

# マイクロディスプレイ技術レポート

2021年1月

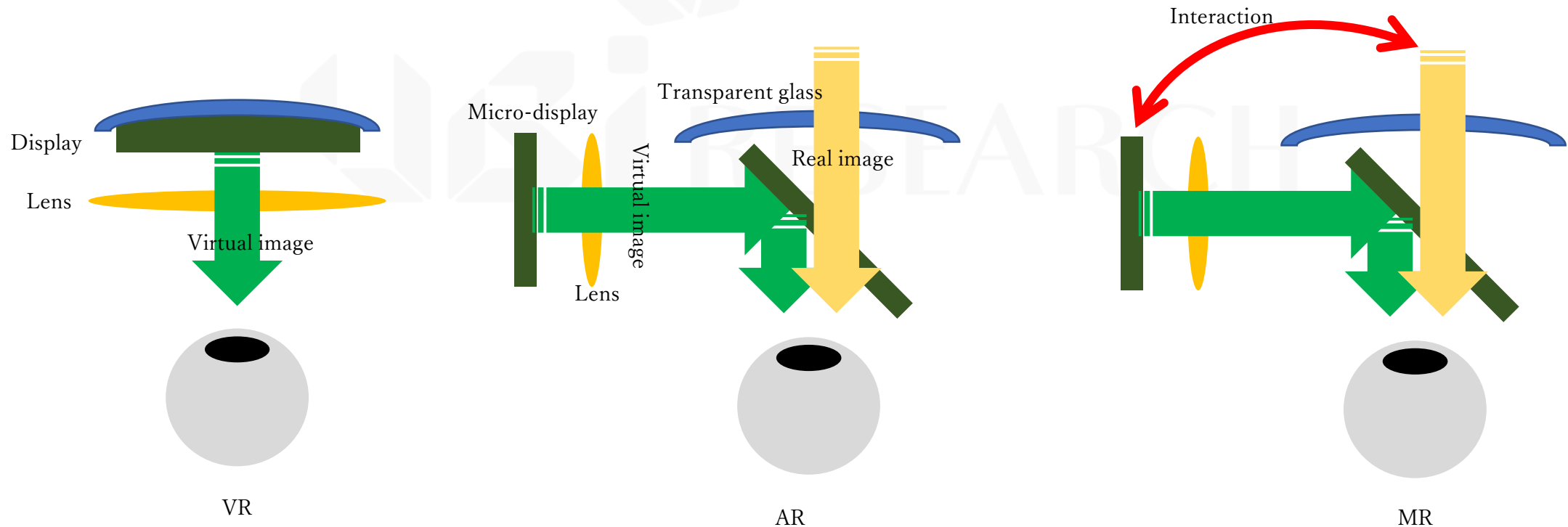
Senior Analyst  
Tetsuo Urabe

Chief Analyst  
Dr. Choong Hoon YI

1. ARとVR、XR .....	3	3. Micro-OLED .....	32
1.1 概要		3.1 Micro-OLED事業の状況	
1.2 VR		3.2 White+ CF型Micro-OLEDの高精細化	
1.3 AR		3.3 White+ CF型Micro-OLEDの高輝度化	
1.4 XR		3.4 Micro-OLEDのDirect Patterning : Lithography	
1.5 XR装置		3.5 Micro-OLEDのDirect Patterning : FMTL	
1.6 マイクロディスプレイ		3.6 Micro-OLEDのDirect Patterning : 超高精細マスク	
2. AR開発動向 .....	15	3.7 Pin Mirrorを使用したSmart Glass	
2.1 情報機器の進化とディスプレイ		4. Monolithic Micro-LED .....	54
2.2 Near-Eye Display製品		4.1 Monolithic Micro-LEDとDriver ChipとのHybridization	
2.3 Near-Eye Displayの光学系		4.2 Monolithic Micro-LEDの量産性の向上	
2.4 網膜走査型ディスプレイ		4.3 GaN Micro-LED上のMonolithic TFT	
2.5 Waveguide方式光学系		4.4 Monolithic Micro-LEDのFull Color化	
2.6 Waveguide Grating Combinerの業界eco-system		4.5 Monolithic Micro-LEDの商品化	
2.7 Pin Mirror方式		5. Micro-OLED or Micro-LED ? .....	72
2.8 Micro Mirror Structure方式		5.1 Micro-LED or Micro-OLED? : Micro-LED側からの見方	
2.9 Non-Emissive Micro-Display		5.2 輝度比較 : Micro-LED vs. Micro-OLED	
2.10 Emissive Micro-Display		5.3 フルカラー : Micro-LED vs. Micro-OLED	
2.11 主な製品の開発動向		5.4 駆動方式とその他 : Micro-LED vs. Micro-OLED	
		6. VR用ディスプレイと機器の開発動向.....	79
		6.1 サムスンディスプレイ	
		6.2 LGディスプレイ	
		6.3 FacebookやHTC	

## 1.1 概要

- 半導体の発達により、進化してきたコンピュータとして、様々な3次元仮想世界（VR; virtual reality）と現実をベースにした拡張現実（AR; augmented reality）を実装することができるようになった。
- VRは現実の世界とは完全に遮断された仮想現実だけを表示し、ARは現実の世界に仮想世界を合成して表示している。
- VRとARの混合形態として複合現実感（MR : mixed reality）と拡張現実（XR : extended reality）がある。MRはリアルタイムで実際の環境と相互作用する仮想のデジタルコンテンツを重畳する技術であり、XRはVRとARの機能を自由に切り替えたり、選択することができる技術である。



### 2.2 Near-Eye Display製品

- Google Glass は2015年に販売終了となったが、その後は Enterprise Edition として業務用機器へ方向修正した。この業務用の需要は大きく、その後多くのメーカーが参入している。その一例を以下に示す。
- 小型のディスプレイを覗く wearable display、外界と重ね合わせて見る AR ( Augmented Reality )、重ね合わせる画像が外界の座標系と一致している XR ( Mixed Reality ) の3つのタイプが存在する。AR, XR はwaveguide 方式が主流である。

VUFINE  
540 x 960(QHD) LCoS full color



Vuzix M400 Smart Glass  
Full color 640 x 360 micro-OLED



Wearable display

EPSON MOVERIO BT-300  
micro-OLED 1,280 x 720



Sony Smart Eyeglass SED-E1  
Green mono color, 1,000cd/m<sup>2</sup>  
Green LED light source + LCoS



AR

Microsoft HoloLens  
LCoS Field Sequential Color  
0.37" 1,366 x 768



Waveguide

Magic Leap one  
LCoS Field Sequential Color  
0.28" 1,280 x 960



Waveguide

MR

## 3.1 Micro-OLED事業の状況

- 現在商品化されている Micro-OLEDの方式は White emission + CF (Color Filter) 型である
- CMOS 駆動回路を形成した Silicon 基板上に蒸着により RGB 層をスタックした White emission の上に CF 基板を図1のように貼り合わせるタイプと、passivation 上にCF を直接形成するタイプがある。
- 用途としては軍事用、医療用、産業用などの特殊用途に加えて、民生用としてはデジタルカメラやムービーのビューファインダなどが中心であったが、近年は wearable の near-eye display として用いられるようになり、このような用途に向けた高精細化・高輝度化のための技術開発が盛んになってきた。

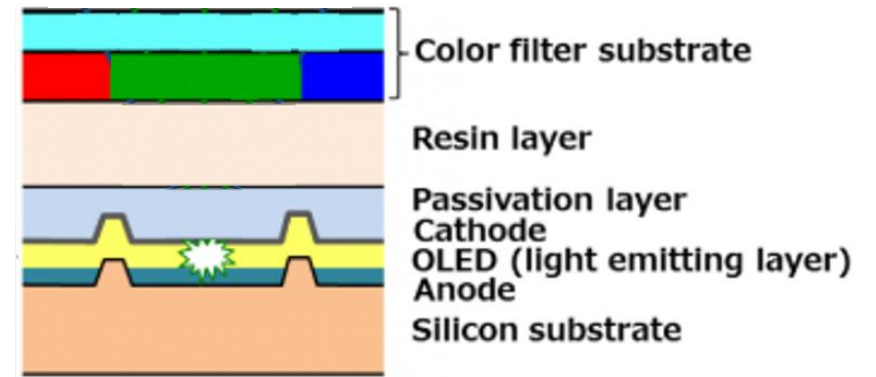


図1



軍事用



医療用



産業用



ビューファインダ



スマートグラス

- 現在 Micro-OLEDを生産・販売しているのは、eMagin、Kopin、Sony、MICROOLED で、EPSON は社内製品向けの生産をしている。



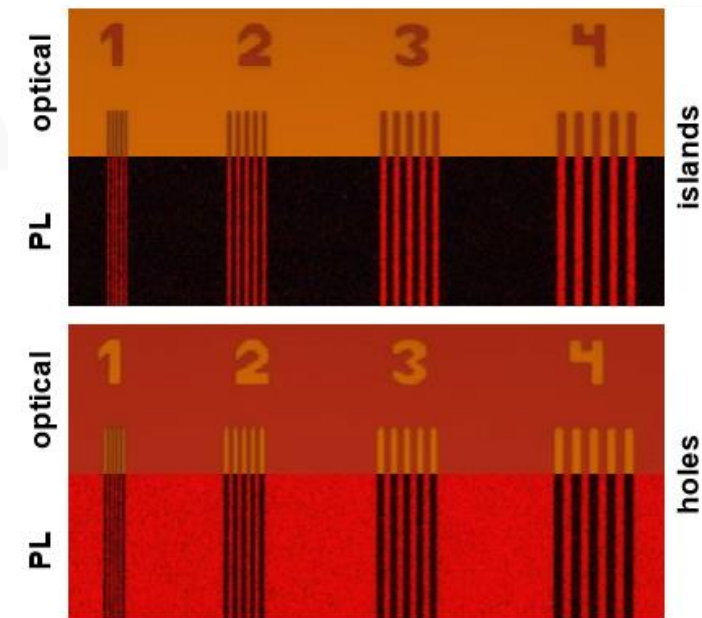
## 3.4 Micro-OLEDのDirect Patterning : Lithography

- 今後の情報機器の新たな方向として期待される AR 機器は、明るい外界環境での視認性を確保するための高輝度が必要な上に、waveguide の効率が低いために光学エンジンの輝度を大幅に高めておく必要がある。従って、最大輝度を如何に上げていくかが開発の重要な課題となっている。
- 現状の Micro-OLEDは White + CF 方式であるために、CF によって大幅な輝度低下を招いており、従って CF を用いない RGB side-by-side の方式を採用することが望まれる。しかし、直視型の OLED 製造で用いられている FMM (Fine Metal Mask) は500ppi 程度が限界であり Microdisplay で要求される精細度に対応するためには別のプロセス開発が必須である。
- 対応策の一つは Lithography である。しかし Lithography での課題は、有機発光材料が photo resist の溶媒によって溶出してしまうことである。これを防ぐために直交溶媒を用いる手法を iMEC が 開発した。

- iMEC は fluorinated photoresist を用いて OLED のパターン化を報告していたが、non-fluorinated photoresist の chemically amplified i-line photoresist (Fujifilm OCR)を用いて  $3\mu$  ピッチのパターン化が可能であることを示した。(右図)

FPD用の i 線ステップでは  $CD = 1.5 \mu m$ 、 → 3500 ppi で 開口率 5% 以下  
半導体用の KrF (248nm), ArF (193nm) → 10,000 ppi で 開口率 35% 以上

- レジスト工程は真空をブレイクして、グローブボックス中で大気圧で行うためOLED寿命に影響する。この対策として、レジストやOLED積層構造を工夫して、2018 時点で L90 > 150h まで達成している。



## 4.1 Monolithic Micro-LEDとDriver ChipとのHybridization

- Hong Kong Univ. of Sci. & Tech. は Sharp と同様の QD による色変換を用いた Monolithic Micro-LEDを試作したが、Sharp が GaN on Sapphire の Epi layer を用いたのに対して、Si wafer 上に成長させた GaN を用いてコスト削減が可能な方法を開発した。

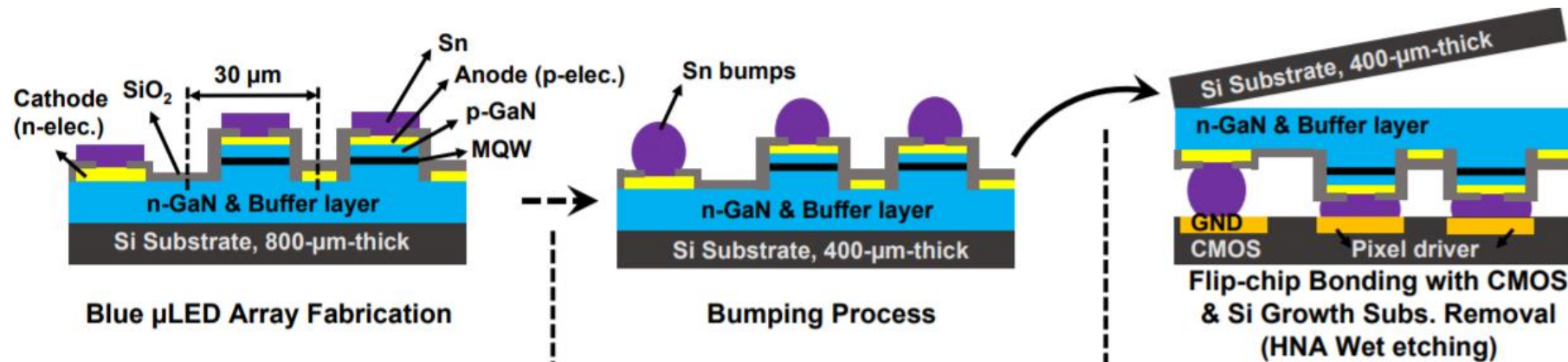


図1

- Si wafer 上で GaN LED を成長させ、それを図1のように Sn bump で CMOS Driver と Flip chip bonding した後に、Epi wafer の Si を etching で除去してから色変換基板と貼り合わせる。最終的なデバイスは図2のようになる。
- 試作したのは 0.55", 200 x 120 画素、画素ピッチ = 60  $\mu$  m (423ppi) の Full Color Micro-Display。

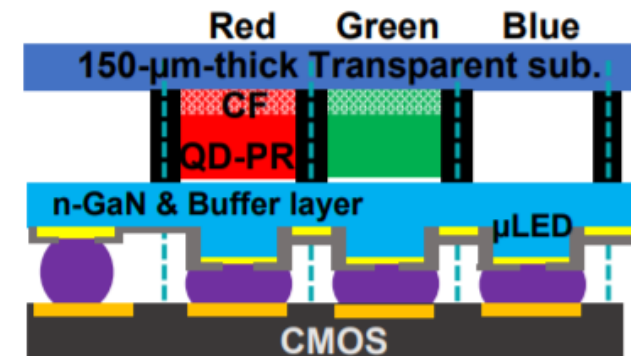


図2

## 5.1 Micro-LED or Micro-OLED? : Micro-LED側からの見方

- Micro-OLED 側から見た Micro-LED との比較は、MICROOLED S.A.S. が SID2019 での講演の中で述べている。
- Micro-OLED は量産ベースの商品として市場に出てから既に10年以上が経過しており、不確実性が少なく今後の課題も寿命と輝度 up であることが明確になっており、これに対しての技術開発も進んでいる。
- 一方の Micro-LED は量産時の欠陥歩留が確保できるのか、などの不明点が非常に多い上に次のような問題点が指摘されている。
  1. 画素間の輝度バラツキが非常に大きいため、補正の frame memory を持つ必要がある
  2. Micro-LED の EQEmax は  $10\text{A}/\text{cm}^2$  のレベルにあるが、表示に必要な輝度は  $100\text{mA}/\text{cm}^2$  のレベル。従って高い EQE で表示するために PWM 駆動すると CMOS 側に大きな負荷がかかる。
  3. Micro-LED の画素サイズを小さくしていくと EQE が大幅に低下するので、高精細化が困難。
- 下表に比較をまとめているが、上記のような理由から AR用の Micro-Display としては Micro-OLED が Main stream だと結論。

Technology	Maturity	Image quality	Power efficiency	Max brightness	Cost
Micro-OLED	Hugh: in volume production	High	High	Medium, but potential to increase significantly	moderate
Micro-LED	Very low: monochrome demonstrators	Major challenge uniformity and color	Major challenge for required small pixel size	Very high in monochrome, still to be demonstrate in full color	Major challenge: cost of GaN, complex hybrid process, yield