



最新OLED技術開発動向レポート

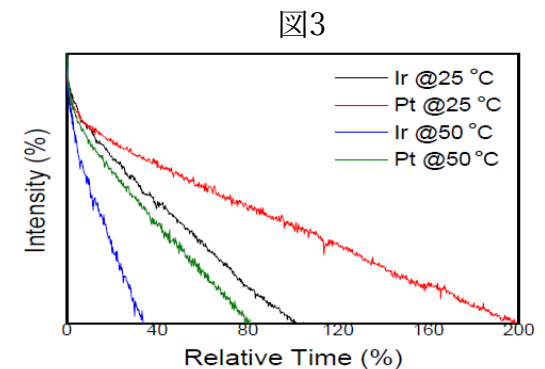
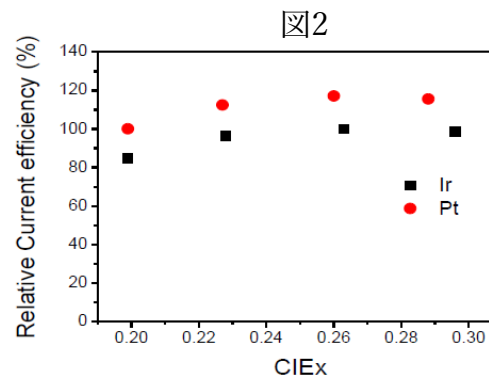
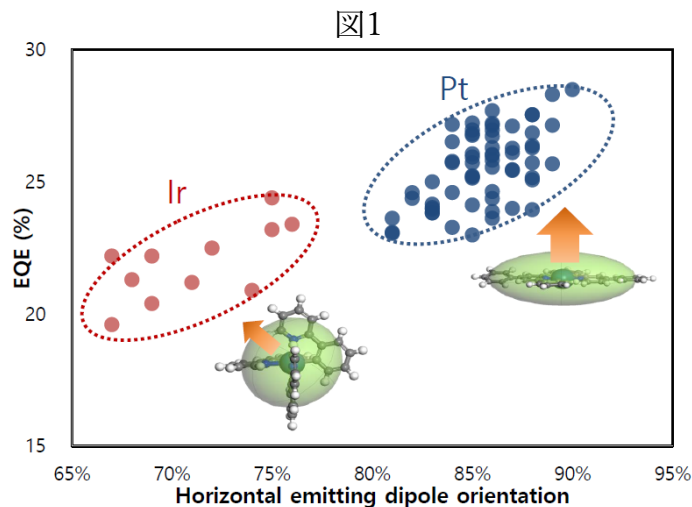
1. **低分子 OLED 材料**
 - 1.1 蛍光材料
 - 1.2 リン光材料
 - 1.3 TADF
 - 1.4 Hyperfluorescence
 - 1.5 次世代発光材料の提案
 - 1.6 Summary
2. **White OLED+CF**
 - 2.1 Bottom-emission White OLED+CF 型
 - 2.2 Top-emission White OLED+CF 型
 - 2.3 White OLED+CF 方式の特性改善
3. **OLED デバイス技術**
 - 3.1 Inverted OLED
 - 3.2 Transparent OLED
 - 3.3 電極材料
 - 3.4 偏光板
 - 3.5 色度視野角依存性分析
 - 3.6 広視野角化技術
 - 3.7 Top-emissionでの透明カソード
 - 3.8 QD OLED 用 Tandem Blue OLED
 - 3.9 Rollable OLED Display
4. **Solution Process OLED**
 - 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**
 - 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 低分子蒸着用超高精細マスク
6. **封止技術**
 - 6.1 薄膜封止技術の開発状況
 - 6.2 Flexible, Foldableに適した薄膜封止の開発
 - 6.3 Face Seal
7. **光取り出し**
 - 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
8. **Foldable技術**
 - 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 Foldableのための部材開発
 - 8.4 Foldable Display

1. 低分子OLED材料

1.2 りん光材料

❖ Green

- りん光Redはほぼ完成の域に達しているのに対して、りん光Greenはまだ改善の余地があり、Samsung SAITはPt系りん光分子によってこの問題へ対処できることをSID2020で発表した。*
- 現状のりん光GreenはIr錯体であるが、分子形状がOctahedralであるためにtransition dipoleが水平である割合が70~75%と小さい(りん光Redは90%以上)こと、寿命をもっと延ばしたいといった要望がある。これに対して分子形状がSquare planerであるPt錯体を用いることにより、図1のようにEQEが改善した。
- 図2にGreenのCIE_xに対して電流効率をIr錯体とPt錯体とで比較しているが、CIE_x値によらずPt錯体が高い効率を出している。
- 図3にはIr錯体とPt錯体の寿命特性を比較しているが、Pt錯体とすることで寿命の改善が出来ていることが判る。

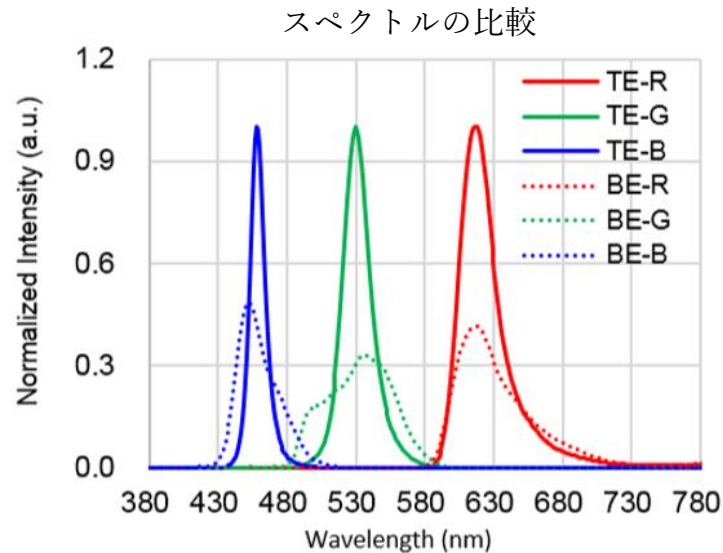


* Sun g hun Lee et. al. SID2020 Digest 20-2 p.281

2. White OLED+CF

2.2 Top-emission White OLED+CF 型

- 試作したTop-emission White OLED+CFをBottom-emission White OLED+CFと特性比較をした結果が下図。



<Bottom-emission>

Devices	Voltage (V)	CIE x	CIE y	Current Efficiency (cd/A)
R	11.7	0.683	0.317	7.0
G	11.7	0.197	0.726	11.7
B	11.7	0.147	0.033	3.3

Color Gamut cover ratio (BT.2020): 83.7%

<Top-emission>

Devices	Voltage (V)	CIE x	CIE y	Current Efficiency (cd/A)
R	11.7	0.676	0.319	15.5
G	11.6	0.174	0.777	26.6
B	11.5	0.146	0.038	3.5

Color Gamut cover ratio (BT.2020): 90.3%

- Top-emissionにすることによってBT.2020 90%を実現。

* Wengfeng Son et. al. SID2019 Digest 5-3 p.46

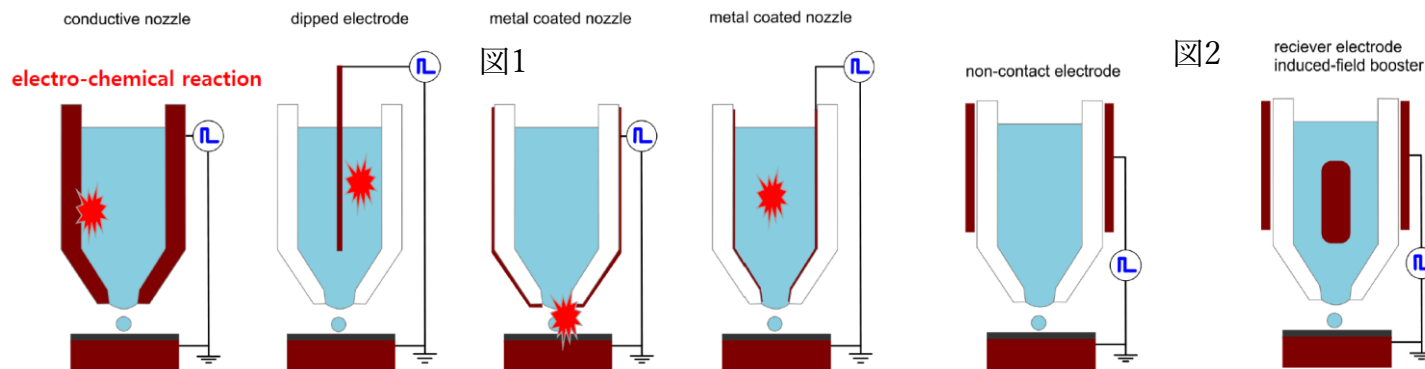
4. Solution Process OLED

4.4 Solution Process技術

❖ iEHD Printing

- Solution ProcessではInkjet方式に集中して開発が進められているが、この方式は解像度に限界があり、これまでにInkjetで試作されたパネルでは250ppiが最高である。Inkjetはpiezo electricによってインクを吐出するが、高精細化のためにノズル内径を小さくしていくとインクの粘度と表面張力によってpiezo electricの力では吐出が出来なくなるからである。
- これに対してinduced Electrohydrodynamic(iEHD) Printingはノズルの電極部がインクと接していないので、このような危険性が無い。この技術についてEnjetとSungKYUnkwan Univ.がSID2020で発表した。*
- iEHD printerのノズル部分は図2のようになっており、インクと電極が接することなく誘導電場によって吐出される構造である。
- この技術を用いて商品化されたprinterが図3で、 μ LEDのchip bonderとしての用途である。非常に微小なdropletが可能のため、今後高精細のSolution process display(OLED, QD-LED)用として期待される。
- Enjetは2020年3月にElectroninkと提携し、インクを含めたソリューション開発を加速している。

図3



* Doyoung Byun et. al. SID2020 Digest 36-1 p.505

5. 低分子蒸着技術

5.1 FMM蒸着の開発状況

❖ レーザー加工

- Wet etchingが持つ解像度に対する制約に対処する方式として、AP Systemsはレーザー加工の手法をSID2017で提案した。^{*1}
- レーザー加工の場合、加工中の熱による膨張で加工精度が落ちるのを防ぐために、フェムト秒の超短パルスレーザーを用いる。
- レーザーによって固体から気体へ変換させて熱の蓄積を無くすため形状の制御が可能である。Wet etchingでは両面からエッチングするのでテーパーが両サイドに出来、これがshadow効果を生じさせて成膜された画素内の均一性を悪くさせるが、レーザー加工では片側に正確なテーパーが形成されるため、画素内の均一な成膜が可能になる。
- 10 μ m厚のINVARをフェムト秒レーザーで加工し800 ppiのFMM作製に成功した。
- AP Systemsは更にSID2020でレーザー加工のFMMを超高精細に対応させられることを発表した。^{*2}
- レーザーの波長を短くすることで加工精度を高くすることが出来る。(図2)これにより2000ppiを超える精細度のマスク作製が可能となる。このマスクを図3のような

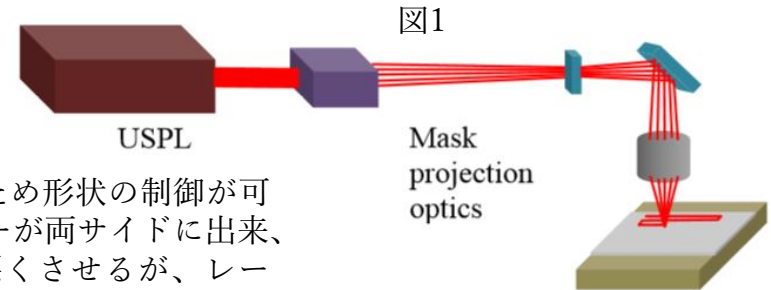
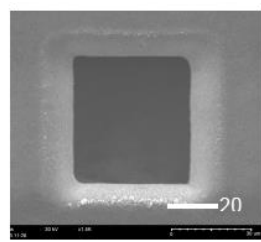
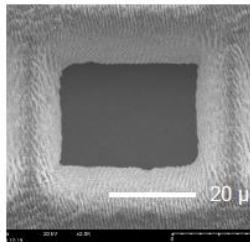


図1

$\lambda = 1030\text{nm}$

図2

$\lambda = 343\text{nm}$



面蒸発源と組み合わせることにより、AR/VR 用OLEDをRGB side by sideで作製する道が拓ける。

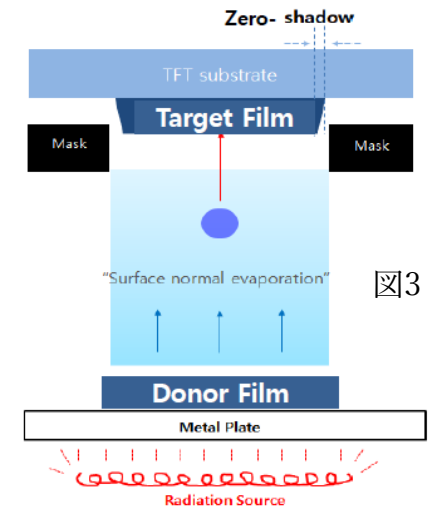


図3

*1 Jong Kab Park et. al. SID2017 Digest 37-1 p.520

*2 Chiwo Kim et. al. SID2020 Digest 61-1 p.905

6. 封止技術

6.2 Flexible, Foldableに適した薄膜封止の開発

❖ SGB

- TFEでの無機/有機/無機の構成において、無機膜としてSiO_x、SiN、SiONなどをPECVDで成膜する方式が一般的である。これはrigidなOLEDの封止としては全く問題無いが、Foldableの変形部分では十分でなく、Solution-coated Gas Barrier(SGB)を用いる方式をITRIがSID2020で発表した。*
- Slot die coatingによって無機膜をコーティングしたTFEを持ったFlexible OLEDを曲率半径1.5mmと3mmで100,000回折り曲げ試験を行った後の表示像を図2に示す。Folding areaに全く欠陥もdark spotも発生していない。
- PECVDによる無機膜とSolution processによる無機膜での異物のカバー能力及びピンホールのカバー能力を比較したのが図1である。Solution processでのコーティングの方がカバー能力が高いことが判る。

図1

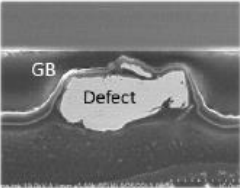
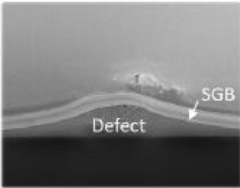
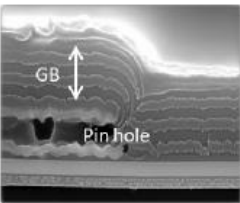
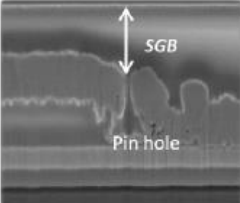
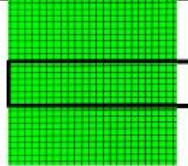

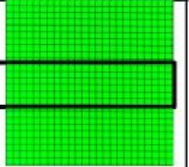
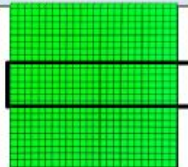

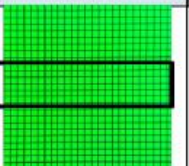
Technology	PECVD	Solution-coated Gas Barrier
Method	Vacuum process	Wet-coated process
Material	SiO _x /SiN _x	SiO _x /SiON
Defects coverage ability		
Filling property		

図2

Folding radius 3mm			
Folding Times	0	50,000	100,000
Image			

Folding radius 1.5mm			
Folding Times	0	50,000	100,000
Image			

* Chen-Kuan Kuo et. al. SID2020 Digest 84-3 p.1269

7. 光取り出し

7.2 屈折率の調整による光取り出し改善

- SELはSID2018で、EILとHILに低屈折率の材料を用いることにより、光取り出し効率を大幅アップしたことを報告した。*
- 図1のようなデバイス構造において、EIL及びHILにSELが独自開発した低屈折率の物質を導入したものと、従来タイプの物質を使ったものを表1のような組み合わせで作成し、そのEQEを測定したのが図4である。

図1

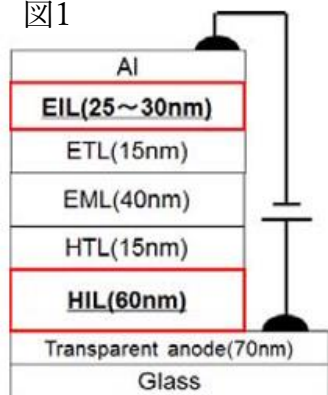


図2

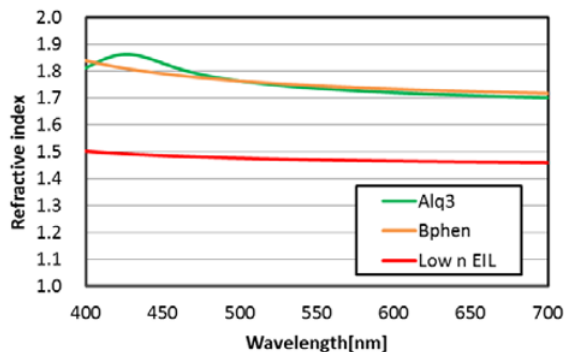
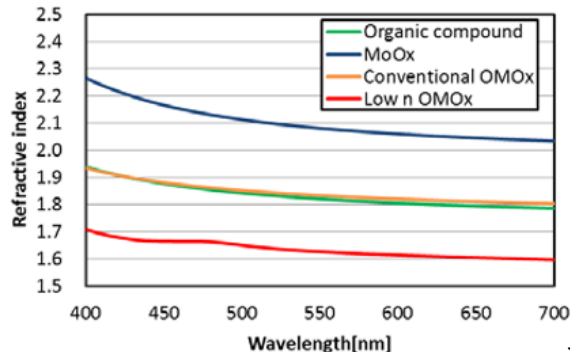


表1

	HIL	EIL
Device 1	Conventional	BPhen\LiF
Device 2	OMOx	low n EIL
Device 3	low n OMOx	BPhen\LiF
Device 4	low n OMOx	low n EIL

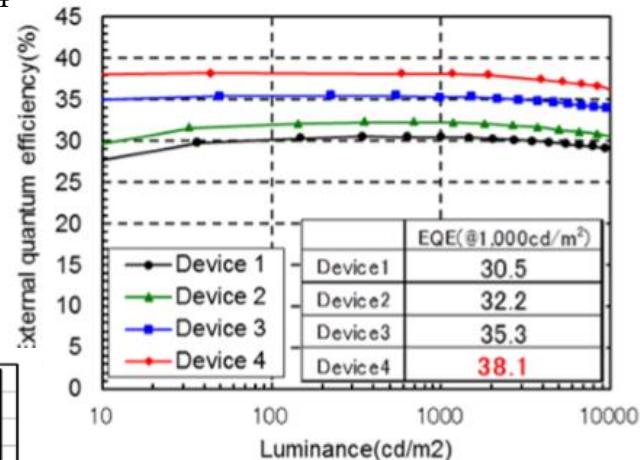
- 図2と図3に採用した低屈折率のEILとHILの屈折率を従来型のものと比較して示す。

図3



- EIL、HILともに低屈折率の材料を用いた Device 4 ではEQE が25%高くなっている

図4



* Takeyoshi Watabe et. al. SID2018 Digest 26-2 p.332