

2022年 マイクロディスプレイ技術レポート

2022年3月

Senior Analyst
Tetsuo Urabe

Chief Analyst
Dr. Choong Hoon YI

1. ARとVR、XR -----	4	3.2 商品化されたVR機器	
1.1 概要		3.2.1 PlayStation VR	
1.2 VR		3.2.2 Oculus	
1.3 AR		3.2.3 HTC	
1.4 XR		3.2.4 その他、広FOV・高精細のVR製品	
1.5 XR装置		3.2.5 VR製品のDisplay解像度推移	
1.6 マイクロディスプレイ		3.3 新開発のVR機器	
2. AR開発動向 -----	16	3.3.1 Panasonic	
2.1 情報機器の進化とディスプレイ		3.3.2 Sony	
2.2 Near Eye Display製品		3.3.3 Micro OLED を用いたVR 機器の解像度	
2.3 Near Eye Displayの光学系		3.4 3D表示への対応	
2.3.1 Projection Type (look around)		3.4.1 従来の 3D 表示方式の問題点	
2.3.2 Beam Splitter 型ディスプレイ		3.4.2 Light field display	
2.3.3 Waveguide 方式光学系		4. Micro-OLED -----	57
2.3.4 Micro Mirror 方式		4.1 Micro-OLED事業の状況	
2.3.5 網膜走査型ディスプレイ		4.1.1 Micro OLED の構造と応用領域	
2.4 AR Glass に用いられるMicro-Display		4.1.2 eMagin	
2.4.1 Non-Emissive Micro-Display		4.1.3 Sony	
2.4.2 Emissive Micro-Display		4.1.4 MICROOLED	
2.5 商品化されたAR機器におけるDisplayとOpticsの組み合わせ		4.1.5 Kopin	
3. VR開発動向 -----	41	4.1.6 BOE	
3.1 VR機器に求められること		4.1.7 EPSON	
3.1.1 広い FOV		4.1.8 各社の製品ラインアップの仕様	
3.1.2 高精細		4.1.9 各社の Micro OLED 製品サイズと画素ピッチ	
3.1.3 高速応答		4.2 White + CF型Micro-OLEDの高精細化	
		4.2.1 Color Filter 配列	
		4.2.2 Meta Surface	

4.3	White + CF型Micro-OLEDの高輝度化	
4.3.1	RGBW Color Filter	
4.3.2	Tandem Structure	
4.3.3	Tandem の低電圧化	
4.3.4	Micro Lens array	
4.3.5	配光特性制御	
4.4	Micro-OLEDのDirect Patterning	
4.4.1	Lithography	
4.4.2	Flash Mask Transfer Lithography	
4.4.3	超高精細マスク	
4.5	Micro-OLEDを用いたAR Glass	
4.5.1	EPSON	
4.5.2	Nreal	
4.5.3	ETRI	
5.	Monolithic Micro-LED	86
5.1	Monolithic Micro-LEDとDriver chipとのHybridization	
5.1.1	CEA-LETI	
5.1.2	Sharp	
5.1.3	GaN on Si wafer	
5.2	Monolithic Micro-LEDの量産性向上	
5.2.1	CEA-LETI	
5.2.2	Jade Bird Display	
5.3	GaN Micro-LED上のMonolithic TFT	
5.4	Micro-LEDのサイズと発光効率の関係	
5.5	Nanowire (Nanocolumn)	
5.6	完全Monolithic Micro-LED	
5.7	Monolithic Micro-LEDのFull color化	
5.7.1	QD による色変換	
5.7.2	Nanocolumn による direct color	
5.7.3	Quantum Photonic Imager (QPI)	
5.7.4	GaN での monolithic full color	
5.8	Monolithic Micro-LEDの商品化	
5.8.1	Plessey Semiconductor	
5.8.2	Jade Bird Display (JBD)	
5.9	Micro-LEDを用いたAR Glass	
5.9.1	VUZIX	
5.9.2	TCL	
5.9.3	Oppo	
6.	Micro-OLED or Micro-LED ?	109
6.1	Micro-OLED側からの見方	
6.2	輝度比較：Micro-OLED vs Micro-LED	
6.2.1	Micro-LED の輝度	
6.2.2	Micro-OLED の輝度	
6.3	フルカラー化：Micro-OLED vs Micro-LED	
6.4	駆動方式、その他：Micro-OLED vs Micro-LED	

2. AR開発動向

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/m²
Green LED light source + LCoS



Waveguide

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

2.3 Near-Eye Displayの光学系

2.3.3 Waveguide 方式光学系

- Holographic Optical Element (HOE) は光散乱を極小化しながら単一の回折モードのみを取り出すように設計が可能であり、従ってより高い回折効率を得られると同時に、see-through のための高い透明度を得られることが期待できる。HOE は従来は量産性が課題であったが、2017年に Luminit が HOE の量産技術を確立した。
- HOE の生産は Mastering と Replication で行われる。(図1) Mastering は2本のレーザー光の干渉パターンを感光性材料に照射して、そのパターンを体積ホログラムとして記録する。このMastering においては振動を出来る限り無くしておくことが必須である。
- Replication は Master と Replica となる感光性素材を重ね合わせて図1のように光照射を行って作製する。
- その後 DigiLens は Reactive Monomer Liquid Crystal Mix (RMLCM) という高い屈折率変調が可能な材料での量産化を可能にした。
- RMLCM の屈折率変調幅は 0.16 と、従来に比べて 6 倍も大きい。これを $2\mu\text{m}$ の厚さで作る。
- 量産の仕方は、まず waveguide を作り、その上に RMLCM を Inkjet print し、それを Laser 露光するとLaser光の干渉パターンに沿って LC と monomer が相分離する。
- DigiLens は今後生産コストを下げて、民生用に道を拓くことを狙っている。

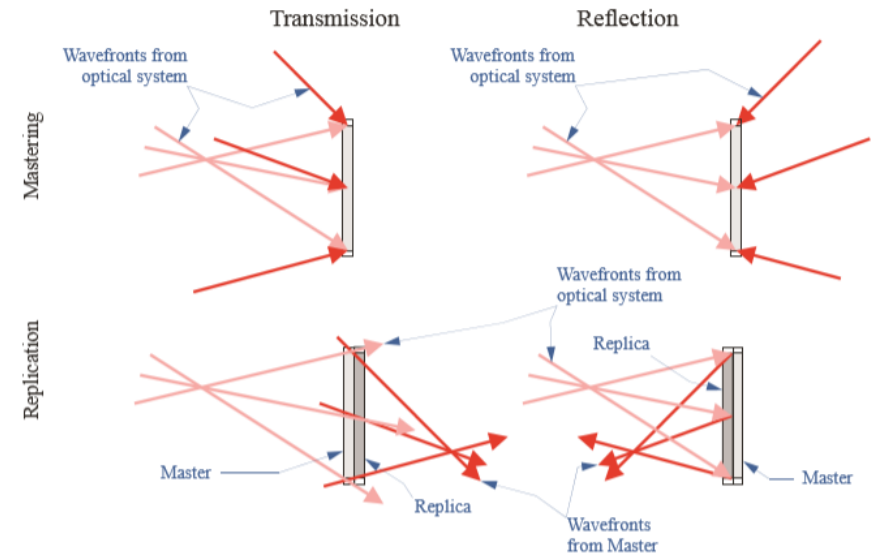


図 1

3. VR開発動向

3.1 VR 機器に求められること

3.1.1 広い FOV

- 人間の眼の FOV は下図 1 のように水平は両目で $\sim 220^\circ$ 、垂直は $\sim 130^\circ$ とされている。従って VR 機器のディスプレイはこれと同等の FOV を持つことが理想である。
- 但し、この FOV 全てに渡って同じ解像度や色の識別などが出来る訳ではなく、図 2 に示すように例えば文字を識別するのに必要な解像度は視野中心部の $5\sim 10^\circ$ の範囲に限られている。従ってディスプレイの設計に当たってはこのような人間の眼の特性を考慮することが重要になる。

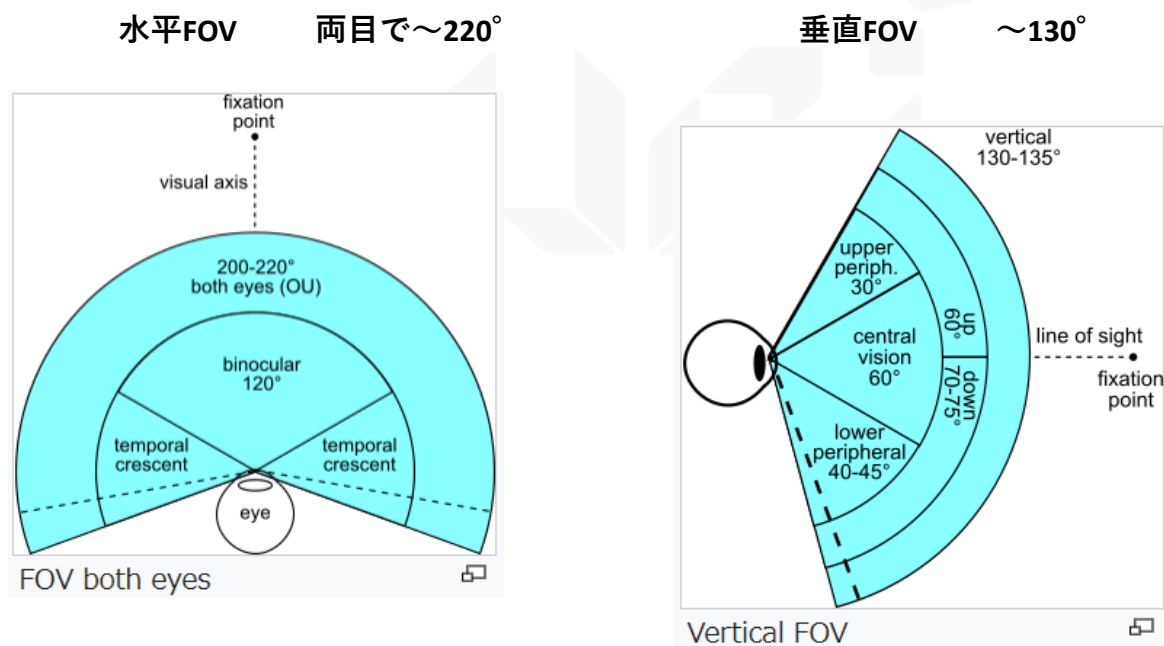


図 1

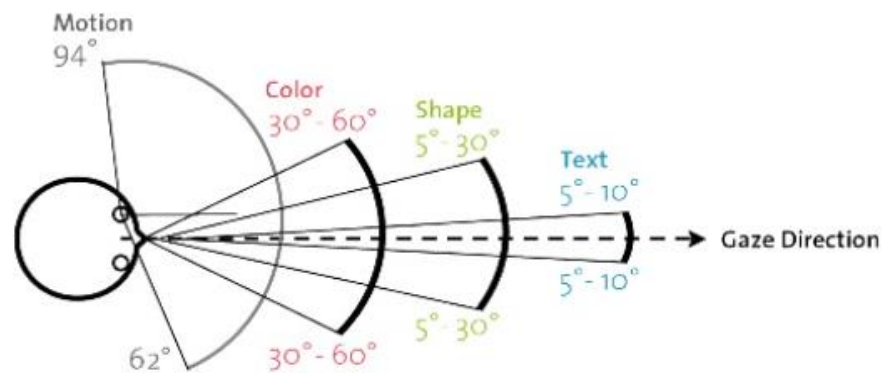


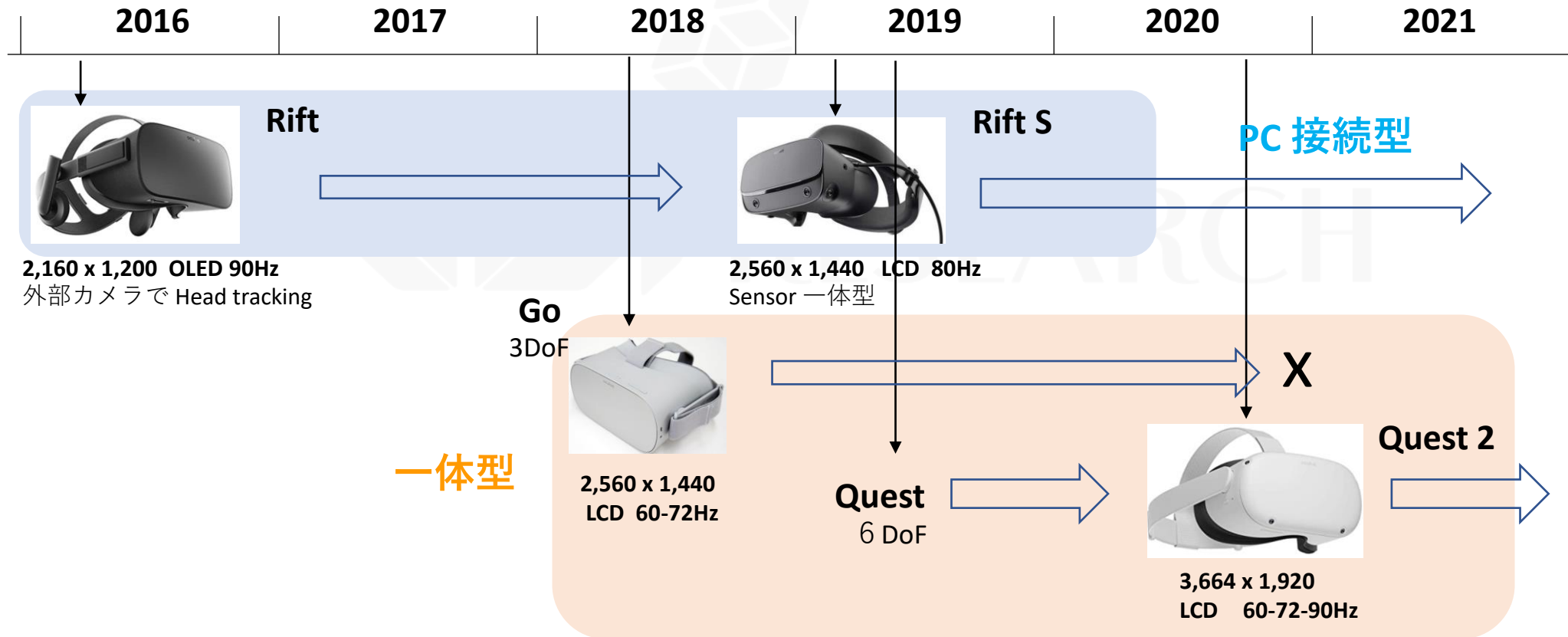
図 2

3. VR開発動向

3.2 商品化されたVR 機器

3.2.2 Oculus

- Facebook 傘下の Oculus はディスプレイとして当初 OLED を使っていたが、近年は高解像度化を優先して LCD を用いている。
- 最新の Oculus Quest 2（現 Meta Quest 2）は片目あたり 1,832 x 1,920 の高精細化を実現している。

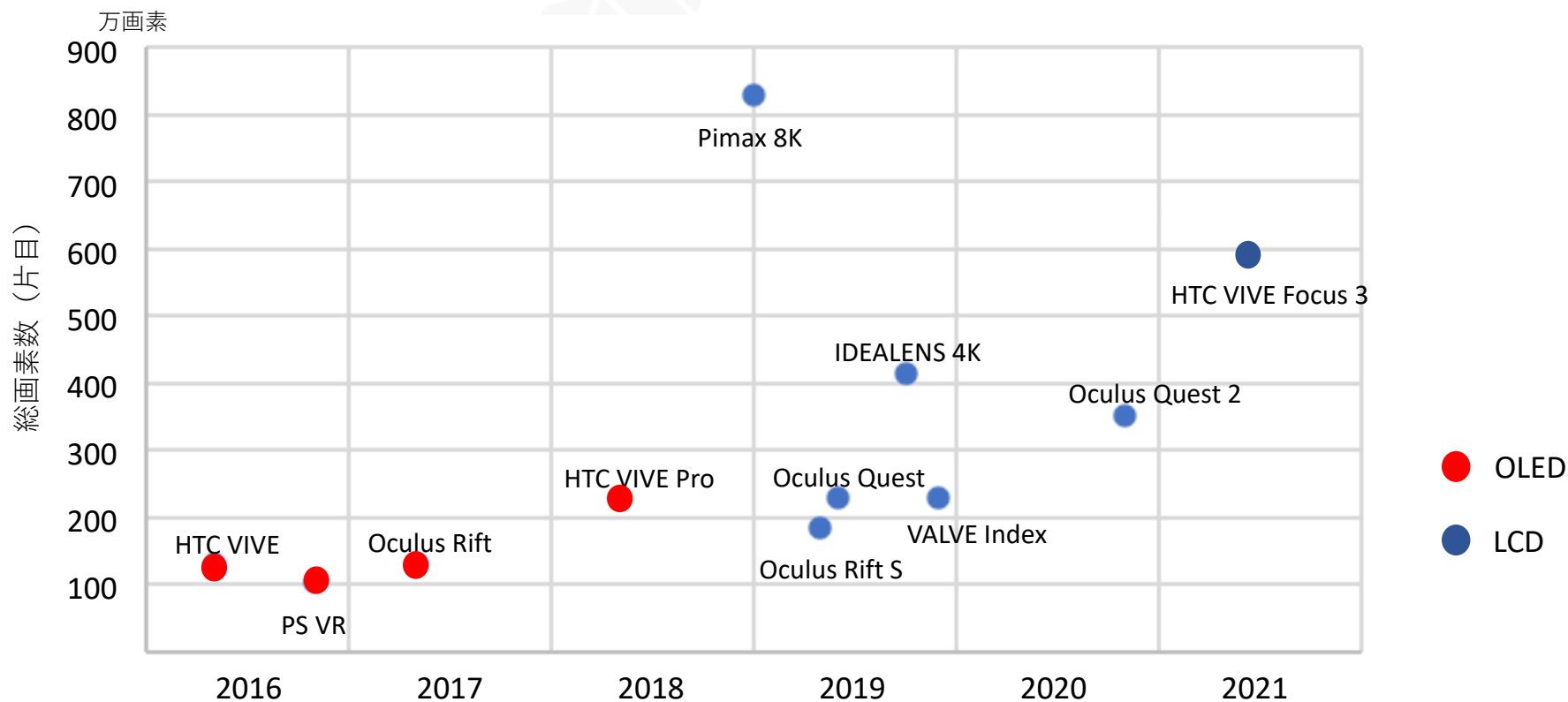


3. VR開発動向

3.2 商品化されたVR 機器

3.2.5 VR製品のDisplay解像度推移

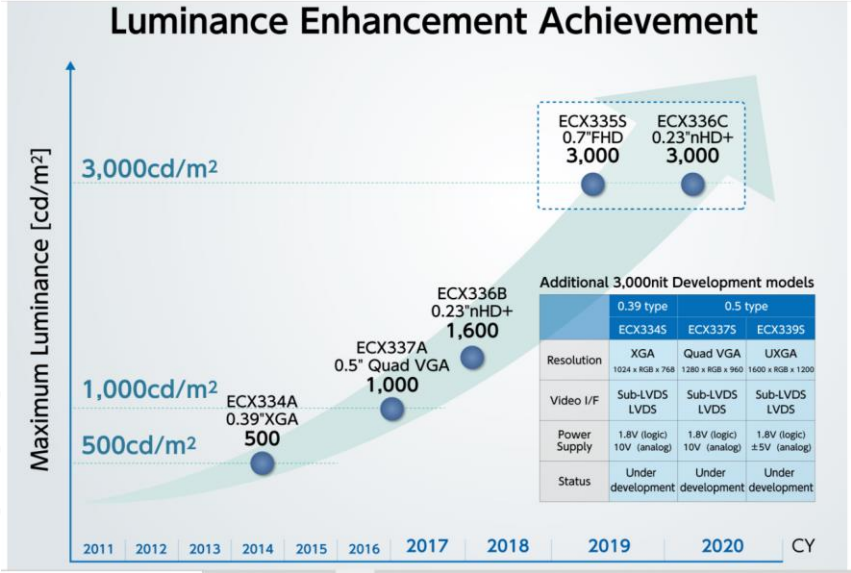
- VR製品に使われたDisplayの総画素数推移を下図に示すが、年代とともに総画素数が増加してきていることが判る。そして総画素数の増加とともにOLEDから高解像度化が比較的容易なLCDに替わってきている。また、まだ試作機段階ではあるがMicro OLEDの採用は今後の方向の一つの可能性を示しているかも知れない。



4.1 Micro-OLED事業の状況

4.1.3 Sony

- ソニーは2008年に世界初の 11” OLED TV を発売したことで知られるが、その技術
を応用して 2011年に Micro-OLED を事業化した。
Backplane を CMOS Silicon とした White + CF 方式である。
- 2018年には 0.5型 UXGA (1,600 x 1,200) の高精細 μ OLEDを開発。これは画素ピッ
チが 6.3μ で4,032 ppi という高精細であった。
- 2019年には後述するが Micro Lens Array を集積することで輝度を大幅に向上させた。
- ソニーは右図のように商品の輝度を高めてきている。
- 2020年には projector へ応用して、Green 単色ではあるが 1,000,000nits という超高
輝度を実現した、世界最小の projectorを開発した。
- 現在のソニーの Micro-OLED 商品ラインアップを下表に纏めた。



	ECX336B	ECX336C	ECX334A	ECX334C	ECX337A	ECX339A	ECX335B	ECX333S
Pixel size	0.23"	0.23"	0.39"	0.39"	0.5"	0.5"	0.7"	0.7"
Pixel number	640 x 400	640 x 400	1024 x 768	1024 x 768	1280 x 960	1600 x 1200	1920 x 1080	1920 x 1080
Pixel pitch	7.3um	7.3um	7.7um	7.7um	7.9um	6.35um	8.07um	8.07um
Max. brightness	1,600cd/m²	3,000cd/m²	500cd/m²	1,000cd/m²	1,000cd/m²	1,000cd/m²	500cd/m²	3,000cd/m²
Contrast ratio	100,000 : 1	100,000 : 1	100,000 : 1	100,000 : 1	100,000 : 1	100,000 : 1	100,000 : 1	100,000 : 1
Interface	RGB 24bit	RGB 24bit	RGB 24bit	LDVS	LDVS	LDVS	LDVS	LDVS
Status	In production	To be produced	In production	In production	In production	In production	In production	In production

5. Monolithic Micro-LED

5.1 Monolithic Micro-LEDとDriver ChipとのHybridization

5.1.2 Sharp

- Sharpが開発しているフルカラー-monolithic micro-LEDは、次のとおりである。
- デバイスの作製プロセスを右図に示すが、サファイア基板に形成したGaN Micro-LED Array を Au-Au プレス接合で貼り合わせ、cross talkを防ぐための Carbon black 入り樹脂で画素間を埋めてからサファイア基板を Laser Lift-off で除去する。
- 次に画素間の cross talk を防ぐための隔壁を設けてから、色変換のための Green 及び Red の QD を Photolithography プロセスで形成し変換されずに透過する Blue 光を除去するための Color Filter を設置する。
- 試作したパネルは 0.38" 325 x 198 (画素ピッチは 1,053 ppi) で、輝度は1,000cd/m²であった。(下の写真)

