

# 2022 OLED와 QD-LED 최신기술개발 동향

2022. 8

Senior Analyst  
Tetsuo Urabe

Chief Analyst  
Dr. Choong Hoon Yi

1. 저분자 OLED 재료 .....	5
1.1 형광재료	
1.2 인광재료	
1.3 TADF	
1.4 Hyperfluorescence	
1.5 차세대 발광재료 제안	
1.6 AI에 의한 재료 개발	
1.7 종합	
2. White OLED+CF .....	40
2.1 Bottom-emission White OLED+CF	
2.2 Top-emission White OLED+CF	
2.3 White OLED+CF 방식의 특성 개선	
3. OLED 디바이스 기술.....	56
3.1 Transparent OLED	
3.2 전극 재료	
3.3 편광판	
3.4 색시야각 의존성 분석	
3.5 광시야각 기술	
3.6 Top-emission의 투명 캐소드	
3.7 QD OLED	
3.8 Rollable OLED Display	
3.9 3.9 Invert OLED	
3.10 차량용에 적합한 고온내구성 OLED Display	
3.11 Under Display Camera (UDC)	

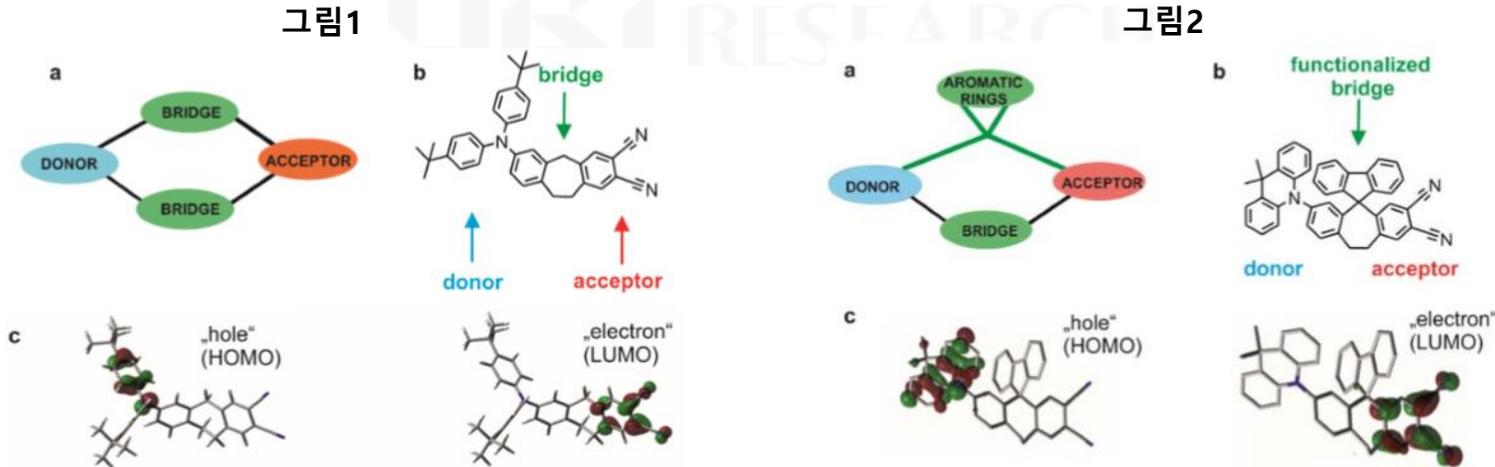
4.	Solution Process OLED .....	77
4.1	Solution Process OLED 현황과 과제	
4.2	Solution Process용 재료개발 상황	
4.3	Solution Process용 재료와 저분자 증착용 재료 비교	
4.4	Solution Process 기술	
4.5	Solution Process 디바이스 기술	
4.6	Solution Process 디스플레이	
5.	저분자 증착 기술.....	101
5.1	FMM 증착 개발 상황	
5.2	증착 조건이 막에 미치는 영향	
5.3	저분자 증착 OLED의 특성 재현성	
5.4	Lithography에 의한 저분자 증착막 패턴화	
5.5	양산용 저분자 증착 시스템	
5.6	증착원내의 재료 열화	
5.7	저분자 증착용 초고정세 마스크	
6.	봉지 기술.....	106
6.1	박막 봉지기술 개발현황	
6.2	박막 봉지의 수분 침투 메카니즘	
6.3	Flexible과 Foldable에 적합한 박막 봉지 개발	
6.4	Face Seal	
6.5	WOLED + CF Micro display의 봉지	

7. 광 추출.....	140
7.1 분자 배향에 의한 광 추출 개선	
7.2 굴절을 조절에 의한 광 추출 개선	
7.3 Waveguide Mode 제거에 의한 광 추출 개선	
7.4 구조물 설치에 의한 광 추출 개선	
7.5 표면 플라즈몬 공명 제어	
8. Foldable 기술.....	152
8.1 Foldable을 위한 디바이스 설계	
8.2 Neutral Plane Splitting을 목표로 한 개발	
8.3 Neutral Plane Splitting을 위한 OCA	
8.4 Foldable을 위한 부품소재 개발	
8.5 Foldable이 TFT에 미치는 영향과 그 대책	
8.6 Foldable에 적합한 LTPS 프로세스	
8.7 Foldable Display	
9. QD-LED 기술 개발 동향 .....	174
9.1 Core-shell QD-LED	
9.2 Quantum Dot	
9.3 QD-LED 특성 진화와 현재 상황	
9.4 비Cd계 Blue QD 개발	
9.5 비Cd계 Red QD 개발	
9.6 QD-LED 디바이스 구조	
9.7 QD-LED 프로세스	
9.8 QD-LED 디스플레이 개발 제품	
9.9 White 발광 QD-LED	
9.10 Perovskite	

## 1.5 차세대 발광재료 제안

❖  $\Delta EST \approx 0$ 의 재료

- Univ. of Regensburg의 Yersin는 SID2018에서 TADF 다음의 차세대 emitter에 대해 제안했다. \*
- TADF 열 활성화에 의한 RISC가 조건이기 때문에  $\Delta Est$ 이 작아야 하지만, 만약  $\Delta Est$ 가 거의 제로이면 열 활성화가 필요 없고 따라서 RISC도 매우 빨라질 것이므로, 그렇게 되면 안정성이 비약적으로 높아질 것이다.
- 일반 TADF 분자는 그림 1과 같이 공역계가 아닌 Bridge에서 Donor와 Acceptor가 결합되어 있고, 그 때의 HOMO와 LUMO는 그림 1c처럼 되어 있다. 그러나 이 경우에도 HOMO와 LUMO의 겹침은 제로는 되지 않는다. 이에 대해 그림 2와 같이 Bridge 부분에 방향족 고리를 붙이면, HOMO와 LUMO의 겹침이 거의 제로가 된다.

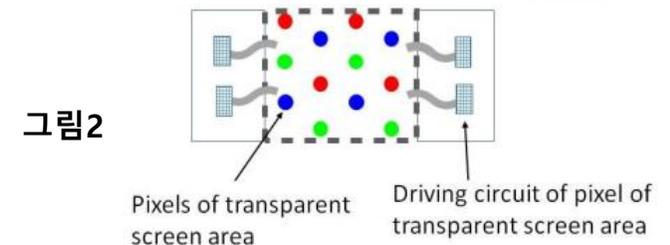
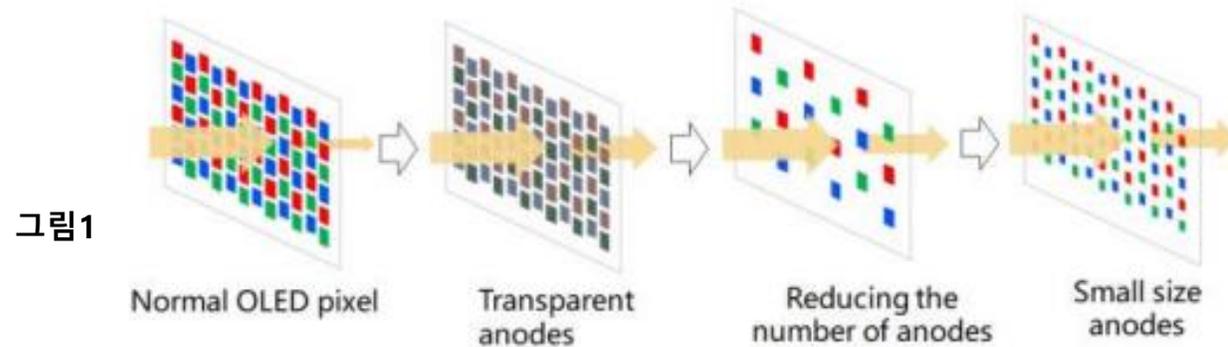


- 그림 2의 분자의 ISC 시간을 측정하면, 측정 기기에서 측정 할 수 없는 (<수 nano sec) 정도로 빠르다. TADF의 RISC가  $\mu sec$ 의 속도인 것에 비하면 엄청난 차이이다. 이 점에서 매우 고효율 장수명인 OLED 재료가 될 것으로 기대된다.

\* Hartmut Yersin et. al. SID2018 Digest 6-1 p.48

## 3.11 Under Display Camera (UDC)

- Smartphone이 Full screen이 됨에 따라 셀카 카메라를 디스플레이 화면 안에 배치하지 않으면 안되기 때문에, Samsung Display는 화면 안에 구멍을 뚫고 그 아래에 카메라를 배치했다(HIAA: Hole In Active Area ). 이에 대해 구멍을 전혀 없애고 화면 속에 배치하는 방식(UDC : Under Display Camera)을 Visionox가 개발·사업화하고 있다. Visionox는 이 기술의 진화에 대해 SID2022에서 발표했다. \*
- UDC에서는 카메라가 배치된 상부의 Display를 가능한 한 투명하게 해 외부의 빛이 카메라에 도달시킬 필요가 있다. 그 방법으로서 도1에 도시 된 바와 같이 우선 화소를 투명 전극으로 구성하는 것이 생각되지만, 이렇게 하면 OLED의 발광이 전방 뿐만 아니라 후방에도 나와 휘도가 저하되고, 마이크로 cavity 효과에 의한 색순도의 개선도 도움이 되지 않는다. 다음으로 화소를 제거하여 투명 부분의 면적을 늘리는 방법이 고안되어, 이 방식은 2020년에 ZTE A20에 탑재되어 최초의 UDC 제품이 되었지만, 이 방식에서는 카메라 부분의 해상도를 낮게 하기 때문에 화면상에서 카메라가 있는 부분이 인식된다. 따라서, 화소를 제거하지 화소의 크기를 작게하여 투명 부분을 늘릴 수 있도록 변경되어, 이것이 현재 주류가 되고 있다.
- 투명 부분을 더욱 넓히기 위해서, 그림 2와 같이 카메라 부분의 화소의 화소 회로를 투명하게 할 필요가 없는 부분은 피하는 방식도 있고, 또한 화소와 화소 사이를 통과하는 빛의 회절 현상을 억제하기 위해 화소를 원형으로 하거나 배선을 곡선으로 하는 등의 대책도 취하고 있다.



\* Jun-hui Lou et. al. SID2022 Digest 7-1 p.44

## 4.3 Solution Process용 재료와 저분자 증착용 재료 비교

- 이미 Premium TV 제품에 사용되고 있는 저분자 증착 재료에 비해, Solution Process 재료가 어떤 position에 있는지에 관해 Juhua가 SID2020 발표에서 다음과 같이 분석하였다.\*
- 저분자 증착계에서 Red와 Green은 UDC의 인광 재료, Blue는 이데미츠의 형광 재료를 reference로, 스미토모 화학 · Merck · LG Chemical의 Solution process 재료의 특성을 비교 한 것이 그림 1이다. 거의 동등한 특성을 나타내고 있지만, 그림 1의 Solution Process 재료 특성은 Bottom-emission이며 Top-emission으로 했을 때 Blue의 특성이 그림 1에 도시된 형광 Blue 값에 대해 어느 정도 인지는 언급되어 있지 않다.
- 65인치 8K TV의 요구 사양이, 소비전력 <103W, LT95 (@1000cd/m<sup>2</sup>)> 5Kh, DTI-P3> 100%로 했을 때 스미토모 화학과 LG Chemical 재료가 현재 어느 수준인지를 그림 2, 그림 3에 나타내었다.

그림1

Test Coupon	Bottom Emission	Printing OLED Material			Evaporator OLED Material		
		Sumitomo Spin. B.E	Merck IJP. B.E	LG Chemical IJP. B.E	B : I/K(I데미츠 Kosan) R&G : UDC		
R	Efficiency :Cd/A	28.0	15.5	≥ 25	R	29.0	17.0
R	CIE(x,y)	(0.66,0.34)	(0.68,0.32)	(0.65,0.35)	R	(0.66,0.34)	(0.69,0.31)
R	LT95 hrs@1K nit	6000	5300	≥ 20,000	R	23000	14000
G	Efficiency :Cd/A	92	84	≥ 75	G	85	
G	CIE(x,y)	(0.33,0.62)	(0.32,0.64)	(0.30,0.66)	G	(0.31,0.63)	
G	LT95 hrs@1K nit	17000	11400	≥ 15,000	G	18000	
B	Efficiency :Cd/A	7.8	9.1	≥ 7.0	B	8.0	9.5
B	CIE(x,y)	(0.14,0.13)	(0.14,0.14)	(0.14,0.09)	B	(0.138,0.091)	(0.136,0.10)
B	LT95 hrs@1K nit	1400	500	≥ 1200	B		

Top Emission	B	B
Efficiency :Cd/A	8.4	8.4
CIE(x,y)	(0.142,0.043)	(0.142,0.043)
LT95 hrs@10mA/Cm2	770hrs	770hrs

Source: Sumitomo Chemical : OLEDs World Summit 2019; Merck : IMID 2018 Business Conference & OLED Korea Conference 2019; LG Chemical : Meeting in Aug. 2019; Idemitsu Kosan : SID 2016; UDC : Information from Website

그림2

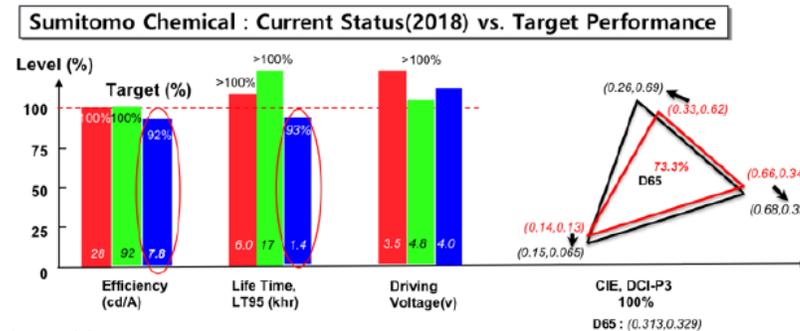
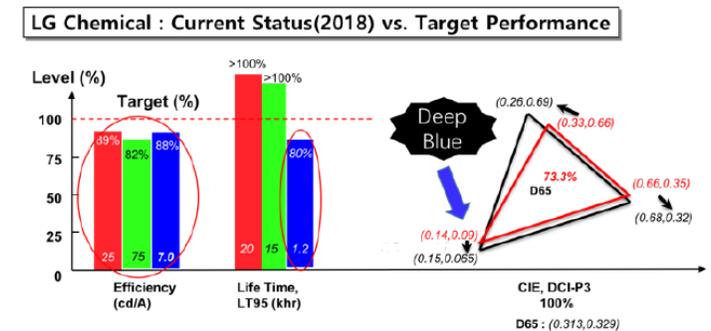


그림3



\* Jueng Gil Lee et. al. SID2020 Digest 36-2 p.508

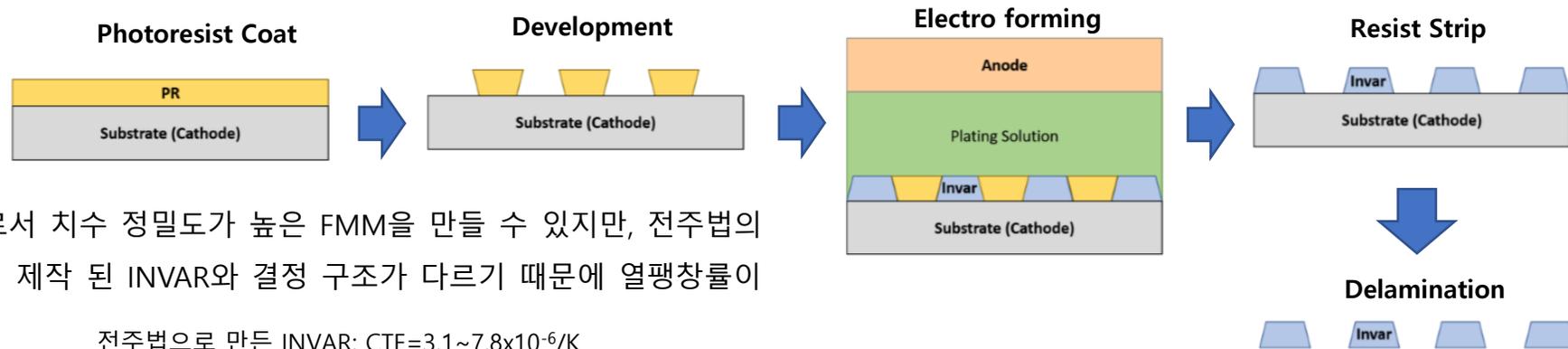
## 5.1 FMM 증착 개발 상황

❖ Etching FMM의 과제와 대책

- Wet etching 된 INVAR는 아래 그림 1과 같이 Stick으로 절단되고, 이 Stick을 프레임에 용접하여 FMM이 되지만, 면적이 줄은 INVAR는 롤에 의한 물결이 있어 그림 1의 Total Pitch에 차이가 생긴다. 또한 그림 2에서 etching 후의 INVAR의 단면을 나타내었는데, 홀 크기는 정밀도가 올라 갈수록 작아 지므로, Taper Angle을 45 ° 이하로 유지하기 위해서는 INVAR의 두께를 얇게 할 필요가 있다. 만약 Taper Angle이 45 ° 이상이 되면 Shadow 효과로 증착물이 구멍을 통해 기판에 도달하지 않고, INVAR의 측면에 부착되어 버린다.



- 이러한 Total Pitch 편차나 고정밀화에 대한 과제를 해결할 수 있는 것이 전주법이다. 아래에 그 공정을 나타내었다.\*



- 전주법은 얇은 두께로서 치수 정밀도가 높은 FMM을 만들 수 있지만, 전주법의 의한 INVAR는 롤에서 제작 된 INVAR와 결정 구조가 다르기 때문에 열팽창률이 높다는 단점이 있다.

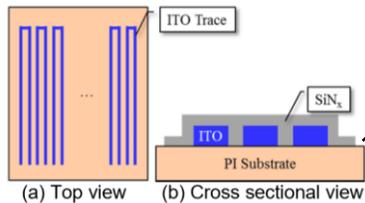
전주법으로 만든 INVAR:  $CTE=3.1\sim 7.8 \times 10^{-6}/K$   
 롤법으로 만든 INVAR:  $CTE \sim 1 \times 10^{-6}/K$

\* Kisoo Kim et. al. SID2018 Digest 75-4 p.1011

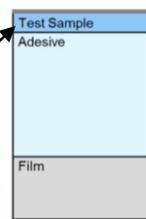
## 8.2 Neutral Plane Splitting을 목표로 한 개발

- 같은 생각으로 JDI는 Neutral Plane Splitting에 의해 디바이스가 어느 정도의 굽힘까지 대응이 가능한가를 조사한 결과를 SID2019에서 보고 했다.\*1

그림 1 실험에 사용한 샘플



셋팅 방식



굽힘 시험

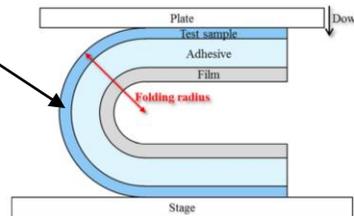
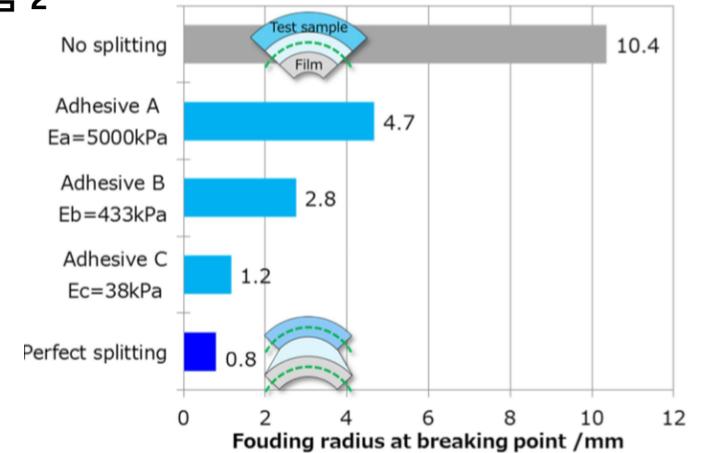
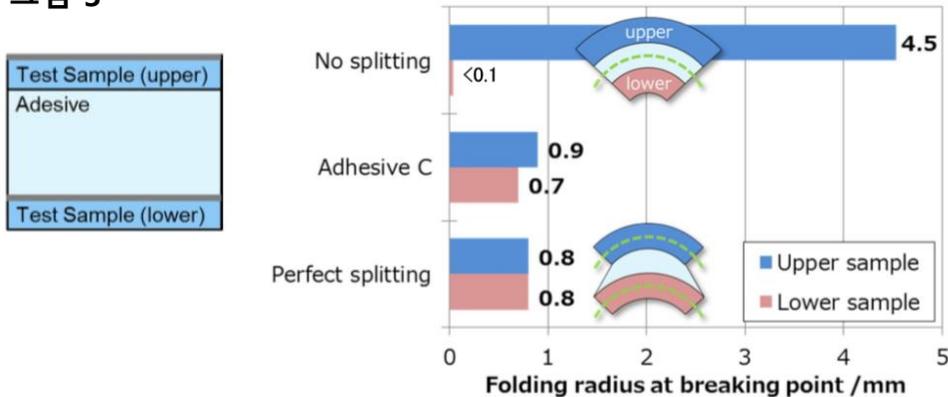


그림 2



- 샘플은 Film 위에 두께 16 $\mu$ m의 ITO 배선 패턴이 있고, 그 위에 SiN가 싸고 있다. 굽힘에 Crack이 들어가면 저항 값이 변화하기 때문에 검출 할 수 있다. 결과는 오른쪽 그림에서, 탄성률이 가장 작은 OCA가 1.2mm라는 최소 곡률 반경까지 견뎠다.

그림 3



- 그래서 다음에는 샘플 2 매를 탄성률이 더욱 작은 OCA에 붙여서 같은 실험을 한 결과가 왼쪽 그림이다. 거의 완전한 Neutral Plain Splitting이 되었으며, 곡률 반경 1mm 이하까지 손상 없이 구부릴 수 있었다.
- JDI는 SID2020에서 split 한 neutral plane의 위치와 folding stiffness 사이의 관계를 확립하고, 이에 따라 folding 디바이스의 설계에 활용할 수 있음을 보여 주었다.\*2

\*1 Masumi Nishimura et. al. SID2019 Digest 46-3 p.636

\*2 Masumi Nishimura et. al. SID2020 Digest 56-3 p.834

## 9.6 QD-LED 디바이스 구조

### ❖ New HTL

- 경희대학은 더 높은 mobility를 가진 HTL로서 캐리어 균형을 개선하고, 여기에 ETL로서 sol gel ZnMgO을 조합하여 Red의 InP QD-LED에서는 가장 높은 EQE를 달성 한 것을 SID2020에 보고했다.\*
- 그림 1과 같은 inverted 구조에서 HTL에 신개발 소재를 이용하고, 그 구동 특성을 reference로 HTL 재료 (TCTA / TAPC)와 비교했다.
- 그림 2, 그림 3과 같이 구동 전압이 저하하고 EQE는 증가하고있다.
- 다음에는 ETL로 sol gel base ZnMgO을 이용한 것과 ZnMgO nanoparticle을 이용한 것 사이에서 EQE를 비교 한 것이 그림 4이다. sol gel base ZnMgO 쪽이 EQE는 높은 값을 나타내고, Zn와 Mg의 비율을 조정하여 15% 이상의 EQE를 실현했다.
- 신개발의 HTL과 ETL로 sol gel base ZnMgO을 결합하여 EQE=21.8%, LT50@1000Cd/m<sup>2</sup>=1095 hour를 실현했다.

그림 1

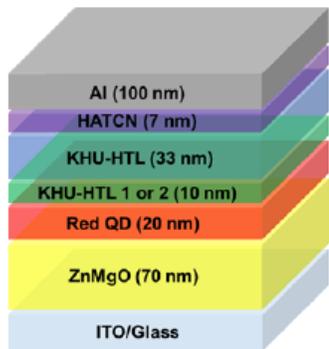


그림 2

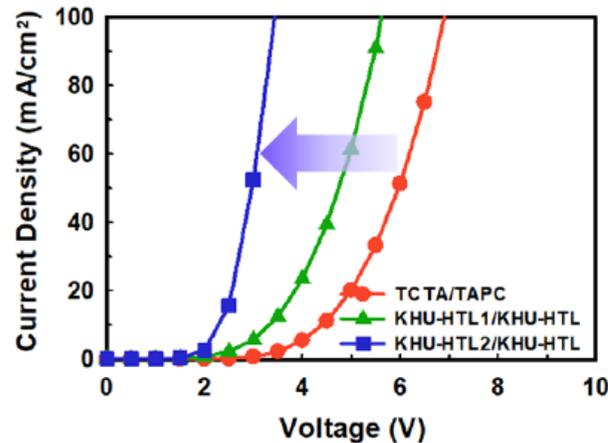


그림 3

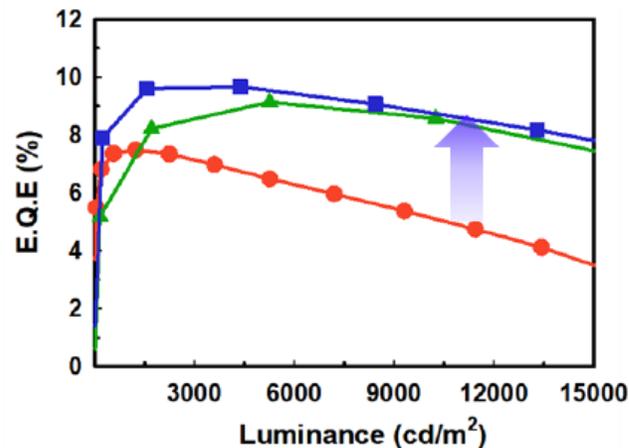
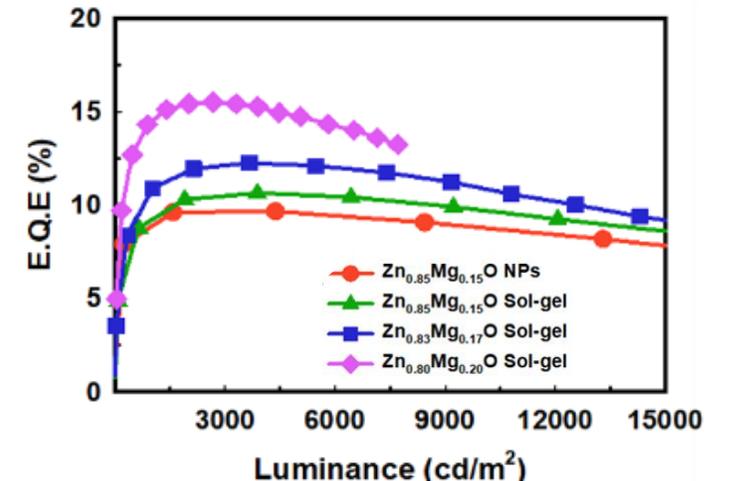


그림 4



\* Raju Rampande et. al. SID2020 Digest 51-2 p.750

# 2022 OLED와 QD-LED 최신기술개발 동향



**Senior Analyst**

**Tetsuo Urabe**

**Chief Analyst**

**Dr. Choong Hoon Yi**