

# OLED와 QD-LED 최신기술개발 동향

2021. 9

Senior Analyst  
**Tetsuo Urabe**

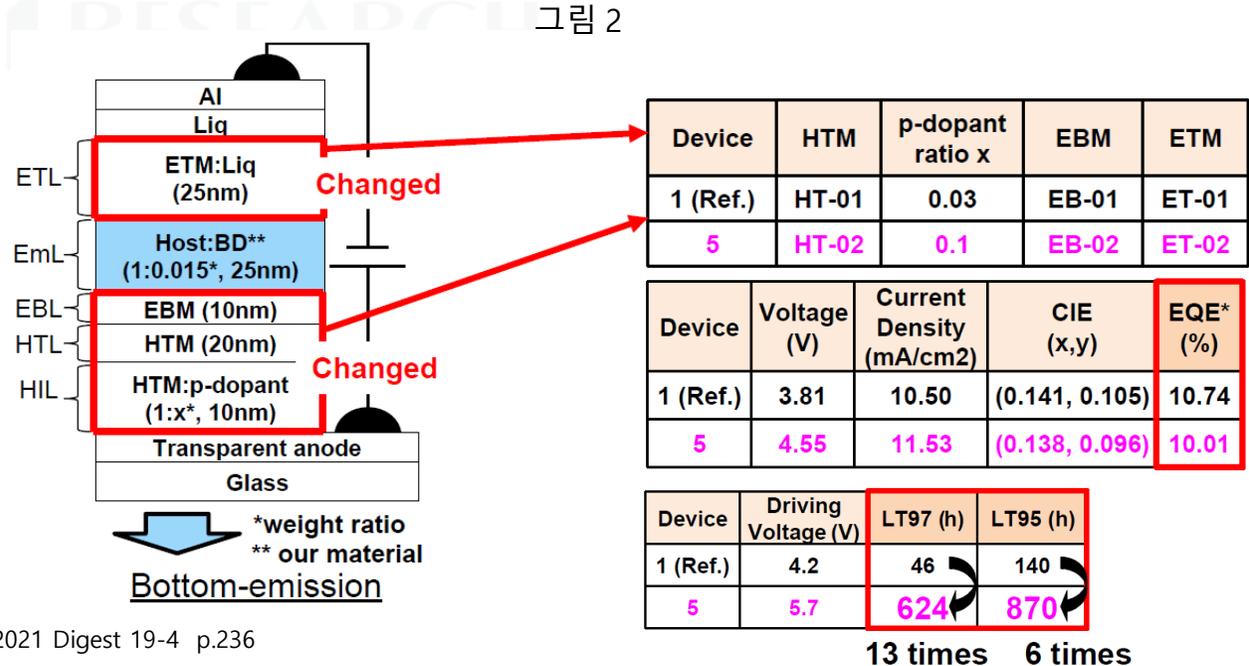
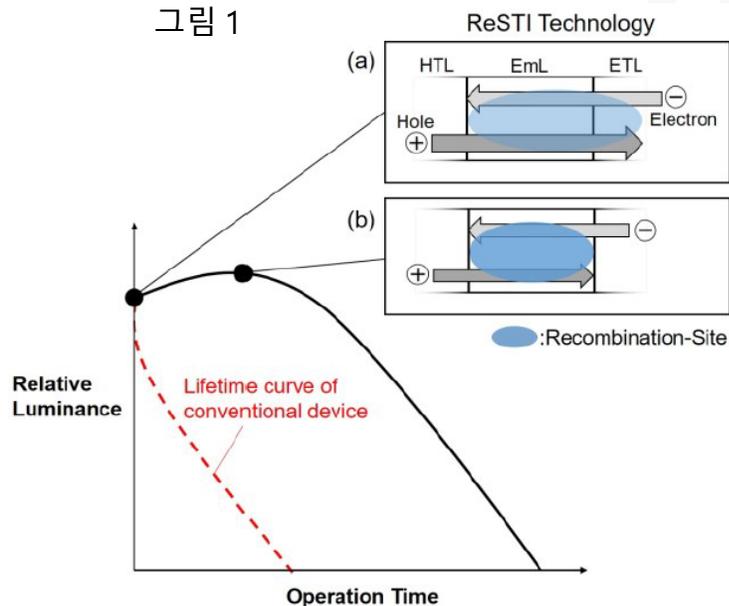
Chief Analyst  
**Dr. Choong Hoon Yi**

1. 저분자 OLED 재료	5	4. Solution Process OLED	68	7. 광추출	122
1.1 형광재료		4.1 Solution Process OLED 현황과 과제		7.1 분자 배향에 의한 광추출 개선	
1.2 인광재료		4.2 Solution Process용 재료개발 상황		7.2 굴절을 조정에 의한 광추출 개선	
1.3 TADF		4.3 Solution Process용 재료와 저분자 증착용 재료 비교		7.3 Waveguide Mode 제거에 의한 광추출 개선	
1.4 Hyperfluorescence		4.4 Solution Process 기술		7.4 구조물 설치에 의한 광추출 개선	
1.5 차세대 발광재료 제안		4.5 Solution Process 디바이스 기술		8. Foldable 기술	133
1.6 AI에 의한 재료 개발		4.6 Solution Process 디스플레이		8.1 Foldable을 위한 디바이스 설계	
1.7 종합		5. 저분자 증착 기술	88	8.2 Neutral Plane Splitting을 목표로 한 개발	
2. White OLED+CF	36	5.1 FMM 증착 개발 상황		8.3 Neutral Plane Splitting을 위한 OCA	
2.1 Bottom-emission White OLED+CF		5.2 증착 조건이 막에 미치는 영향		8.4 Foldable을 위한 부품소재 개발	
2.2 Top-emission White OLED+CF		5.3 저분자 증착 OLED의 특성 재현성		8.5 Foldable이 TFT에 미치는 영향과 그 대책	
2.3 White OLED+CF 방식의 특성 개선		5.4 Lithography에 의한 저분자 증착막 패턴화		8.6 Foldable에 적합한 LTPS 프로세스	
3. OLED 디바이스 기술	49	5.5 양산용 저분자 증착 시스템		8.7 Foldable Display	
3.1 Inverted OLED		5.6 증착원내의 재료 열화		9. QD-LED 기술 개발 동향	154
3.2 Transparent OLED		5.7 저분자 증착용 초고정세 마스크		9.1 Core-shell QD-LED	
3.3 전극 재료		6. 봉지 기술	106	9.2 Quantum Dot	
3.4 편광판		6.1 박막 봉지기술 개발현황		9.3 QD-LED 특성 진화와 현재 상황	
3.5 색시야각 의존성 분석		6.2 박막 봉지의 수분 침투 메카니즘		9.4 비Cd계 Blue QD 개발	
3.6 광시야각 기술		6.3 Flexible과 Foldable에 적합한 박막 봉지 개발		9.5 비Cd계 Red QD 개발	
3.7 Top-emission의 투명 캐소드		6.4 Face Seal		9.6 QD-LED 디바이스 구조	
3.8 QD OLED용 Tandem Blue OLED				9.7 QD-LED 프로세스 프로세스	
3.9 Rollable OLED Display				9.8 QD-LED 디스플레이 시험 제작	
3.10 차량용에 적합한 고온내구성 OLED Display				9.9 White 발광 QD LED	
				9.10 Perovskite	

## 1.1 형광재료

### ❖ Blue 수명 개선

- 게다가 SEL은 SID2021에서 Blue 형광 소자의 초기 열화를 억제하는 Recombination-site tailoring injection (ReSTI) 기술을 개발하여 더욱 긴 수명을 실현시켰음을 보고했다. \*
- ReSTI 기술은 HOMO 레벨이 낮은 정공 수송 재료를 사용하여 초기 단계에서 소수의 정공 캐리어를 ETL에 도달시키지만 (그림 1 (a)), 그 후에 구동에 의해 ETL의 저항을 낮추고, EML에 전자 주입을 촉진시켜 (그림 1 (b)) 캐리어 균형이 변화하고 휘도가 향상된다.
- ReSTI의 컨셉에 따라 ETL과 HTL 재료를 그림 2와 같이 변경하여 얻어진 EQE와 LT95 @ 50mA/cm<sup>2</sup>을 측정 한 결과를 그림 2에 나타내었다. Bottom emission에서 CIE<sub>y</sub> = 0.096인 Deep Blue에서 LT95 @ 50mA/cm<sup>2</sup> = 870 h의 장수명을 실현시켰다.



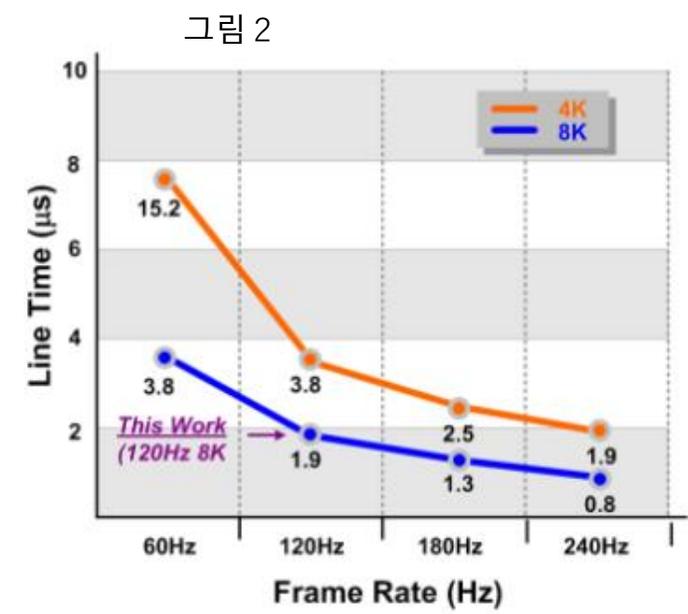
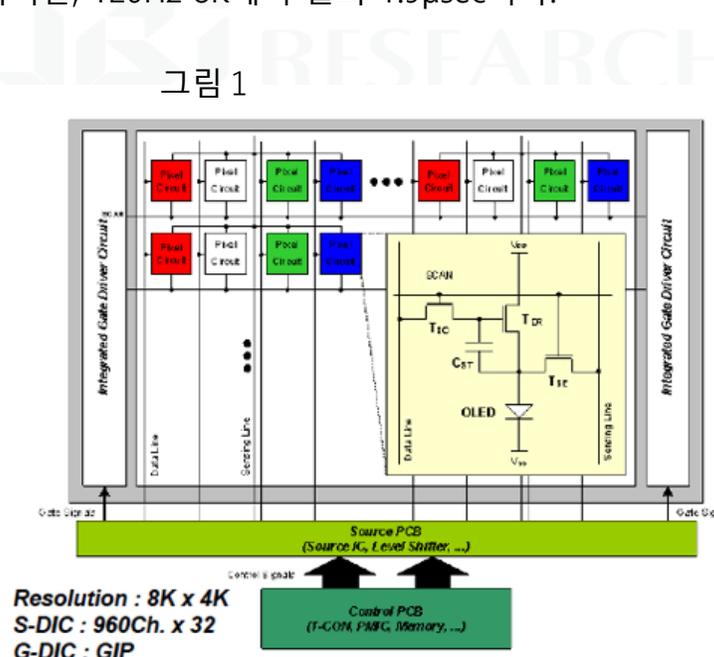
\* Takuya Ishimoto et.al. SID2021 Digest 19-4 p.236

## 2.1 Bottom-emission White OLED+CF

### ❖ 8K TV

- LG Display는 2020년 6월 출시 한 88 "8K OLED TV에 도입 한 신기술을 SID2021에서 발표했다.\* OLED 패널 구성은 종래와 같이 그림 1과 같은 Bottom emission RGBW 구조 White + CF 형이다.
- LGD의 OLED는 bottom emission 형이기 때문에 화소 수가 많아지면 개구율이 감소한다. 이에 대처하기 위해, TFT의 크기와 금속 배선 폭을 축소하기 위해, Photo-lithograph에서 사용하는 마스크를 Phase shift Mask로 하여 정밀도를 올렸다.
- 동영상 응답 특성을 좋게 하기 위해 refresh rate를 120Hz로 하여, 화소에 신호 전달 시간이 매우 적게 되었다. 그림 2와 같이 일반 60Hz refresh의 4K TV의 경우는 1 화소 당 기록 시간은 15.2 $\mu$ sec이지만, 120Hz 8K에서 불과 1.9 $\mu$ sec이다.
- 고속으로 신호를 전달하기 위해서는 게이트 배선의 부유 용량을 가능한 한 작게 할 필요가 있기 때문에 화소 Tr로서 Self Align co-planer TFT를 채용했다.
- 또한 신호 파형 왜곡 의한 기입 부족을 보완하기 위해 오버 드라이브를 채용했다.
- 이러한 기술을 이용하여 2020년6월에 77 " 와 88" 8K TV를 상품화했다.

\* Hon-Jae Shin et. al. SID2021 Digest 45-1 p.611



## 3.2 Transparent OLED

- 화소의 발광 부분을 투명하게 하는 것이 아니라, 픽셀의 발광부와 투명부 분할구성을 AUO가 SID2018에서, JDI가 IDW2018에서 발표했다.
- JDI가 개발한 패널의 화소부의 단면을 그림 1이며, OLED는 White OLED + CF에 RGBW 화소 배열을 채용하고있다. \* 1,2
- JDI의 평면 패턴을 그림 2에, AUO의 평면 패턴을 그림 3에 나타낸다.
- AUO는 OLED의 유기층은 투명도를 포함하여 전면 베타에 남겨, 음극은 투명 부분은 제거하도록 패턴화 되어 있었지만, JDI는 유기층도 음극도 패턴화하지 않는 구성이다.
- JDI와 AUO의 Transparent OLED 프로토 타입 패널을 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

그림1

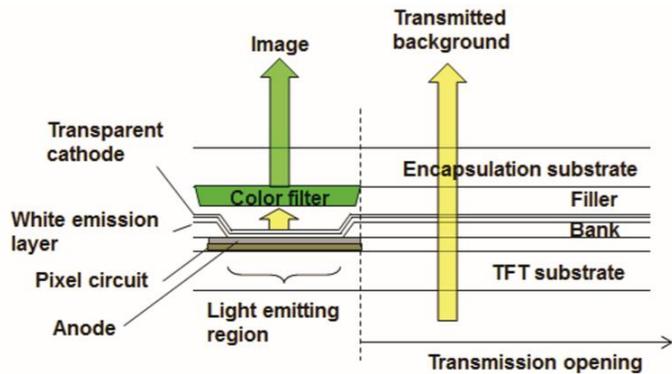


그림2

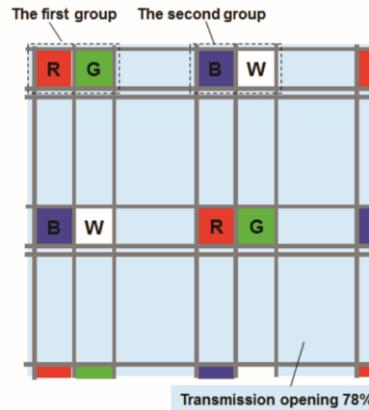


그림3

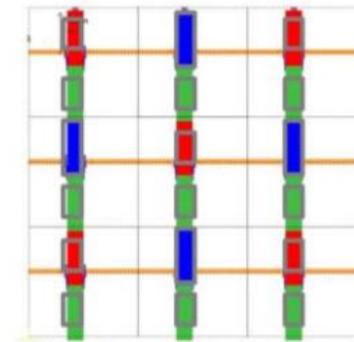


그림4



JDI 4.5" Transparent OLED

그림5



AUO 13" Transparent OLED

	Size	Resolution	Transparency
AUO	13"	100 ppi	68%
JDI	4.5"	163 ppi	63%

\* 1 Yu-Hsin Lin et. al. SID2018 Digest 47-2 p.621

\* 2 Simmasaya Adachi et. al. IDW2018 Digest OLED 4-3 p.657

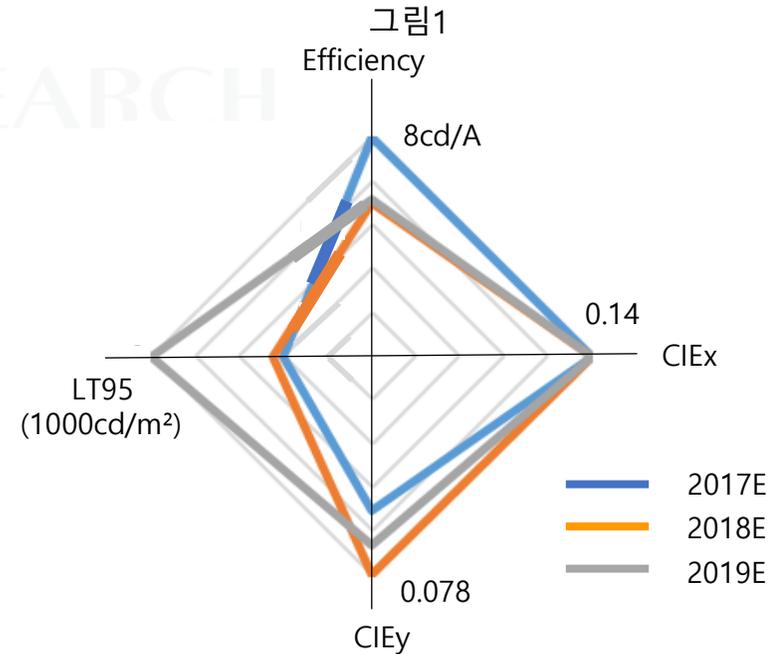
## 4.2 Solution Process용 재료개발 상황

### ❖ 고분자계

- 스미토모 화학은 도포형 고분자 OLED 재료를 개발 해오고 있으며, 최신 재료 특성에 대해 SID2020에서 발표했다. \*
- 표 1에 최신 재료 특성을 나타내었다. Green 재료는 2019년부터 변화가 없지만, Red 재료 수명이 향상하고있다.
- Blue 재료에 대한 최근 3 년간의 특성 진화를 그림 1에 플롯했다. 가장 큰 변화는 수명이며, 색도를 약간 떨어졌지만 수명은 두배가 되었다. 그러나 이전 페이지 Samsung의 지적처럼 색순도 및 효율 모두의 지표가 되는 Efficiency (Cd/A/CIEy)는 63.3이고 저분자 증착 재료에 비해 크게 낮다는 문제는 여전히 안고 있다.

표1

Spin/BE device ITO/HIL/IL/LEP/NaF/Al @ 1000nit		End/2018 Achieved	End/2019 Acheived
R	Efficiency cd/A	24	23
	CIE-x,y	0.66,0.34	0.66, 0.34
	T95 hrs @1000nt	5800	7000
G	Efficiency cd/A	76	76
	CIE-x,y	0.32,0.63	0.32,0.63
	T95 hrs @1000nt	25000	25000
B	Efficiency cd/A	5.6	5.7
	CIE-x,y or By	0.14,0.08	0.14, 0.09
	T95 hrs @1000nt	450	1000

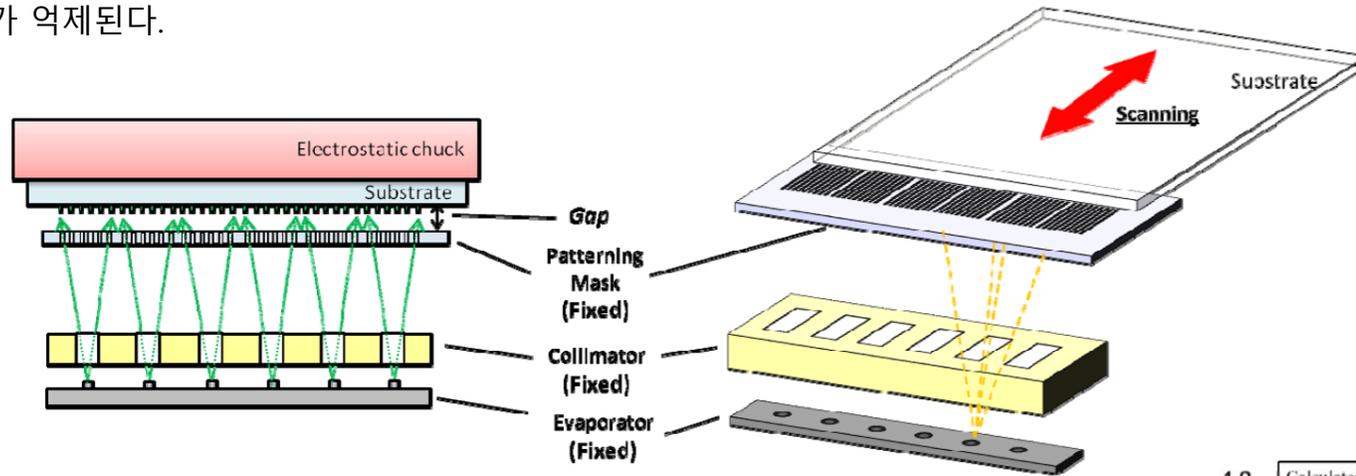


\* Jin-goo Kan et. al. SID2020 Digest 41-2 p.591

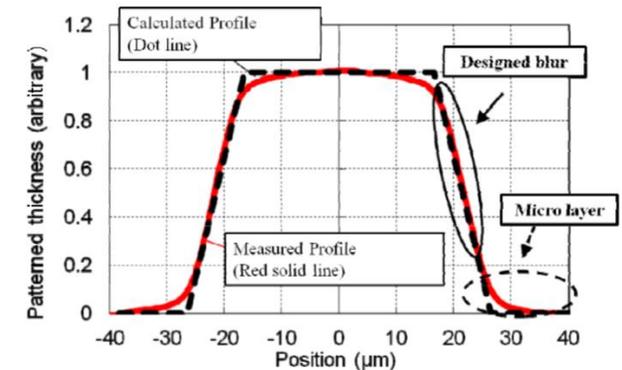
## 5.1 FMM 증착 개발 상황

### ❖ SMS

- 2010 년 전후에 Samsung는 FMM과 기판을 밀착시키는 것이 아니라 고정 된 스트립 형 마스크와 소량 간극을 가지고 기판을 검사하는 SMS (Small Mask Scanning)을 적극적으로 개발하고 있었지만 중단했다. Sharp는 SID2016에서 이를 개량한 방식을 제안했다.\*
- 개선 사항 중 하나는 선형 증발원에 Collimator를 설치 한 것. 이에 따라 마스크 개구부를 대각선 방향으로 통과하는 유기 분자의 비율이 줄어들기 때문에 Shadow 효과가 억제된다.



- 오른쪽 그림은 화소 부의 막 두께 분포를 나타낸다. 점선은 계산 값이며, 빨간색선은 실험 값이다. 그림에서 알 수 있듯이, 예측되는 shadow 효과에 의한 Designed Blur 이외에 Micro Blur가 생긴다. 이것은 Gap을 1mm에서 0.3mm로 해도 줄어들지 않는다.
- 이 Micro Blur를 Collimator와 Evaporator를 개량하여 없앴다. 어떻게 했는지는 공개하지 않았다.



\* Shinichi Kawato et. al. SID2016 Digest 74-2 p.1005

## 6.3 Flexible과 Foldable에 적합한 박막 봉지 개발

- ❖ SVI
  - Samsung Display는 flexibility를 확대하는 OLED의 봉지 방법으로 Sequential Vapor Infiltration (SVI)을 SID2020에서 발표했다. \*
  - SVI process는 ALD와 비슷하지만, precursor gas의 dosing 사이에 exposing을 위한 시간이 다르고, 이 기간 동안 하부 박막의 공극 사이에 depo 물질이 확산 해 나가, 공극이 없는 치밀한 막을 형성 할 수 있는 방법이다. (그림 1)
  - 평가 샘플은 그림 2와 같이 PI 기판 위에 유기/무기 Hybrid barrier 막을 형성하고, 이 무기 막에 SVI 프로세스에 의한 AlOx을 성막 한 것과 reference로 PECVD에서 AlOx을 성막 한 것을 제작하고, 이를 곡률 반경 3mm에서 200,000 회 밴딩 시험한 전후의 barrier 성능을 MOCON 시험기로 평가 한 것이 그림 3이다.
  - SVI 프로세스의 것이 굽힘 시험 후에도  $1 \times 10^{-5} \text{g/m}^2 \text{day}$  이하인 반면, PECVD 것은  $1 \times 10^{-2} \text{g/m}^2 \text{day}$  수준으로 떨어지고 있는 것이 알 수 있다.

그림1

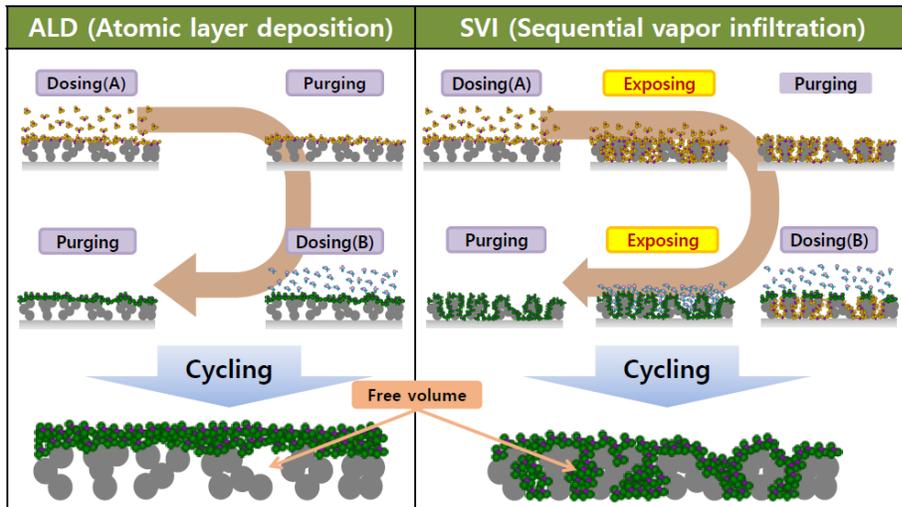


그림2

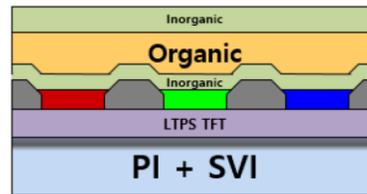
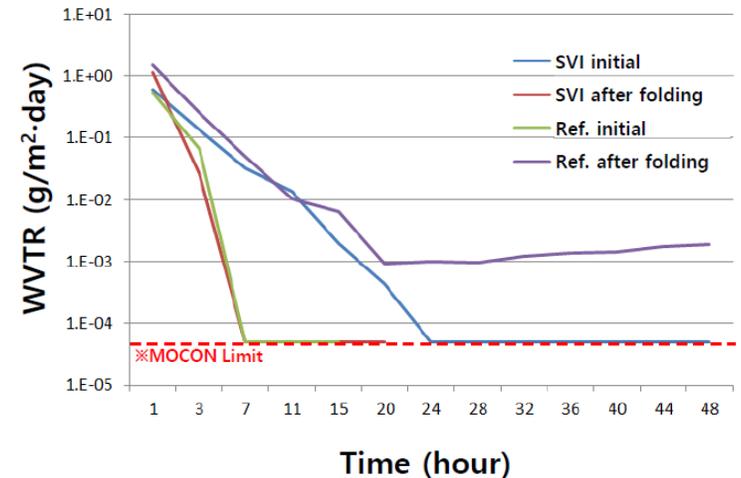


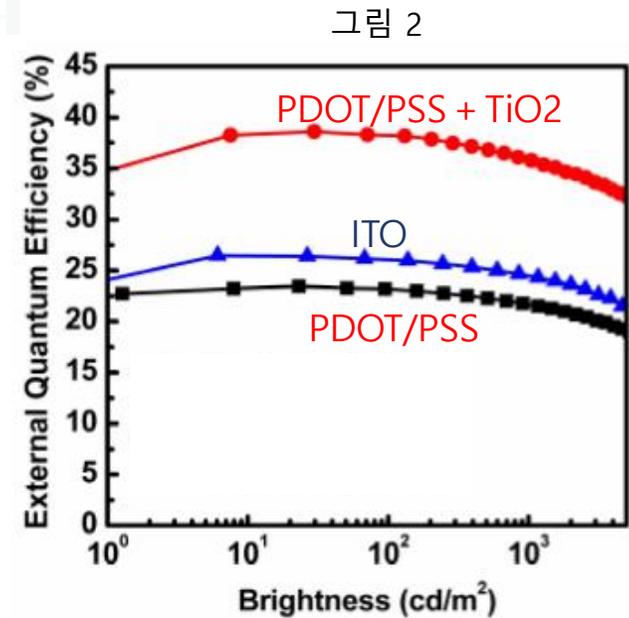
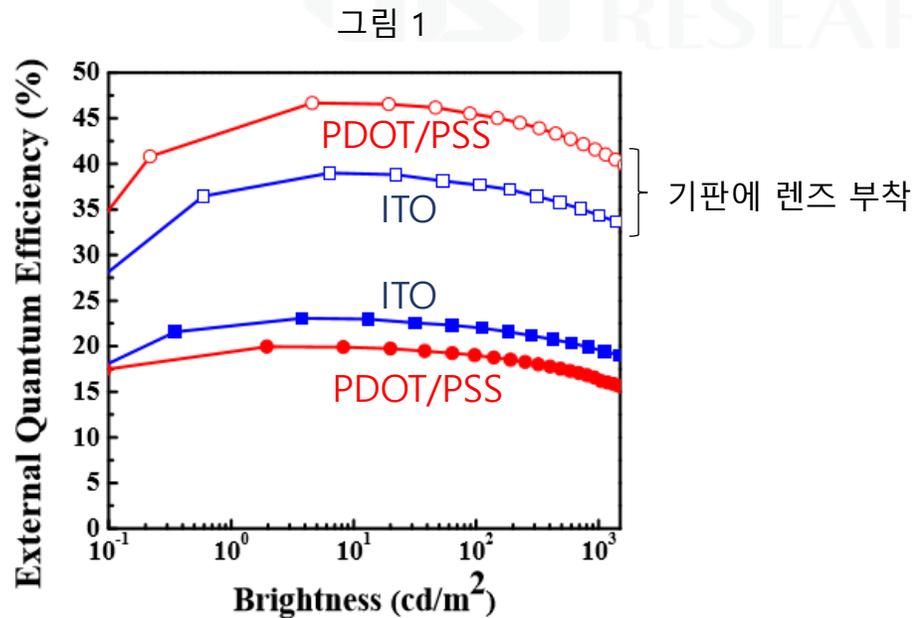
그림3



\* Seung Hum Kim et. al. SID2020 Digest 84-4 p.1273

## 7.2 굴절률 조정에 의한 광추출 개선

- Taiwan National Univ.는 SID2016에서 ITO의 굴절률에 의한 EQE의 저하를 방지하는 방안에 대해 발표했다. \*
- EQE가 낮은 원인 중 하나가 ITO의 굴절률( $n \sim 2.1$ )이 높아, 낮은 굴절률의 전도성 고분자 PDOT/PSS ( $n \sim 1.5$ )을 사용하는 것을 제안.
- 그림 1은 ITO를 이용한 디바이스 및 그것을 PEDOT/PSS로 바꾼 디바이스의 EQE를 나타낸다. ITO를 PDOT/PSS에 바꾸면 EQE는 저하되지만 기판 외부에 렌즈를 붙이면 EQE가 높아진다. 이것은 PDOT/PSS로 바꾸면 기판에 광 추출 효율은 오르지만, 기판에서 외부로 빛이 나가지 않음을 보여주고있다.
- 여기에 PDOT/PSS와 기판 사이에 고굴절률의  $TiO_2$ 를 삽입하여 측정 한 것이 그림 2이다. 기판 내에서 추출한 빛을 다시 기판 밖으로 추출하였기 때문에 EQE는 높아지고있다.



\* Chung-chih Wu et. al. SID2016 Digest 24-3 p.298

## 8.1 Foldable을 위한 디바이스 설계

- Flexible OLED를 더 작은 곡률 반경에서 Foldable하기 위해서는 종래의 디바이스 구조를 재검토 할 필요가 있다. 기존의 Flexible OLED는 PI 기판 기반의 OLED에 반사 방지를 위한 위상차판과 편광판이 겹쳐 있고, 그 위에 터치 패널이 있는 3 층으로 구성되어 있다. AUO는 SID2016에서 이러한 Asymmetric Panel Stack (APS)를 Symmetric Panel Stack (SPS)로하고 굽힘에 약한 부분을 Neutral Plane에 집중할 것을 제안했다. \*1
- 먼저 반사 방지를 위한 위상차판과 편광판을 없애고, OLED의 Microcavity와 컬러 필터의 조합으로 반사를 방지하는 방식을 채용. 이 방식은 2004년에 Sony가 발표한 기술이며, 이후 11" OLED TV를 상품화 할 때 채용 한 기술이지만, AUO는 CF와 TP를 동일한 필름 상에 집적 시키고, 이 필름과 OLED 측의 필름을 Symmetric하게 붙여 맞추는 형태로 진화 시켰다.
- CF와 TP가 아래와 같이 일체화 되어 있는 것이 IDW2016에서 보고되었다. \*2
- CF는 10 $\mu$ m 두께의 필름 상에 형성되고,이 BM에 TP용 메탈 메쉬가 붙여져 있다. 이 구조에 의해 TP 전극에서 반사가 외부에서 보이지 않으며, 동시에 저항이 낮은 Metal을 사용하여 배선폭이 좁아져, 개구율이 좋아진다.

그림 1

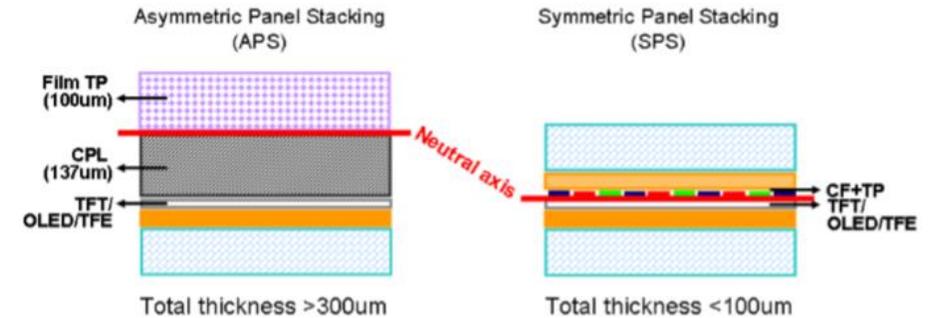
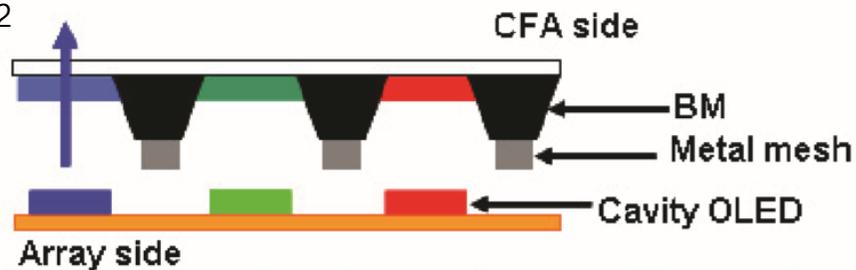


그림 2



- AUO는 SID2017에서 굽힘 내성을 향상시키고, 60 $^{\circ}$ C 90% RH 환경에서 곡률 반경 4mm에서 in-ward & out-ward 각각 1,500,000 회 굽힘 테스트를 통과했다고 보고했다.\*3 여기에 emitter 재료의 변경과 CF와의 궁합으로 BT.2020 98 %의 색 영역을 실현했다고 보고했다.

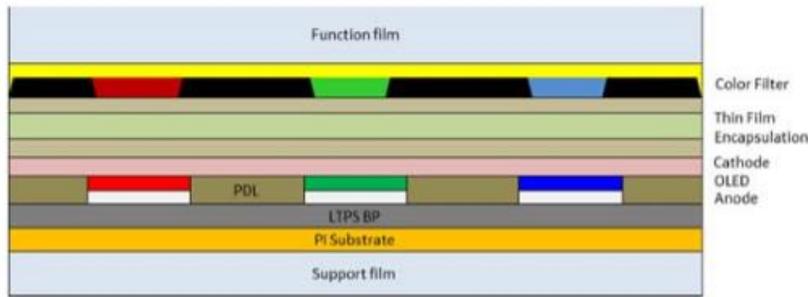
\* 1 Meng-Ting Lee et. al. SID2016 Digest 24-5 p.305

\* 2 Meng-Ting Lee et. al. IDW2016 Digest OLED 1-1 p.645

\* 3 Meng-Ting Lee et. al. SID2017 Digest 24-2 p.334

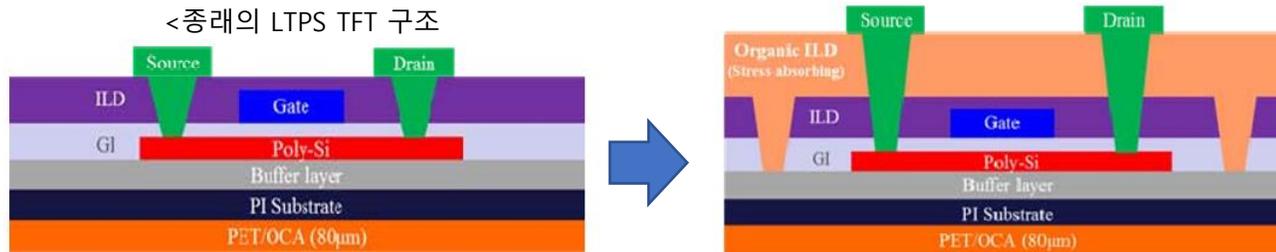
## 8.1 Foldable을 위한 디바이스 설계

- BOE는 SID2018에서 AUO의 방식을 더욱 진화 시킨 기술을 보고했다.\*1 즉 AUO와 같은 구성을 채용하면서 CF를 TFE에 직접 형성했다. 이 장점은 접합한 CF에 비해 보다 고정밀화가 가능하게 되는 것이다.



Structure	OLED + C-Pol	OLED + COE
Inch	5.46	
Resolution	2560*1440	
PPI	538	
Reflectivity	5.0 %	5.4%
Thickness	360 um	250 um
Brightness	350 nit	430 nit
NTSC Gamut	99%	112%

- 이 기술로 제작 한 패널을 공개했으며, 538ppi라는 고해상도이었다.
- ITRI는 SID2016에서 LTPS TFT에 유기물의 Inter Layer를 Stress Absorbing Layer로 삽입하는 구조를 발표했다.\*2



- 이것들을 곡률 반경 3mm에서 굽힘 시험을 50,000 회 실시한 결과, 종래 구조의 LTPS TFT는 Gate 전압 vs Drain 전류 특성이 변화한 반면 Stress Absorbing Layer를 도입 한 LTPS TFT는 전혀 변화가 없었다.

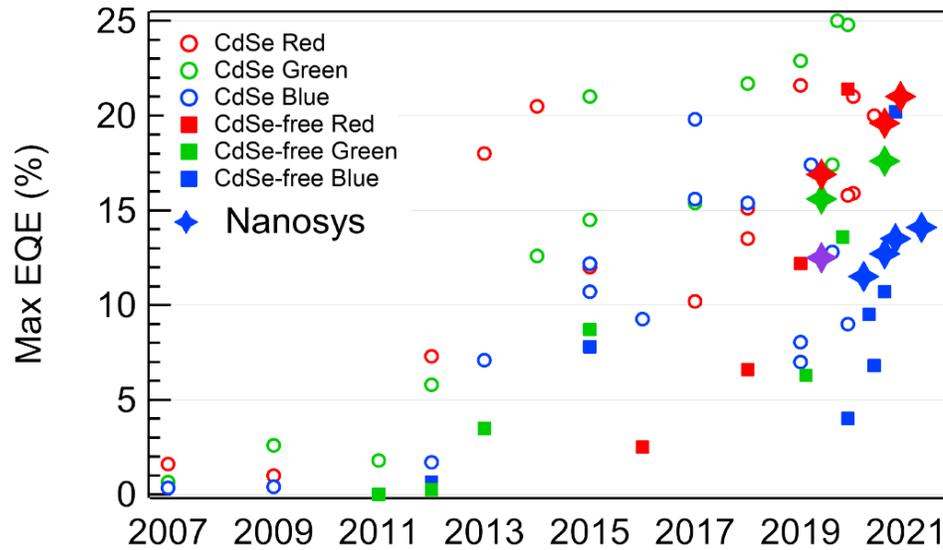
\*1 Chuan X. Xu et. al. SID2018 Digest 24-4 p.310

\*2 Janglin Chen et. al. SID2016 Digest 78-1 p.1041

## 9.3 QD-LED 특성 진화와 현재 상황

- Nanosys는 QD-LED의 EQE와 수명 특성의 진화 과정과 현재 값에 대해 SID2021에서 보고했다. \*
- EQE에 관해서는 비Cd계가 Cd계에 어깨를 나란히 한 것은 Red만이며, Green은 이제 조금씩, Blue는 크게 낮은 실정이다. (그림 1)
- 수명은 Red, Green은 꾸준히 개선되고 있는 반면, Blue는 아직 부족한 상황이다. (그림 2)

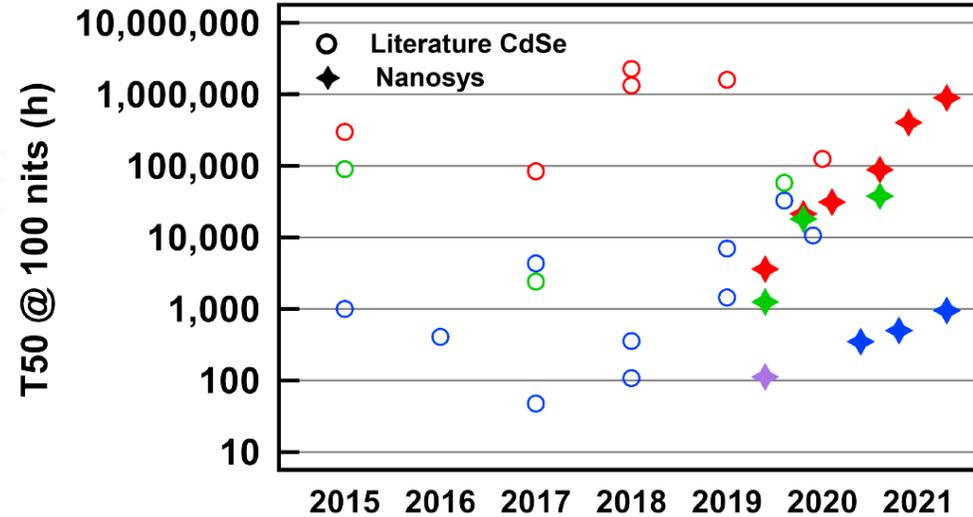
그림 1



Color	EQE
Red	21.0%
Green	17.6%
Blue	14.1%

True Blue at 452 nm

그림 2



Color	T50 @ 100 nits
Red	890,191 h
Green	37,719 h
Blue	949 h

True Blue at 452 nm

\* Diego Barrera et. al. SID2021 Digest 65-1 p945