

2022 OLED, QD-LEDの最新技術開発動向

2022. 8

シニアアナリスト
占部哲夫

Chief Analyst
Dr. Choong Hoon YI

1. 低分子 OLED 材料	5
1.1 蛍光材料	
1.2 りん光材料	
1.3 TADF	
1.4 Hyperfluorescence	
1.5 次世代発光材料の提案	
1.6 AI による材料開発	
1.7 Summary	
2. White OLED+CF	40
2.1 Bottom-emission White OLED+CF 型	
2.2 Top-emission White OLED+CF 型	
2.3 White OLED+CF 方式の特性改善	
3. OLED デバイス技術.....	56
3.1 Transparent OLED	
3.2 電極材料	
3.3 偏光板	
3.4 色度視野角依存性分析	
3.5 広視野角化技術	
3.6 Top emission での透明カソード	
3.7 QD OLED	
3.8 Rollable OLED Display	
3.9 Invert OLED	
3.10 車載用途に適した高温耐久性 OLED Display	
3.11 Under Display Camera (UDC)	

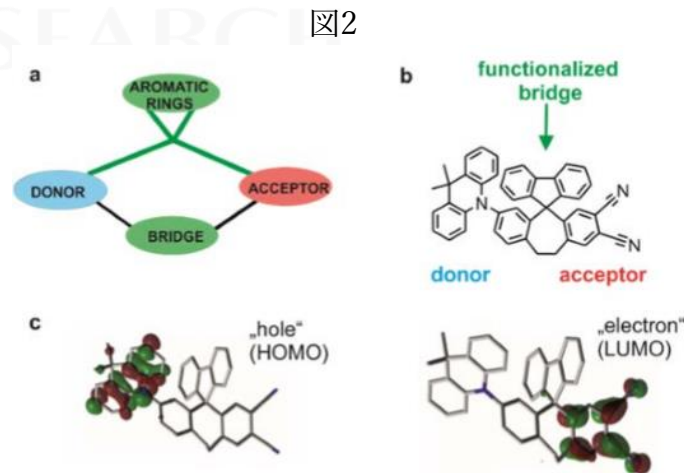
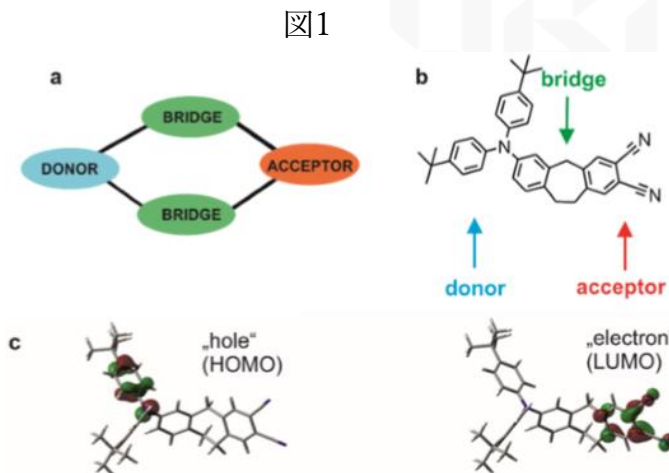
4. Solution Process OLED	77
4.1 Solution Process OLEDの現状と課題	
4.2 Solution Process用材料の開発状況	
4.3 Solution Process用材料と低分子蒸着用材料の比較	
4.4 Solution Process技術	
4.5 Solution Processデバイス技術	
4.6 Solution Processディスプレイ	
5. 低分子蒸着技術.....	101
5.1 FMM蒸着の開発状況	
5.2 蒸着条件が膜に与える影響	
5.3 低分子蒸着OLEDの特性再現性	
5.4 低分子蒸着膜のLithographyによるパターン化	
5.5 量産用低分子蒸着システム	
5.6 蒸発源内での材料劣化	
5.7 低分子蒸着用超高精細マスク	
6. 封止技術.....	122
6.1 薄膜封止技術の開発状況	
6.2 薄膜封止での水分侵入メカニズム	
6.3 Flexible, Foldableに適した薄膜封止の開発	
6.4 Face Seal	
6.5 WOLED + CF Micro display の封止	

7. 光取り出し.....	140
7.1 分子配向による光取り出し改善	
7.2 屈折率の調整による光取り出し改善	
7.3 Waveguide modeの除去による光取り出し改善	
7.4 構造物の設置による光取り出し改善	
7.5 表面プラズモン共鳴の抑制	
8. Foldable技術.....	152
8.1 Foldableのためのデバイス設計	
8.2 Neutral Plane Splittingを目指した開発	
8.3 Neutral Plane Splitting のための OCA	
8.4 Foldableのための部材開発	
8.5 Foldable が TFT に与える影響とその対策	
8.6 Foldable に適した LTPS プロセス	
8.7 Foldable Display	
9. QD-LED技術開発動向	174
9.1 Core-shell QD-LED	
9.2 Quantum Dot	
9.3 QD-LED 特性の進化と現状	
9.4 非Cd系 Blue QD の開発	
9.5 非Cd系 Red QD の開発	
9.6 QD-LED デバイス構造	
9.7 QD-LED プロセス	
9.8 QD-LED ディスプレイ試作	
9.9 White 発光 QD LED	
9.10 Perovskite	

1.5 次世代発光材料の提案

❖ $\Delta E_{ST} \cong 0$ の材料

- Univ. of RegensburgのYersinはSID2018でTADFの先の次世代emitterについて提案した。*
- TADFは熱活性によるRISCが条件であるため ΔE_{ST} が小さい必要があるが、もし ΔE_{ST} がほぼゼロであれば熱活性化が必要無く従ってRISCも非常に速くなる筈で、そうなれば安定性が飛躍的に高まる筈である。
- 通常のTADF分子は図1のように共役系でないBridgeでDonorとAcceptorが結合されていて、そのときのHOMOとLUMOは図1cのようになっている。しかしこの場合でもHOMOとLUMOの重なりはゼロにはなっていない。それに対して図2のようにBridgeの部分に芳香環をつけるとHOMOとLUMOの重なりがほぼゼロとなる、

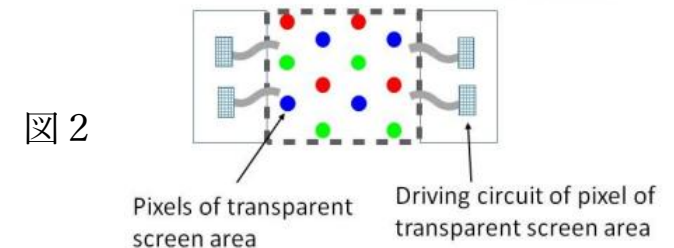
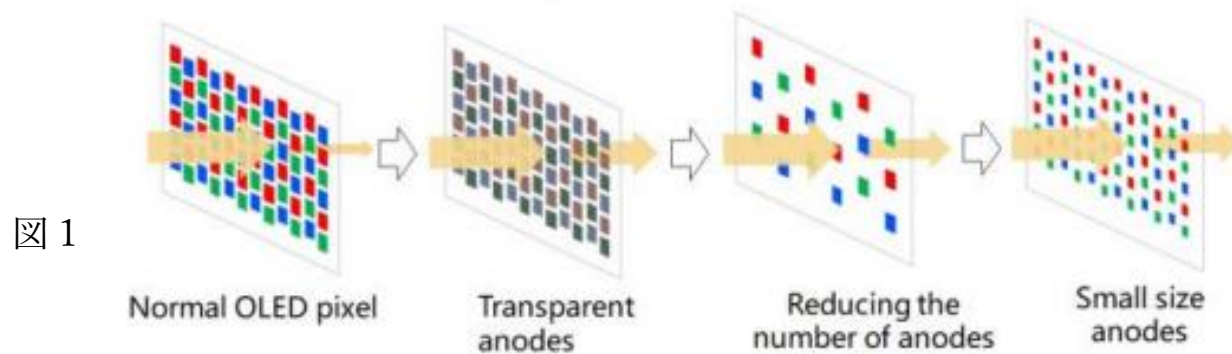


- 図2の分子のISCの時間を測定すると、測定機器で測れない(<数 nano sec)ほど早い。TADFのRISCは μ secのオーダーであるのと比べると大変な差である。このことから非常に高効率で長寿命なOLED材料となることが期待される。

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

3.11 Under Display Camera (UDC)

- Smartphoneが Full screen になるに伴って自撮りカメラをディスプレイ画面の中に配置せざるを得なり、Samsung Displayは画面の中に穴を空けてその下にカメラを配置した (HIAA: Hole In Active Area)。これに対して穴を全く無くして画面の中に配置する方式 (UDC : Under Display Camera) をVisionox が開発・事業化している。Visionoxはこの技術の進化について SID2022で発表した。*
- UDCではカメラが配置された上部のDisplayを出来る限り透明にして外部の光がカメラに到達させる必要がある。そのやり方として図1に示すようにまず画素を透明電極で構成することが考えられるが、こうするとOLEDの発光が前方だけでなく後方にも出てしまって輝度が低下するのに加えて、micro cavity効果による色純度の改善も見込めなくなる。次に画素を間引いて透明部分の面積を増やす方法が考えられ、この方式は2020年にZTE A20に搭載されて初のUDC製品となったが、この方式ではカメラ部分の解像度を低くなるために画面上でカメラがある部分が認識できてしまう。そこで画素を間引くことなく画素のサイズを小さくして透明部分を増やすように変更され、これが現在主流となっている。
- 透明部分を更に広げるために、図2のようにカメラ部分の画素の画素回路を透明にする必要が無い部分に避けるという工夫も取り入れており、また画素と画素の間を通り抜ける光の回折現象を抑えるために画素を円形にしたり、配線を曲線にしたりといった対策も取っている。



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

4.3 Solution Process用材料と低分子蒸着用材料の比較

- Solution Process用材料が、既にPremium TV商品となっている低分子蒸着用材料に対してどのようなpositionにあるのかについてJuhuaがSID2020での発表の中で以下のように分析している。*
- 低分子蒸着系ではRed、GreenがUDCのりん光材料、Blueが出光の蛍光材料をreferenceとして、住友化学・Merck・LG ChemicalのSolution process材料の特性を比較したのが図1である。ほぼ同等の特性を示しているが、図1のSolution Process材料特性はBottom-emissionでありTop-emissionとしたときの特にBlueの特性が図1に示された蛍光Blueの値に対してどの程度なのかは言及されていない。
- 65” 8K TVの要求仕様が、消費電力<103W、LT95(@1000cd/m²)>5Kh、DTI-P3>100%としたときに住友化学とLG Chemicalの材料が現状どのレベルかを図2、図3に示す。

図1

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

Source
Sumitomo Chemical : OLEDs World Summit 2019
Merck : IMID 2018 Business Conference & OLED Korea Conference 2019
LG Chemical : Meeting in Aug. 2019

Source
Idemitsu Kosan : SID 2016
UDC : Information from Website

B	8.4
	(0.142,0.043)
	770hrs @10mA/Cm2

図2 Sumitomo Chemical : Current Status(2018) vs. Target Performance

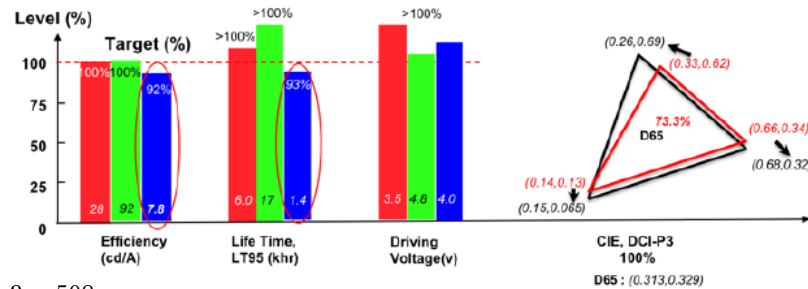
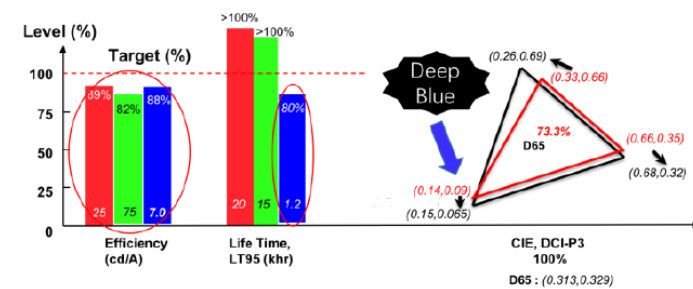


図3 LG Chemical : Current Status(2018) vs. Target Performance

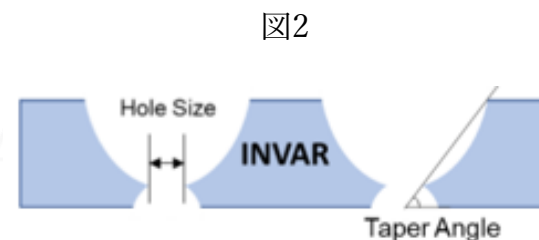
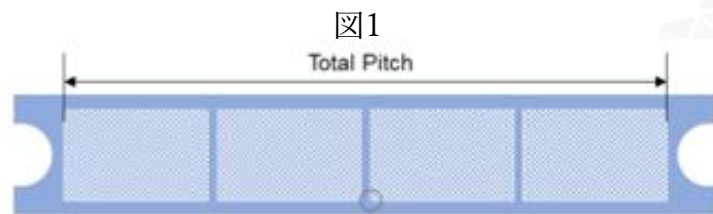


* Jueng Gil Lee et. al. SID2020 Digest 36-2 p.508

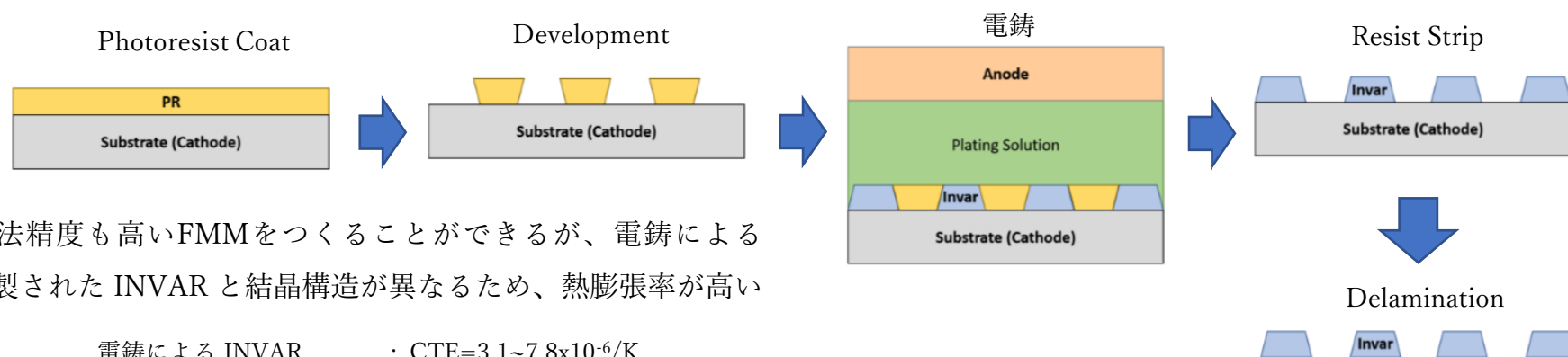
5.1 FMM蒸着の開発状況

❖ Etching FMMの課題と対策

- Wet etchingされたINVARは下図1のようなStickに切断され、このStickをフレームに溶接してFMMができるが、減反のINVARのロールにうねりがあるために図1のTotal Pitchにばらつきが生じる。また下図2にetching後のINVARの断面を示すが、ホールのサイズは精細度が上がれば上がるほど小さくなるので、Taper Angleを45°以下に保つためにはINVARの厚みを小さくする必要がある。もしTaper Angleが45°以上になるとShadow効果で蒸着物がホールを通して基板に到達せず、INVARの側面に付着してしまう。



- このようなTotal Pitchのバラツキや高精細化に対する課題を解決できるのが電鍍である。下図にそのプロセスを示す。*



- 電鍍は薄い膜厚で寸法精度も高いFMMをつくることができるが、電鍍によるINVARはロールで作製されたINVARと結晶構造が異なるため、熱膨張率が高いという欠点がある。

電鍍による INVAR : $CTE=3.1\sim7.8\times10^{-6}/K$

ロール製法による INVAR : $CTE\sim1\times10^{-6}/K$

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

8.2 Neutral Plane Splittingを目指した開発

- 同様の考え方でJDIはNeutral Plane Splittingによって、デバイスがどこまでの曲げまで対応可能かを調べた結果をSID2019で報告。^{*1}

図1 実験で使ったサンプル それをこのようにセットして このように折り曲げる

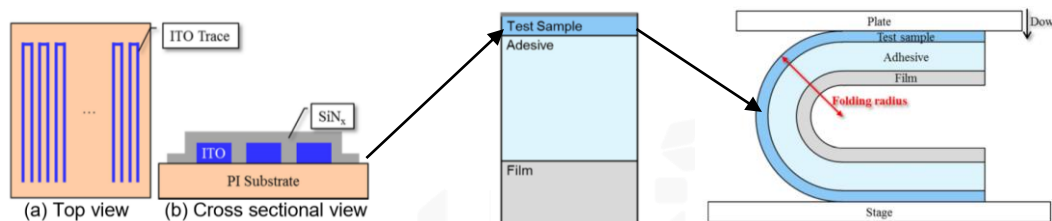
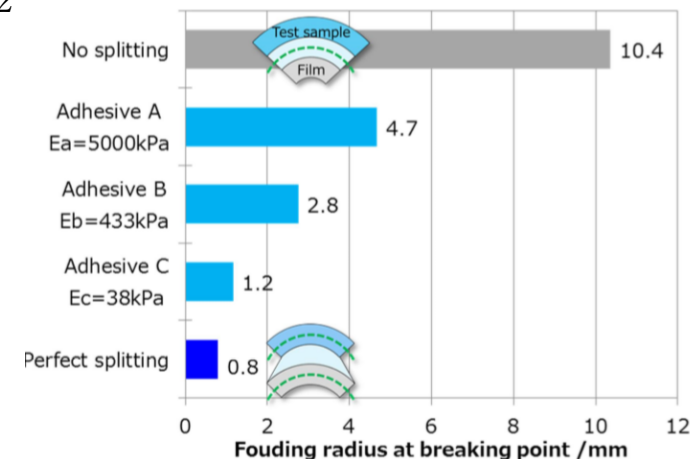
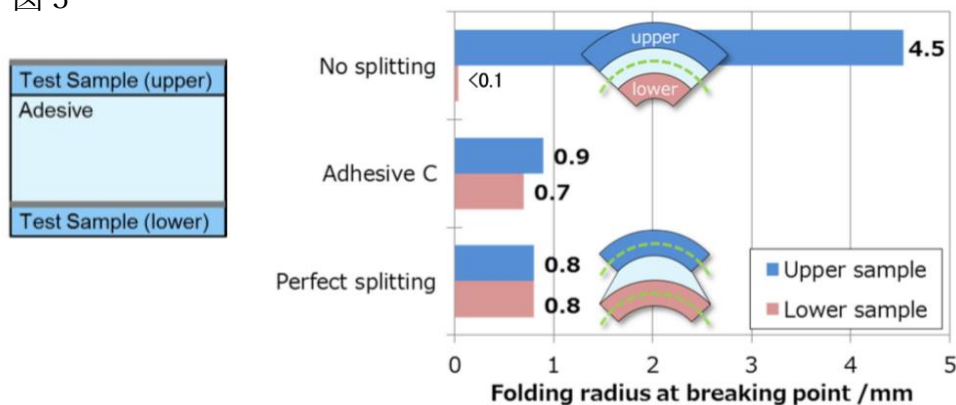


図2



- サンプルはFilmの上に厚さ $16\mu\text{m}$ のITO配線パターンがあり、その上をSiNで被っている。曲げでCrackが入ると抵抗値が変化するので検出できる。結果は右端の図で、弾性率の最も小さいOCAが1.2mmという最小曲率半径まで耐えた。

図3



- そこで次にサンプル2枚をもっとも弾性率の小さいOCAで貼り合わせて同様の実験をした結果が左図。ほぼ完全なNeutral Plane Splittingが出来て、曲率半径1mm以下までダメージ無しに曲げることが出来た。
- JDIは更にSID2020でsplitしたneutral planeの位置とfolding stiffnessの間の関係を定式化し、これによってfoldingデバイスの設計に活用できることを示した。^{*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 デバイス構造

❖ New HTL

- Kyung Hee Univ. はより高い mobility を持った HTL によってキャリアバランスを改善し、更に ETL として sol gel ZnMgO を組み合わせて Red の InP QD-LED では最も高い EQE を達成したことをSID2020 で報告した。*
- 図1のような inverted 構造で HTL に新開発材料を用いその駆動特性を reference としての HTL 材料 (TCTA/TAPC) と比較した。
- 図2、図3に示すように駆動電圧は低下し、EQE は増大している。
- 次に ETL として sol gel base ZnMgO を用いたものと、ZnMgO nanoparticle を用いたものとで EQE を比較したのが図4であるが、sol gel base ZnMgO の方が EQE は高い値を示し、Zn と Mg の比率を調整することで15% を超える EQE が実現した。
- 新開発の HTL と ETL としての sol gel base ZnMgO を組み合わせることによってEQE = 21.8%、LT50@1000Cd/m² = 1095 hours を実現した。

図1

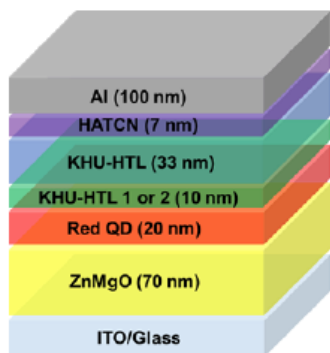


図2

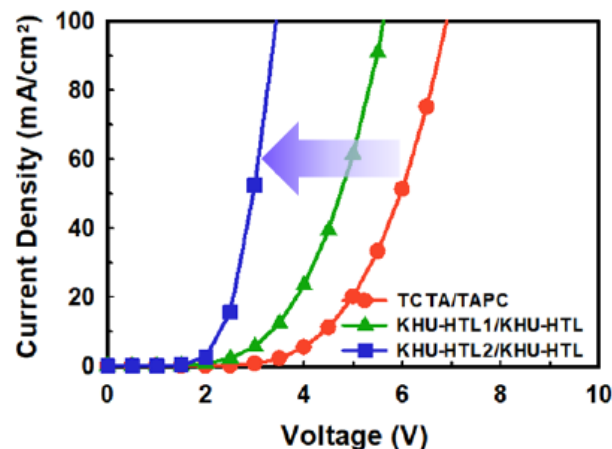


図3

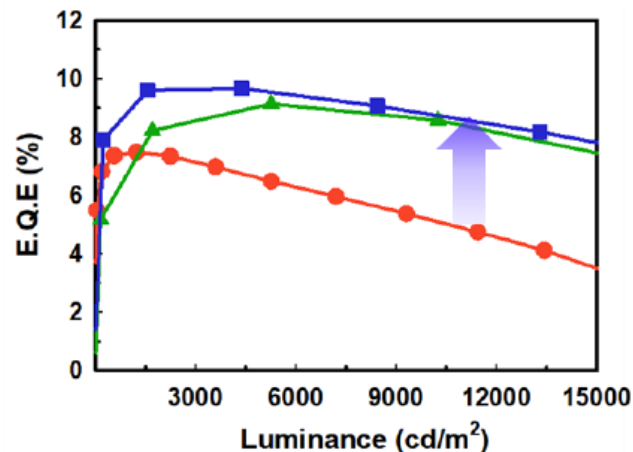
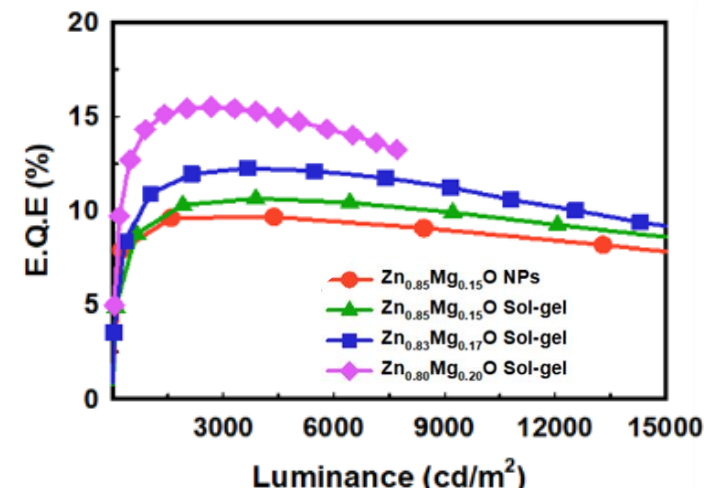


図4



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



シニアアナリスト
占部哲夫

Chief Analyst
Dr. Choong Hoon YI