

과제명: Micro-LED 기반 메타 디스플레이 기술 개발

2021년 10월 5일

과제책임자: 김재현
(jaehkim@kimm.re.kr)

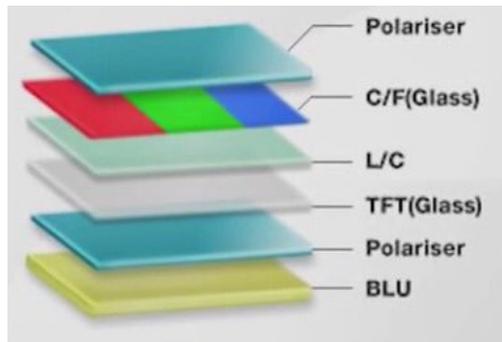
Department of Nano-Mechanics
Korea Institute of Machinery & Materials

목 차

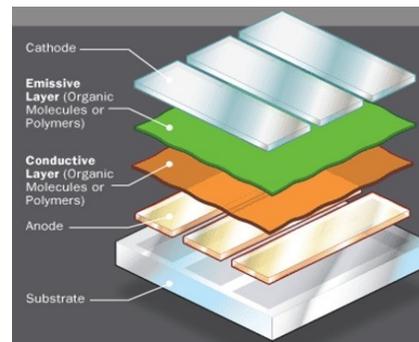
- Micro-LED 디스플레이 개요
- 메타 디스플레이 기술 개발 배경
- 메타 디스플레이 기술 소개
- 메타 디스플레이 제품화 방안
- 지적재산권 현황
- 기술 실용화 방안

Micro-LED 디스플레이 개요

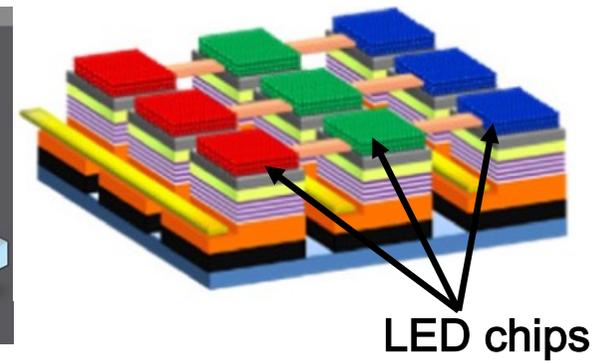
LCD



OLED Display



Micro-LED Display



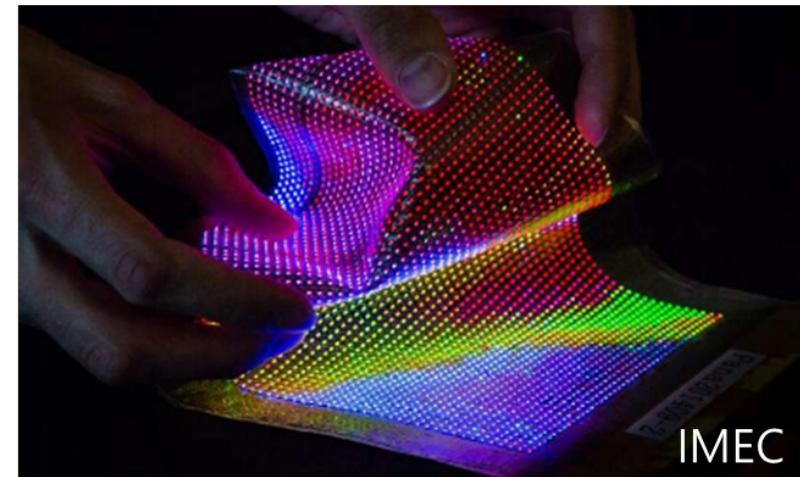
Flexibility	very low	high (but, needs barrier)	high
Transparency	~20 %	~40%	80% or more
Reliability	medium	low	high
Brightness	medium	medium	high
Manufacturing Cost	low	medium	expensive
Maturity	high	medium	low

메타 디스플레이 기술 개발 배경

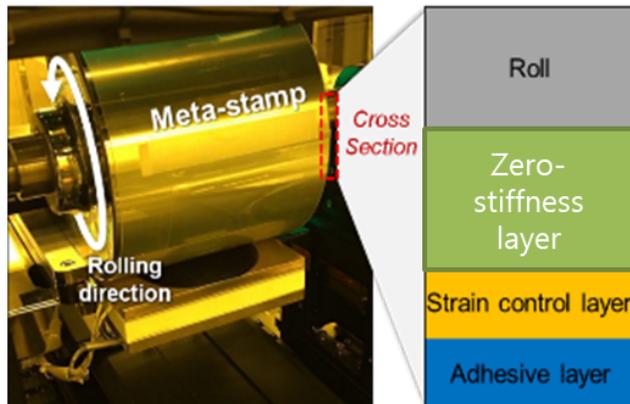
Flat & Rigid Display



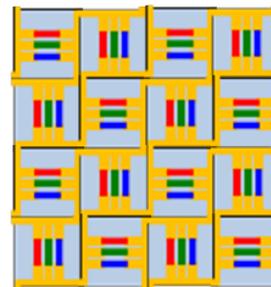
Curved & Deformable Display



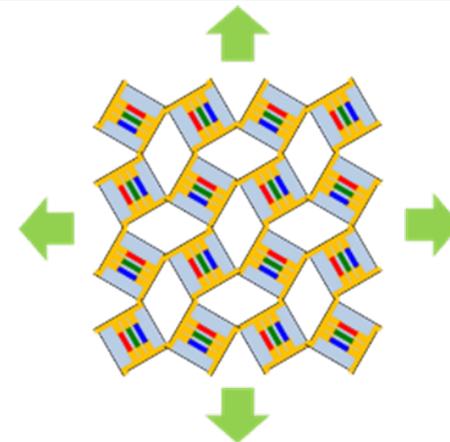
Micro-LED 전사용 메타구조체



Kirigami 메타회로

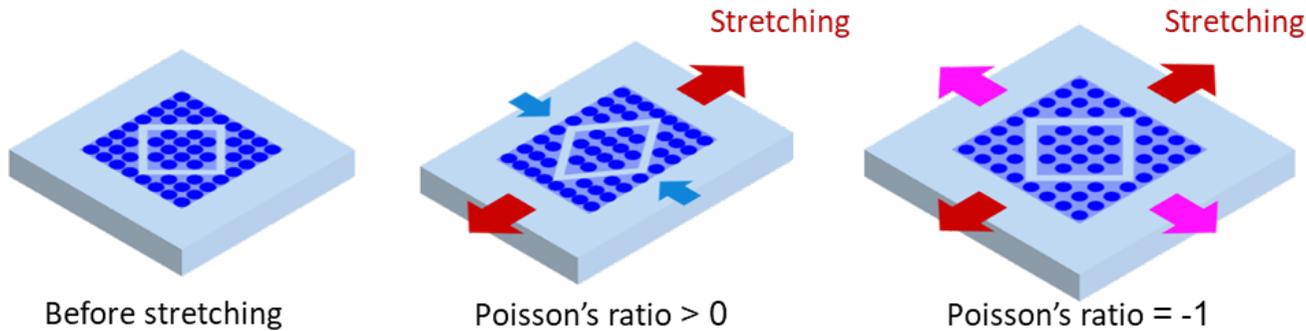


메타 디스플레이

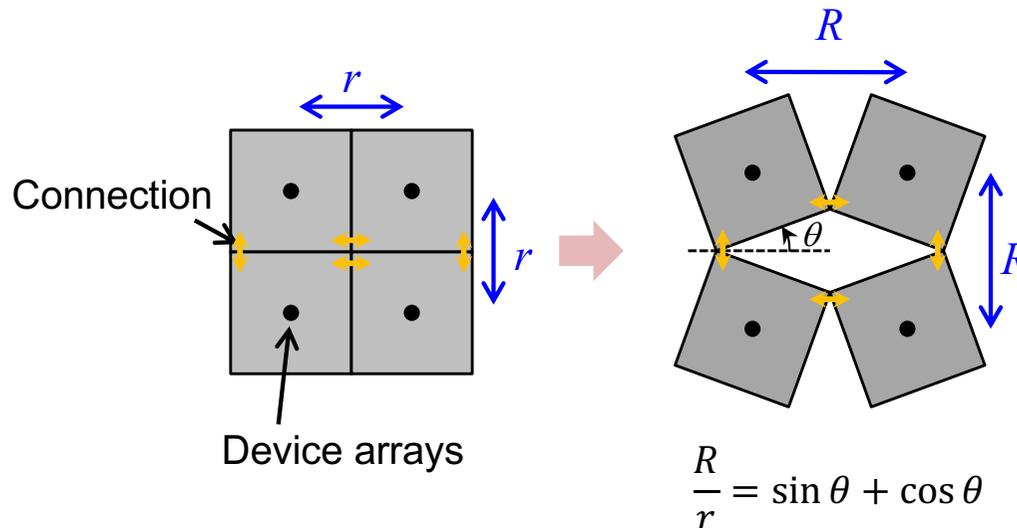


영상 왜곡 없는 신축 메타 디스플레이(개념)

- 이미지가 왜곡되지 않는 신축성 디스플레이

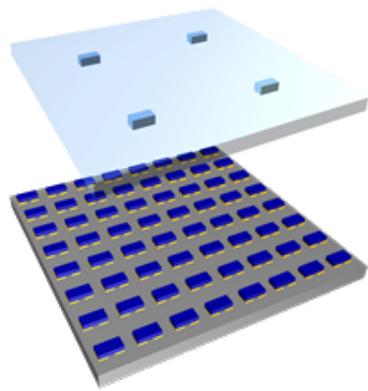


- 포와송비가 -1인 Auxetic 메타 물질을 이용하여 구현

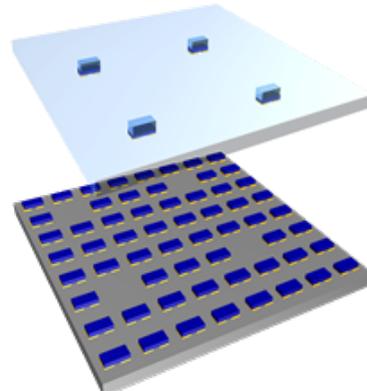


Micro-LED 메타 디스플레이 제조 과정

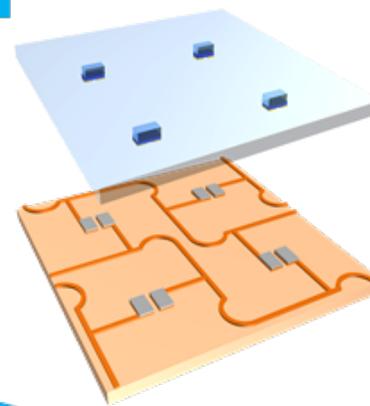
Bumped polymeric stamp



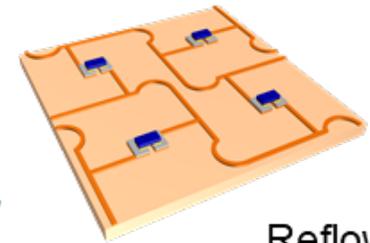
Micro-LEDs on donor substrate



Selective picking with bumped stamp



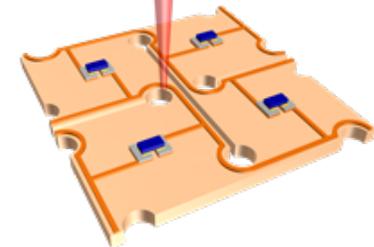
Transfer of micro-LEDs



Reflow



UV laser



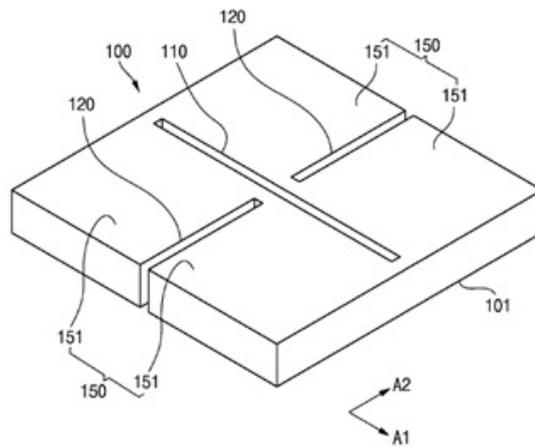
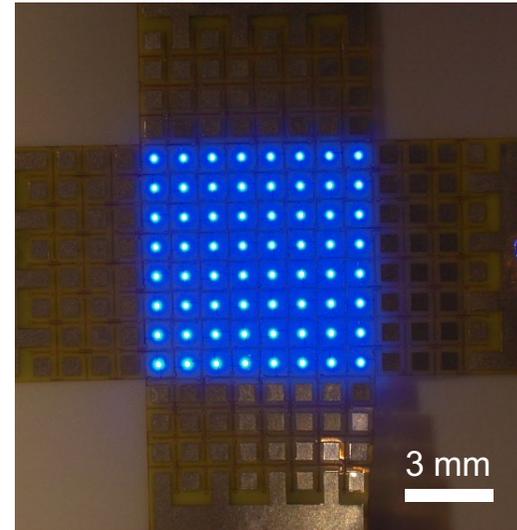
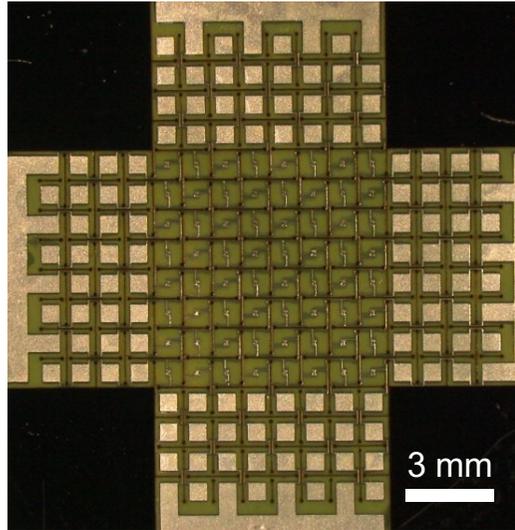
Substrate cutting

(Kirigami meta structure)

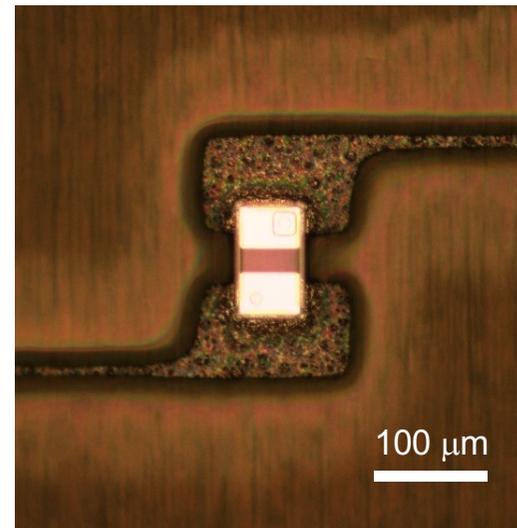
Electrical circuits on polymer substrate
Deposition of interconnection materials

(일반적인 기판 물질 사용)

Micro-LED 메타 디스플레이 주요 요소

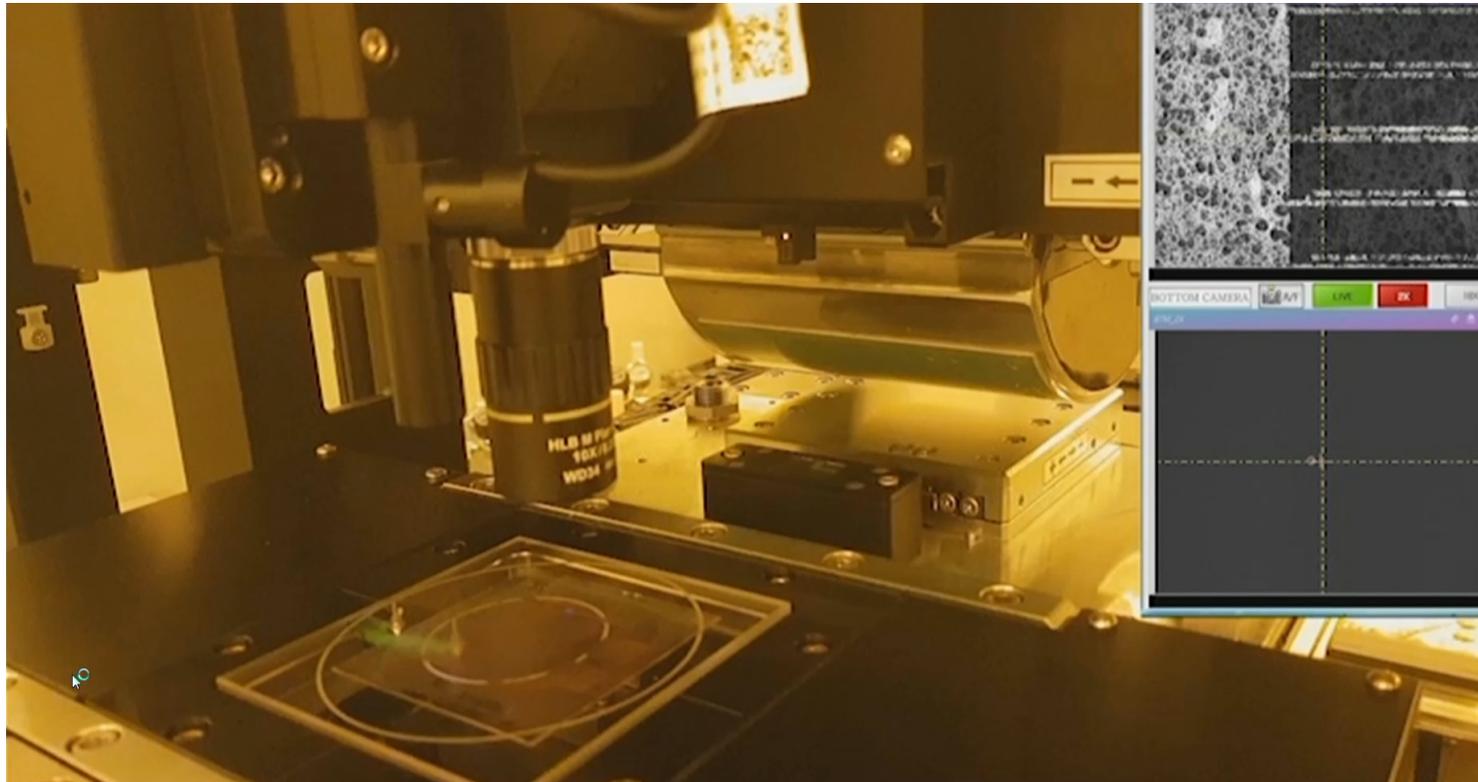


FPCB 회로 기판 제작



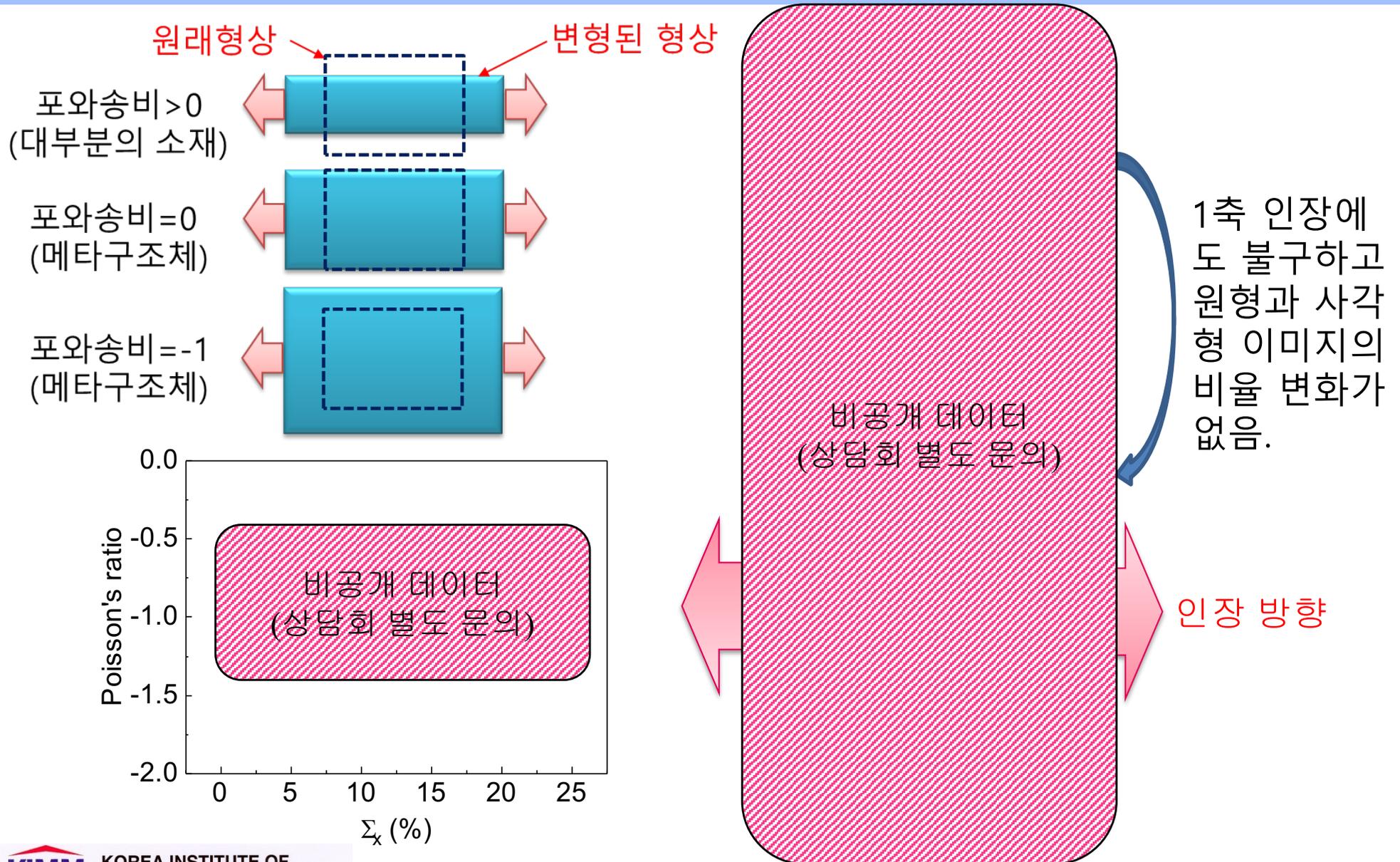
Micro-LED chip

Micro-LED 전사 공정의 실제 동영상

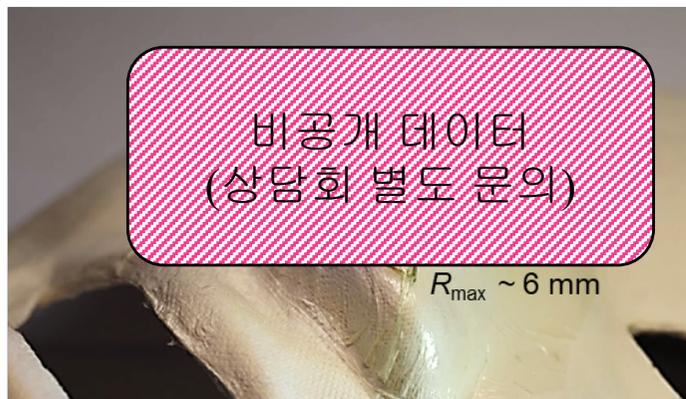
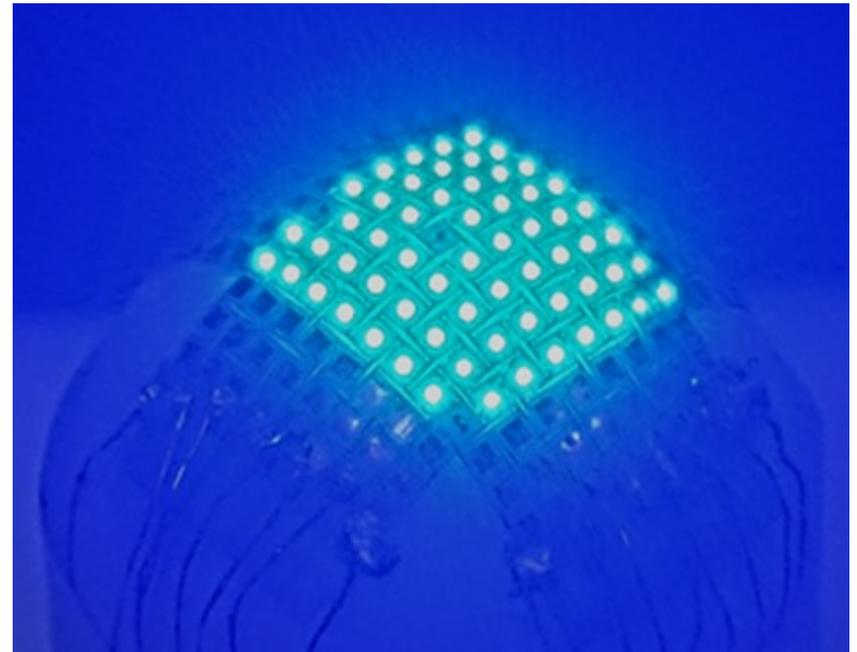
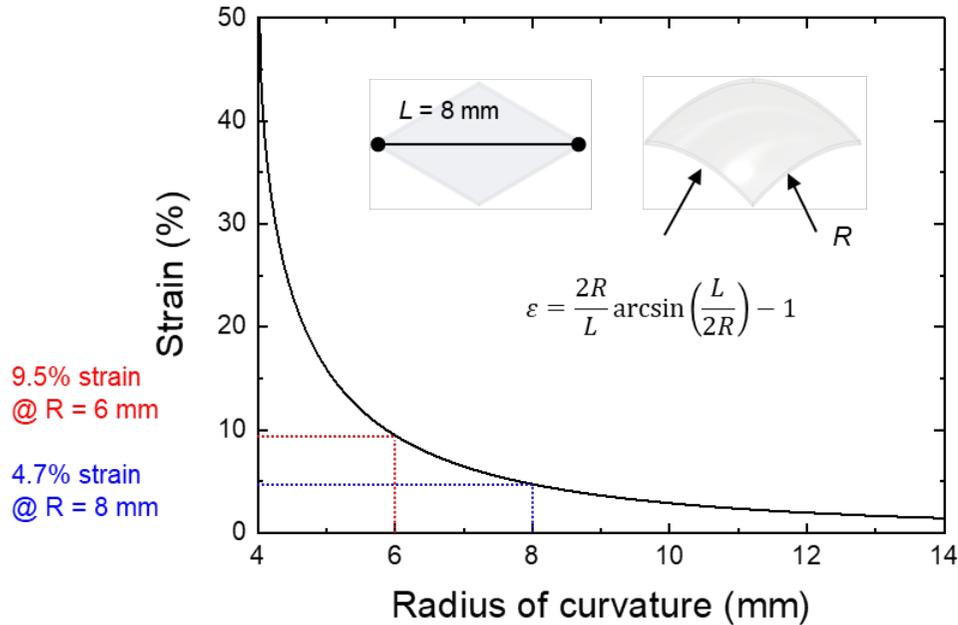


Automatic transfer machine for micro-LED
(transfer speed 0.06 m/min, 3x playing,
calibrated alignment)

이미지 왜곡 없는 신축 메타디스플레이

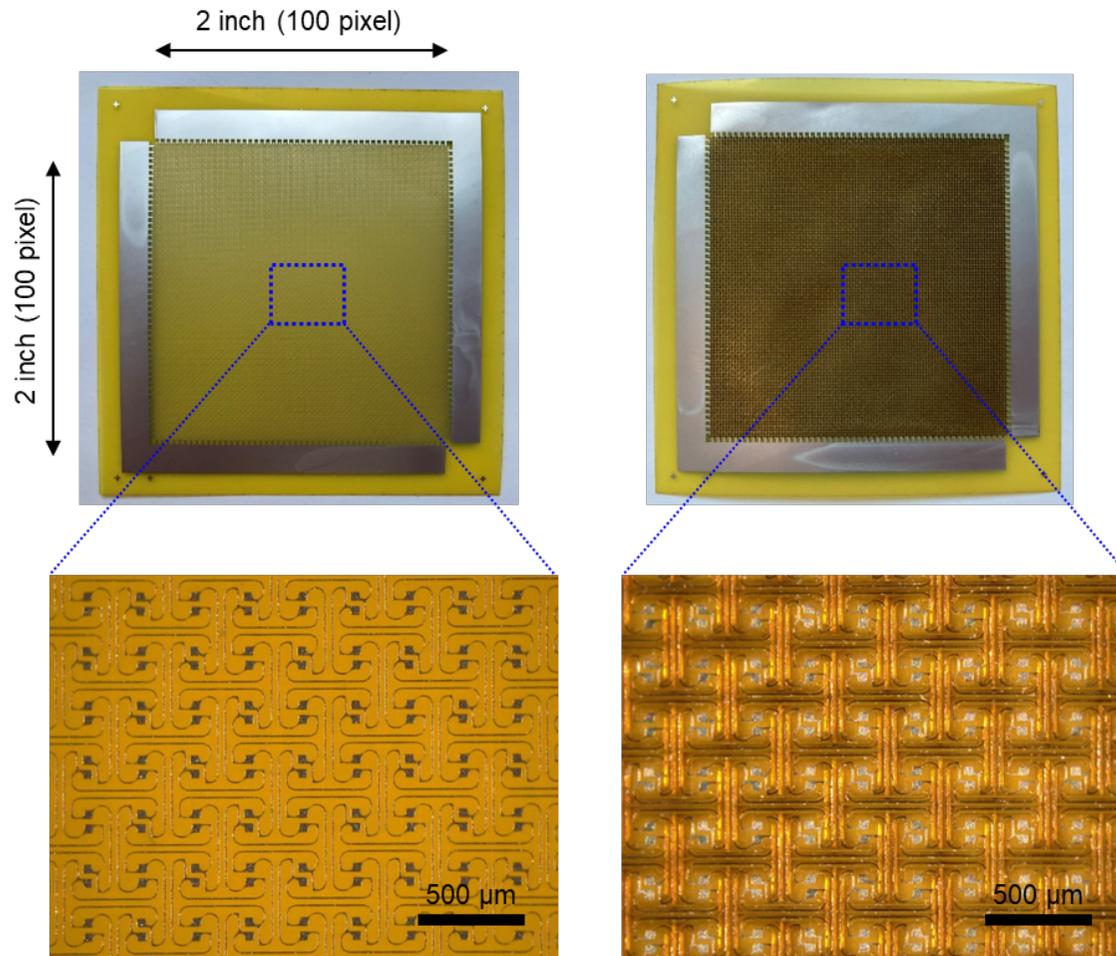


곡면에 부착 가능한 Wearable 디스플레이



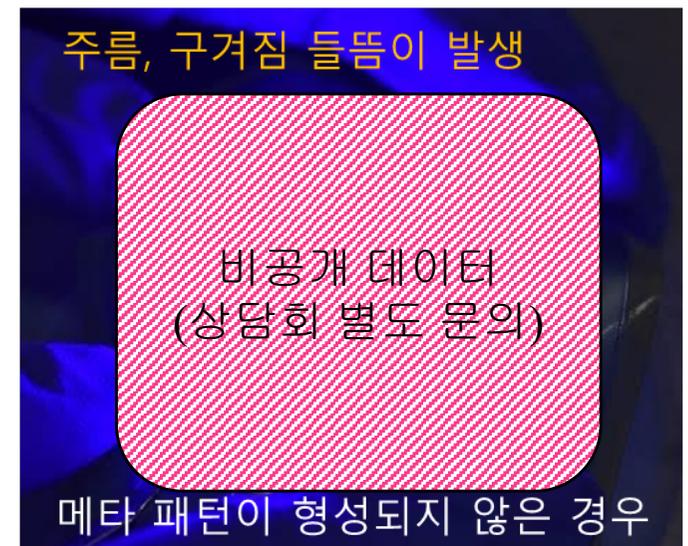
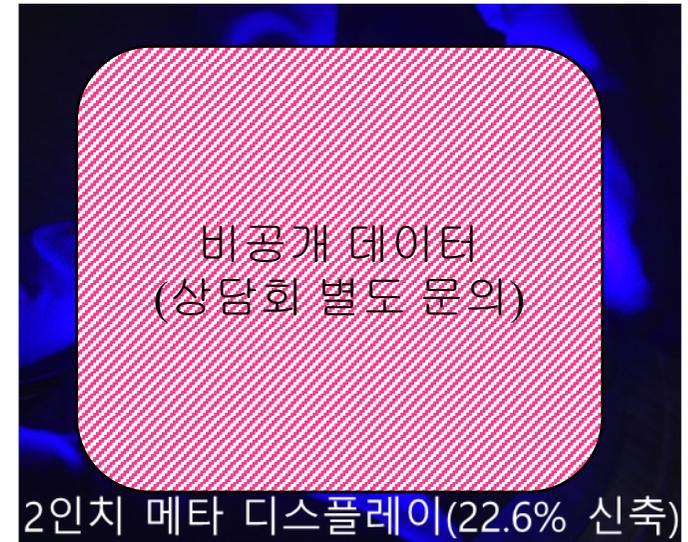
곡률 반경 10 mm인 곡면에 부착된
메타 디스플레이

2인치급 메타 디스플레이 구현



일반 디스플레이 기판

메타 디스플레이 기판



메타 디스플레이 기술 실용화 방안

메가 트렌드: 시장 및 산업 동향

- 4차 산업 혁명 → **자율화 로봇/자동차**, 인공지능의 보편적 활용, 빅데이터 산출 및 활용 확대
- 포스트 코로나 → **비대면 업무 확대**, 상시 안전 모니터링, **개인 맞춤형 건강 진단/관리/보호**, 개인용 바이러스 대응 장치

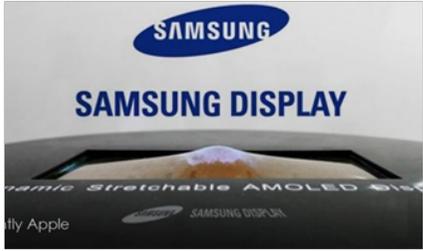
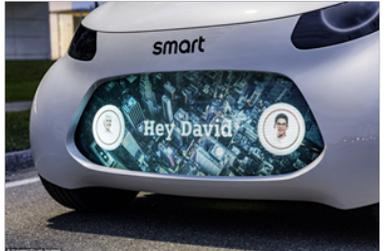
사용자 맞춤형 메타 디스플레이 실용화

- 요구특성을 지닌 메타 구조체 설계
- 메타구조체와 연계된 회로 설계



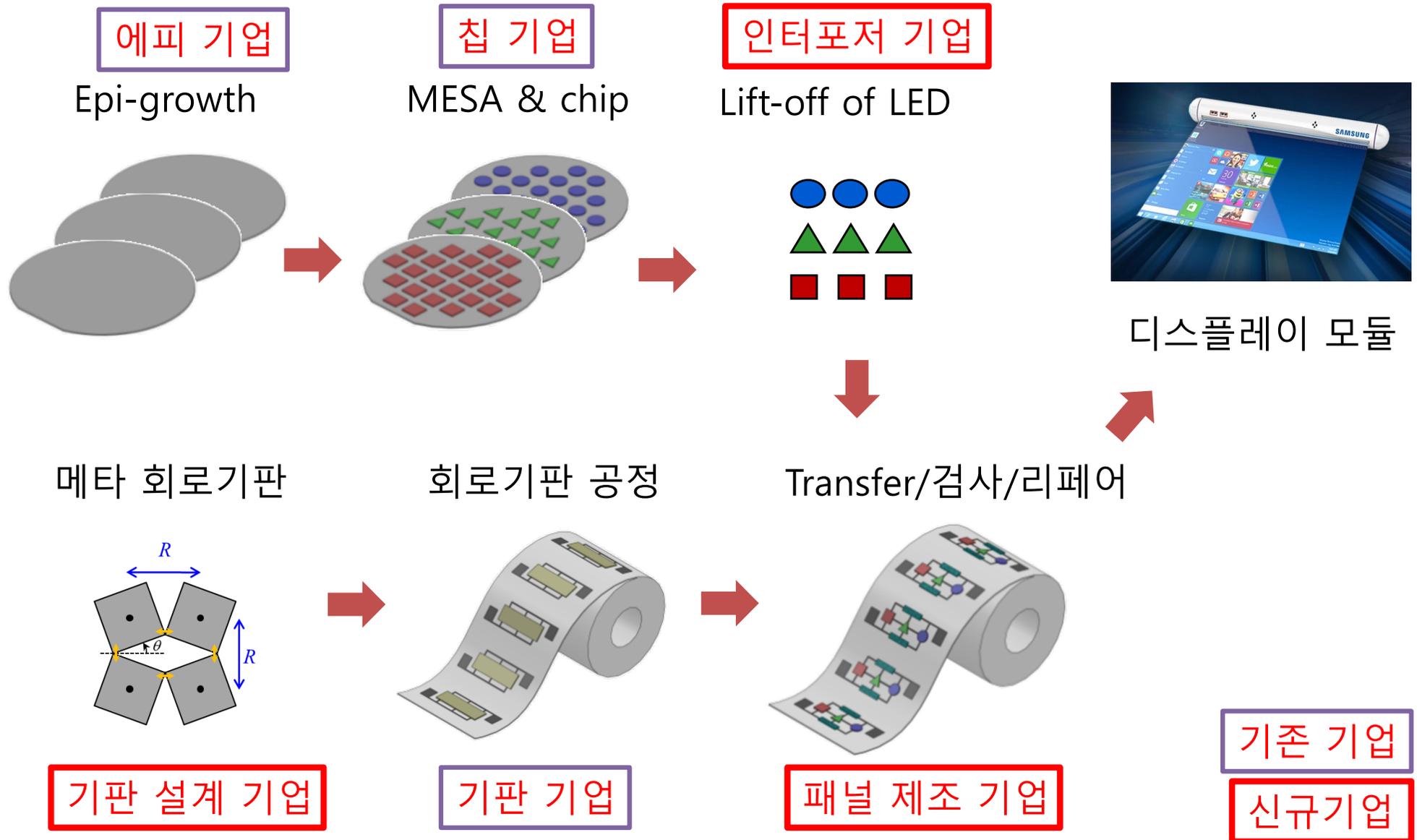
사용자 맞춤형 디스플레이 (다품종 소량 생산 디스플레이)

사용자 맞춤형 메타 디스플레이 종류

	① Rollable display	② Foldable display	③ Stretchable display	④ Curved display
				
특징	화면 크기: 0~100%	화면크기: $100/(n+1) \sim 100\%(n: \text{접힘 횟수})$	화면 크기: 100~140%	비정형 폼팩터 화면
응용	자동차 내부 콘솔박스에서 감겼다가 나오는 디스플레이	휴대성 높은 산업용 스마트패드	건강 진단 및 모니터링용 인체 착용 디스플레이, 구면 디스플레이	자율주행차용 외부 디스플레이
해결	비등방성 굽힘 강성을 지닌 메타 디스플레이	포와송비가 Zero인 메타 디스플레이	포와송비가 -1인 메타 디스플레이	자동차 모델별로 디스플레이 최적 설계
시장	1.2 억불(2026년)	1.1 억불(2026년)	1.05 억불(2026년)	1.2 억불(2026년)

Ref: Display market, Markets and Markets (2021)

제조공정 단계별 Supply chain 구성





- **LED 에피 기업:** 서울바이오시스, 대만 에피스타, 중국 사난광전/화천/changelight
- **칩 기업:** 서울바이오시스, SL 바이오닉스, 대만 Playnitride
- **칩 인터포저 기업:** 엘씨스퀘어, 대만 Playnitride
- **기판 기업:** 삼성전기, 대덕전자, 영풍전자, 인터플렉스
- **구동보드 기업:** 한솔테크닉스
- **장비기업:** YTS(전사, 리페어), 참엔지니어링(리페어), 한미반도체(본딩), 에타맥스(검사), QMC(LLO), 비아트론(LLO), 덕인(LLO), 코윈(리페어) 등
- **패널 제조 기업:** 삼성전자, SDC, LGD, YTS Micro-tech
- **응용제품기업:** 자율주행차 업체, 디지털 광고판 업체, 자동차전장 부품 업체, KCC글라스

Micro-LED 기반 메타 디스플레이 분야 지적재산권 보유현황

- 레이저 박리 및 칩 배열 특허: KR 9건
- Micro-LED 전사용 소재/필름 특허: KR 7건, US 2건, JP 1건
- Micro-LED 전사 공정 특허: KR 14건, 대만 2건, US 6건, CN 4건, JP 1건
- Micro-LED 전사 장비 특허: KR 20건, US 2건, CN 1건
- Micro-LED 리페어 특허: KR 3건
- 메타회로 기판 특허: KR 3건
- 메타 디스플레이 응용 특허: KR 3건

국내 특허 49건

국외 특허 19건

메타 디스플레이 기술 실용화 방안

- 기술이전 (통상/전용 가능)
- 조인트 벤처 설립 (연구소기업)
- 사업화 아이템에 대한 기술 개발 프로젝트(기업 수탁 과제)
- 정부 R&D 사업 공동 수행(정부 수탁 과제)

- 비즈니스 모델
 - 롤러블 메타 디스플레이 제품화
 - 폴더블 메타 디스플레이 제품화
 - 웨어러블 메타 디스플레이 제품화
 - 투명 메타 디스플레이 제품화

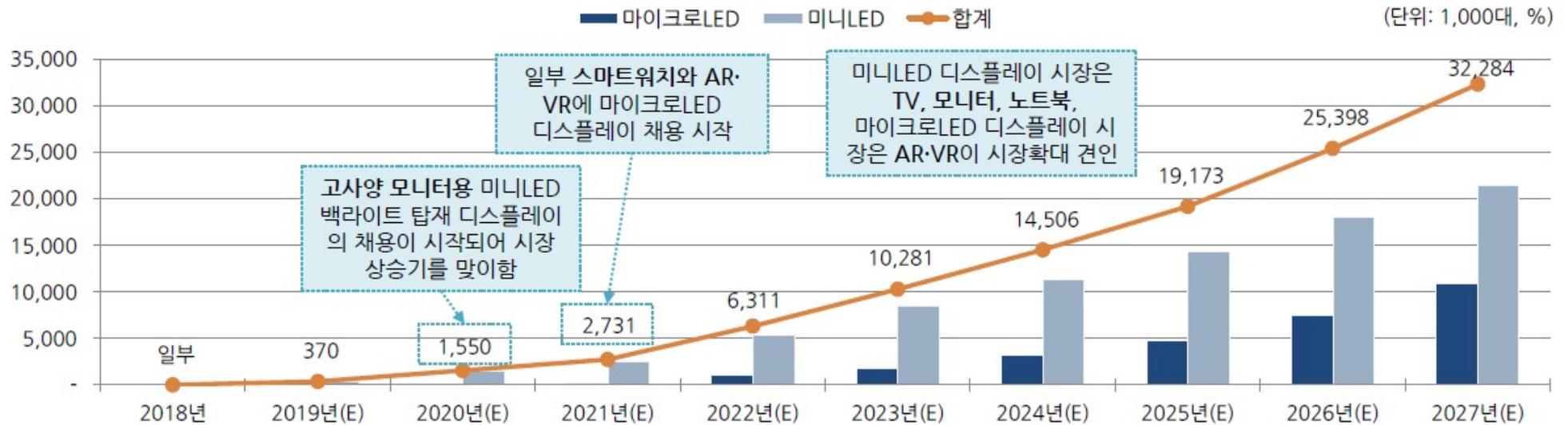
Thank you for your attention.



Micro-LED 디스플레이 시장 전망

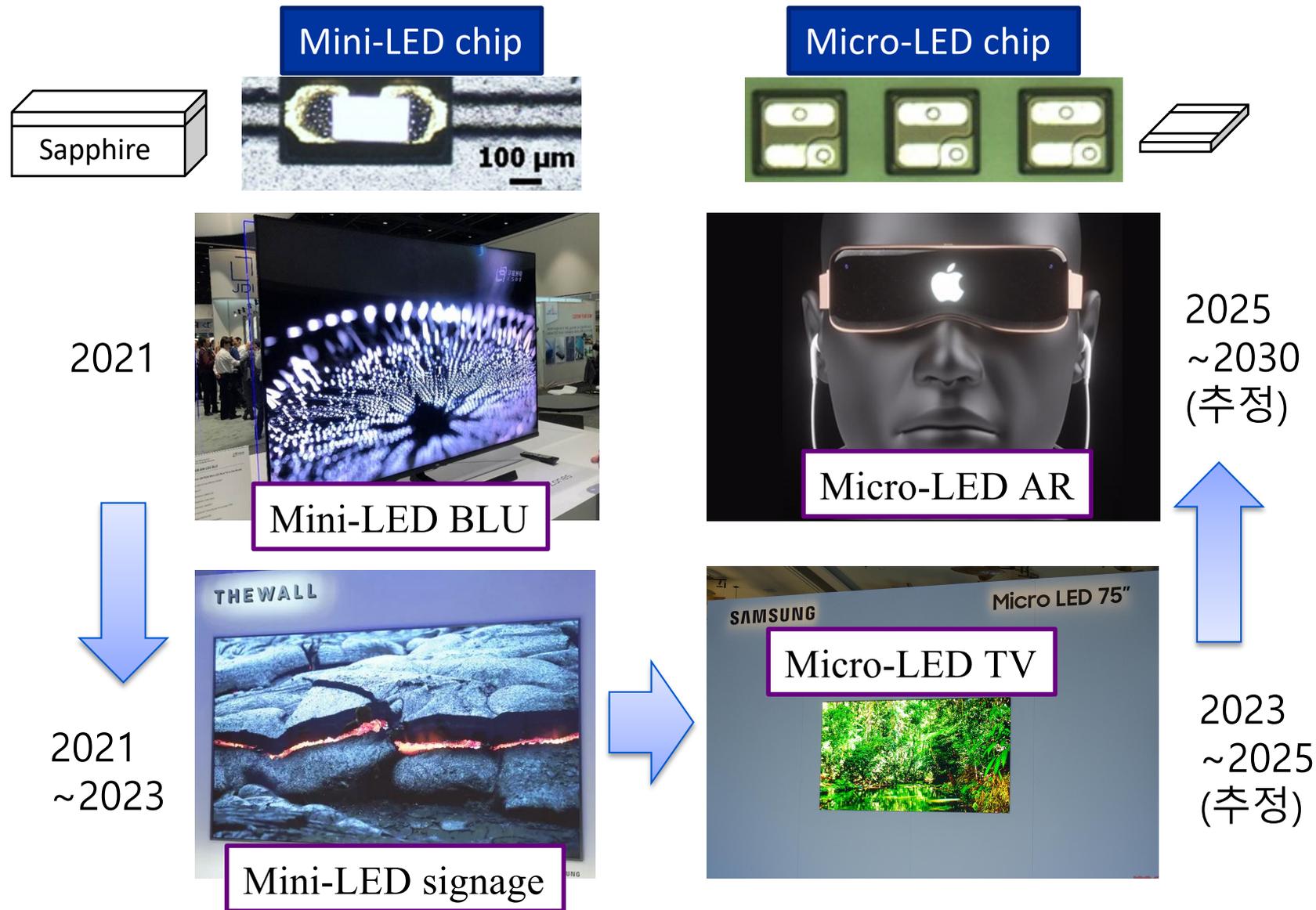


Ref: 야노경제연구소(2019)

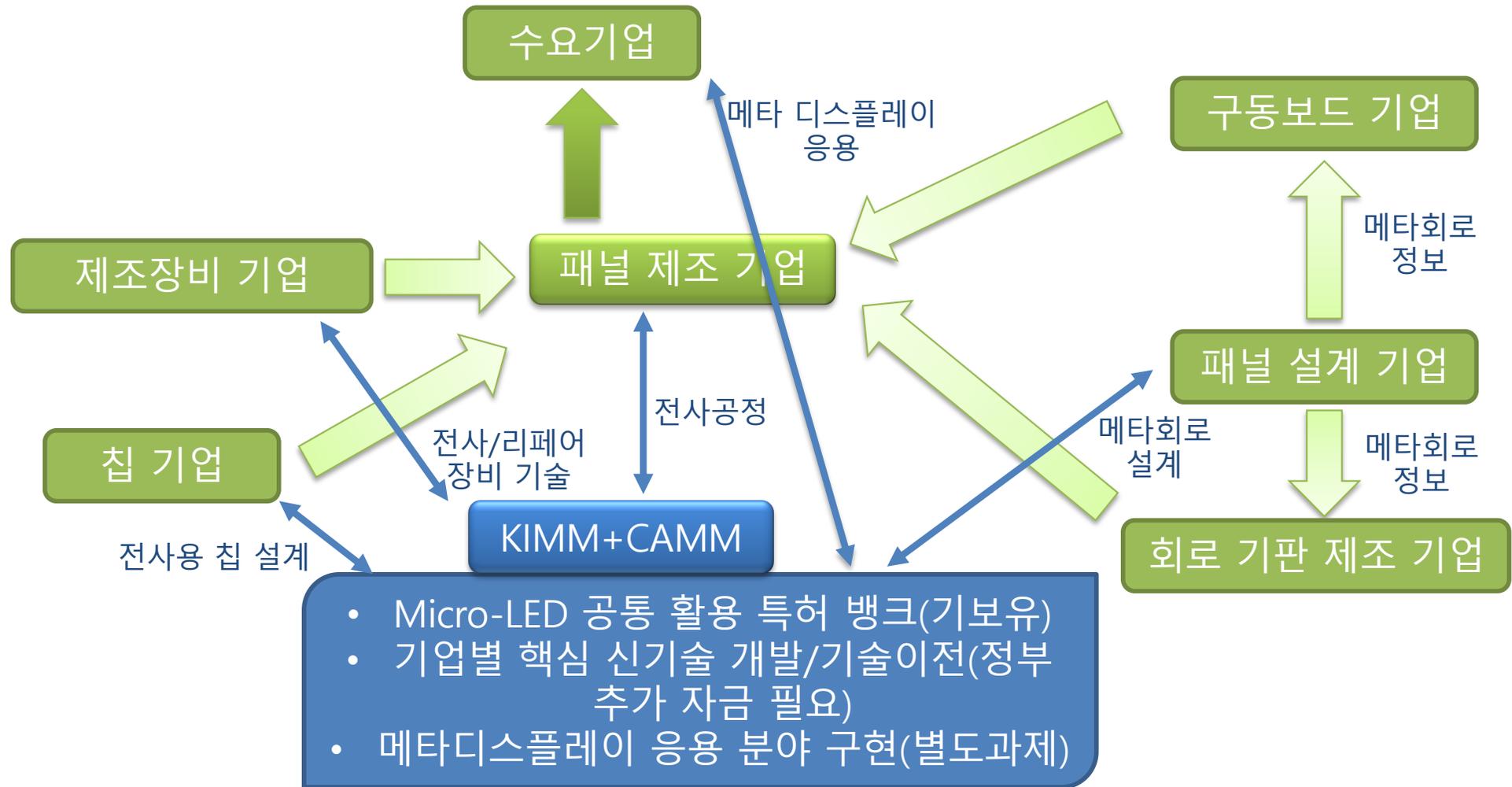


- Mini-LED는 2018년부터 초도 제품이 출시. 지속적인 성장 예상.
- 코로나로 위 그래프보다 1년 정도 지연될 것으로 보임.
- Micro-LED 제품으로 스마트워치와 **AR 응용**을 언급하지만, 적어도 3년 많게는 5년 이상 걸릴 것으로 예상.
- Micro-LED는 **스마트폰에는 적절하지 않을 것으로 판단.**
- **대형 디스플레이용** Mini-LED와 Micro-LED 제품에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상. (대부분의 디스플레이 기업이 컨셉 제품 제시함)

Micro-LED 응용 제품 시장 전망

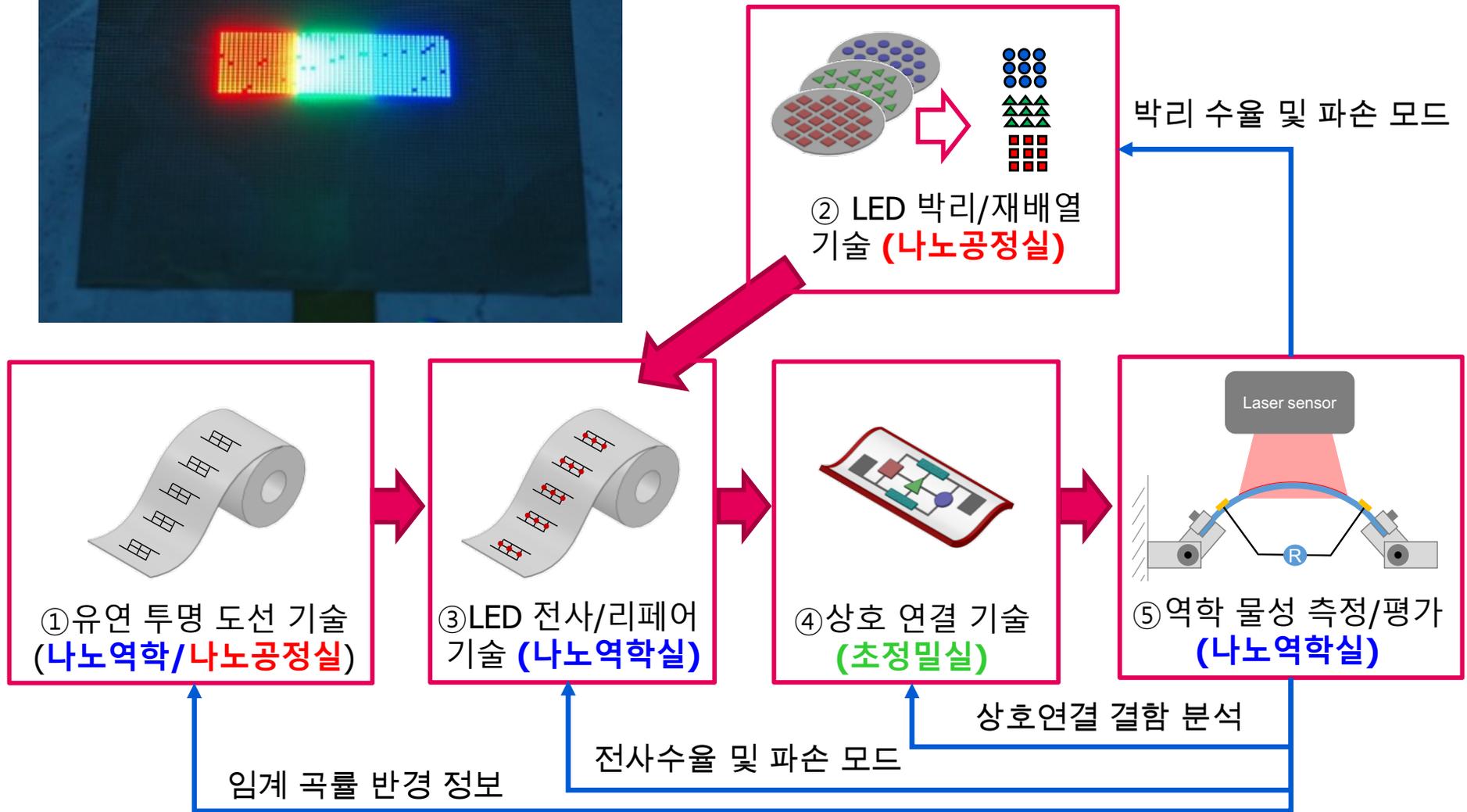
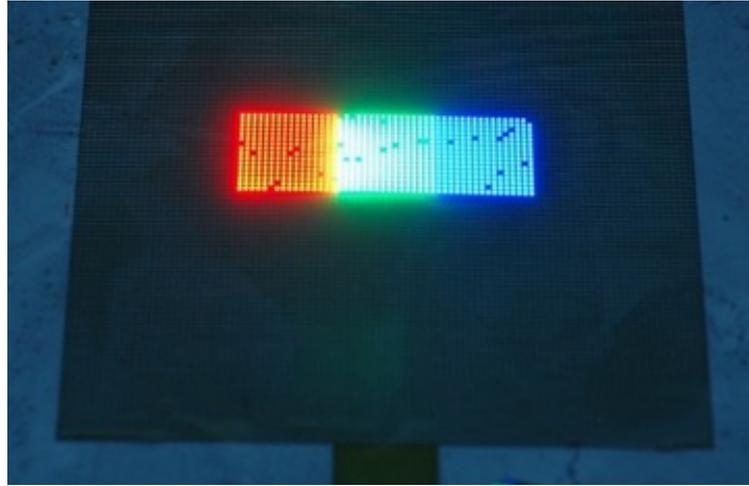


상용화 전략: 디스플레이 컨소시엄 구축



- 대기업이 진입하기 어려운 다품종 소량 생산 디스플레이 대상
- 컨소시엄에 유료 참여하면, 공통 활용 특허에 대한 통상실시권 부여

개발과제 I. Micro-LED 디스플레이 제조장비 개발 (연구비 20억/연, 2018~2024)

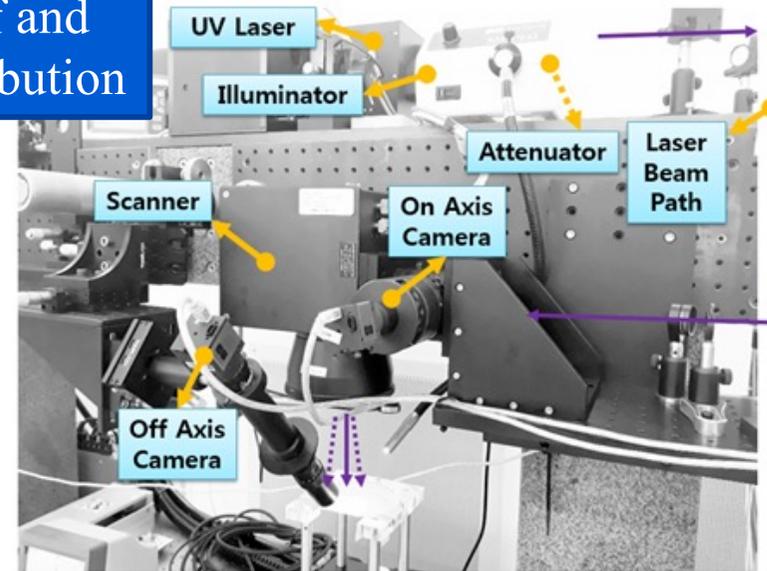


Development of manufacturing machines

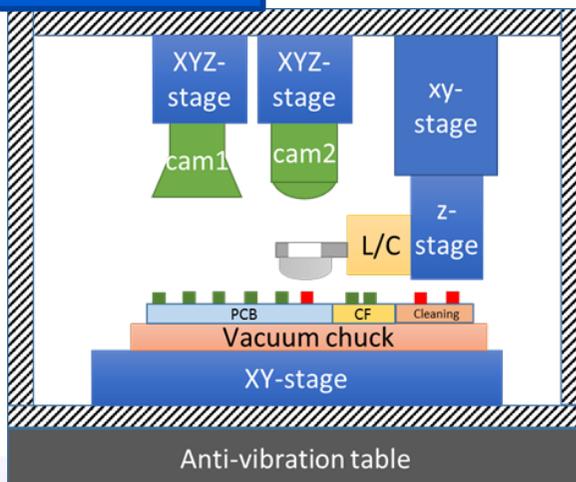
Transfer



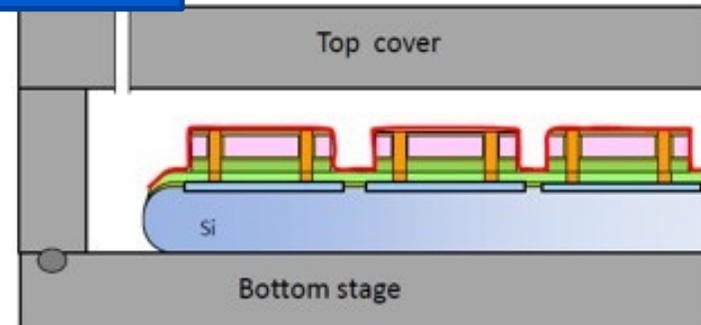
Lift-off and redistribution



Micro-LED rework



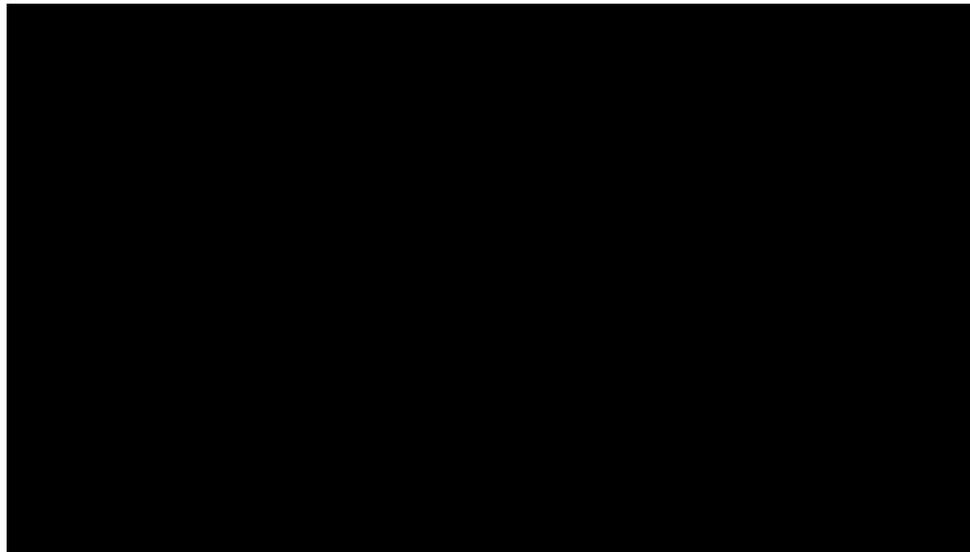
Interconnection



- Permanent bonding
- Chips are not physically touched during bonding
- No chip misalignment during bonding

개발과제 II. 자동차 윈도우용 Micro-LED 디스플레이 (연구비: 10억/연, 2018~2022)

Killer application of Micro-LED



Window displays for automobile

Requirement for car window display

- Transparency: 70%
- Brightness: 2,000 nit
- Resistance to heat, humidity and UV
- Biaxial curvature

- Transparent display → **LCD not suitable!!**
- Endurable under UV and high humidity and temperature → **OLED not suitable!!**
- Mechanically reliable/biaxial curvature
- Light-weighted and energy efficient

Micro-LED Display !!

“Market for car window display of 2022: 21 Billion dollars (IHS, 2017)”

자동차 윈도우 디스플레이 응용분야



KS L 2007, JIS R 3211/3212, ANSI Z 26.1, ECE R 43 01

Some available transfer technologies (1/2)

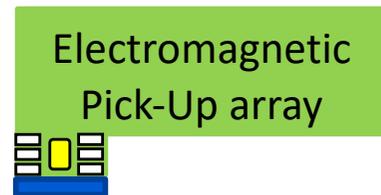
Electrostatic adhesion



Target substrate

- Adhesion control by electrostatic force
- Selective transfer
- Reliability issue in pick-up array
- Difficulty in large area

Electromagnetic adhesion



Target substrate

- Adhesion control by electromagnetic force
- Selective transfer
- Magnetic layer
- Difficulty in large area and small LEDs

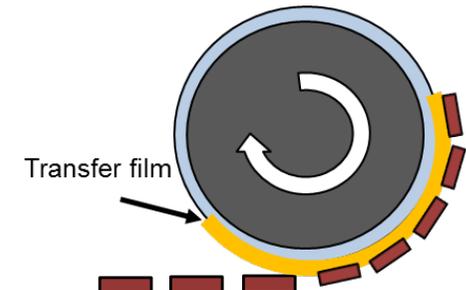
Rate dependent adhesion



Target substrate

- Adhesion control by van der Waals force
- Selective transfer
- Reliability issue in pick-up array
- Interconnection issue

Pressure dependent adhesion (KIMM)

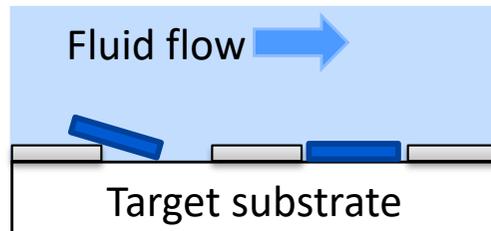


Target substrate

- Adhesion control by mechanical deformation
- Selective transfer
- Disposable transfer film
- Simultaneous transfer and interconnection

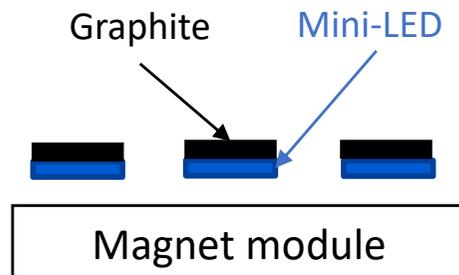
Some available transfer technologies (2/2)

Fluidic self-assembly



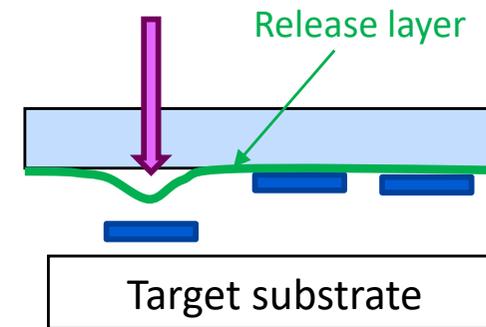
- Fluidic drag force
- Fast and cost-effective assembly
- Binning & sorting
- Special geometry of mini-LED

Magnetic assembly



- Diamagnetic levitation force
- Fast and cost-effective arrangement of LED
- Binning & sorting
- Special geometry for mini-LED

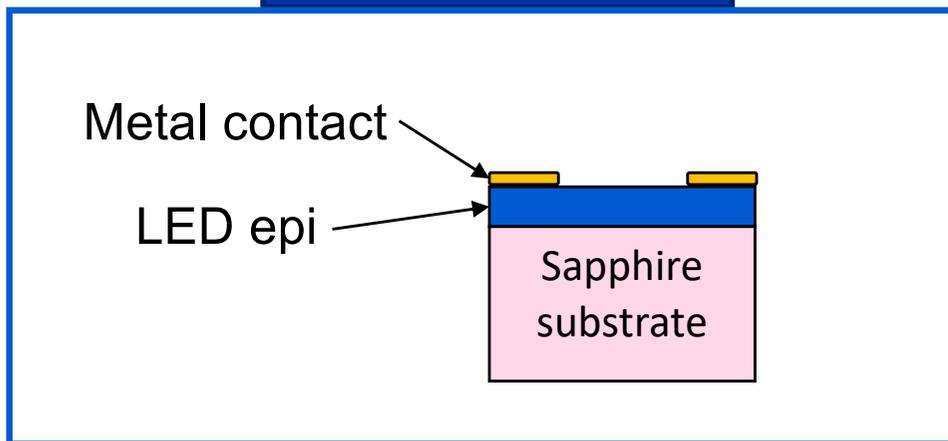
Laser assisted arrangement



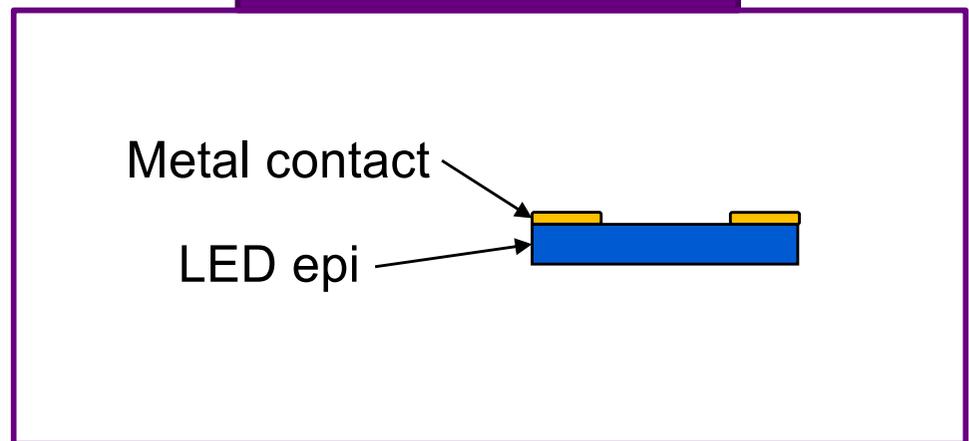
- Mechanical deformation by laser
- Selective transfer
- High throughput using multi-beam
- Pressing and heating for interconnection

Comparison between mini- and micro-LED

Mini-LED structure

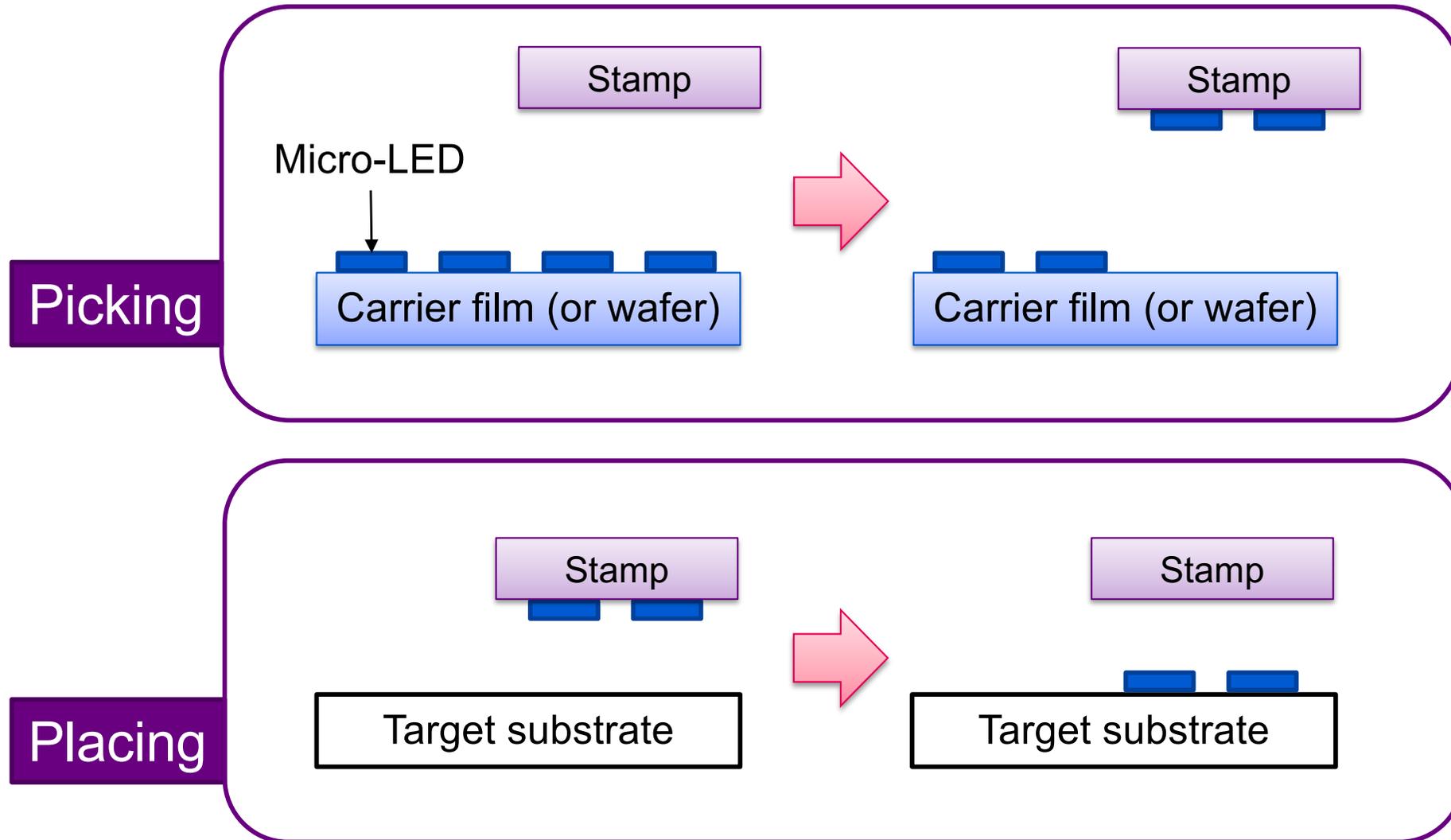


Micro-LED structure



Thickness	Thick (about 100 μm)	Less than 10 μm
Bending stiffness	Large	1000 times less
Lateral size	Larger than 100 μm	Down to a few μm
Repair	Easy, but slow	Difficult
Interconnection	Solder paste printing	Thin film deposition

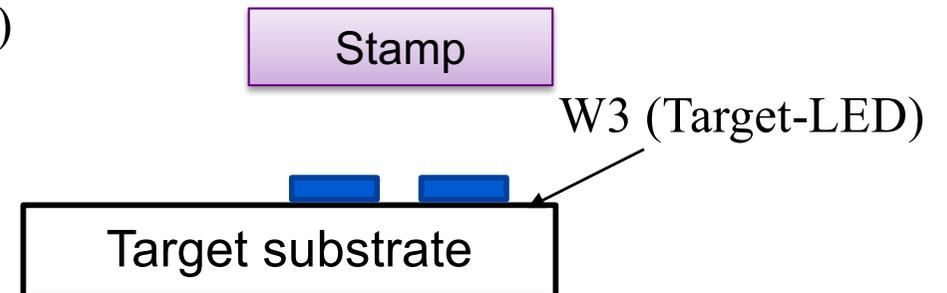
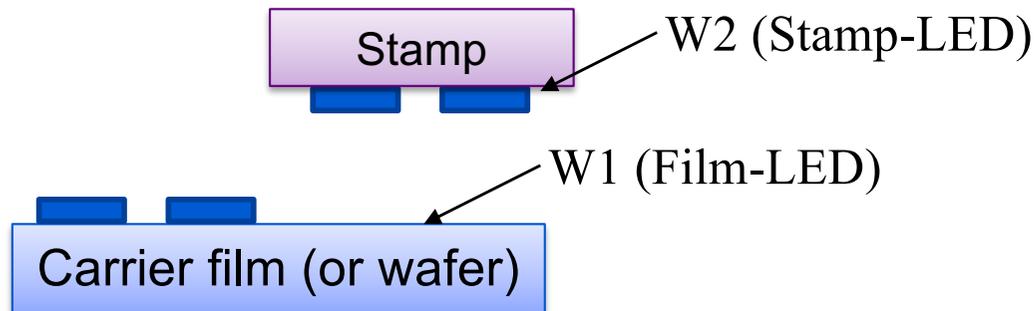
What is the transfer process?



Competition in adhesion

Picking process : $W2 \gg W1$

Placing process : $W3 \gg W2$



- Easy transfer : $W1 \ll W2 \ll W3$
- Difficult transfer : $W3 \ll W1 \rightarrow W2$ should be controllable

How to control the adhesion?

기술이전 문의

- 담당자 : 두호특허법인 기술사업화본부 정다복 팀장
- Tel : 042-4333- 8685
- E-mail : dbjeong@doohopat.co.kr