

# 디스플레이의 새로운 도전, 마이크로 디스플레이의 현황과 기회

박영준

본 보고서는 ETRI ICT전략연구소 기본사업인  
“국가 지능화 기술정책 및 표준화 연구”를 통해 작성된 결과물입니다



본 보고서의 내용은 연구자의 견해이며 ETRI의 공식 의견이 아님을 알려드립니다.

본 보고서의 시장 자료는 출판사의 사용 허가를 받아 사용되었습니다. 재사용을 원하시면 출판사에 문의하시기 바랍니다.

# 목 차 C O N T E N T S

Executive Summary .....	i
<b>I. 연구 배경과 내용 .....</b>	<b>1</b>
1. 배경 및 필요성 .....	1
2. 연구 내용 .....	3
<b>II. 마이크로 디스플레이 개요 .....</b>	<b>4</b>
1. 마이크로 디스플레이 개념 및 특징 .....	4
2. 마이크로 디스플레이 종류 .....	5
<b>III. 주요 마이크로 디스플레이 현황 .....</b>	<b>7</b>
1. LCoS(Liquid Crystal on Silicon) .....	7
2. OLEDoS(OLED on Silicon) .....	9
3. LEDoS(LED on Silicon) .....	12
<b>IV. 마이크로 디스플레이 시장 및 기업 동향 .....</b>	<b>14</b>
1. 시장 동향 .....	14
2. 기업 동향 .....	16
3. XR 디바이스용 디스플레이 동향 .....	18
<b>V. 마이크로 디스플레이의 기회와 위협 .....</b>	<b>21</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>23</b>





## Executive Summary

### 연구 개요

#### 연구 배경

- 애플의 Vision Pro 출시를(2024년 2월) 계기로 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR) 등의 확장현실(XR)이 다시 부상하고 있으며, 관련 기술 개발을 위한 글로벌 기업들의 움직임이 본격화되고 있음
- XR의 핵심은 초고해상도 화면을 구현해서 사용자 몰입감이 극대화된 콘텐츠를 제공하는 것으로, 마이크로 디스플레이(Microdisplay)를 비롯하여 센서, 반도체, 통신, 소프트웨어 등 다양한 기술이 필요
  - 특히 초고해상도 화면을 구현해서 사용자 몰입감이 극대화된 콘텐츠를 제공하기 위해서는 헤드셋에 이어 안경이나 고글 형태로 사용자 눈앞에 초고해상도 화면을 구현하는 마이크로 디스플레이 기술이 필수임

#### 주요 내용

- 마이크로 디스플레이 개요에서는 마이크로 디스플레이 개념과 특징, 그리고 마이크로 디스플레이 종류에 대해서 살펴봄
- 주요 마이크로 디스플레이 현황에서는 LCoS(LC on Silicon), OLEDoS(OLED on Silicon), LEDoS(LED on Silicon) 등으로 구분되는 각 마이크로 디스플레이 기술에 대해 개념, 특징, 해결 과제 등을 살펴봄
- 마이크로 디스플레이 시장 및 기업 동향에서는 마이크로 디스플레이 시장 동향, 주요 기업들의 기술개발 동향, XR용 디스플레이 동향을 살펴봄
- 마지막으로, 마이크로 디스플레이의 기회와 위협을 정리함

### 마이크로 디스플레이 개요

#### 마이크로 디스플레이 개념

- 마이크로 디스플레이는 일반적으로 1인치 내외의 작은 크기에 수천 PPI(Pixels Per Inch) 수준의 높은 픽셀 집적도를 갖춘 초고해상도 디스플레이

- 디스플레이의 크기는 작지만 수십에서 수백 배 확대된 큰 화면을 보여주기 때문에 가상현실(VR)·증강현실(AR)·혼합현실(MR)을 구현하는 핵심 기술

### ○ 마이크로 디스플레이 특징

- 마이크로 디스플레이는 빠른 응답속도를 위해 기존의 유리 또는 폴리이미드 기판 대신에 반도체 원재료인 실리콘 웨이퍼 기판을 사용
  - 일반적인 디스플레이 패널은 유리 또는 폴리이미드 기판을 사용하며, 기판 특성상 40~300 $\mu\text{m}$  크기 정도의 화소를 구현
  - 마이크로 디스플레이는 반도체에서 사용되는 웨이퍼를 활용함으로써 미세한 패턴 공정이 가능해 화소 크기를 10분의 1 수준인 4~20 $\mu\text{m}$ 로 줄일 수 있음
  - 반도체 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 백플레인 공정이 사용되며, 따라서 전문적인 파운드리 서비스(Fab Service)가 필요

### ○ 마이크로 디스플레이 종류

- 마이크로 디스플레이는 실리콘 기판위에 적용되는 디스플레이 기술에 따라 LCoS(LC on Silicon), OLEDoS(OLED on Silicon), LEDoS(LED on Silicon) 등으로 구분함
  - LCoS(Liquid Crystal on Silicon)는 실리콘 웨이퍼 기판 위에 LCD를 구성하는 방식으로 외부 광원을 액정 및 반사판에 투사해 구현
  - OLEDoS(OLED on Silicon)는 실리콘 웨이퍼 기판 위에 OLED를 입히는 방식으로, White OLED와 RGB 방식이 있음
  - LEDoS(LED on Silicon)는 실리콘 웨이퍼 기판 위에 100 $\mu\text{m}$  이하의 매우 작은 무기물 소자인 마이크로 LED를 입히는 방식

## 📄 주요 마이크로 디스플레이 현황

### ○ LCoS(Liquid Crystal on Silicon)

- LCoS는 반도체와 LCD 기술을 합친 것으로 실리콘 백플레인 위에 액정층을 이용해 이미지나 영상을 표시하는 반사 마이크로 디스플레이
- LCoS는 높은 광 효율과 밝기, 긴 수명과 내구성, 소형화 및 경량화 가능성 등으로 AR글라스에 적합
- LCoS는 이미 개발된 안정적인 공정장비와 신뢰성과 수명 측면에서 검증된 재료를 사용한 양산화 기술을 갖추고 있음
- LCoS는 높은 해상도와 우수한 색 재현력에도 불구하고 응답 속도, 높은 비용, 광 효율성 등 다양한 이슈들이 해결되어야 함

### ○ OLEDoS(OLED on Silicon)

- OLEDoS는 OLED를 기존의 유리 기판이 아닌 실리콘 기판 위에 증착시켜 유리 기판 대비 큰 화소밀도의 픽셀을 형성할 수 있는 마이크로 디스플레이
- OLEDoS는 자체 발광형이기 때문에 반사형인 LCoS 대비 광학계가 단순하고, 휘도는 낮지만 명암비가 높고 응답속도가 빨라 VR 및 MR 기기에 적합
- OLEDoS는 기술의 발전 속도 및 기업들의 투자 전략을 고려해 볼 때 LEDoS가 본격 출시되기 까지 당분간은 마이크로 디스플레이 시장의 중심이 될 전망
- OLEDoS는 높은 명암비와 우수한 응답 속도에도 불구하고, 밝기(휘도), 수명, 안정적인 대량생산 기술 등 다양한 이슈들이 해결되어야 함

### ○ LEDoS(LED on Silicon)

- LEDoS는 사파이어 웨이퍼에 에피 소재를 성장시켜 100 $\mu\text{m}$ 이하의 마이크로LED 칩을 제조한 뒤, 이 칩을 분리해 실리콘 기판 위에 배치하여 완성
- LEDoS는 XR에 가장 적합한 디스플레이로, 기술 발전에 따라 XR기기용 디스플레이로 사용되고 있는 LCoS와 OLEDoS를 대체해 나갈 것으로 전망
- 휘도 균일성 및 색상 안정성 확보를 위한 마이크로 LED 디스플레이용 TFT 기술 필요
- 크기가 작은 수백만 개 이상의 마이크로 LED 디스플레이 칩들을 웨이퍼에서 디스플레이 기판 위로 옮겨 심는 전사(transfer) 공정은 막대한 시간과 비용이 수반됨

## ④ 마이크로 디스플레이 시장 및 기업 동향

### ○ 시장 동향

- 마이크로 디스플레이 출하량은 2021년 170만 개에서 2030년 4,370만개로 증가하며, OLEDoS가 주류시장을 형성하고 있으나, 2029년부터 LEDoS가 주류로 성장할 전망
- 마이크로 디스플레이 세계 시장 규모는 2023년 11억 달러에서 연평균 23.7%의 높은 성장을 통해 2028년 32억 달러의 시장 규모를 형성할 것으로 전망
- 마이크로 디스플레이의 가장 큰 시장인 XR기기용 Near-Eye 디스플레이 출하량은 2021년에 1,400만 개에서 2029년 1억 개로 증가할 전망

## ○ 기업 동향

- 일본의 소니는 OLEDoS의 가장 중요한 공급업체로, AR, VR, HMD 등 다양한 분야에 적용할 수 있는 OLED 기반 마이크로 디스플레이를 개발하고 있음
- 중국의 SeeYA Technology는 2016년에 설립되었으며, 2018년부터 중국 허페이에 20억 위안을 투자하여 OLEDoS 공장을 건설하고 2020년부터 양산 시작
- 중국의 BOE는 8인치 및 12인치 생산라인을 구축하고, 월 6,000장의 웨이퍼를 생산하여, FHD급 0.5인치 OLEDoS 마이크로 디스플레이를 생산하고 있음
- 미국의 이매진(eMagin)은 군사, 소비자, 의료, 산업 분야의 OLED 마이크로 디스플레이 기술을 확보한 선두 기업으로, 특히 RGB 방식의 OLEDoS 기술에 앞서 있음
- 미국의 코핀(Kopin Corporaton)은 군사, 산업 및 소비자용 애플리케이션을 위한 고성능 마이크로 디스플레이 및 광학 기술의 선도적인 개발사이자 공급업체
- 중국의 JDB(Jade Bird Display)는 2015년 상하이에 설립되었으며, LEDoS를 CMOS 웨이퍼에 전사하고 접합하는 기술을 개발하는 데 중점을 두고 있음
- 우리나라의 (주)라운텍은 AR/VR/MR 및 모바일 TV SoC를 위한 마이크로 디스플레이 솔루션을 전문으로 하는 패블리스 반도체 기업으로, 특히 LCoS에 강점이 있음
- 우리나라 (주)루멘스는 2004년에 설립된 LED 전문기업으로, LCD TV용 백라이트유닛(BLU)을 주로 만들었으나, 마이크로LED를 새로운 성장동력을 육성하고자 함
- 삼성디스플레이는 OLEDoS 개발을 마치고 상용화를 앞두고 있으며, WOLED+CF 방식으로 개발하되, 장기적으로 애플에는 RGB 방식 올레도스를 개발할 계획
- LG디스플레이는 WOLED+CF 방식 올레도스를 개발 중이며, 당분간 연구개발에 주력하고 생산을 위한 투자는 시장 수요를 보면서 차분하게 대응할 예정

## ○ XR 디바이스용 디스플레이 동향

- 최근 5년간(2018년~2022년) 127개 업체에서 308개의 XR 기기를 출시함
- XR 기기용 디스플레이를 살펴보면 AR기기는 주로 Micro-OLED를 사용하고 있으며, VR기기는 LCD를 사용하고 있음
- AR기기에는 모든 온 실리콘(on Silicon) 디스플레이 기술이 적용되었으나, VR기기에는 오로지 OLEDoS만이 적용됨



- 2023년 상반기 동안에 17개 기업에서 19종의 XR기기가 출시됨
  - 전체 XR기기 중에서 AR기기는 9개로 출시 모델 전체의 47%이며, VR기기는 6개로서 32%, MR은 4개로서 21%로, AR기기가 주로 출시됨
  - 디스플레이는 Micro-OLED(OLEDoS), LCD, LCoS, OLED, Micro-LED(LEDoS) 등이 적용되고 있으며, Micro-OLED(OLEDoS)와 LCD가 적용된 제품이 각각 6개, LCoS가 3개, OLED와 Micro-LED가 각각 1개임
  - AR기기에는 모두 실리콘 기반(On Silicon)의 디스플레이 기술이 적용되었으며, Micro-OLED(OLEDoS)를 적용한 제품이 4개, LCoS는 3개, Micro-LED(LEDoS)를 적용한 제품이 1개임
  - VR기기에서는 일반 LCD가 적용된 제품이 4개로 가장 많고, 일반 OLED 적용 제품 1개, Micro-LED(LEDoS)를 적용한 제품이 1개임

## 📄 마이크로 디스플레이의 기회와 위협

### ○ 기회

- 엔터테인먼트, 교육, 헬스케어 등 산업용 애플리케이션에서 XR 기기 및 웨어러블 기기 시장이 성장함에 따라 고해상도 마이크로 디스플레이의 수요도 증가하고 있음
- 수술용 디스플레이, 의료 영상장비 등 의료 기기 분야에서 고해상도 마이크로 디스플레이의 필요성이 증대되고 있음
- 드론, 헬멧 마운트 디스플레이 등 군사 장비 분야는 실시간 정보 제공 및 정확한 시각 정보를 필요로 하는 분야로, 마이크로 디스플레이의 또 다른 핵심 분야임
- 카메라 뷰파인더, 스마트워치, HUD(Heads-Up Display) 등 소비자 가전 및 차량 등에 마이크로 디스플레이가 적용되어 활용 분야가 점차 확대되고 있음

### ○ 위협

- 고해상도와 고휘도를 가진 고효율의 마이크로 디스플레이 개발에 대한 기술적 어려움 상존
- 마이크로 디스플레이는 매우 정밀한 제조 공정을 요구하며, 제조 과정에서 불량률이 높아지는 등 높은 제조 비용으로 인해 가격 경쟁력 확보가 어려움
- 마이크로 디스플레이의 핵심 시장인 XR 기기 시장의 성장 속도와 시장 규모 전망의 불확실성으로 기업의 투자 전략 수립이 어려움

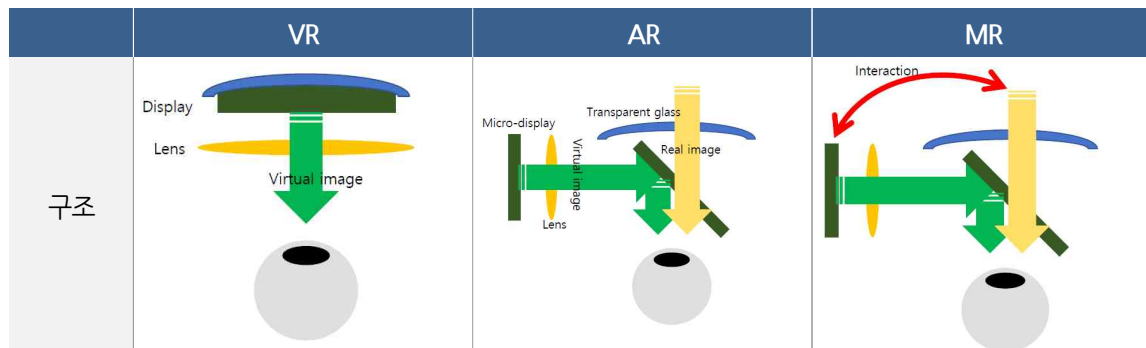


# I 연구 배경과 내용

## 1 배경 및 필요성

- 애플의 ‘Vision Pro’ 출시(2024년 2월)를 계기로 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR) 등의 확장현실(XR)이 다시 부상하고 있음
  - 가상현실(Virtual Reality) : 컴퓨터 시스템 등을 사용해 인공적인 기술로 만들어 낸, 실제와 유사하지만 실체가 아닌 어떤 특정한 환경이나 상황 혹은 그 기술 자체를 의미
  - 증강현실(Augmented Reality) : 실제로 존재하는 환경에 가상의 사물이나 정보를 합성하여 마치 원래의 환경에 존재하는 사물처럼 보이도록 하는 컴퓨터 그래픽 기법
  - 혼합현실(Mixed Reality) : 가상 세계와 현실 세계를 합쳐서 새로운 환경이나 정보를 만들어 내는 것으로, 실시간으로 가상과 현실을 넘나드는 경험을 제공
  - 확장현실(eXtended Reality) : VR, AR, MR을 포함한 종합적인 기술로써 향후 메타버스가 XR을 중심으로 발전하는 생태계가 될 것이라 예상되며 차세대 컴퓨팅 플랫폼으로 간주됨

그림 1 VR, AR, MR의 구조



\* 출처: UBI Research(2023)

- XR을 구현하기 위해서는 마이크로 디스플레이(Microdisplay)를 비롯하여 센서, 반도체, 통신, 소프트웨어 등 다양한 기술이 필요함
  - XR의 핵심은 헤드셋에 이어 안경이나 고글 형태로 초고해상도 화면을 구현해서 사용자 몰입감이 극대화된 콘텐츠를 제공하는 것
  - 특히 사용자 눈앞에 초고해상도 화면을 구현하는 마이크로 디스플레이 기술은 XR 시장에서 디스플레이 업계의 경쟁 포인트

**표 1** XR 디바이스의 주요 구성요소 및 필요 기술

구성요소	필요기술
마이크로 디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사람의 시각 분해능인 60 PPD(Pixels Per Degree) 수준의 고화질 영상을 약 70도 정도의 화각에 구현하기 위한 4K-UHD 해상도 구현 필요</li> <li>• 특히 완전 몰입감을 제공하는 120도 이상의 화각 구현을 위해서는 8K-UHD 수준의 고해상도 구현이 필요</li> <li>• 고속 재생 기술은 120Hz 이상의 높은 화면 재생률을 통해 이미지 입력의 조절 속도를 빠르게 하여 지연시간을 줄여 어지러움을 줄일 수 있음</li> </ul>
광학	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초실감 디스플레이를 구현하기 위한 소형 광시야각 광학 구조 설계 기술이 필요</li> <li>• 광학 기술을 통해 가상 이미지의 왜곡, 색수차, 시차와 같은 화질 문제, 수렴-초점 불일치로부터 기인한 어지러움 문제 등 다양한 문제를 작은 폼팩터로 해결</li> </ul>
센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 카메라 : 주변 환경을 인식하고 분석하여 가상 객체를 현실 세계에 정확히 배치하며, 사용자의 손이나 얼굴 인식을 통해 인터랙티브한 경험을 제공</li> <li>• 마이크론 : 음성 명령 인식, 주변 소음 감지 및 위치 기반 오디오 경험을 제공</li> <li>• 눈추적 센서 : 사용자의 눈동자 움직임을 감지하여 시선 방향과 응시점을 파악</li> <li>• 가속도 센서 : 물체의 가속도를 측정하는 센서로, XR 기기에서는 주로 사용자의 머리와 몸의 움직임 및 방향변화를 감지하여 가상환경내에서 상호작용에 활용</li> <li>• 위치추적 센서 : 외부 카메라, LiDAR, 또는 IR 센서 등으로 사용자의 위치를 실시간으로 추적하는데 사용되며, 특히 VR에서 사용자가 걸어다닐 때 활용</li> </ul>
반도체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대용량의 가상 정보를 처리하기 위한 메모리·시스템 기술이 필요</li> <li>• 스마트폰 AP의 성능을 뛰어넘고 고화질의 콘텐츠를 구현할 수 있는 고성능 시스템 반도체가 요구됨</li> <li>• 카메라 모듈과 3D 센싱 모듈의 증가로 인하여 기존의 정보보다 최소 2~3배 이상의 가상 정보 처리를 위한 대용량의 메모리가 요구됨</li> </ul>
통신	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개인과 개체들을 연결하기 위한 초고속, 초저지연 통신 기술이 필요</li> <li>• 메타버스 콘텐츠와 상호 작용하는 사용자 데이터를 송수신하기 위한 모바일 컴퓨팅, 엣지 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅 등의 다양한 네트워크 기술이 필요</li> </ul>
배터리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다양한 디바이스 적용을 위한 유연성, 휴대성 향상을 위한 배터리 설계 기술이 필요</li> </ul>
소프트웨어	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가상 세상을 구성하고 사회·경제·문화 활동의 촉진을 위한 소프트웨어 기술이 필요</li> </ul>

\* 출처 : KEIT PD Issue Report(2022)를 참고하여 저자 정리

## 2 연구 내용

- 본 리포트는 마이크로 디스플레이(Microdisplay)의 개념, 특징, 종류, 관련 시장 및 기업 동향 등을 분석함
- 마이크로 디스플레이 개요에서는 마이크로 디스플레이 개념, 마이크로 디스플레이 특징, 그리고 마이크로 디스플레이 종류에 대해서 살펴봄
  - XR 기기에 활용되는 주요 마이크로 디스플레이 기술은 LCD(Liquid Crystal Display), DLP(Digital Light Processing), LBS(Laser beam scanning), Micro OLED(Organic Light Emitting Diodes), Micro LED(Light Emitting Diodes) 등 다양한 방식이 존재
  - 본 리포트에서는 LCD, OLED, Micro LED 등과 같은 일반 디스플레이 기술에서 사용되는 유리 기판 대신 실리콘 웨이퍼를 활용하는 마이크로 디스플레이를 대상으로 분석함
  - ※ 실리콘 기판을 활용하는 마이크로 디스플레이는 LCoS(Liquid Crystal on Silicon), OLEDoS(OLED on Silicon), LEDoS(LED on Silicon) 등이 있음
- 주요 마이크로 디스플레이에서는 LCoS(LC on Silicon), OLEDoS(OLED on Silicon), LEDoS(LED on Silicon)에 대해 개념, 특징, 해결과제 등을 살펴봄
  - LCoS는 실리콘 기판 위에 액정(LC)을 형성한 디스플레이, OLEDoS는 실리콘 기판 위에 OLED를 증착하여 만든 디스플레이, LEDoS는 실리콘 기판 위에 LED를 형성한 디스플레이를 말함
  - 본 리포트는 LCoS, OLEDoS, LEDoS 각각에 대하여 개념, 특징, 해결과제 등을 살펴봄
- 마이크로 디스플레이 시장 및 기업 동향에서는 마이크로 디스플레이 시장 동향, 주요 기업들의 기술개발 동향, XR용 디스플레이 동향을 살펴봄
  - 먼저, 시장 동향에서는 LCoS, OLEDoS, LEDoS 각각에 대하여 출하량과 점유율을 살펴봄
  - 기술개발 동향에서는 라온텍, 하이맥스, 움니비전, 코핀, 소니 등 LCoS 업체, 소니, SeeYA, BOE, eMagin, 코핀, 라온텍, 삼성, LG 등의 OLEDoS 업체, Jade Bird Display(JBD), 루멘스, 오스텐도, 컴파운드 포토닉스 등 LEDoS 업체들의 기술개발 동향을 살펴봄
  - XR용 디스플레이 동향에서는 최근 5년간 XR 기기의 출하 현황, XR 기기에 적용된 마이크로 디스플레이 타입 등을 살펴봄
- 마지막으로, 마이크로 디스플레이의 기회와 위협을 정리함

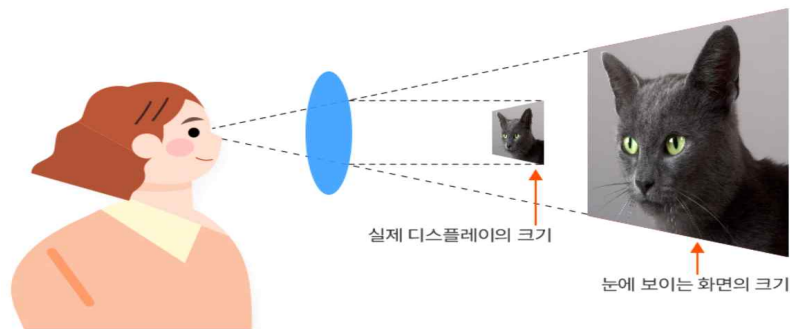
## II 마이크로 디스플레이 개요

### 1 마이크로 디스플레이 개념 및 특징

#### 가. 마이크로 디스플레이 개념

- 마이크로 디스플레이는 일반적으로 1인치 내외의 작은 크기에 수천 PPI(Pixels Per Inch) 수준의 높은 픽셀 집적도를 갖춘 초고해상도 디스플레이
  - 디스플레이의 크기는 작지만 수십에서 수백 배 확대된 큰 화면을 보여주기 때문에 가상현실(VR)·증강현실(AR)·혼합현실(MR)을 구현하는 핵심 기술
  - 300~400 PPI의 일반 디스플레이와 달리, 마이크로 디스플레이는 화면과 눈 사이의 거리가 짧아 고해상도를 작은 화면에서 구현하기 위해 3000~4000 PPI가 요구됨
  - 사람의 시각 분해능인 60 PPD(Pixels Per Degree) 수준의 고화질 영상을 약 70도 정도의 화각(FoV)에 구현하려면 4K-UHD 해상도가 요구
    - ※ PPD(Pixels Per Degree) : 디스플레이의 해상도를 측정하는 지표로, 화각(FOV) 1도당 픽셀 수를 의미하며, PPD 값이 높을수록 디스플레이의 화질이 더 세밀하고 선명함
    - ※ 화각(Field of View, FOV) : 사용자가 디스플레이를 통해 볼 수 있는 전체 시각 범위, 즉 시야각을 의미하며, 일반적으로 수평(FOV\_h)과 수직(FOV\_v)으로 나눠서 표현함
  - 완전 몰입감을 제공하는 120도 이상의 화각 구현을 위해서는 8K-UHD 수준의 고해상도 구현이 필수적임

그림 2 마이크로 디스플레이 구현 원리



\* 출처: 삼성디스플레이 뉴스룸

#### 나. 마이크로 디스플레이 특징

- 마이크로 디스플레이는 빠른 응답속도를 위해 기존의 유리 또는 폴리이미드 기판 대신에

## 반도체 원재료인 실리콘 웨이퍼 기판을 사용

- 일반적인 디스플레이 패널은 유리 또는 폴리이미드 기판을 사용하며, 기판 특성상 40~300  $\mu\text{m}$  크기 정도의 화소를 구현
- 마이크로 디스플레이는 반도체에서 사용되는 웨이퍼를 활용함으로써 미세한 패턴 공정이 가능해 화소 크기를 10분의 1 수준인 4~20 $\mu\text{m}$ 로 줄일 수 있음
- 웨이퍼는 두께가 유리 기판보다 얇아 패널 두께를 줄일 수 있으며, 디스플레이 구동 부품을 웨이퍼에 탑재할 수 있어 구동 속도도 빠름
- ※ 어지러움을 줄이기 위해서는 120Hz 이상의 높은 화면 재생률(고속 재생 기술)을 통해 이미지 입력의 조절 속도를 빠르게 하고 지연 시간을 줄여야 함
- 반도체 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 백플레인 공정이 사용되며, 따라서 전문적인 파운더리 서비스(Foundry Service)가 필요
- ※ 백플레인 공정은 기판 위에 디스플레이를 구동시키는 회로소자를 구현하는 공정으로, 기존의 유리 기판에서는 박막 트랜지스터(Thin-Film Transistor) 백플레인이 사용되나, 실리콘 웨이퍼 기판에서는 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 백플레인이 사용됨
- ※ LG디스플레이는 반도체 전문기업인 SK하이닉스와 협업체 가상현실(VR)용 마이크로 디스플레이 기술을 개발하여, 최근에 개최된 'SID2024'에서 올해의 우수논문으로 선정됨

## 2 마이크로 디스플레이 종류

- 마이크로 디스플레이는 액정을 활용한 LCoS, OLED를 활용한 OLEDoS, LED를 활용한 LEDoS 등 활용하는 기술에 따라 크게 3가지로 구분
  - ※ 마이크로 디스플레이는 실리콘 기판위에 적용되는 디스플레이 기술에 따라 LCoS(LC on Silicon), OLEDoS(OLED on Silicon), LEDoS(LED on Silicon) 등으로 구분함
  - LCoS(Liquid Crystal on Silicon)는 실리콘 웨이퍼 기판 위에 LCD를 구성하는 방식으로 외부 광원을 액정 및 반사판에 투사해 구현
  - ※ 1970년 최초로 등장해 가장 오래된 역사를 가진 기술로 빔프로젝터에 널리 사용돼 왔으며, 기존 LCD 공정을 활용할 수 있다는 장점이 있음
  - OLEDoS(OLED on Silicon)는 실리콘 웨이퍼 기판 위에 OLED를 입히는 방식으로, White OLED와 RGB 방식이 있음
  - ※ LCoS와 달리 OLED가 자체 발광하는 방식이므로 별도의 외부 광원이 필요 없으며 기판과 응답속도가 모두 우수해 고화질 초고해상도 화면 구현에 유리
  - LEDoS(LED on Silicon)는 실리콘 웨이퍼 기판 위에 100 $\mu\text{m}$  이하의 매우 작은 무기물 소자인 마이크로 LED를 입히는 방식
  - ※ 자체 발광 방식이라 색 재현률이 높고 OLEDoS 대비 높은 밝기(휘도)를 낼 수 있다는 장점이 있으나, 기술성숙도 및 시장측면에서 아직은 초기단계에 있음

표 2 마이크로 디스플레이 종류와 특징

	LCoS	OLEDoS	LEDoS	
구조 <sup>주1)</sup>	<p>LCoS</p>	<p>OLEDoS (WOLED)</p>	<p>OLEDoS (RGB)</p>	<p>LEDoS</p>
전력 소비	보통	좋음	매우 좋음	
밝기	좋음	보통	매우 좋음	
명암비	좋음	매우 좋음	매우 좋음	
수명	좋음	좋음	매우 좋음	
응답 속도	보통	좋음	매우 좋음	
상용화	상용제품 출시	상용제품 출시	개발 중	
비용	낮음	높음	매우 높음	

주1) 삼성디스플레이 뉴스룸

\* 출처: OMDIA(2024)

- 마이크로 디스플레이는 동작 방식에 따라 반사형(Reflective), 투사형(Transmissive), 발광형(Emissive)으로 구분할 수도 있음
  - 반사형은 반사면의 특성(굴절율, 투과도 등)을 변화시켜 가면서 외부로부터 입사되는 광을 변조시켜 광원이 마이크로 디스플레이 패널 앞쪽에 존재하여 이미지를 반사시켜서 보는 형태로 LCoS와 DMD(Digital Micromirror Device)가 대표적
  - 투과형은 입사되는 광이 패널을 통과하면서 변조되는 방식을 이용하는 것으로 광원이 디스플레이 뒤쪽에 있게 되는 형태로 기존의 LCD와 거의 동일한 구조
  - 발광형은 스스로 빛을 생성하여 별도의 광원이 불필요한 형태로 OLED 마이크로 디스플레이가 대표적



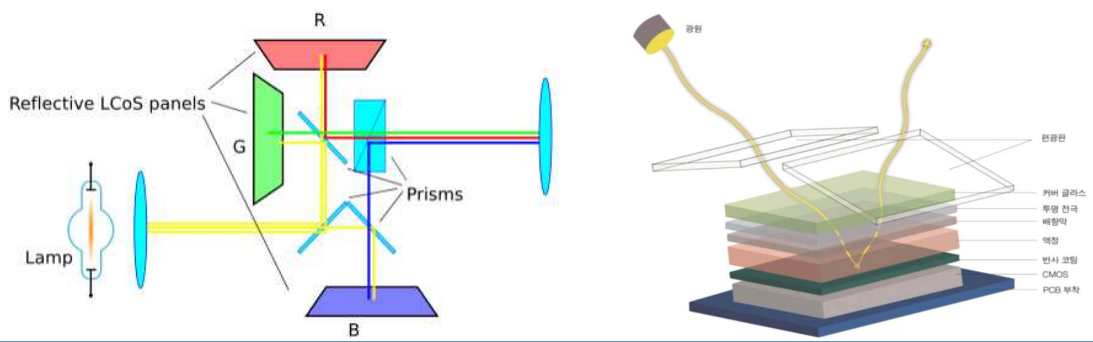
# Ⅲ 주요 마이크로 디스플레이 현황

## 1 LCoS(Liquid Crystal on Silicon)

### 가. 개념

- LCoS는 반도체와 LCD 기술을 합친 것으로 실리콘 백플레인 위에 액정층을 이용해 이미지나 영상을 표시하는 반사 마이크로 디스플레이
  - LCoS의 기본적인 구동 원리는 LCD와 동일하지만, 백라이트 유닛(BLU) 자리에 반도체 실리콘이 들어가고, 외부광원을 CMOS에서 반사시키면 빛이 액정을 통과해 화면으로 나타남
  - ※ 실리콘 웨이퍼에 CMOS 집적 회로(IC)를 구성하여 디스플레이 구동 회로까지 함께 집적화할 수 있어서 유리기판을 적용하는 일반 LCD에 비해 초소형, 고성능 구현이 가능
  - ※ LCoS에 사용되는 반도체 공정은 일반적인 CMOS 공정 이외에 추가로 반사형 미러로 사용되는 메탈 전극과 광학적 반사율을 적용한 Passivation Layer, Inter-pixel Gap-fill 및 평탄화 공정 등이 필요
  - 또한 컬러필터를 통해 색을 나타내는 일반적인 LCD와 달리, LCoS는 컬러필터 없이 시간 축에서 적색·녹색·청색(RGB) 3개 광원을 순차적으로 표시해 색을 표현
  - ※ FSC(Field Sequential Color) 방식의 사용으로 화소 크기를 작게 만들 수 있는 장점과 높은 개구율로 인해 부드럽고 자연스러운 영상을 얻을 수 있음

그림 3 LCoS 구조 및 원리



\* 출처: <좌>WIKIPEDIA, <우>KIPOST(2021)

### 나. 특징

- LCoS의 광 효율과 밝기, 수명과 내구성, 소형화 및 경량화 등 주요 기술특성은 VR용 보다는 AR글라스에 적합
  - LCoS는 별도의 광원을 활용한 반사형 디스플레이로, 고휘도의 광원(레이저 또는 LED)을 적용하여 수십만 니트 밝기를 낼 수 있어 외부에서 활용하는 AR 디바이스에 적합

- ※ LCoS는 별도의 광원을 활용한 반사형 디스플레이로, 고휘도의 광원(레이저 또는 LED)을 적용하여 수십만 니트 밝기를 낼 수 있어 외부에서 활용하는 AR 디바이스에 적합
- ※ AR 기기는 실외에서 사용하고, 실제세계 위에 가상세계를 덧입히기 때문에 화면이 선명해야 하며, AR을 위해서는 10만 니트(nit) 이상의 밝기가 필요하며, 이러한 밝기를 충족할 수 있는 현실적인 대안은 LCoS가 우세함
- ※ 참고로, TV는 1,000니트, 애플 비전프로는 1,000~3,000니트 수준
  - LCoS의 액정 디스플레이는 OLED에 비해 상대적으로 긴 수명과 내구성을 가지고 있어 장시간 동안 야외에서 활용되는 AR 기기에 적합
  - LCoS는 다른 디스플레이 기술에 비해 소형화 및 경량화된 구조로 제작할 수 있어 AR 글래스와 같은 착용형 디바이스에 적합
  - LCoS는 AR글래스 외에도 자동차 헤드업 디스플레이, 빔프로젝터, 광통신 등에도 활용 가능
- LCoS는 이미 개발된 안정적인 공정장비와 신뢰성과 수명 측면에서 검증된 재료를 사용한 양산화 기술을 갖추고 있음
  - 반사형 디스플레이 특성 상 별도의 고휘도의 광원을 적용하여 XR 디바이스에서 요구하는 높은 휘도 특성을 만족할 수 있음
  - 대량 양산을 위한 인프라 구축이 용이하며, 오랫동안 축적되어 있는 제조기술 know-how를 통해 높은 수율의 패널 생산이 가능하여 경쟁력 있는 가격으로 시장을 선점할 수 있음
  - 위상변조 방식의 공간광변조기(SLM, Spatial Light Modulator)로도 개발할 수 있기에 홀로그래피 기반의 제품군에도 확대 적용할 수 있음

#### 다. 해결 과제

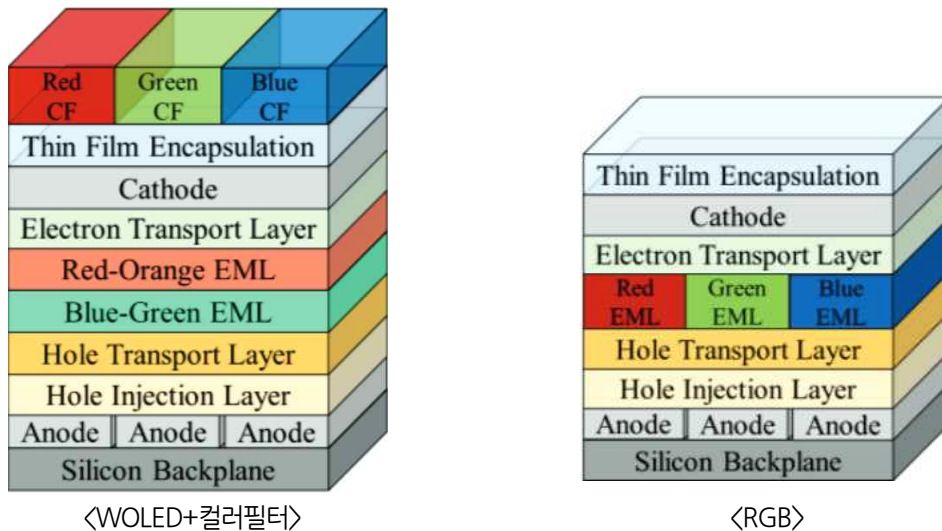
- LCoS는 높은 해상도와 우수한 색 재현력에도 불구하고 VR, MR 등 활용분야 확대를 위해서는 응답 속도, 높은 비용, 광 효율성 등 다양한 이슈들이 존재
  - (응답속도) 액정의 응답 속도가 느려서 빠르게 움직이는 영상에서는 잔상(ghosting)이 발생할 수 있으며, 이는 고속 동작이 중요한 애플리케이션에서 단점으로 작용
  - (높은비용) LCoS는 현재 안정적인 양산화 기술을 갖추고 있으나, 여전히 제조 공정이 복잡하고, 고가의 부품을 필요로 하기 때문에, 보다 경제적인 양산기술 및 부품 개발이 필요
  - (광 효율성) LCoS는 반사형 구조로 인해 투과형 디스플레이에 비해서는 절대적인 밝기가 제한되어 새로운 광학 설계와 반사율이 높은 재료의 개발을 통해 광 효율성 향상 필요
  - (발열문제) 고휘도를 구현하는 과정에서 발생하는 발열은 액정 수명 단축, 색 균일성 저하 등의 문제를 야기하여 방열 설계 최적화, 신소재 개발 등의 노력이 요구됨
  - (소형화 및 경량화) LCoS는 외부 광원을 활용하기 때문에 구조적으로 복잡하여, 무한정 소형화 및 경량화를 달성하기에는 제한이 있어, 집적기술과 효율적인 설계가 필요

## 2 OLEDoS(OLED on Silicon)

### 가. 개념

- OLEDoS는 OLED를 기존의 유리 기판이 아닌 실리콘 기판 위에 증착시켜 유리 기판 대비 큰 화소밀도의 픽셀을 형성할 수 있는 마이크로 디스플레이
  - 백플레인을 실리콘 웨이퍼를 사용함으로써 인해 OLEDoS는 상부 발광형 구조로만 제작이 가능
  - OLEDoS에서 색상 형성 방법은 크게 두 가지로, 백색 OLED와 컬러필터(CF)를 결합하는 방식(WOLED 방식)과 FMM(Fine Metal Mask)을 사용한 RGB OLED 화소를 각각 따로 형성하는 방법(RGB 방식)이 있음
  - ※ FMM을 사용한 RGB 방법은 컬러필터를 쓰지 않는다는 점에서 색재현성과 소비전력에 유리하나, OLEDoS 화소의 크기가 너무 작아 기존의 FMM 기술로는 적, 녹, 청 발광층을 정교하게 형성하는데 난이도가 매우 높은 상황
  - ※ 대부분의 OLEDoS가 백색 OLED와 컬러필터를 사용하는 이유는 1000 PPI 이상의 FMM을 제작하는게 쉽지 않고 컬러필터를 포토리소그래피 공정으로 구현하여 PPI를 높이는 게 상대적으로 용이하기 때문

그림 4 OLEDoS 구조 및 원리



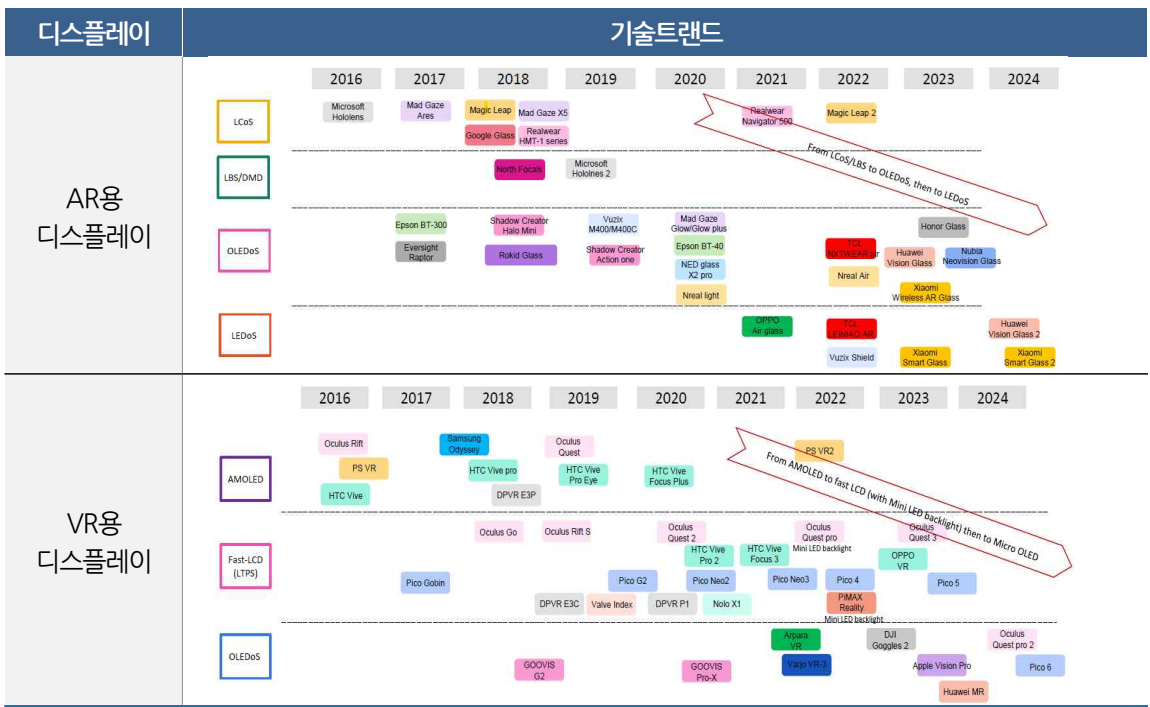
\* 출처: eMagin 홈페이지

### 나. 특징

- OLEDoS는 자체 발광형이기 때문에 반사형인 LCoS 대비 광학계가 단순하고, 휘도는 낮지만 명암비가 높고 응답속도가 빨라 VR 및 MR 기기에 적합
  - OLEDoS는 자발광 디스플레이로서 별도의 외부 광원이 필요없어 광학 구조가 간단하고 완벽한 블랙 구현 및 높은 명암비를 제공하여 초고해상도 화면 구현에 유리

- OLEDoS는 OLED의 빠른 응답 속도로 인해 동적인 장면에서 우수한 성능을 보이고 있어, VR에서 모션 블러를 최소화하고 선명한 영상을 제공하는 데 적합함
- OLEDoS는 기술의 발전 속도 및 기업들의 투자 전략을 고려해 볼 때 LEDoS가 본격 출시되기까지 당분간은 마이크로 디스플레이 시장의 중심이 될 전망
- (AR용 디스플레이)는 LCoS에서 OLEDoS를 거쳐 LEDoS로 진화할 것으로 전망되나, LEDoS가 상용화되기에는 상당한 시일이 소요될 것으로 예상
- (VR/MR용 디스플레이)는 AMOLED에서 Fast LCD를 거쳐 현재 OLEDoS를 적용한 제품이 지속적으로 증가하고 있으며, 이 추세는 당분간 계속 유지될 전망
- ※ 애플은 2024년 2월에 4K 해상도의 OLEDoS 디스플레이가 적용된 'Vision Pro'를 출시하였으며, 2027년 까지 WOLEDoS에서 RGB OLEDoS로 업그레이드할 계획
- ※ 삼성은 미국 RGB OLEDoS 업체인 eMagin을 2억 1,800만 달러에 인수('23.5.)

그림 5 AR 및 VR 디스플레이 트렌드와 OLEDoS의 중요성



\* 출처: OMDIA(2023)

다. 해결 과제

- OLEDoS는 높은 명암비와 우수한 응답 속도에도 불구하고, 밝기(휘도), 수명, 안정적인 대량생산 기술 등 다양한 이슈들이 해결되어야 함
- (밝기) OLEDoS의 경우 OLED의 휘도가 LED보다 일반적으로 낮고, Tandem 구조 등을 활용하여 소자의 휘도를 높일 수 있으나 구동 전압이 상승하게 되는 문제가 있음

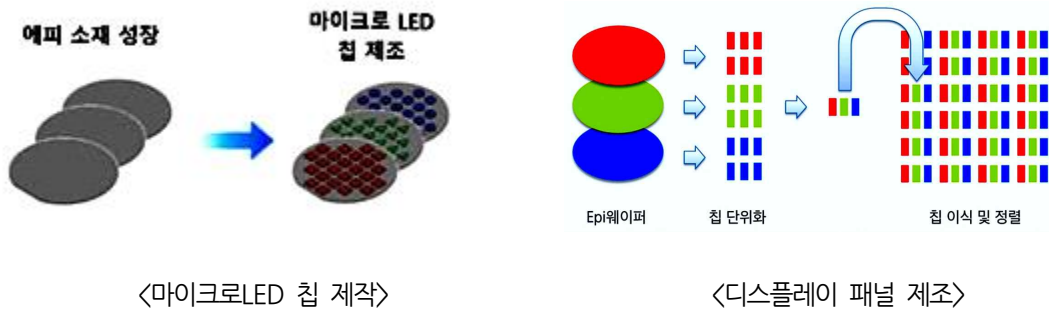
- ※ 일반적인 VR기기에서는 1만 니트(nits)이상, AR기기에서는 10만 니트(nits) 이상의 휘도가 요구되어 OLEDoS는 발광 효율 개선 및 OLED 재료 개발이 요구됨
- ※ 현재 LG디스플레이가 개발한 AR용 OLEDoS 디스플레이는 휘도 7,000니트(nits) 이상, 해상도 3,500ppi를 달성
- ※ 높은 휘도를 낼 경우 소자의 수명이 단축되는 문제가 있으며, OLEDoS의 휘도를 증가시키기 위해서 Tandom 구조를 사용하는 경우 구동전압이 증가하게 되어 이를 위한 고전압 CMOS 회로가 필요함
- ※ 휘도 개선을 위해 FMM 적용한 적, 녹, 청 직접 증착 방식에 대한 개발이 진행되고 있으며, 고화소 밀도의 공정이 가능한 증착 Align accuracy 확보를 위하여 OLEDoS용 증착기 개발이 중요
  - (수명) OLED 소자의 수명, 특히 청색 OLED의 수명 연장이 필요하고, 장시간 사용시 발생하는 번인(burn-in) 현상 개선이 필요
- ※ OLED 소자 중에서 적색과 녹색은 내부발광효율이 100%인 인광 OLED 소자를 적용 중이고, 청색은 내부발광효율이 25%인 형광 OLED 소자를 사용
  - (대량생산 기술) OLEDoS는 웨이퍼 공정과 디스플레이 패키징 공정의 협력이 필수적이며, 이에 반도체 제조사와 디스플레이 제조사의 협력이 매우 중요함
- ※ 소니는 반도체 제조에 강점이 있는 대만의 파운드리업체 TSMC와 협업해 애플 비전 프로용 마이크로 OLED를 개발 및 생산한 것으로 알려짐
- ※ LG디스플레이는 반도체 기업인 LX세미콘, SK하이닉스 등과 협업하고 있으며, 삼성디스플레이는 삼성전자 파운드리사업부와 협업을 모색 중

### 3 LEDoS(LED on Silicon)

#### 가. 개념

- LEDoS는 사파이어 웨이퍼에 에피 소재를 성장시켜 100 $\mu\text{m}$ 이하의 마이크로LED 칩을 제조한 뒤, 이 칩을 분리해 실리콘 기판 위에 배치하여 완성
  - (LED 칩 제작) Al, Ga, N, P, As, In 등의 무기물 재료를 사파이어 또는 실리콘 기판 위에 박막 성장을 통하여 크기가 5~100 $\mu\text{m}$  수준의 LED 칩 제작
  - (디스플레이 제조) 제조된 마이크로LED를 개별 RGB LED로 분리한 이후 디스플레이 패널 기판(실리콘 기판)으로 옮겨 심는 전사 공정을 수행하여 화소를 배치

그림 6 마이크로LED 칩 제작 및 디스플레이 패널 제조



\* 출처: <좌>전자신문(2020), <우>삼성디스플레이 뉴스룸(2018)

#### 나. 특징

- LEDoS는 XR에 가장 적합한 디스플레이로, 기술 발전에 따라 XR기기용 디스플레이로 사용되고 있는 LCoS와 OLEDoS를 대체해 나갈 것으로 전망
  - LCoS는 응답속도가 낮아 VR에는 다소 부적합하고, OLEDoS는 휘도의 한계로 AR에 적용하기에는 한계가 있으나, LEDoS는 응답속도나 휘도가 매우 양호
    - ※ 응답속도의 경우, LCD는 수천 분의 1초, OLED는 수백만 분의 1초인데 비해 마이크로LED는 수십억 분의 1초로 XR기기에 가장 적합
    - ※ 휘도의 경우, 마이크로LED는 이론적으로 수십~수백만 니트의 휘도를 지원하며, 또한 유기물인 OLED 대비 발광효율도 높아 XR기기에 매우 적합
  - LEDoS는 자발광 디스플레이로, 컬러 필터 없이 LED 소자 하나하나가 스스로 각각의 빛을 내고 제어하는 특징 때문에 세밀한 명암비 구현이 가능
  - LEDoS는 OLEDoS 디스플레이와 동일한 고해상도를 제공하지만, 효율이 높아 배터리 수명을 연장하여 오랫동안 사용할 수 있고, 야외에서도 선명한 화면을 제공

- 그러나, LEDoS는 마이크로 LED 칩을 전사하는 공정의 수율이 아직 상용화 수준에는 못미치고 있으며, 그에 따라 제조 원가도 매우 비싼 상황

#### 다. 해결 과제

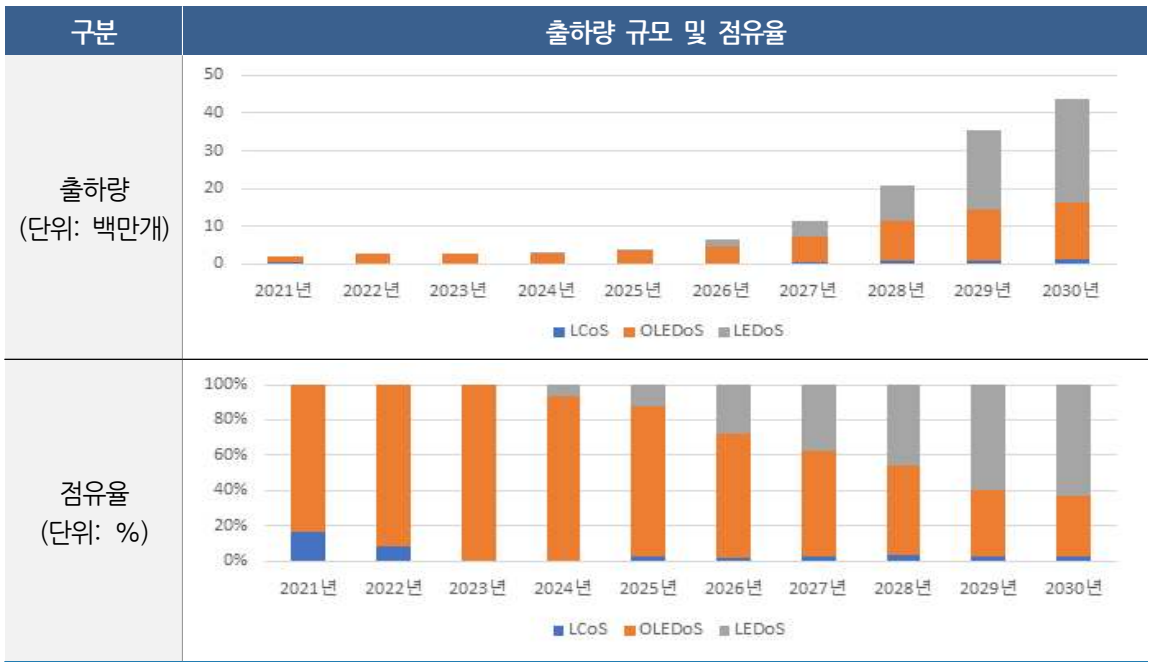
- 마이크로 LED 디스플레이에 대한 최적의 공정기술이 아직 정해지지 않음
    - 양자효율 극대화를 위한 칩·모듈·디스플레이의 구조 설계, 에피 성장, 칩 소형화, 대량 전사 등에 수반되는 공정기술, 이를 뒷받침하기 위한 재료의 선택과 장비의 성능 개선 등 해결해야 할 문제가 많음
  - 휘도 균일성 및 색상 안정성 확보를 위한 마이크로 LED 디스플레이용 TFT 기술 필요
    - LED는 OLED보다 계조 변화에 따른 전압 변화에 훨씬 민감하고, 계조에 따른 휘도 불균일 현상이 발생할 수 있어, 더욱 복잡하고 정밀한 TFT 보상 회로가 필요
    - 휘도를 변경하여 LED 색상(파장)을 변경할 수 있으며, 이때 그레이 레벨에 따라 색상이 부정확하게 표현되는 현상이 발생할 수 있어, 보다 복잡하고 정밀한 TFT 구동 회로가 필요
  - 크기가 작은 수백만 개 이상의 마이크로 LED 디스플레이 칩들을 웨이퍼에서 디스플레이 기판 위로 옮겨 심는 전사(transfer) 공정은 막대한 시간과 비용이 수반됨
    - 기존에는 LED 단일 칩을 전사하는 방법으로 Pick&Place를 활용해 왔으나, LED의 크기가 수  $\mu\text{m}$ 로 작아지면서 고속, 고정밀도로 칩을 전사하는 기술이 필요
    - 이를 위해서 현재까지 크게 직접전사와 인쇄전사 2가지 방법이 개발되고 있는 상황
- ※ 직접전사는 소형 및 초소형 디스플레이 구현을 위해 웨이퍼 단위에서 Monolithic 형태의 마이크로 LED 소자들 전체를 웨이퍼 본딩과 유사한 형식으로 디스플레이 패널에 옮겨 붙이는 방식이며, 인쇄전사는 칩 공정 및 분리를 마친 후에 중간 매개체를 활용하여 전사하는 기술로 정의

## IV 마이크로 디스플레이 시장 및 기업 동향

### 1 시장 동향

- 세계 마이크로 디스플레이 출하량은 2021년 170만 개에서 2030년 4,370만 개로 증가하며, OLEDoS가 주류시장을 형성하고 있으나, 2029년부터 LEDoS가 주류로 성장할 전망

그림 7 마이크로 디스플레이 출하량 전망 (단위: 백만개, %)



\* 출처: OMDIA(2024)

- LCoS는 2021년에 30만 개에서 2030년에는 1백만 개 수준으로 늘어나며, 점유율은 14.4%(2021년)에서 2.2%(2030년)으로 대폭으로 줄어들 전망
- OLEDoS는 2021년에 150만 개에서 2030년에는 1,510만 개 수준으로 늘어나며, 점유율은 85.6%(2021년)에서 34.6%(2030년)으로 점차 줄어들 것으로 전망
- LEDoS는 2024년에 20만 개 수준으로 처음 등장하여 2030년에는 2,760만 개 수준으로 비약적으로 늘어나며, 점유율은 0.9%(2024년)에서 63.2%(2030년)으로 크게 확대될 전망
- 마이크로 디스플레이 세계 시장 규모는 2023년 11억 달러에서 연평균 23.7%의 높은 성장을 통해 2028년 32억 달러의 시장 규모를 형성할 것으로 전망
- XR용 Near-Eye 디스플레이를 비롯하여, EVF(Electronic ViewFinder), HUD(Head Up Display), HMD(Head Mounted Display) 등의 신규 수요를 바탕으로 높은 성장이 기대됨



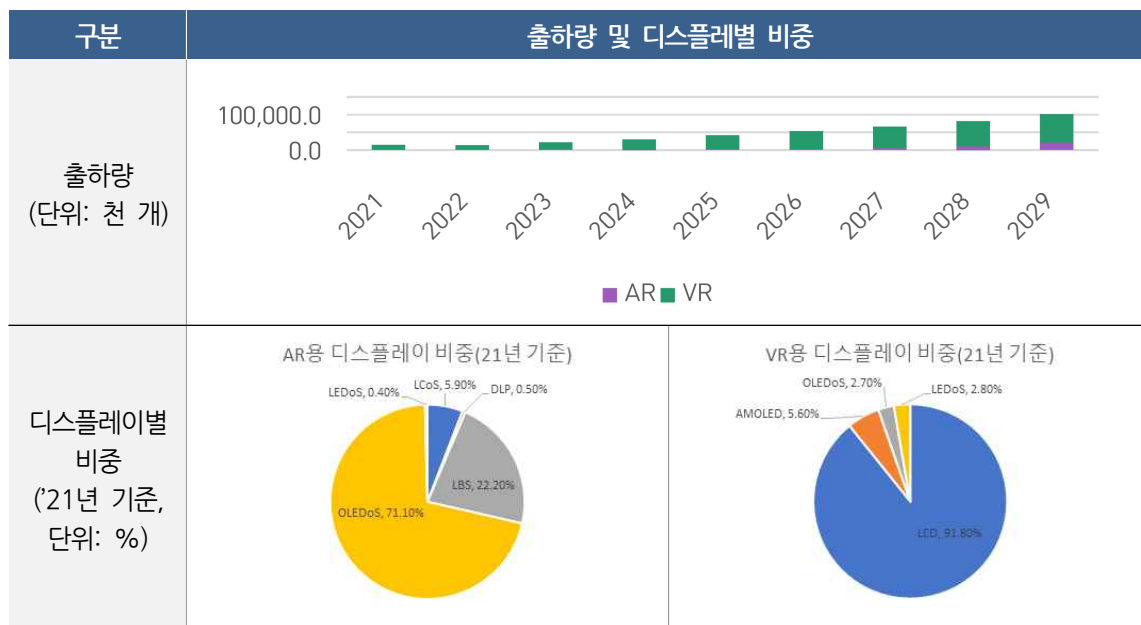
**그림 8** 마이크로 디스플레이 세계시장 전망 (단위: 억 달러)



\* 출처: MARKETSANDMARKETS(2022)

- 마이크로 디스플레이의 가장 큰 시장인 XR기기용 Near-Eye 디스플레이 출하량은 2021년에 1,400만 개에서 2029년 1억 개로 증가할 전망
  - AR용 Near-Eye 디스플레이는 2021년에 87만 개에서 2029년에 2,000만 개로 전망됨
  - ※ AR 글라스에 적용되는 디스플레이는 LCoS, OLEDoS, LEDoS, DLP(Digital Light Processing), LBS(Laser Beam Scanning) 등이 있으며, '21년도 기준으로 각각의 비중은 LCoS 5.9%, OLEDoS 71.1%, LEDoS 0.4%, DLP 0.5%, LBS 22.2%를 차지함
  - Near-Eye 디스플레이의 대부분을 차지하고 있는 VR용 디스플레이는 2021년에 1,300만 개에서 2029년에 8,000만 개로 전망됨
  - ※ VR 글라스에 적용되는 디스플레이는 OLEDoS, LEDoS, TFT LCD, AMOLED 등이 있으며, '21년도 기준으로 각각의 비중은 OLEDoS 2.7%, LEDoS 2.8%, TFT LCD 91.8%, AMOLED 5.6%를 차지함

**그림 9** XR기기용 Near-Eye 디스플레이 출하량 전망 (단위: 천 개, %)



\* 출처: OMDIA(2023)

## 2 기업 동향

표 3 마이크로 디스플레이 주요 기업

구분	기업
LCoS	라운텍, 하이맥스, 옴니비전, 코핀, 소니
OLEDoS	소니, SeeYA, BOE, eMagin, 코핀, 라운텍, 삼성, LG
LEDoS	Jade Bird Display(JBD), 루멘스, 오스텐도, 컴파운드 포토닉스

\* 출처: OMDIA(2023)

- 일본의 소니는 OLEDoS의 가장 중요한 공급업체로, AR, VR, HMD 등 다양한 분야에 적용할 수 있는 OLED 기반 마이크로 디스플레이를 개발하고 있음
    - 2018년 0.5 인치 크기에 UXGA 해상도를 구현한 OLED 디스플레이를 출시하였으며, 출시된 OLED 디스플레이는 기존 디스플레이 대비 1/2 전압에서 동작이 가능
    - 애플의 비전프로에 적용된 소니의 OLEDoS 디스플레이는 2,300만 픽셀(3,400×3,400px 2개)을 구현하였으며, 현재 2세대 비전프로를 위해 RGB OLEDoS 디스플레이를 개발 중
  - 중국의 SeeYA Technology는 2016년에 설립되었으며, 2018년부터 중국 허페이에 20억 위안을 투자하여 OLEDoS 공장을 건설하고 2020년부터 양산 시작
    - 주요 고객은 DJI로, DJI 고글 2는 1920x1080 픽셀, 700니트 밝기, 최대 100Hz의 프레임 속도를 갖춘 듀얼 0.49인치 OLEDoS 디스플레이를 적용하고 있음
    - SID 디스플레이 위크 2023에서 공개된 1.3인치 OLED 마이크로 디스플레이는 3552x3552 픽셀과 4,000니트의 밝기를 제공함
  - 중국의 BOE는 8인치 및 12인치 생산라인을 구축하고, 월 6,000장의 웨이퍼를 생산하여, FHD급 0.5인치 OLEDoS 마이크로 디스플레이를 생산하고 있음
    - BOE는 4K급 OLEDoS 디스플레이를 개발하고 있으며, 최근에 공개한 1.3인치 OLEDoS는 3,552×3,840, 4,031 PPI, 1,000니트 밝기, 90Hz의 프레임 속도를 제공하고 있음
  - 미국의 이매진(eMagin)은 군사, 소비자, 의료, 산업 분야의 OLED 마이크로 디스플레이 기술을 확보한 선두 기업으로, 특히 RGB 방식의 OLEDoS 기술에 앞서 있음
    - 이매진이 개발한 디스플레이는 AR/VR, 항공기 헬멧, 헤드업 디스플레이 시스템, 열 감지기, 야간 투시경, 미래 무기 시스템 등 다양한 애플리케이션 등에 사용되고 있음
    - 이매진은 2023년 SID에서 0.86인치 1,920×1,200 해상도, 2,646 PPI OLEDoS 디스플레이인 WUXGA dPd™(direct patterning technology for RGB OLED)를 공개함
- ※ 이매진은 자신들의 RGB 방식 기술을 WOLED+CF 방식과 차별화하기 위해 'dPd'(direct pattenred)란 마크를 붙이고 있음

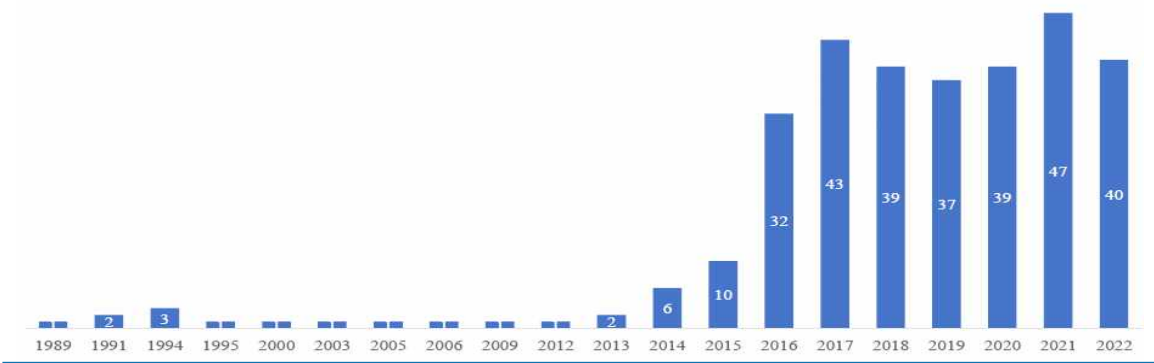
- 2023년 5월 17일 이매진은 자사 홈페이지를 통해 인수액 2억1800만 달러에 삼성디스플레이와 최종 합병 계약을 체결했다고 밝힘
- 미국의 코핀(Kopin Corporaton)은 군사, 산업 및 소비자용 애플리케이션을 위한 고성능 마이크로 디스플레이 및 광학 기술의 선도적인 개발사이자 공급업체
  - 2020년 중반, 코핀은 2,560x2,560 해상도, 듀얼 스택(duo-stack) OLED 구조, sRGB 115%를 넘는 색재현율 성능을 갖춘 첫 번째 OLEDoS 제품을 출시
  - 2022년 초, Kopin은 P80이라는 1.3인치 2,560x2,560 OLEDoS 디스플레이용 완전 플라스틱 팬케이크 광학 장치인 VR 글라스를 발표
- 중국의 JDB(Jade Bird Display)는 2015년 상하이에 설립되었으며, LEDoS를 CMOS 웨이퍼에 전사하고 접합하는 기술을 개발하는 데 중점을 두고 있음
  - JDB는 2021년 0.13인치 단색(Monochrome) LEDoS 디스플레이 3가지 색상을 출시함
  - 2022년 뷰직스(Vuzix)는 JDB의 0.13인치 LEDoS 디스플레이를 탑재한 Vuzix Shield 스마트 글라스를 출시했으며, 투즈(Tooz)와 샤오미(Xiaomi)도 JDB의 LEDoS 프로젝션 모듈을 탑재한 자체 스마트 글라스를 출시
  - 2023년 6월까지 Alibaba, BYD, Geely, Samsung VS, LightSpeed 및 Eight Roads 등 다양한 기업들이 JDB에 투자를 진행
- 우리나라의 (주)라운텍은 AR/VR/MR 및 모바일 TV SoC를 위한 마이크로 디스플레이 솔루션을 전문으로 하는 팹리스 반도체 기업으로, 특히 LCoS에 강점이 있음
  - 라운텍의 제품은 주로 AR 스마트 글라스, HMD, HUD, 피코 프로젝터, 홀로그래피, 통신 등 다양한 XR(AR/VR/MR) 기기에 내장되어 사용되고 있음
  - 라운텍은 특히 LCoS 디스플레이를 시작으로 마이크로LED, 마이크로OLED 등 자체 발광 마이크로 디스플레이로 기술과 제품을 확장하고 있음
  - ※ 라운텍은 SID 2023에서 OLEDoS와 LEDoS를 전시하며 LCoS와 함께 풀 라인업을 완성함
- 우리나라 (주)루멘스는 2004년에 설립된 LED 전문기업으로, LCD TV용 백라이트유닛(BLU)을 주로 만들었으나, 마이크로LED를 새로운 성장동력을 육성하고자 함
  - 루멘스는 2023년에 하나의 에피웨이퍼 위에 RGB를 동시 구현한 마이크로 LED용 모노리식(Monolithic) 적녹청(RGB) 에피웨이퍼를 개발함
  - ※ 에피웨이퍼는 빛을 내는 발광층이 형성된 기판으로, 하나의 에피웨이퍼 상에 적색(R)이나 녹색(G), 또는 청색(B)을 내는 층을 한 개만 형성하는 것이 일반적이거나, 루멘스 기술은 RGB를 한 장의 웨이퍼 상에 쌓아 올린 것이 특징
- 삼성디스플레이는 OLEDoS 개발을 마치고 상용화를 앞두고 있으며, WOLED+CF 방식으로 개발하되, 장기적으로 애플에는 RGB 방식 OLEDoS를 개발할 계획
  - 삼성디스플레이는 OLEDoS 개발을 위해 2023년 미국 OLEDoS 전문기업 이매진을 인수했으며,

- CES 2024와 MWC 2024에서 RGB 방식의 OLEDoS를 처음 공개함
  - ※ 삼성디스플레이가 CES에서 공개한 RGB OLEDoS는 1.03인치로, 화소밀도는 3,500 PPI로, 4K TV와 비슷한 해상도를 지원함
    - 특히 SID 2024에서는 이매진(eMagin)과 함께 RGB OLEDoS 기술의 핵심인 3,500PPI 파인 실리콘마스크(FSM: Fine Silicon Mask) 실물을 처음으로 공개해 업계의 큰 주목을 받음
  - ※ RGB OLEDoS는 RGB 서브픽셀 크기를 수 마이크로미터( $\mu\text{m}$ ) 수준으로 증착해야 하는데 삼성디스플레이는 이를 위해 8인치 실리콘 웨이퍼를 기반으로 파인실리콘마스크를 제작하였는데, 이는 반도체 노광 공정을 통해 미세한 홀을 만들기 때문에 기존 파인메탈마스크(FMM) 대비 더 조밀한 픽셀 구현이 가능해 향후 RGB OLEDoS 제조 과정에서 핵심적인 기술로 꼽힘
- LG디스플레이는 WOLED+CF 방식 OLEDoS를 개발 중이며, 당분간 연구개발에 주력하고 생산을 위한 투자는 시장 수요를 보면서 차분하게 대응할 예정
  - SID 2024에서 휘도 1만 니트, 해상도 4K급 화소밀도 4,000 PPI, 색 영역 DCI-P3 97% 이상 충족 등을 특징으로 하는 1.3인치 WOLED+CF OLEDoS 디스플레이를 전시함
  - 또한 SID 2024에서 스마트워치용 OLEDoS를 업계 최초로 공개하였는데, 이는 1.3인치 크기에 4K 해상도, 그리고 무안경 3D 기술인 라이트 필드 디스플레이(LFD:Light Field Display) 기능을 탑재해 홀로그램 같은 효과를 구현함

### 3 XR 디바이스용 디스플레이 동향

- 최근 5년간(2018년~2022년) 127개 업체에서 308개의 XR 기기를 출시함
  - 2016년과 2017년에 모델 수가 급격히 증가하고, 2018년과 2019년에는 감소하다가 2020년과 2021년에 다시 증가, 그리고 2022년에 다시 감소하는 패턴을 보임

그림 10 XR 디바이스 모델 수 (1989년~2022년)

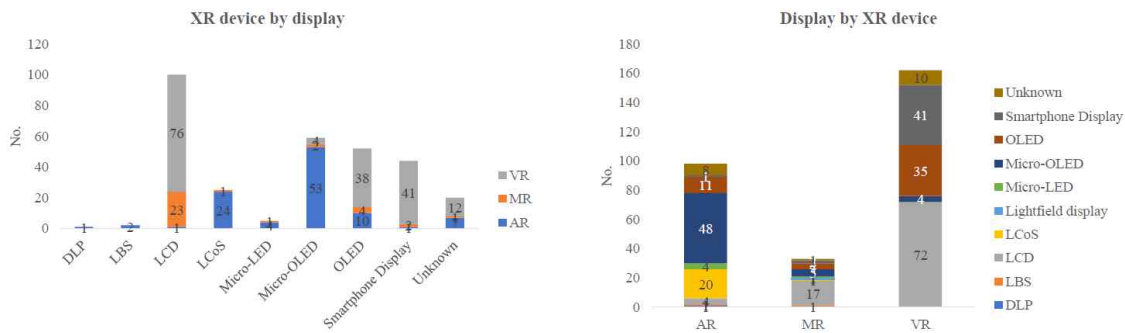


\* 출처: UBI Research(2023)

- XR 기기용 디스플레이를 살펴보면 AR기기는 주로 Micro-OLED를 사용하고 있으며, VR기기는 LCD를 사용하고 있음

- XR기기에 적용되는 디스플레이는 LCD가 가장 많이 사용되고 있으며, 다음으로는 Micro-OLED(OLEDoS), OLED 등의 순으로 적용되고 있음
- AR기기에 적용되는 디스플레이는 Micro-OLED(OLEDoS), LCoS, OLED 등의 순으로 나타남
- VR기기에 적용되는 디스플레이는 LCD, 스마트폰 디스플레이, OLED 등의 순으로 나타남

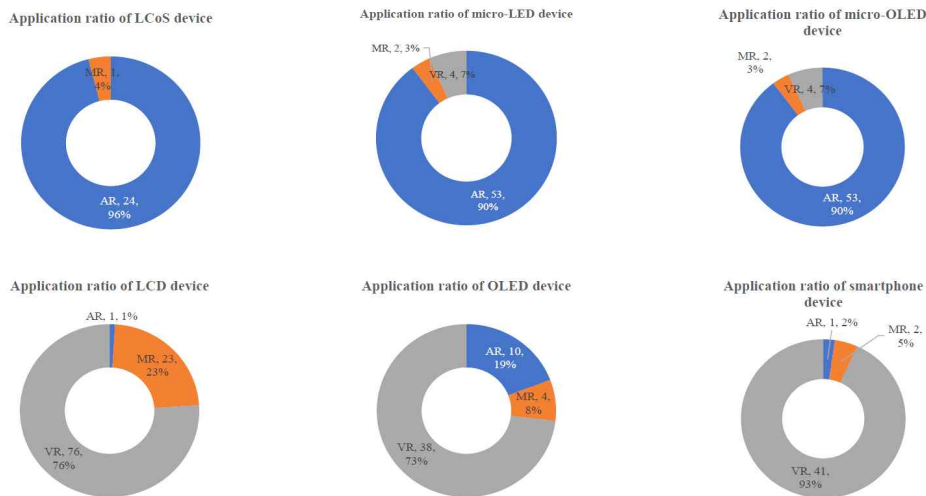
**그림 11** XR 기기용 디스플레이 적용 현황 (1989년~2022년)



\* 출처: UBI Research(2023)

- 온 실리콘(on Silicon) 디스플레이 기술은 주로 AR기기에 적용되고, VR기기에는 대체적으로 LCD나 OLED가 적용됨
- LCoS 디스플레이는 주로 AR기기와 MR기기에 적용되고 있으며, VR기기에는 전혀 적용된 사례가 없음
- OLEDoS 디스플레이는 주로 AR기기에 적용되고, MR기기 VR기기에 일부 적용되고 있음
- LEDoS 디스플레이는 주로 AR기기에 적용되고, 일부 MR기기 VR기기에 적용되고 있음

**그림 12** XR 기기용 디스플레이 적용 현황 (1989년~2022년)



\* 출처: UBI Research(2023)

**<참고> 최신 XR 기기에 적용된 디스플레이 현황 (2023년 상반기 출시 제품 기준)**

- 2023년 상반기 동안에 17개 기업에서 19종의 XR기기가 출시됨
  - 전체 XR기기 중에서 AR기기는 9개로 출시 모델 전체의 47%이며, VR기기는 6개로서 32%, MR은 4개로서 21%로, AR기기가 주로 출시됨
  - 디스플레이는 Micro-OLED(OLEDoS), LCD, LCoS, OLED, Micro-LED(LEDoS) 등이 적용되고 있으며, Micro-OLED(OLEDoS)와 LCD가 적용된 제품이 각각 6개, LCoS가 3개, OLED와 Micro-LED가 각각 1개임
  - AR기기에는 모두 실리콘 기반(On Silicon)의 디스플레이 기술이 적용되었으며, Micro-OLED(OLEDoS)를 적용한 제품이 4개, LCoS는 3개, Micro-LED(LEDoS)를 적용한 제품이 1개임
  - VR기기에서는 일반 LCD가 적용된 제품이 4개로 가장 많고, 일반 OLED 적용 제품 1개, Micro-LED(LEDoS)를 적용한 제품이 1개임

회사	모델명	기기 타입	디스플레이	해상도	국가
<AR기기>					
INNO	Air2	Glasses	Micro-OLED	640x480	중국
Owootee	Birdbath	Glasses	Micro-LED		멕시코
Cellito	Argus	Glasses	Unknown	1920x1080	한국
LetinAR	KoptAR	Glasses	Micro-OLED	1920x1080	한국
Magic Leap	KAPTANG	Headset	LCOS	1280x720	한국
Magic Leap	MAX IM	Headset	LCOS	1280x720	한국
RealWear	Navigator 5200	Glasses	LCOS	1280x720	미국
Rokid	Rokid Max	Glasses	Micro-OLED	1920x1080	미국
Campfire	Campfire Headset	Headset	Micro-OLED		미국
<MR기기>					
Lenovo	ThinkReality VRX	Headset	Unknown	2280x2280	중국
Arpara	Arpara VR all in one	Headset	Micro-OLED	2560x2560	홍콩
AjnaLens	AjnaXR	Headset	LCD	1600x1600	인도
AjnaLens	AjnaXR Enterprise Edition	Headset	LCD	2280x2280	인도
<VR기기>					
DPVR	DPVR E4	Headset	LCD	1832x1920	중국
PICO	Pico G3	Headset	LCD	1832x1920	중국
Pimax	Pimax Crystal QLED	Headset	LCD	2880x2880	중국
SONY	Playstation VR2	Headset	OLED	2000x2040	일본
HTC	HTC Vive XR Elite	Headset	LCD	1920x1920	대만
Bigscreen	Bigscreen Beyond	Headset	Micro-LED	2560x2560	미국

\* 출처: UBI Research(2023)를 활용하여 저자 정리

## V 마이크로 디스플레이의 기회와 위협

- 마이크로 디스플레이는 애플의 ‘비전 프로’ 출시를 계기로 다시 시작된 XR 시장의 핵심 경쟁 포인트로, 디스플레이 업체들에게 새로운 기회를 제공할 것으로 전망됨
  - 마이크로 디스플레이는 소니, 코핀, 라온텍 등 일부 업체들이 기술을 선도하고 있을 뿐 관련 기술 및 제품을 개발하는 기업이 소수에 불과하며, 아직은 시장형성도 미미한 상황
- 우리나라는 세계 최고의 OLED 디스플레이 기술과 반도체 기술을 가지고 있어, 지속적인 관심과 집중 투자를 통해 단시간에 세계시장을 주도할 수 있을 것으로 전망
  - 정부(과기정통부)는 2024년도 R&D 예산으로 온실리콘디스플레이 미래원천기술 개발에 33억 원을 배정하는 등 선제적으로 마이크로 디스플레이 기술 개발에 투자를 진행

표 5 마이크로 디스플레이의 기회와 위협

기회	위협
<ul style="list-style-type: none"> <li>• XR 기기 및 웨어러블 기기 시장이 성장함에 따라 고해상도 마이크로 디스플레이의 수요 증가</li> <li>• 의료 기기 분야에서 고해상도 마이크로 디스플레이의 필요성이 증대</li> <li>• 군사 장비 분야는 실시간 정보 제공 및 정확한 시각 정보를 필요로 하는 분야로, 마이크로 디스플레이의 또 다른 핵심 분야</li> <li>• 소비자 가전 및 차량 등에 마이크로 디스플레이가 적용되어 활용 분야가 점차 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고해상도와 고휘도를 가진 고효율의 마이크로 디스플레이 개발에 대한 기술적 어려움</li> <li>• 매우 정밀한 제조 공정으로 인해 제조 과정에서 높은 불량률과 제조 비용 발생</li> <li>• XR 기기 시장의 성장 속도와 시장 규모 전망의 불확실성으로 기업의 투자 전략 수립이 어려움</li> </ul>

\* 출처: 저자 작성

### 가. 기회

- 엔터테인먼트, 교육, 헬스케어 등 산업용 애플리케이션에서 XR 기기 및 웨어러블 기기 시장이 성장함에 따라 고해상도 마이크로 디스플레이의 수요도 증가하고 있음
  - 마이크로 디스플레이는 스마트 안경, 스마트워치 등 웨어러블 기기 및 XR 기기의 핵심 부품으로, 소형화, 경량화, 저전력, 고해상도 특성을 갖는 기기에 적합한 디스플레이
- 수술용 디스플레이, 의료 영상장비 등 의료 기기 분야에서 고해상도 마이크로 디스플레이의 필요성이 증대되고 있음
  - 수술용 마이크로스코프, 내시경 등 고해상도 이미지를 실시간으로 제공하는 의료 장비에 마이크로

디스플레이 적용이 확대되고 있음

- 드론, 헬멧 마운트 디스플레이 등 군사 장비 분야는 실시간 정보 제공 및 정확한 시각 정보를 필요로 하는 분야로, 마이크로 디스플레이의 또 다른 핵심 분야임
  - 마이크로 디스플레이는 군용 헬멧 디스플레이, 비행기 조종석 디스플레이 등에 활용되어 정보 제공 및 시야 확보에 도움을 주고 있음
- 카메라 뷰파인더, 스마트워치, HUD(Heads-Up Display) 등 소비자 가전 및 차량 등에 마이크로 디스플레이가 적용되어 활용 분야가 점차 확대되고 있음
  - 마이크로 디스플레이는 디지털 카메라와 캠코더의 전자식 뷰파인더에 사용되고, 스마트 워치와 자동차용 HUD 시스템에 사용되는 등 점차 활용분야가 확대되고 있음

## 나. 위험

- 고해상도와 고휘도를 가진 고효율의 마이크로 디스플레이 개발에 대한 기술적 어려움
  - 1인치 내외의 작은 화면에 수천 PPI 수준의 높은 픽셀 집적도를 구현하는데 기술적 어려움이 있으며, 저전력 유지하면서 고휘도를 실현하는 것이 쉽지 않음
- 마이크로 디스플레이는 매우 정밀한 제조 공정을 요구하며, 제조 과정에서 불량률이 높아지는 등 높은 제조 비용으로 인해 가격 경쟁력 확보가 어려움
  - 애플의 비전프로에 사용되는 OLEDoS 디스플레이의 생산 수율이 약 50%에 불과하며, 낮은 수율은 OLEDoS 패널 한 쌍당 700달러라는 높은 비용을 유발하고 공급 용량을 제한시킴
- 마이크로 디스플레이의 핵심 시장인 XR 기기 시장의 성장 속도와 시장 규모 전망의 불확실성으로 기업의 투자 전략 수립이 어려움
  - AR/VR 시장의 성장 속도와 규모가 예측보다 느리고 작을 수 있으며, 소비자의 수용도와 기술 발전 속도에 따라 시장 변동성이 클 수 있음



## 참고문헌

### ○ 국내자료

- KISTI(2022), 마이크로디스플레이(Microdisplay), ASTI MARKET INSIGHT 2022- 068.
- LG Display Newsroom(2014), 미래 기술, 웨어러블 디바이스-웨어러블 디바이스와 디스플레이
- UBI Research(2023), XR 산업의 메가트렌드 분석, 유비리서치
- WIKIPEDIA, LCoS, <https://fi.wikipedia.org/wiki/LCoS>
- 박영호 외(2022), 메타버스 디바이스용 마이크로디스플레이 개발현황, KEIT PD 이슈리포트 Vol 22-12.
- 삼성디스플레이 뉴스룸(2018), 디스플레이 미래 기술 전망 Part.2
- 삼성디스플레이 뉴스룸(2023), 디스플레이 용어알기 68편 : 백플레인 (Backplane)
- 삼성디스플레이 뉴스룸(2023), 디스플레이 용어알기 102편 : 마이크로 디스플레이(Micro Display)
- 삼성디스플레이 뉴스룸(2024), 삼성디스플레이, 美 'SID 2024'에서 OLED의 미래 제시, 보도자료, 2024.5.15.
- 위키백과(Wikipedia), 가상현실, 증강현실, 혼합현실
- 조남성 외(2019), OLED 마이크로 디스플레이 기술 동향, 인포메이션 디스플레이 제20권 제5호, pp.18-22.
- 한국증권 리서치센터(2023), XR, 활짝 피어나는 확장현실, 산업/기업분석, 2023.3.21. <https://www.heungkuksec.co.kr/research/company/view.do?key=15483>

### ○ 국외자료

- Amalkumar Ghosh, et al.(2016), "62-1: Invited Paper: Directly patterned 2645 PPI full color OLED microdisplay for head mounted wearables", SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol. 47. No. 1. 2016. <https://doi.org/10.1002/sdtp.10805>
- Aviv Frommer(2021), "Lumus: Maximus: Large FoV Near to Eye Display for Consumer AR Glasses", Proc. SPIE 11764, SPIE AVR21 Industry Talks II, 1176403 (28 March 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2597431>
- Kevin R. Curtis(2022), "Unveiling Magic Leap 2's Advanced AR Platform and Revolutionary

Optics", Proc. SPIE 11932, SPIE AR, VR, MR Industry Talks 2022, 119320P (8 March 2022);  
<https://doi.org/10.1117/12.2632495>

MARKETSANDMARKETS(2022), Microdisplay Global Forecast to 2028.

OMDIA(2023), Near Eye Display for XR Application Report – 2023 Analysis, 2023.6.

OMDIA(2024), “Long-term Display Industry Outlook”, 2024년 한국 디스플레이 컨퍼런스 (상반기),  
 2024.3.13.

OMDIA(2024), “Emerging Display Technology & Market”, 2024년 한국 디스플레이 컨퍼런스 (상반기),  
 2024.3.13.

TrendForce Press Center(2024), Apple Vision Pro Shipments Estimated Between 500-600 Thousand  
 Units, Micro OLED Key to Cost and Volume, Says TrendForce, 2024.1.18.

### ○ 웹사이트

eMagin 홈페이지, <https://www.emagin.com/technology#time2>

Kopin Corporation 홈페이지, <https://www.kopin.com>

라운텍 홈페이지, <http://www.raon-tech.com>

### ○ 신문기사

KIPOST(2021), 메이, HMD·HUD로 실리콘 액정표시장치(LCoS) 재도약 기회 노린다, 2021.5.18.

THEELEC(2023), LG디스플레이, 올레도스 투자는 언제쯤?... 당분간 R&D 집중 전망, 2023.9.7.

THEELEC(2023), 삼성디스플레이, RGB 올레도스 업체 美이매진 인수...2900억 원, 2023.5.18.

THEELEC(2024), LG디스플레이, SID서 ‘4000PPI WOLED+CF 올레도스’ 전시, 2024.5.16.

THEELEC(2024), 삼성디스플레이, CES서 1.03인치 RGB 올레도스 공개...3500PPI, 2024.1.7.

전자신문(2020), ‘마이크로 LED 디스플레이 양산을 쉽게’ 엘씨스퀘어, 레이저 이용 생산 기술 개발,  
 2020.3.11.

전자신문(2023), “적·녹·청 하나로”...루멘스 ‘RGB 원칩’ 모노리식 마이크로 LED 개발, 2023.1.24.

중앙일보(2024), “韓 기술 밝히자” 반도체·OLED 만났다...LG ‘올레도스’의 탄생, 2024.5.19.

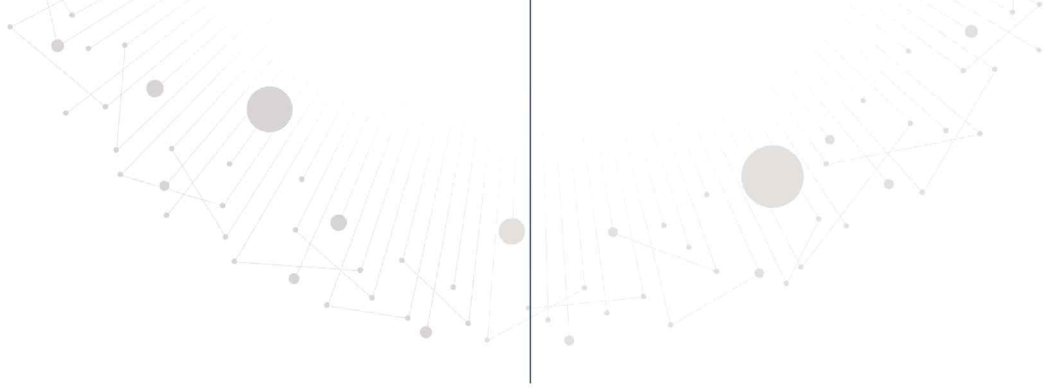
## 저자 소개

**박영준** ETRI ICT전략연구소 기술정책연구본부 산업분석연구실 책임연구원  
e-mail: joony@etri.re.kr Tel. 042-860-6498

## 디스플레이의 새로운 도전, 마이크로 디스플레이의 현황과 기회

**발행인** 한 성 수  
**발행처** 한국전자통신연구원 ICT전략연구소  
**발행일** 2024년 07월 31일





www.etri.re.kr

본 저작물은 공공누리 제4유형:  
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.



**ETRI** Electronics and Telecommunications  
Research Institute

34129 대전광역시 유성구 가정로 218  
TEL.(042) 860-6114 FAX.(042) 860-6504

