

# Quantum Dot의 Display 응용기술 개발동향

2024. 7

Senior Analyst  
Urabe Tetsuo

<b>1. Quantum Dot 개발 및 사업화의 경위</b> .....	4	<b>2.4 Micro LED Micro Display 의 화소 내 색 변환 프로토 타입 예</b> .....	41
1.1 Quantum Dot 개발의 역사 .....	5	2-4-1 Sharp	
1.2 CdSe Quantum Dot .....	7	2-4-2 BOE	
1.3 비 Cd 계 Quantum Dot .....	8	2-4-3 Mojo Vision	
1.4 Perovskite Quantum Dot .....	9	<b>2-5 Micro LED Micro Display 의 화소내 색변환 응용 요약</b> .....	45
1.5 각종 QD 의 특성 정리 .....	10		
1.6 I III IV Quantum Dot .....	11	<b>3. QD-LED 기술 개발 동향</b> .....	46
<b>2. 색변환소자에의 응용</b> .....	12	<b>3.1 요약</b> .....	47
<b>2.1 색 변환 재료로서의 QD</b> .....	13	<b>3.2 QD-LED 특성의 진화와 현상</b> .....	48
<b>2.2 액정 백라이트에의 응용</b> .....	14	3-2-1 Overview	
2-2-1 엣지 라이트형 백라이트에의 응용 형태		3-2-2 비 Cd 계 QD-LED와 Cd 계 QD LED 의 특성 비교	
2-2-2 직하형 백라이트에서의 응용 형태		3-2-3 비 Cd 계 QD-LED 특성의 진화	
2-2-3 미니 LED 백라이트용 색 변환 재료		3-2-4 QD-LED 의 열화 요인	
2-2-4 Perovskite QD를 사용한 Mini LED LCD		<b>3.3 Blue QD-LED 개발</b> .....	52
<b>2.3 화소 내 색 변환 ( In Pixel Color Conversion )</b> .....	21	3-3-1 ZnSe /ZnS QD-LED 의 장파장화	
2-3-1 요약		3-3-2 ZnSe / ZnS QD-LED 의 반응성 제어에피 택셀 성장에 의한 장파장화	
2-3-2 화소 내 색 변환의 실용화 예: QD OLED		3-3-3 ZnSe /ZnS QD-LED 의 장파장화 및 추가 특성 개선	
2-3-3 화소 내 색 변환의 과제와 대책		3-3-4 Core/Shell 구조 설계에 의한 특성 개선	
2-3-4 QD 패터닝 프로세스		3-3-5 QD 보호 기술에 의한 특성 개선	
2-3-5 Micro LED Micro Display 의 화소 내 색 변환			

<b>3.4 비 Cd 계 Red QD-LED의 개발</b> .....	57	<b>3.7 QD-LED 디스플레이 프로토타입</b> .....	80
3-4-1 디바이스 설계에 의한 비 Cd 계 Red QD-LED 의 특성 개선		3-7-1 BOE	
3-4-2 비 Cd 계 Red QD-LED 의 수명 해석		3-7-2 Sharp	
<b>3.5 QD-LED 장치 구조</b> .....	59	3-7-3 삼성디스플레이	
3-5-1 Inverted		<b>3.8 White 발광 QD-LED</b> .....	88
3-5-2 ZnO ETL Layer		<b>3.9 Perovskite QD-LED</b> .....	89
3-5-3 New HTL Layer		3-9-1 EQE 의 진화	
3-5-4 Top Emission		3-9-2 Ligand Exchange로 EQE 개선	
3-5-5 Tandem		3-9-3 ETL에 의한 특성 개선	
3-5-6 메타 서피스에 의한 풀 컬러화		3-9-4 향후 과제	
3-5-7 향후 QD-LED 의 추가 성능 향상을 위해		3-9-5 과제에 대한 대책 : Blue Perovskite 의 고효율화	
<b>3.6 QD-LED 공정</b> .....	72		
3-6-1 Spin Coating			
3-6-2 잉크젯 인쇄			
3-6-3 EHD Printing			
3-6-4 UV Lithography			
3-6-5 전사 Micro Contact Printing			

## 2-2 액정 백라이트에의 응용

### 2-2-3 Mini LED Backlight 용 색 변환 재료

- 그림 1은 Green 및 Red 의 색 변환 재료로서의 형광체 (KSF 등)와 QD (CdSe, InP, Perovskite) 의 발광 스펙트럼 폭과 변환 효율을 플로팅 한 것이다. 스펙트럼 폭은 색 순도에 대응하고, 변환 효율은 휘도 (또는 휘도가 일정하면 소비 전력)에 대응한다. 이 그림에서, 소비전력적으로는 InP 나 CdSe와 같은 QD 보다 형광체가 뛰어나지만, Green에서는 Perovskite 가 형광체와 거의 동등한 소비 전력인데 색순도가 훨씬 우수한 것을 알 수 있다. 한편, Red는 KSF 가 색순도도 소비 전력도 우수하다. \*
- 그림 2는 Green 과 Red 의 어떤 조합이 Rec2020 의 커버율과 휘도로 우위가 되는지를 나타내고 있으며, Green은 Perovskite, Red는 KSF 라는 조합이 최상의 것을 알 수 있다.

그림 1 \*

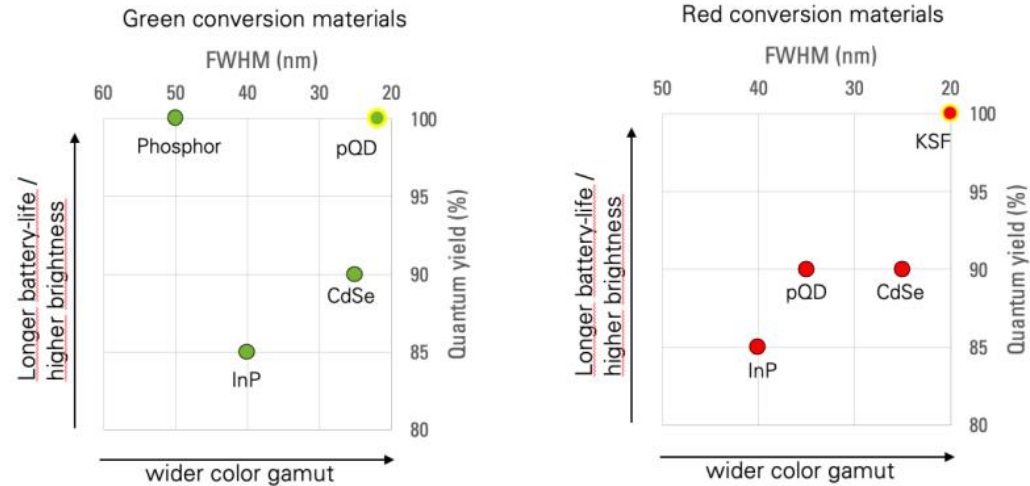
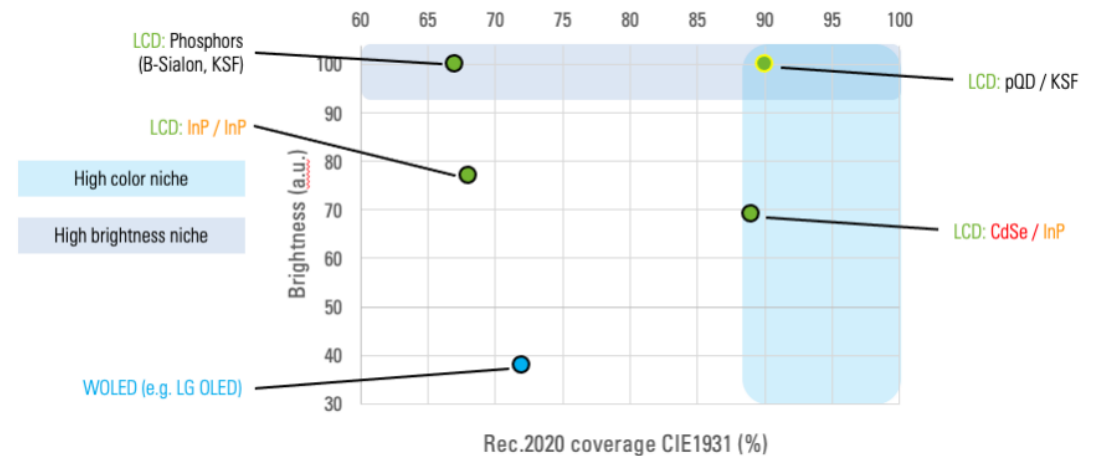


그림 2 \*



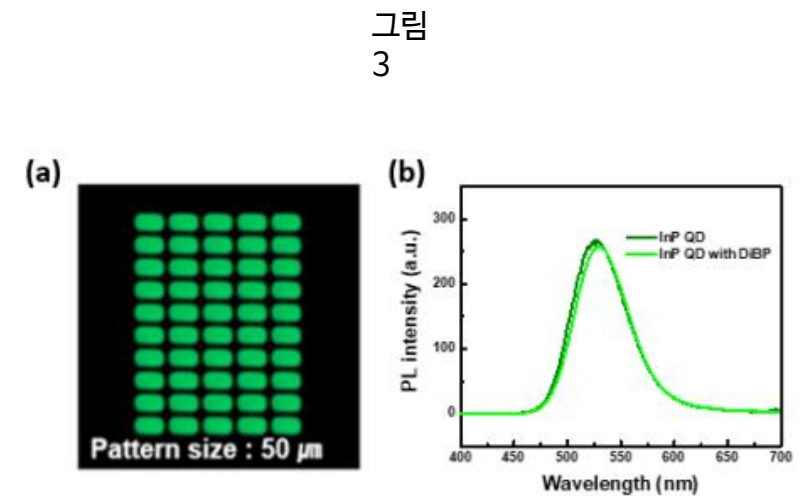
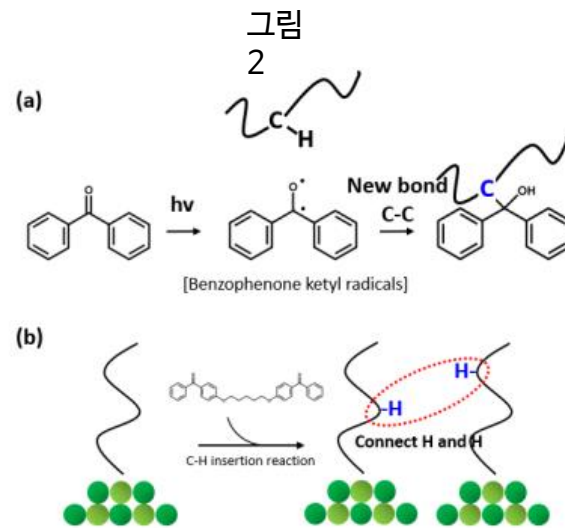
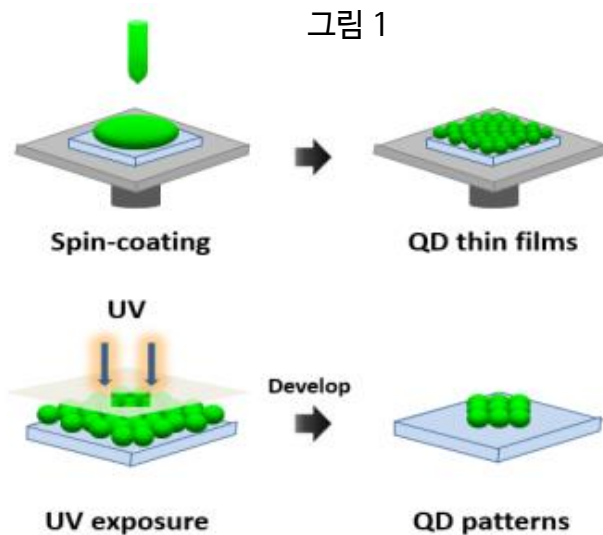
\* Norman A Luechinger SID2022 Digest 26-2 p299

## 2-3 화소 내 색 변환 ( In Pixel Color Conversion )

### 2-3-5 Micro LED Micro display의 화소 내 색 변환

#### ❖ 포토 리소에 의한 패터닝

- QD의 Photolithography로서, QD 막 상에 포토레지스트를 도포·현상하는 방식에서는, 그 프로세스 중에 QD 막이 손상될 위험성이 있다. 이를 방지하는 방법으로 디벤조 페논 ( DiBP ) 을 이용한 용액 기반 프로세스를 Sungkyunkwan Univ. 가 개발하여 IDW2023에서 보고했다. \*
- 클로로포름 중의 InP와 DiBP를 그림 1과 같이 스핀 코팅으로 도포하고, 자외선으로 노광하면 DiBP 가 케틸 라디칼을 생성하고, 이 라디칼이 InP와 상호작용하여 가교를 형성한다. 그 상태를 그림 2에 나타낸 바와 같이, 생성된 케틸 라디칼은 근방의 QD 리간드의 존재하에 CH 삽입 반응에 의해 새로운 CC 결합을 형성하여 가교한다.
- 이 과정에서 만든 Green InP의 패턴을 그림 3에 나타낸다. 패턴의 크기는 50 $\mu$ m 이다.

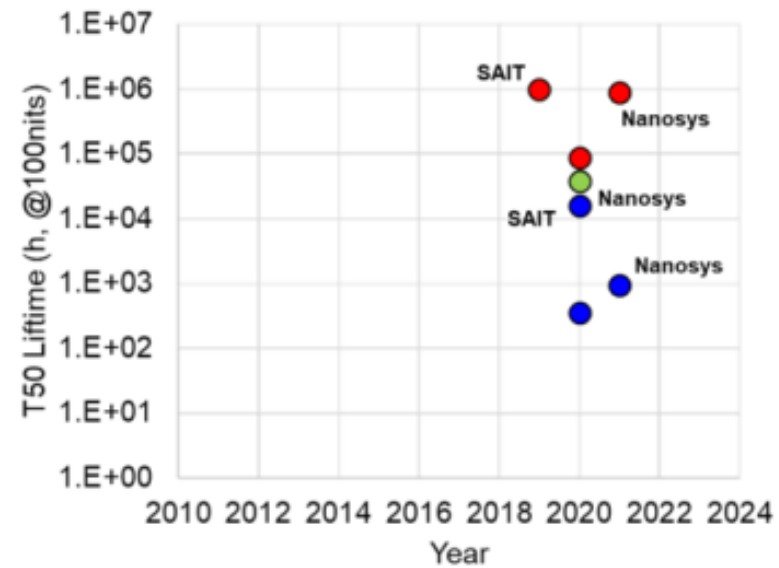
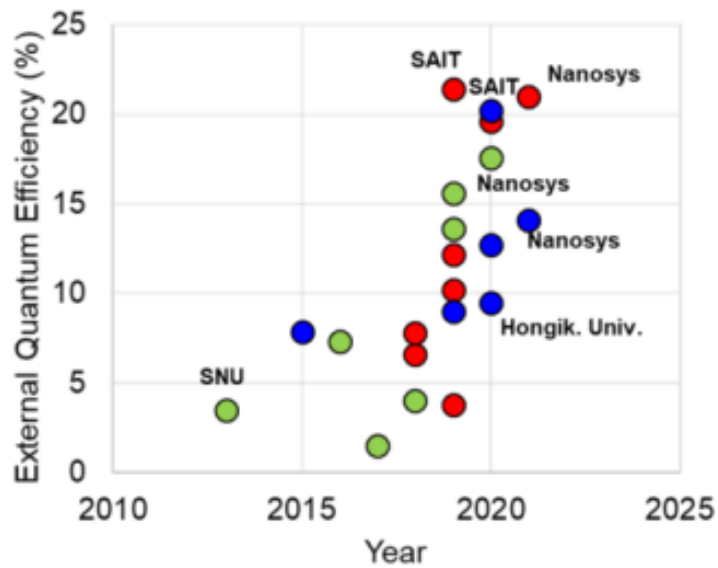


\* Boram Kim et. al. IDW2023 Digest FMC11-2L p404

## 3-2 QD-LED 특성의 진화와 현상

### 3-2-3 비 Cd 계 QD-LED 특성의 진화

- 삼성디스플레이는 InP QD를 이용한 All Inkjet QD-LED를 SID2022에서 발표했는데, 비 Cd 계 QD-LED의 EQE와 수명의 진화를 아래 그림과 같이 보여주고 있다. \*
- Nanosys가 양호한 특성을 내고 있지만, SAIT(Samsung Advanced Institute of Technology) 도 동등한 특성을 보고하고 있다.



\* Myoungjin Park et. al. SID2022 Digest 3-3 p5

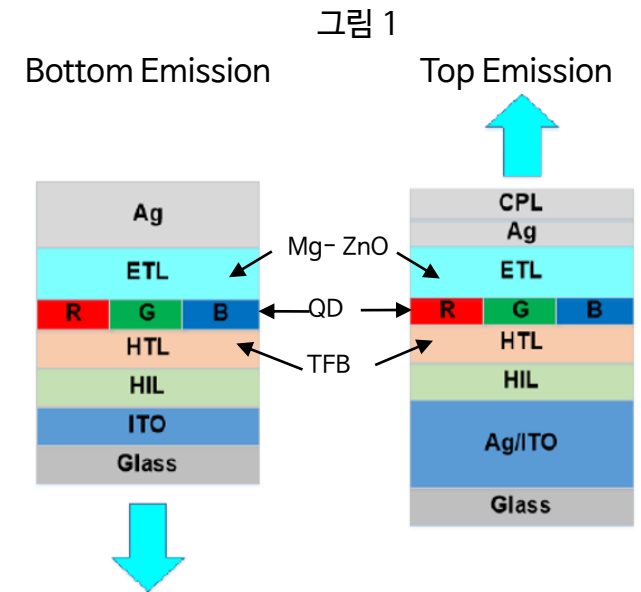
## 3-5 QD-LED 장치 구조

### 3-5-4 Top Emission

#### ❖ Strong cavity & RGB

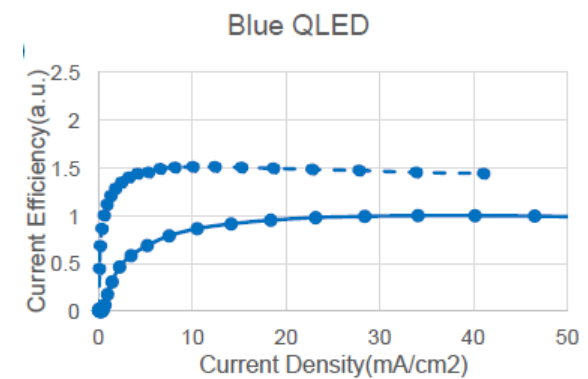
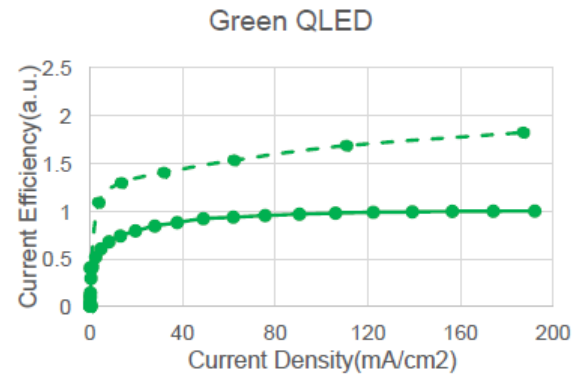
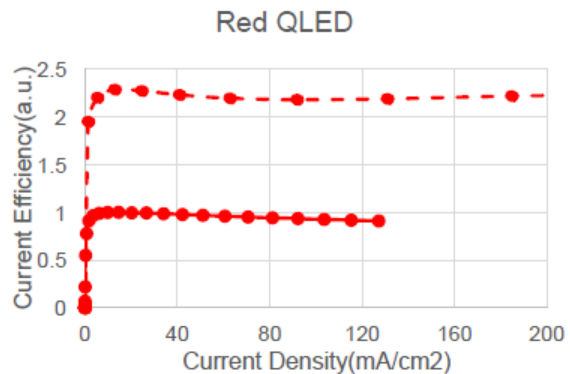
- TCL은 RGB 모두를 CdZnSe /ZnS 계의 Core/Shell 형 QD로 발광시키고, 그것을 Top Emission 디바이스로서 Bottom Emission 디바이스의 특성과 비교한 결과를 SID2021에서 보고하였다. \*
- 그림 1과 같은 구성으로 만든 Normal Stack의 Bottom Emission QLED의 특성은 하기에 정리하였다. 이 특성은 Solution process OLED와 거의 동등한 특성이라고 할 수 있다.
- 다음에, 이것을 Top Emission으로서 그 전류 효율을 비교한 것이 그림 2이다. 전류 효율은 Green 과 Blue의 TE-QLED로 각각 1.8 배와 1.5 배로 향상됐다. 또한 Red와 Green의 Top Emission QLED의 실용 수명은 Bottom Emission QLED와 동등했다.

\* Wenjin How et. al. SID 2021 Digest 63-1 p. 920



	R	G	B
Current Efficiency (max)	20 Cd/A	80 Cd/A	8 Cd/A
LT95@1,000Cd/m	4,000 h	7,000 h	200 h
FWHM	22 nm	23nm	22nm

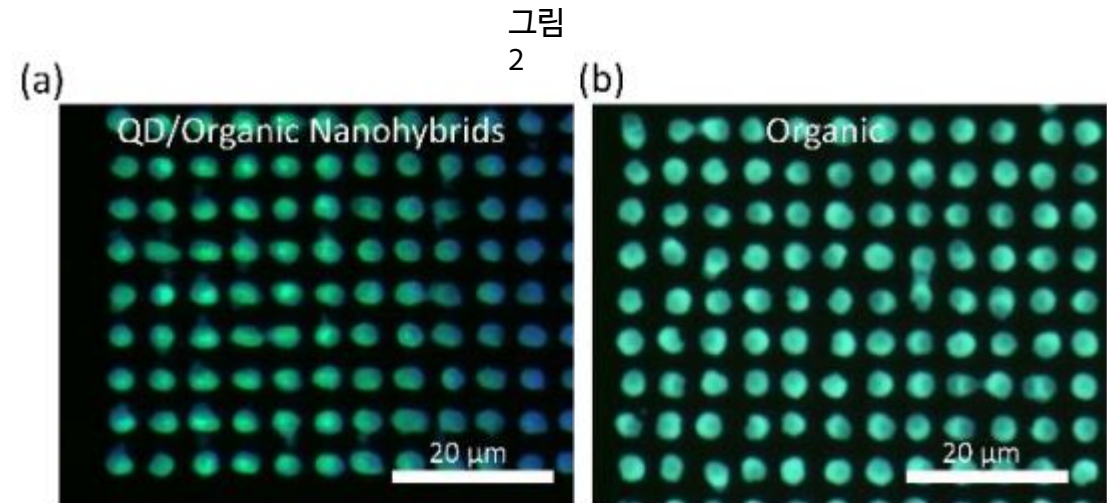
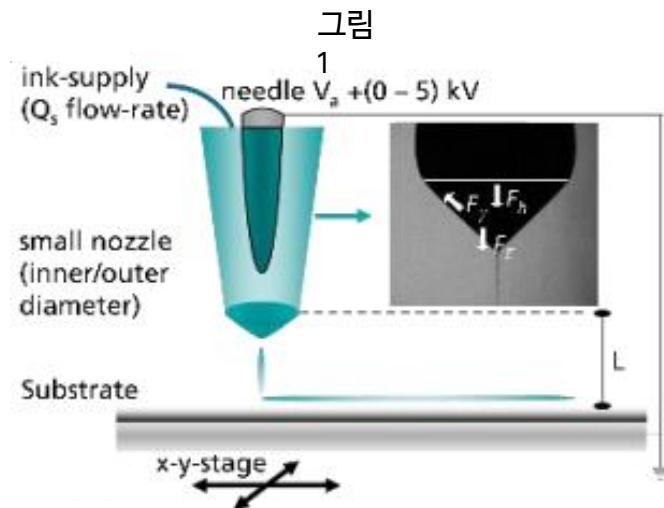
그림 2



## 3-6 QD-LED 공정

### 3-6-3 EHD (Electro Hydro Dynamic) Printing

- EHD Printing은 피에조식 잉크젯 인쇄 (IJP)와 달리, 그림 1과 같이 노즐과 기판 사이에 높은 정전기력이 가해지기 때문에, 노즐 직경의 크기보다 2 ~ 5 자리 작은 액적(즉, 0.001 ~ 10 pL의 범위)를 토출할 수 있다. 또한 피에조식 잉크젯이 토출할 수 있는 잉크 점도가 1 ~ 30mPa.s의 범위인 것에 비해, EHD Printing은 1 ~ 10,000mPa.s 라는 넓은 범위의 잉크 점도를 토출할 수 있기 때문에, 잉크 중의 QD 농도에 대한 제한이 크게 완화된다.
- Fraunhofer는 InP / ZnSe / ZnS QD에 thiol 기를 갖는 반도체 폴리머를 적용한 QD/ 유기 나노 하이브리드를 이용하여 EHD Printing 한 결과를 SID2023에서 보고하였다. \*
- 그림 2에 나타낸 바와 같이 EHD Printing에 의해 5 $\mu$ m 피치의 인쇄를 할 수 있었다. (a)는 QD/ 유기 나노하이브리드, (b)는 HIL로서 사용한 TFB를 5 $\mu$ m 피치로 인쇄한 것의 형광 현미경 사진이다.



\* Yohan Kim et. al. SID 2023 Digest 69-4 p.982