

# OLEDoS 최신 동향

정재훈  
(APSR리서치)

## 1. 서론

가공, 초월을 뜻하는 Meta와 세계를 의미하는 Universe의 합성어인 메타버스 (Metaverse)는 '현실을 초월한 온라인 가상 세계를 구축하여 소통과 상호 작용이 가능한 디지털 세계'라고 정의하고 있다. 메타버스에서 사용자들이 고도화된 상호작용을 하기 위해서는 고 화소 밀도를 갖는 고해상도의 초실감 디스플레이의 역할이 크게 증가하고 있다.

현재 정보통신기술 (ICT) 분야에서는 4차 산업혁명을 선도할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 가상현실/증강현실 (VR/AR) 기술은 이 분야에서 핵심적인 역할을 담당하고 있다.<sup>[1-3]</sup> 최근까지 AR 산업은 소형 사이즈의 AR 제품 부족과 시장 선도 기업의 부재로 인해 도입기에 머물러 있다. 그러나 5G 연결 등 관련 기술의 급속한 기술 혁신과 발전으로 AR의 사용성과 효용성이 B2C 시장에도 적용되기 시작했기 때문에 AR 스마트 글래스는 향후 몇 년 내에 메타버스 사회의 주류가 될 것으로 예상된다.

해외에서는 구글, 마이크로소프트, 애플, 메타 (페이스북) 등 빅테크 업체들을 중심으로 메타버스 및 그와 관련된 헤드셋, 안경 등의 하드웨어 개발이 활발하게 추진되고 있으며, 국내에서도 삼성, LG 뿐만 아니라 여러 기업에서 다양한 관련 과제와 연구개발을 활발히 수행하고 있다.

마이크로 디스플레이는 증강현실 (AR), 가상현실 (VR) 기기에 사용할 수 있는 1인치 내외 디스플레이를 말한다. 이는 실리콘 기판 위에 유기발광다이오드 (OLED) 또는 발광다이오드 (LED)를 얹어 디스플레이를 제작한다. OLED 마이크로 디스플레이는 기존의 OLED보다 화소 크기가 1/10 정도로 작다. TV와 스마트폰에 적용되는 유리 기반의 Oxide 혹은 LTFS TFT는 구조적 한계로 인해 픽셀의 크기를 줄이는 데 한계가 있다. 유리 기판이 아닌 실리콘 웨이퍼를 사용하며 TFT가 아닌 CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) 기술을 적용하면 기존 TFT보다 훨씬 미세한 패턴 공정이 가능하여 초고해상도를 실현할 수 있다.

2012년도에 발표된 Oculus Rift를 시작으로 현재까지 다양한 AR/VR 기기가 개발되었고 판매되고 있으나, 아직까지 스마트폰만큼 대중화가 되지 못하고 있다. 그 이유는 디스플레이의 성능이 높지 않아 사용자의 피로도를 증가시키고 어지러움 증을 유발하는 등 다양한 이슈 사항들이 있기 때문이다. 몰입감이 높은 가상 또는 증강현실을 구현하기 위해서는 현실 세계와 가상의 공간에서 인간의 인지 메커니즘을 고려해야 한다. 눈과 디스플레이의 간격이 좁은 AR/VR 기기의 경우, 몰입도를 떨어트리는 가장 큰 요인 중 하나는 스크린 도어 효과 (Screen Door Effect) 이다. 이는 픽셀 사이의 선을 구분할 수 있는 현상으로 기기를 착

용하였을 때 어지럼증을 유발할 수 있다. 이를 줄이기 위해 기기에 탑재된 디스플레이의 해상도를 우선적으로 높여야 한다.

메타버스 서비스 기술의 재현을 위해서는 고품질의 마이크로 디스플레이 기술 및 AR 기술의 확보가 필수적이며, 초고해상도 실현이 가능한 OLEDoS의 기술에 대해 간단히 설명한 후, 최신 동향에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. OLEDoS 기술

### 2.1. OLEDoS 개념 및 특성

OLEDoS (OLED on Silicon)은 실리콘 웨이퍼 기판 위에 화소와 구동부를 생성하는 반도체 공정을 한 후 그 위에 발광부인 OLED를 적용하여 만든 디스플레이이다. 기존의 OLED Display는 유리 기판 기반의 저온폴리실리콘 (LTPS) 혹은 산화물반도체를 이용한 Thin-Film Transistor (TFT) 기반의 디스플레이 패널을 사용한다. 그러나 OLEDoS는 실리콘 웨이퍼 기반의 CMOS 회로를 탑재한 기판을 사용한다. CMOS 공정은 poly-Si 나 a-Si를 사용한 TFT 공정보다 더욱 미세한 패턴 공정이 가능하기 때문에 수십  $\mu\text{m}^2$  크기의 작은 화소 사이즈를 구현할 수 있다. 이를 활용하여 초미세 회로 구조를 구현할 수 있으며, 유기물을 증착하여 초고해상도 OLED를 구현할 수 있다.

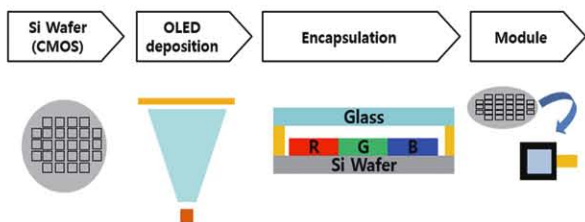


그림 1. OLEDoS 공정 모식도

OLED (Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드)는 스스로 빛을 내는 자체발광 소자로서 RGB 유기층에 전류를 흘려주어 색을 표현한다. 양극인 Anode와 음극인 Cathode에서 각각 정공 (+)과 전자 (-)가 주입되어 주입층 (HIL, EIL)과 수송

층 (HTL, ETL)을 지나 발광층 (EML, Emission Material Layer)에서 만나 발광을 하게 된다. OLED는 자발광하는 물질을 사용하므로 LCD와는 달리 백라이트, 액정, 컬러필터 등 부품들이 불필요하다. 따라서 기존의 LCD에 비해 획기적으로 얇은 두께 구현도 가능하다.



그림 2. LCD TV (왼쪽), OLED TV (오른쪽) (출처 : OLED Space)

각각의 픽셀 소자의 전원이 꺼지면 빛을 방출하지 않는 OLED는 완벽한 블랙을 구현할 수 있다 꺼진 상태에서도 백 라이트의 빛이 미세하게 통과되는 LCD는 완벽한 블랙을 나타내지 못한다. 그래서 OLED는 LCD와 비교했을 때 더 깊은 블랙으로 더 높은 명암비를 달성할 수 있다. 이를 통해 화면을 더 생생하게 볼 수 있는 것이다.

OLED는 응답 속도 단위가  $\mu\text{s}$ 로 LCD에 비해 빠른 응답 속도를 구현할 수 있다. 이러한 특성으로 잔상이 남는 현상인 모션 블러가 덜 발생한다.

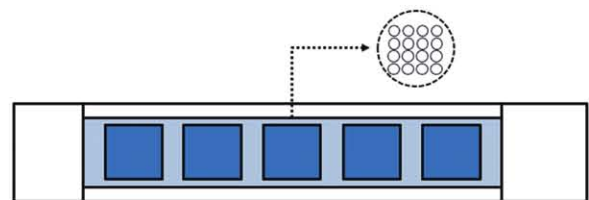


그림 3. FMM (Fine Metal Mask)

FMM (Fine Metal Mask)는 OLED 디스플레이에서 발광체인 RGB 유기물을 기판에 증착할 때 사용하는 마스크 (Mask)의 한 종류이다. FMM은 매우 튼튼하면서 열팽창이 없는 소재로 만들어지며, 특수 합금인 Invar (인바)로 제작된다.

미세 화소 크기를 구현하기 위해서 수십 마이크로 정도의 매우 정교한 화소 패턴이 뚫어진 형태로 제작된다. FMM은 고해상도 디스플레이 제품일수록 정교

한 패턴을 필요로 하며 현재 FMM 시장은 일본기업인 DNP (Dai Nippon Printing)가 거의 독점적으로 생산/공급 중이며, 기술적 장벽이 매우 높기 때문에 국산화가 반드시 필요한 제품이다.

기판의 정확한 위치에 RGB 유기물을 증착 하기 위해 각각의 색상별로 해당 위치와 FMM의 미세한 구멍이 매칭되도록 구성된 후 증착 공정을 진행해야 한다. 또한, 유기물 증착 시 기판과 마스크가 위쪽으로 놓이고 RGB 소스가 아래쪽에 위치하게 되는데, 얇은 두께의 기판의 크기가 증가할수록 처짐 정도는 더 증가하게 되고 이로 인해 불량이나 화소가 정확히 구현되지 않는 문제가 발생하게 된다. 처짐 정도를 최소화하는 방법으로는 인장기를 통해 기판과 마스크 사이가 뜨지 않고 팽팽하게 유지되도록 붙이는 공정을 거치는 것이다.

### 2.2. OLEDoS 주요 특성

CMOS 회로는 낮은 전압에서 동작하게 되며, OLEDoS용 OLED는 구동전압이 낮아야 한다. OLEDoS는 실리콘 기판 위에서 형성되기 때문에 유리기판과 달리 투명하지 않다. 따라서 OLEDoS는 상부 발광형으로만 제작이 가능하다. 상부 발광형 디스플레이는 반사율이 높은 하부전극과 투과도가 높은 상부전극을 필요로 한다. 하부 전극의 경우 CMOS 공정에서 사용할 수 있는 금속의 종류가 매우 제한적이며, 광학적 반사율이 높은 Al이 주로 사용된다. 하지만 양극으로 사용하기에는 일함수가 낮아, 얇은 TiN 박막을 Al 전극 위에 증착한 Al/TiN 구조가 많이 사용되고 있다.

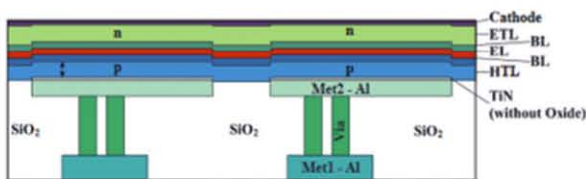


그림 4. OLEDoS의 단면도 (출처 : <https://doi.org/10.1889/1.2785444>)

### 2.3. 마이크로디스플레이의 기술적 요구사항

메타버스 서비스 기술의 재현을 위해서 요구되는 디스플레이의 특성은 고해상도, 고휘도, 경량화, 넓은 시야각 등이 있다. 높은 휘도 구현을 위해서 마이

크로 OLED 디스플레이의 경우, 화이트 OLED + 컬러필터 (Color Filter) 방식이 아닌 RGB 각각의 화소를 Direct pattern한 방식으로 제작되고 있다. RGB Direct pattern으로 제작된 마이크로 OLED의 경우, White OLED 대비 휘도와 발광 효율을 크게 증가시킬 수 있다.

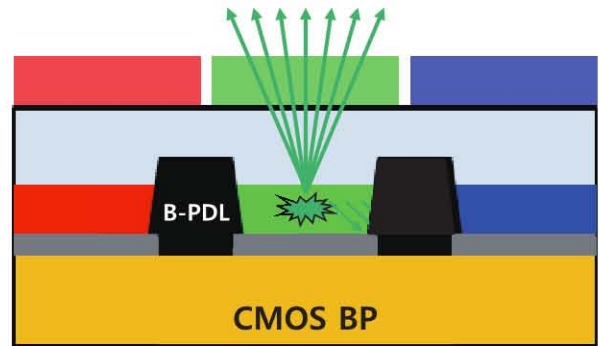


그림 5. Black PDL 적용 OLED 단면도

마이크로 디스플레이 구조상 매우 인접해 있는 Pixel로 인해 발생하는 Cross-talk 이슈를 해결해야 한다. Cross-talk이 발생할 경우, 혼색으로 인한 색순도 감소 및 영상 품질 저하가 발생되므로 Black PDL 등이 해결 방안으로 제시되고 있다.

## 3. OLEDoS 기술 최신 동향

### 3.1. AR/VR 기기 시장

확장현실 (XR)은 VR, AR/MR을 포함한 기술로써 향후 메타버스가 XR을 중심으로 발전하는 생태계가 될 것이라 예상되며 혁신적인 사용자 경험을 제공할 수 있는 기술로 최근 관심이 급격히 증가하고 있다. 이에 따라 디스플레이 업계에서는 확장현실 (XR) 기기에 적용될 기술 개발에 속도를 내고 있다. 그동안 마이크로 디스플레이 사업성이 낮다고 판단되어 관련 기술개발에 소극적이었지만 디스플레이 시장이 대형에서 중소형 기기로 전환이 빨라지면서 메타버스에 최적인 마이크로 디스플레이 시장도 커지는 양상이다.

다른 디스플레이 비교해 봤을 때 장점이 많은 OLEDoS는 해상도 및 휘도를 높이고 소비전력을 줄이는 데에 연구개발이 집중되고 있다. 최근 AR/VR

기기 시장은 큰 폭으로 성장했다. 2019년 446만대, 2020년 501만대로 점진적으로 늘어나다 2021년 986만대를 기록했다. 이는 전년대비 96% 가량 증가한 수치이다. IDC에 따르면 전 세계 AR/VR 헤드셋 시장이 향후 5년간 급성장할 것으로 전망했다. 2025년 181억 7700만 달러 규모로 성장할 것으로 예상하며 출하량은 5290만대로 예상된다.

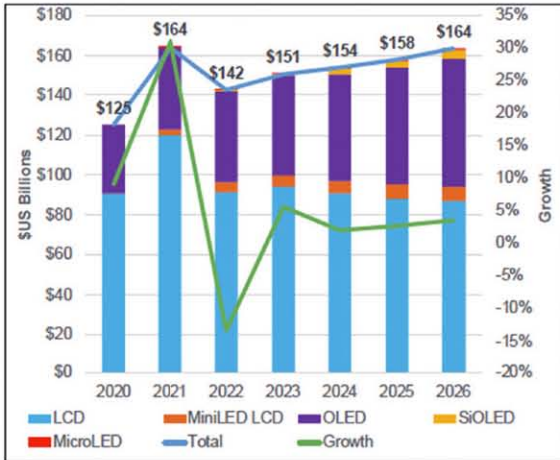


그림 6. 디스플레이 수익 예측 그래프 (20~26") (출처 : DSCC SID Weekly Review)

이에 따라 초고해상도를 구현해야 하는 AR/VR 디스플레이 패널에 사용되는 OLEDoS 수익은 2026년까지 상승할 것으로 예상된다.

### 3.2. 국내 OLEDoS 기술개발 동향

LG디스플레이는 2020년 국제정보디스플레이학회 (SID) 전시회에서 0.42인치, 해상도 3,500ppi 및 4,000nit 이상의 휘도를 갖는 AR용 OLEDoS Panel을 발표했다.



그림 7. LGD 0.42인치 OLEDoS Display (출처 : LG Display)

LG디스플레이는 OLEDoS 시장 진입을 위하여 선익시스템과 White/Color Filter 방식 OLEDoS 기술을 개발해왔다. 내년에 출시 예정인 애플의 첫번째 혼합현실 (MR) 기기에서 내부 OLEDoS는 소니가 납품하고, LG디스플레이는 외부 인디케이터용 일반 OLED 공급이 예상되지만, 애플의 차세대 MR 기기에 OLEDoS Panel 공급을 계획하는 것으로 알려져 있다.

최근 삼성디스플레이 또한 RGB 다이렉트 패터닝 방식의 OLEDoS 기술 개발을 본격화했다. 삼성 디스플레이는 2024년 고객에 공급을 목표로 3,500ppi급, 1만 니트 사양을 목표로 개발 중인 것으로 알려졌다.

라운텍은 AR/VR/MR용 마이크로디스플레이 솔루션 및 모바일 TV SoC를 전문으로 하는 팹리스 반도체 기업으로 LCoS 관련 연구를 진행해왔으나, 최근에는 OLEDoS에 대해서도 관심을 보이고 있다.

에스엔유는 '야외 시인성 확보 가능한 AR 디바이스용 영상표시장치 기술 개발' 국책과제 주관기관으로, 관련 연구개발을 진행하고 있다. 이 과제를 통해 고해상도 초경량 AR 디바이스용 OLEDoS 핵심부품 및 양상 기술 및 고해상도 OLEDoS의 국산화 개발을 계획하고 있다.

또한 APS리서치는 2021년 "AR용 고휘도와 고해상도를 갖는 자발광 OLED용 마이크로 디스플레이 기술개발" 국책과제의 총괄 주관기업으로 선정되어 RGB 다이렉트 패터닝 방식의 OLEDoS를 산학연 컨소시엄을 이루어 개발을 진행하고 있다. 특히 고정밀 레이저 가공기술을 이용하여 제작한 FMM (Fine Metal Mask)을 사용하여 3,000 ppi OLEDoS Panel을 제작 발표했다. 이를 구현하기 위하여 초고해상도 FMM 기술, 고정밀 FMM/기판 Align 증착 기술, 기판 열팽창 억제 기술 및 소자의 신뢰성을 확

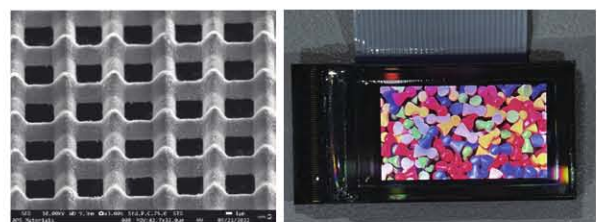


그림 8. APS리서치 3,000ppi FMM (왼쪽), 0.7" FHD 3,000ppi OLEDoS Panel (오른쪽)

보할 수 있는 TFE (Thin Film Encapsulation) 기술 등 sub-micron 급의 정밀도를 가지는 소재 및 장비 기술을 활용함으로써 Metal mask를 이용한 초고해상도 RGB 다이렉트 패터닝 OLEDoS Panel 제작이 가능하다는 것을 보여주었다.[5-7] 이러한 기술을 토대로 2024년까지 4,000 ppi OLEDoS Panel 개발을 계획하고 있다.

### 3.3. 국외 OLEDoS 기술개발 동향

Epson이 기존 AR 기기인 BT-200은 Poly-Silicon TFT기반의 액정 마이크로 디스플레이를 사용한 반면, 최신 기기인 BT-300에서는 OLEDoS Panel이 적용되었다.

Nreal은 일상 생활에서 착용 가능하며 스마트폰과 유선연결 하여 사용하는 경량화 AR 기기인 Light 제품을 발표하였으며, 2019년 CES에서는 'Best Startup Award'를 수상하기도 했다.



그림 9. Epson BT-300 (왼쪽), Nreal Light AR Glass(오른쪽)

Kopin의 경우 Full-Color 구현을 위해 White OLED와 컬러필터 (Color Filter)을 합친 구조를 적용하여 2014년 CES에서 2K\*2K급 고해상도 OLEDoS를 발표한 바 있다.

대표적인 OLEDoS 기업인 미국의 eMagin은 미국에서 열린 2017 SID 학회에서 2K\*2K급 고해상도 OLEDoS 패널을 발표하였다.<sup>[4]</sup>

eMagin은 R,G,B OLED 발광층을 직접 패터닝하여 컬러필터 없이 Full Color을 구현하였다. 이로써 더 높은 휘도를 낼 수 있고, 효율도 증가시킬 수 있다.

본 패널은 5,000 cd/m<sup>2</sup>의 고휘도가 가능하고, RGB 화소를 다이렉트 패터닝을 통해 구현하였다. 이를 통해 구현된 패널의 색재현율은 sRGB 기준 79.5%인데, 추가적인 색상 향상층 도입을 통해 133%까

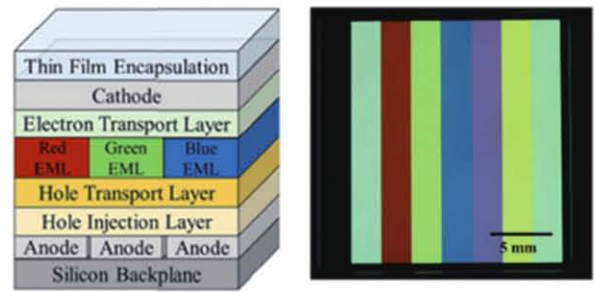


그림 10. eMagin OLEDoS 소자구조 (왼쪽), 2K\*2K급 패널 이미지 (오른쪽) (출처 : Recent Advances in High Brightness OLED Microdisplay)

지 향상이 가능하다고 발표하였다.

일본의 소니는 White/Color Filter 방식 OLEDoS에 대한 연구를 활발하게 진행하고 관련 제품을 꾸준히 발표하고 있는 기업이다. 2017년 SID 학회에서 0.5인치 QVGA 및 1.25인치 WQVGA OLEDoS를 발표하였다. 0.5인치 OLEDoS 패널의 경우 3,300 ppi, 1.25인치 패널의 경우 2,400 ppi로 매우 높은 해상도를 선보였다.

미국의 Meta사는 기존 Facebook에서 'Meta'로 상호명을 변경할 정도로 메타버스 시장 선점에 대한 강한 의지를 보여주고 있다. 2014년에 VT 디바이스 업체인 Oculus를 인수하여 Oculus Quest 시리즈, Oculus Rift S 등을 출시하였으며, 안경 기업 Luxottica와의 파트너십을 체결하여 Orion이라는 증강현실 안경을 개발하였다. 주력 제품인 Oculus(VR) 개발 및 투자는 꾸준히 이뤄지고 있으며, AR 디바이스 제품 출시를 위해서 고휘도, 고해상도의 마이크로 디스플레이 공급이 가능한 기업을 선정 중에 있다.



그림 10. Meta사의 Oculus Quest2 (위), Oculus Rift S (아래)

#### 4. 결론

LCoS 및 DLP와 같은 마이크로 디스플레이 기술은 오늘날 비교적 성숙해졌지만, OLEDoS 기술은 아직 개발 초기 단계에 있으며 잠재력의 극히 일부만 달성했다는 것은 의심할 여지가 없어 향후 몇 년 동안 빠른 발전이 기대된다.

OLEDoS 패널의 장점은 Near-Eye 기기에 매우 적합하다. 저전력 구동이 가능하기에 배터리 사용 수명을 늘리고 배터리 크기와 무게를 줄일 수 있기 때문에 모든 휴대용 또는 개인용 전자 제품에서 핵심 요소이다.

이러한 장점은 초기 단계 미성숙 기술로 인한 상대적으로 제한된 수명 및 신뢰성과 같은 문제를 신속하고 완벽하게 해결할 수 있는 분명한 동기를 부여한다. 지속적인 연구개발을 통하여 재료와 디바이스가 전반적으로 개선될 것이고, 특히 미세 크기 (~수 $\mu$ m 간격)로 RGB 색 재료를 패터닝하고 인광 물질의 사용 및 Dual Stack 구조 채용 등을 통해서 OLEDoS 패널의 밝기와 효율이 크게 향상될 것으로 기대한다.

최근 코로나19 사태로 인해 언택트가 부각되면서 전세계적인 메타버스 가상현실 기기 시장 규모가 가파르게 성장하는 추세이다. 고해상도 및 초현실감을 실현할 수 있는 마이크로 디스플레이 특히 OLEDoS는 AR/VR 디바이스의 핵심 부품으로써 이를 개발 및 생산하기 위한 대규모 투자와 정부의 적극적인 지원을 통해 기술 경쟁력을 강화해 나아가야 할 것이다.

#### 5. 참고문헌

[1] G. Haas, "Microdisplays for Augmented and Virtual Reality," SID 2018 DIGEST, 2018, pp.506-509.  
 [2] P. Wartenberg, M. Buljan, B. Richter, G. Haas, S. Brenner, M. Thieme, U. Vogel, P. Benitez, "High Frame-Rate 1" WUXGA OLED Microdisplay and Advanced Free-FormOptics for Ultra-Compact VR Headsets," SID 2018 DIGEST, 2018, pp.514-517.  
 [3] T. Fujii, C. Kon, Y. Motoyama, K. Shimizu, T. Shimayama, T. Yamazaki, T. Kato, S. Sakai, K. Hashikaki, K. Tanaka, Y. Nakano, "4032ppi

High-Resolution OLED Microdisplay", SID 2018 DIGEST, 2018, pp.613-616.

[4] A. Ghosh, E. P. Donoghue, I. Khayrullin, T. Ali, I. Wacyk, K. Tice, F. Vazan, O. Prache, Q. Wang, L. Sziklas, D. Fellowes, R. Draper, "Ultra-High-Brightness 2K $\times$ 2K Full-Color OLED Microdisplay Using Direct Patterning of OLED Emitters", SID 2017 DIGEST, 2017, pp.226-229.  
 [5] C. Kim, K. Kim, O. Kwon, J. Jung, J. Park, D. Kim, K. Jung, J. of SID, "Fine metal mask material and manufacturing process for high-resolution active-matrix organic light-emitting diode displays, 2020, pp.1-12.  
 [6] K. Kim, C. Kim, J. Park, D. Kim, K. Jung "FMM Materials and Manufacturing Process: Review of the Technical Issues", SID Symposium Digest of Technical Papers, 75-4 (2018).  
 [7] J. Jung, C. Kim, D. Sung, M. Choi, B. Kwak, K. Jung, "OLED Micro-display using RGB Direct Patterning Technology", SID Symposium Digest of Technical Papers, 53-S1, pp.38 (2022).

#### 저자약력

#### 정재훈



- 1998년 : 경희대학교 물리학 박사
- 1998년 ~ 2001년 : LG전자 PMOLED 연구개발
- 2002년 ~ 2014년 : 삼성디스플레이 AMOLED 연구개발
- 2015년 ~ 2018년 : 독일 Aixtron R&D Manager

• 2019년 ~ 현 : APS리서치 (APS홀딩스) 미래전략기술본부장