사용 또는 대형 연구시설에 적용하기 위한 목적으로 연구가 진행되다 보니 현재까지는 수요기업도 제한적이며 가격도 상당히 고가인 현실이다. 따라서 상용화를 위해서는 저렴한 원료 및 제조공정 단순화를 통해 제조원가를 절감하고 다양한 산업분야에 적용될 수 있도록 노력할 필요가 있으며 무엇보다 정부와 연구기관, 기업 간의 협업이 중요하다고 할 수 있다.

고출력 레이저 발진체용 세라믹은 레이저 무기, 레이저 발전과 같이 고에너지가 필요한 환경에서 적용하기 위해 계속적으로 연구가 될 것으로 예상되며, 또한 투명세라믹은 다른 투명한 소재들과 비교했을 때 기계적 특성과 열적 특성이 월등하기 때문에 극한환경에 사용되어야 하는 소재를 대체할 수 있기에 추가적인 연구도 계속 될 것이며, 우주먼지나 방사능의 공격으로부터 자유롭지 않은 우주환경에서 사용될 수 있는 투명세라믹 소재나 레이저를 활용한 공정 장비 등에도 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

특히 투명세라믹 내에 잔류하고 있는 기공을 완전히 제거하는 것이 핵심 기술인데, 최근에 반도체 플라즈마 식각 공정 장비 내에 부품으로 사용되는 세라믹 소재의 조성이 투명세라믹과 동일하며 기공을 제거하는 것이 반도체 생산 수율과 직결된다는 것이 알려졌습니다. 따라서 IR원도우 및 레이저 발진체용 세라믹 제작 기술을 기반으로 반도체, 디스플레이와 같은 산업영역에 적용될 수 있을 것이다.



폴더블 디스플레이 실현의 키

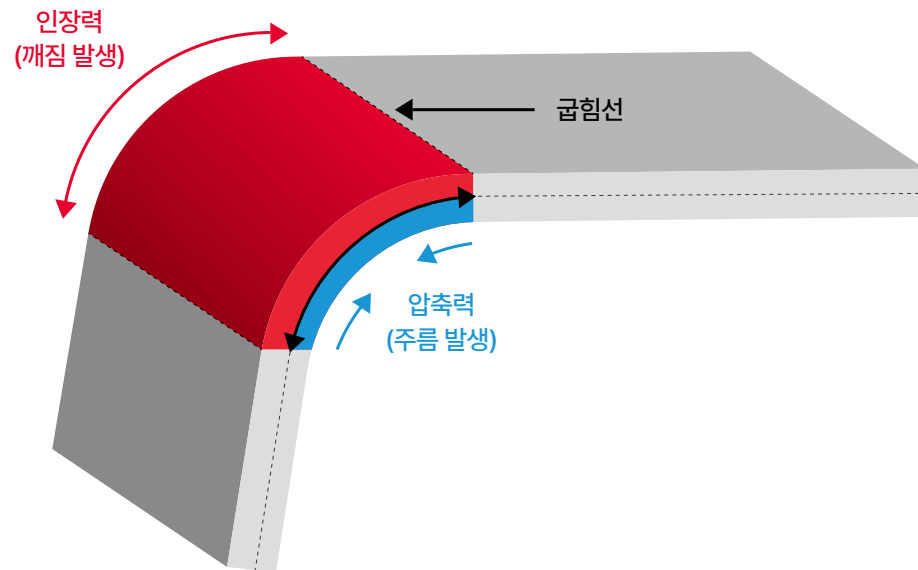


한국생산기술연구원
홍성우 박사

- 2023년 산업부 장관 표창
- 2022년 국제 저널 'Advanced Functional Materials' 커버 선정
- 2022년 한국고분자학회 기술상
- YTN 등 18건 언론 보도 ('23 YTN 사이언스, '22 IT 조선 '22 EBN 산업경제 등)

디스플레이 기술은 평면에서 발전을 통해 유연 디스플레이까지 진화하였으며, 폴더블 형태의 디스플레이가 적용된 스마트폰이 출시되면서 다양한 연구가 진행되고 있다. 폴더블 형태는 투명 유리 기판 대신에, 고강도를 가지면서 동시에 투명할 뿐만 아니라 유연성을 가지고 있는 광학 필름인 윈도우 필름과 그 윈도우 필름을 보호하는 코팅층으로 구성되어 있는데, 이 두 층을 합쳐 커버 윈도우 혹은 윈도우 커버라고 부르게 되며, 기존 유리 기판 대신 적용된 고강도 투명 유연 소재가 바로 이 커버 윈도우이다. 커버 윈도우에서 사용되는 윈도우 필름 물질이 바로 불소계 폴리이미드이며, 이 물질로부터 연구가 시작되었다.

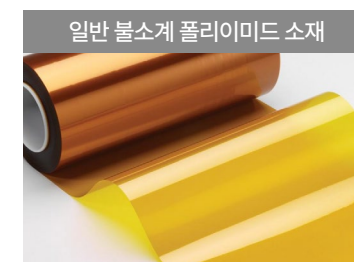
우선 가장 해결해야 할 문제로 디스플레이를 접을 때 발생하는 안쪽 압축력과 바깥쪽 인장력으로 인한 표면의 깨짐이나 갈라짐, 주름지는 현상이다. 이 문제점 해결을 위한 신소재 중 하나가 바로 플라스틱 기반의 유연 광학 필름인데, 유연 광학 필름은 범용 플라스틱 대비 뛰어난 물성 및 특성을 가지는 것으로 잘 알려진 엔지니어링 플라스틱으로 제조해야 한다.



기존 디스플레이 굽힘 시 균열 발생

대표적인 엔지니어링 플라스틱인 불소계 폴리이미드는 전하 이동 복합체(Charge Transfer Complex ; CTC)라는 독특한 구조를 형성하기 때문에 범용 플라스틱은 물론, 일반 엔지니어링 플라스틱보다 기계적 강도가 매우 뛰어난 소재이며, 좋은 복원력과 강한 충격에도 안전하여 연속 제막 공정을 통해 얇은 필름 형태로 대량 생산이 가능하여 유연 디스플레이 구현에 적합한 소재라고 할 수 있다. 그러나 폴리이미드는 낮은 파장대의 CTC의 구조적 특성으로 인한 기계적 물성 및 광 특성 간 트레이드 오프 현상(Trad-Off)이 나타나 외부 표면이 노란색을 띄게 되기에 TV나 스마트폰의 디스플레이 활용에 있어서는 치명적인 단점이었다.

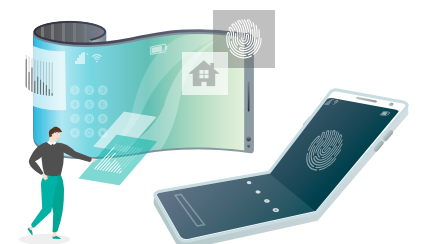
이러한 문제점을 해결하기 위해 CTC로 인해 강력하게 결합되어 있는 폴리이미드 사슬 간 거리에 부피가 큰 탄화 불소를 도입하여 인위적으로 떨어뜨리는 방식으로 광 특성을 확보하였다. 그리고 물리적 거리를 제어하는 것과 비례해 기계적 물성이 저하되는 문제를 해결하기 위해 폴리이미드 사슬 간 수소 결합 및 금속 이온 결합 확률을 높이는 방식으로 CTC의 상호 작용력을 증폭시킴으로써 트레이드 오프 현상을 극복할 수 있었다. 그 결과, 8GPa 이상의 탄성 계수와 88% 이상의 전체 투과율 그리고 황색 지수 3 이하의 라는 우수한 특성을 확보하였을 뿐만 아니라 20만회 이상의 폴딩/언폴딩 후에도 깨짐이나 갈라짐, 주름도 전혀 발생하지 않는 유연성 및 굴곡 신뢰성을 가진 광학필름 제조에 성공하였다.



탄화불소 첨가로
물리적 간격 확보



고강도 투명 유연 광학 필름



이렇게 개발한 폴리이미드 필름과 지금까지 보고된 다양한 광학 필름들의 탄성 계수, 전체 투과율, 황색 지수와 같은 물성 및 특성에 대해 종합적으로 비교하였을 때 세계 최고 수준의 기계적 물성과 광 특성을 동시에 가진 "고강도 투명 유연 광학 필름"임을 확인할 수 있었다. 이런 연구 결과들로 2022년에 국제 저널인 'Advanced Functional Materials(2022, 32, 2111040)'에 고강도 투명 유연 광학 필름 논문을 게재할 수 있었으며, 연구의 우수성을 인정받아 저널 커버로 선정될 수 있었다.

그 후 지속적인 연구를 진행하여 10GPa 이상의 탄성 계수와 88% 이상의 투과율, 황색 지수 3 이하라는 우수한 기계적 강도와 광 특성을 동시에 가지게 되었으며, 기존보다 가혹 조건 하에서 30만회 이상 폴딩-언폴딩을 견딜 수 있는 우수한 굴곡 신뢰성까지 가진 "고강도 투명 유연 광학 필름"을 개발하여 이에 대한 논문을 준비하고 있다. 다만, 불소계 폴리이미드를 제조하는데 필요한 핵심 화학 물질인 단량체가 여전히 높은 대외 의존도를 보이고 있는 실정하기에 진정한 폴리이미드의 내재화 및 국산화를 이루기 위해서는 제조에 필요한 핵심 화학 물질의 내재화 및 국산화도 동시에 달성되어야 한다고 생각한다. 그리고 아직은 유리 고유의 우수한 광 특성 및 심미성에 비교했을 때 100% 만족하기에 현재 가지고 있는 물성과 특성을 더욱더 향상시킬 필요가 있으며, 개선을 통해 더 많은 소비자들을 만족시키고자 한다.

이미 실생활에서 볼 수 있는 폴더블 형태의 디스플레이가 적용된 태블릿이나 노트북, TV 등 중대형 전자 기기 개발에 적용되어 있으며, 일부 제품들은 상용화되고 있다. 본 연구를 통해 개발한 고강도 투명 유연 광학 필름은 넓은 면적으로 쉽게 대량 생산을 할 수 있다는 큰 장점을 가지는 소재로 조만간 다양한 중대형 유연 디스플레이에 활용될 수 있을 것으로 기대하며, 더 나아가 고강도 투명 유연 광학 필름을 비롯한 성공적인 차세대 유연 디스플레이를 제조하기 위해서는 핵심소재와 공정 기술들도 함께 개발되어야 한다고 생각한다.