

工業技術研究院

Industrial Technology
Research Institute

元宇宙與Micro LED顯示器 材料趨勢

張崇學
材料與化工研究組
工研院產業科技國際發展所

2022年3月17日



一、元宇宙顯示器材料趨勢

二、Micro LED 應用市場

三、Micro LED 材料趨勢

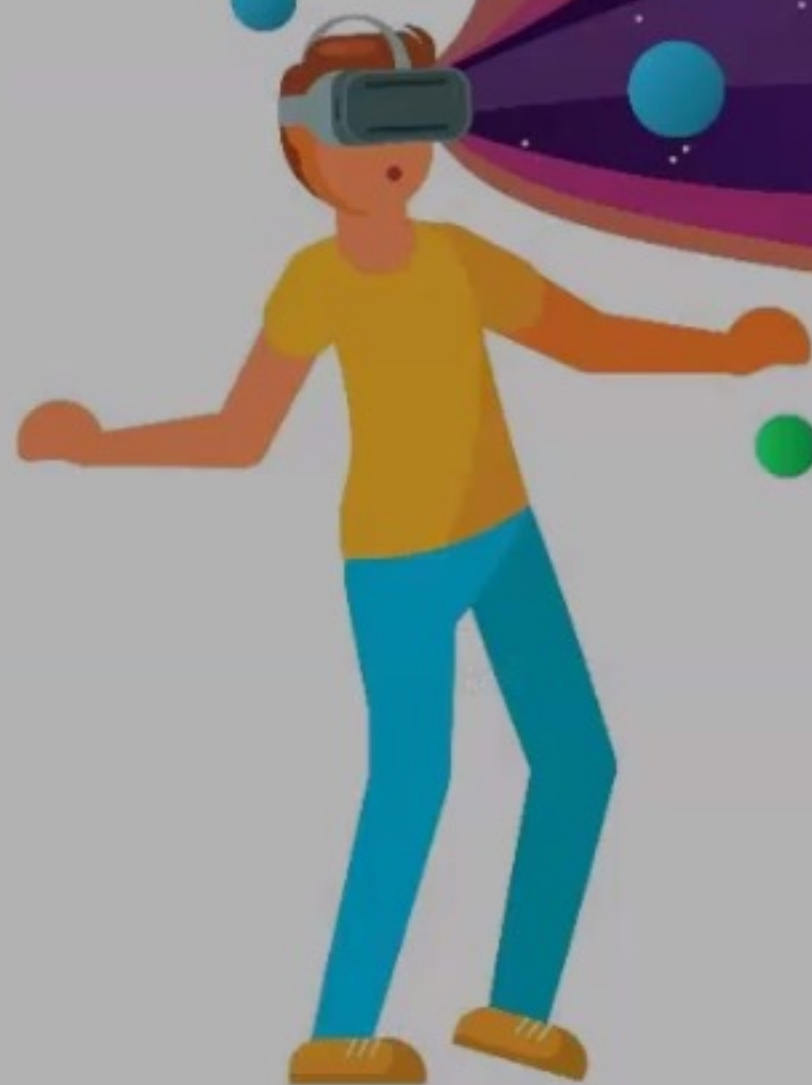
Epitaxy

Mass Transfer

Bonding

Color Conversion

Back Plane



元宇宙將打造另一個類似智慧型手機的巨型產業生態



科技巨頭積極投資開發作業系統、載具、晶片、IP內容 企圖掌握元宇宙平台，主導產業發展

■ 科技巨頭元宇宙最新佈局

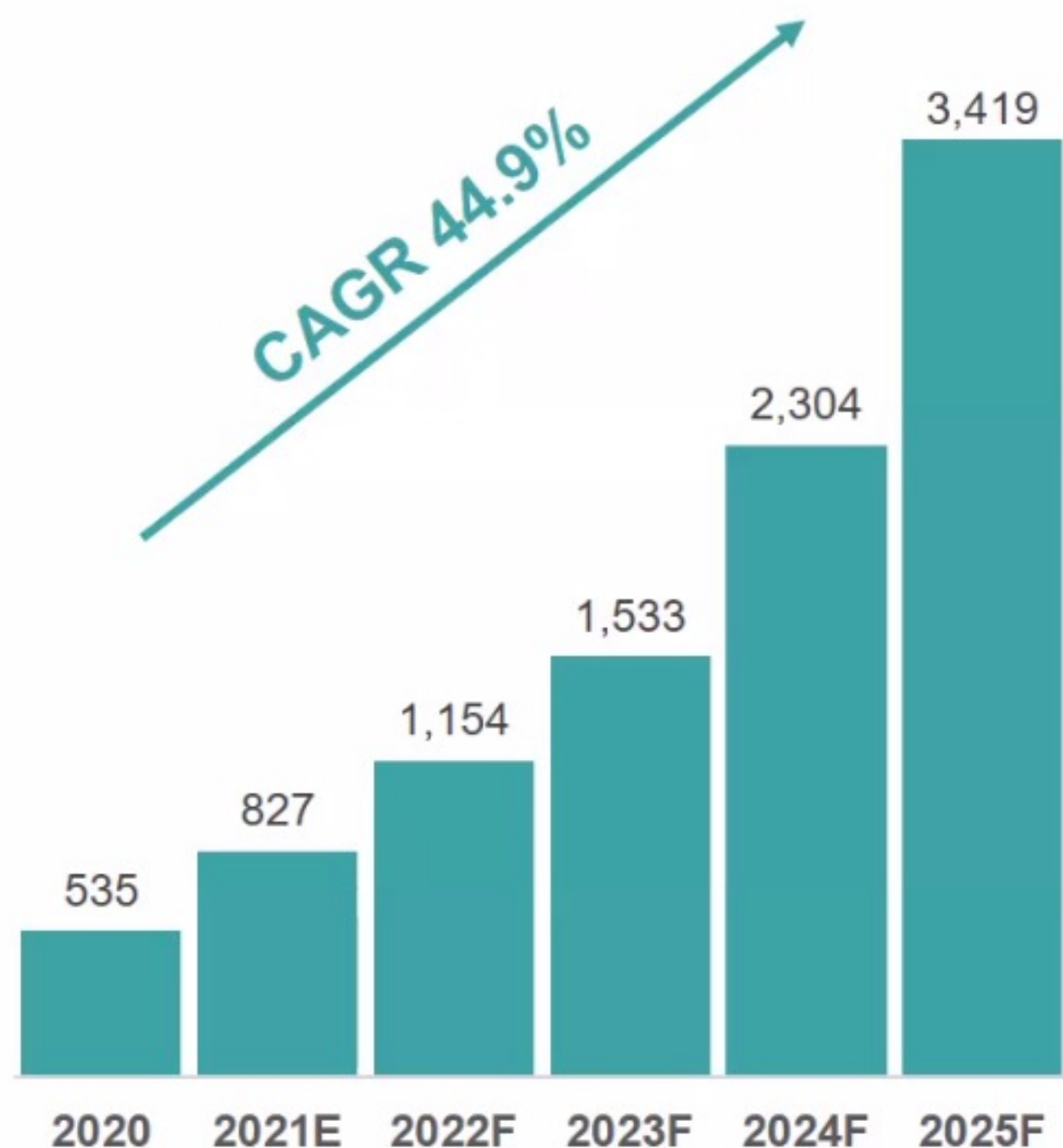
公司	近期相關併購	最近佈局
	ImagineOptix (MR光學元件公司)	<ul style="list-style-type: none"> Meta預計2022年Q2發表高階頭戴裝置Quest Pro，將搭載外部鏡頭來達到MR效果，內建眼球、手勢追蹤和表情辨識功能
	Camerei (AR新創公司) Spaces (VR新創公司)	<ul style="list-style-type: none"> 供應鏈傳出Apple首款頭戴裝置將於2022年Q3開始量產，並表示該裝置重量較重、價格偏高、鎖定專業市場，市調機構猜測可能搭載媲美M1的處理器與Micro OLED顯示器
	North (智慧眼鏡製造商)	<ul style="list-style-type: none"> Google找Meta前VR裝置高層籌組AR作業系統團隊，媒體報導Google也啟動AR裝置開發計畫，加速重返市場
	Activision Blizzard (遊戲開發商)	<ul style="list-style-type: none"> Microsoft宣佈將與高通合作開發AR眼鏡處理晶片，並針對混合實境打造Mesh雲端服務，讓使用者可以透過VR、AR裝置，或是PC、手機等設備連入使用

頭戴裝置是進入元宇宙的必要設備

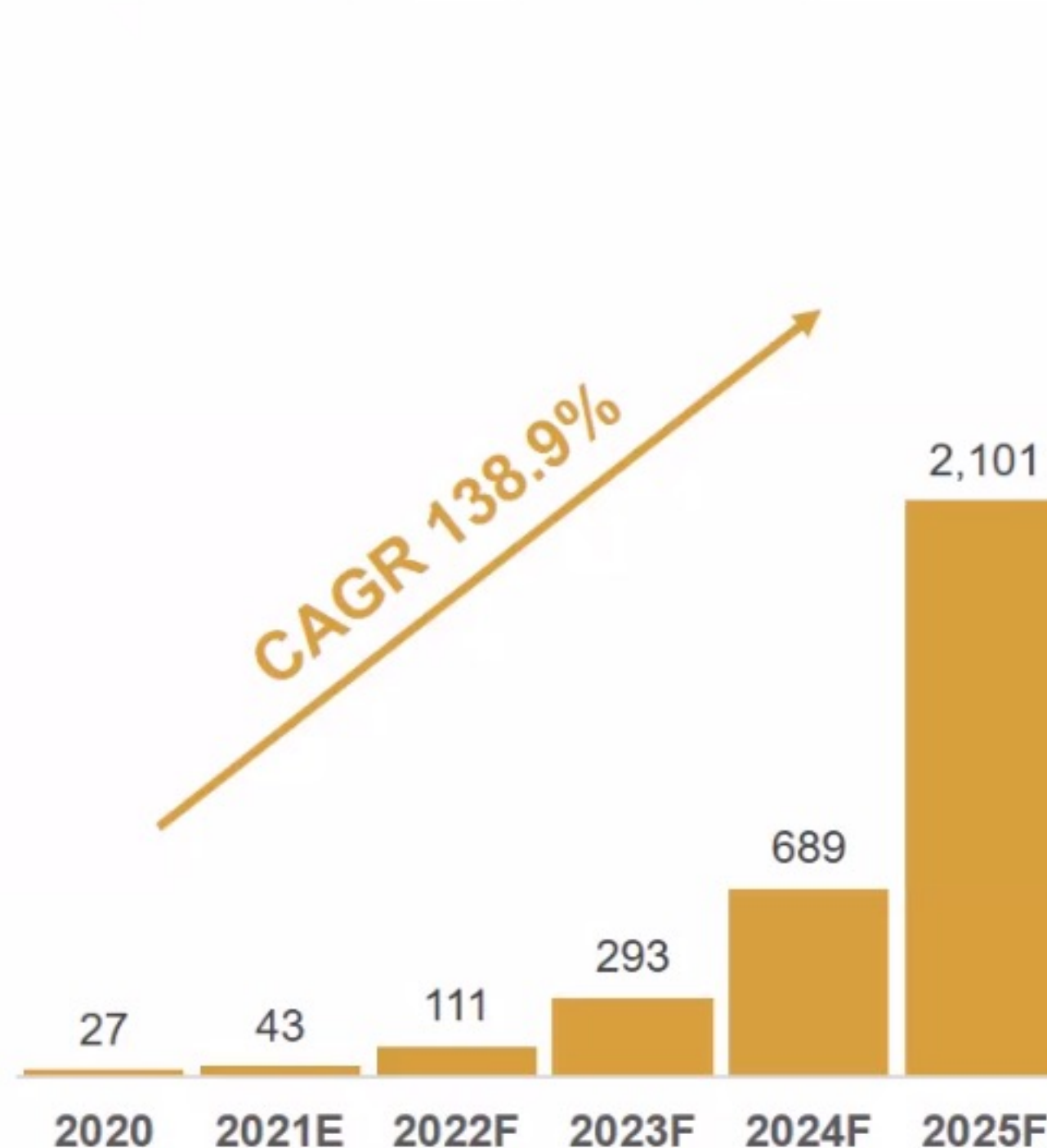


在元宇宙的催化下，預估頭戴裝置出貨量將快速成長

■ VR裝置出貨量(萬台)



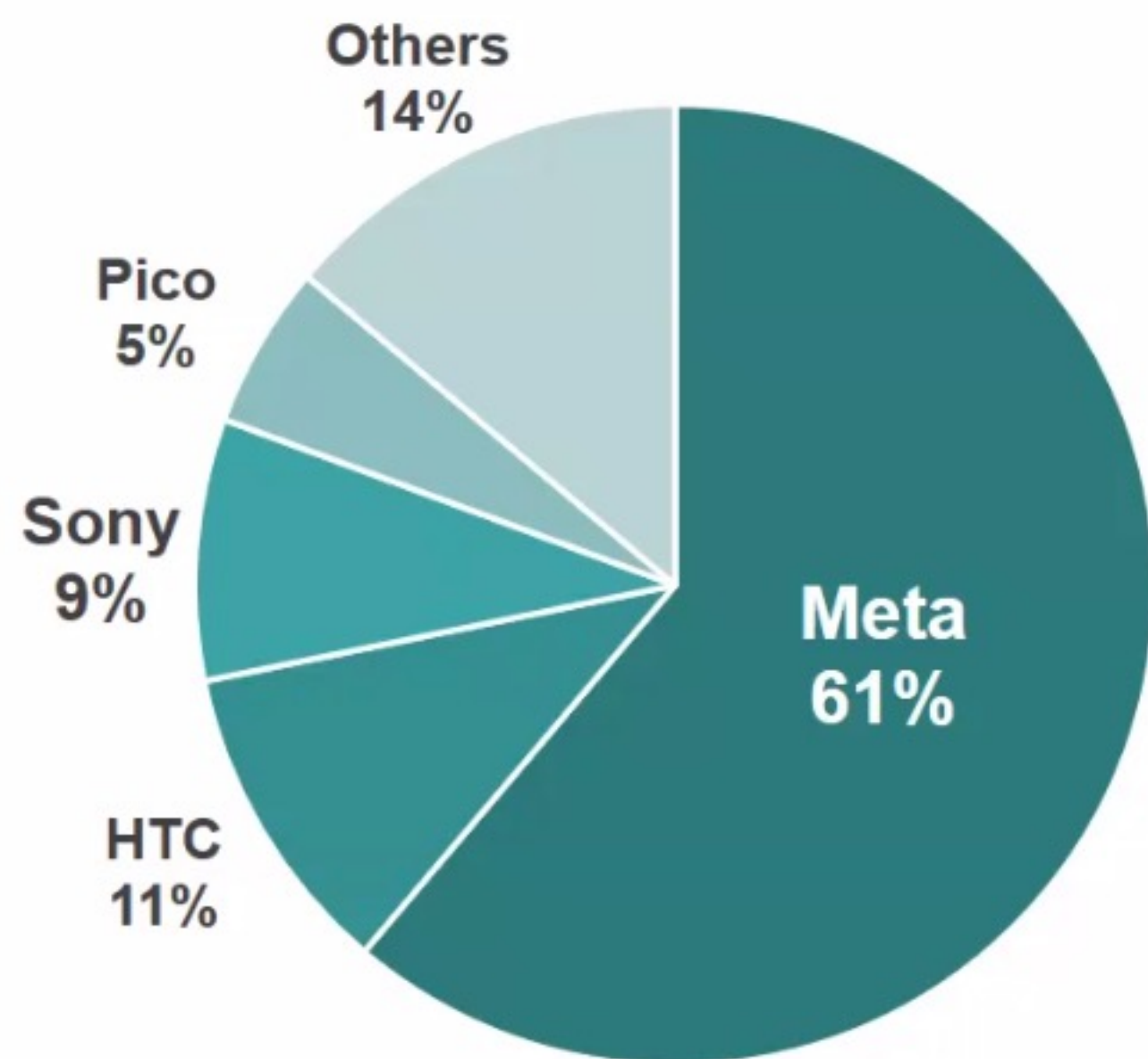
■ AR/MR裝置出貨量(萬台)



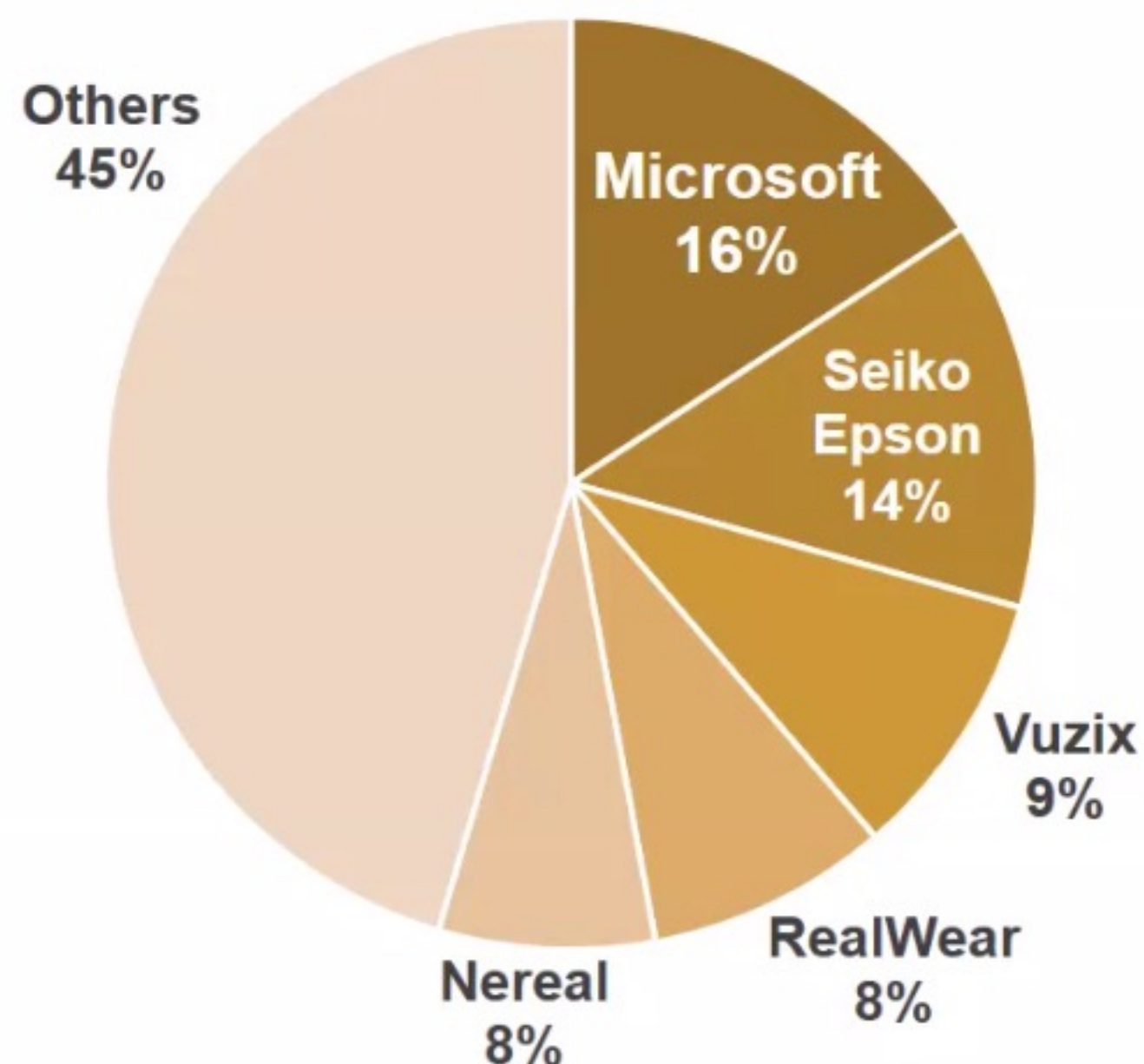
VR 裝置方面，Meta 已取得大幅領先的市佔

AR/MR 裝置則屬於發展初期，市場集中度較低

■ 2020年VR裝置出貨量市佔



■ 2020年AR/MR裝置出貨量市佔



早期 VR 顯示技術以 OLED 為主 但隨著 LCD 反應速度的提升，在成本優勢下成為目前主流

■ VR裝置顯示技術的比較

顯示技術	顯示器供應	已上市的VR裝置	特性
PenTile OLED	三星	2016 Meta Oculus Rift 2016 HTC VIVE 2018 HTC VIVE PRO 2019 Meta Oculus Quest	採用手機常用的RGB PenTile排列 優點是成本低、亮度高、反應快， 缺點畫質精細度不足
OLED	Sony	2017 Sony PSVR	採用標準RGB排列，畫面精細度高
LCD	JDI 夏普 群創 京東方	2018 Meta Oculus Go 2019 HP Reverb 2019 Pico G2 4K 2019 Meta Oculus Rift S 2020 Meta Oculus Quest 2 2021 HTC VIVE PRO 2 2021 HTC VIVE Focus 3 2021 HP Reverb G2 2021 Pico Neo 3	為降低延遲所產生的暈眩感，對於 LCD的反應速度要求高
Micro OLED	Sony eMagin Kopin	近期發表的數款VR裝置	具備高反應速度、高畫質精細度， 缺點是成本高

*以上資訊僅列出主要廠商及產品

近期的 VR 裝置有開始採用 Micro OLED 的趨勢

SONY



睽違6年大更新

Panasonic



超輕量訴求

VAIO



業界最寬視野

arpara



首款 μ OLED VR

PSVR 2

MeganeX

VR-3

5K VR

顯示器 **OLED**

顯示器 **μ OLED**

顯示器 **μ OLED**

顯示器 **μ OLED**

單眼解析度 2000x2040

單眼解析度 2560x2560

單眼解析度 2880x2720

解析度 5120x2560

更新頻率 120 Hz

更新頻率 120 Hz

更新頻率 90 Hz

更新頻率 120 Hz

視野FOV 110°

眼鏡重量 250 g

視野FOV 115°

眼鏡重量 200 g

預訂上市 未訂

預訂上市 2022 Q1

上市日期 2021/09

上市日期 2021/09

預訂售價 未訂

預訂售價 900美金

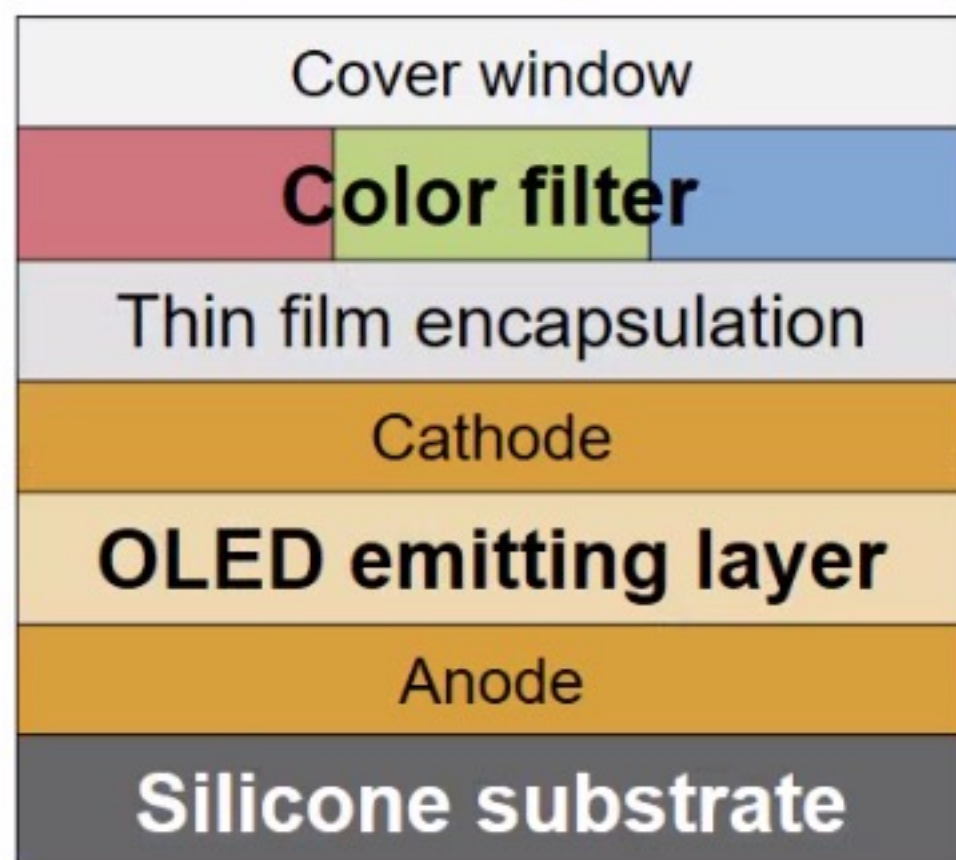
大約售價 3,837美金

大約售價 599美金

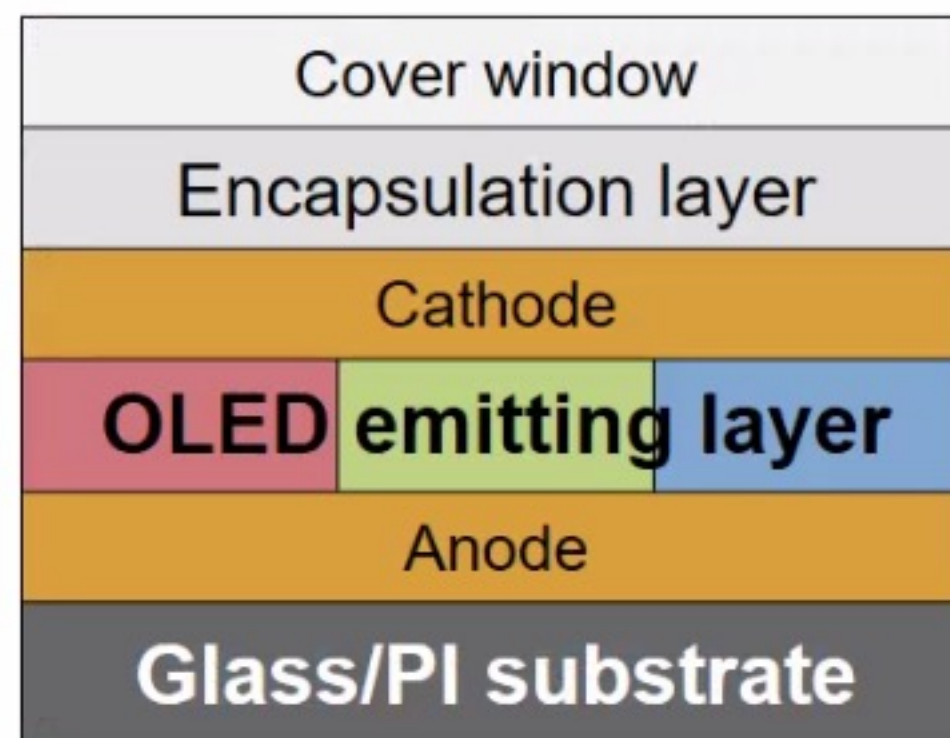
Micro OLED 使用矽晶圓基板並結合半導體製程

具有高像素密度、低能耗、縮小體積等優點

Micro OLED結構



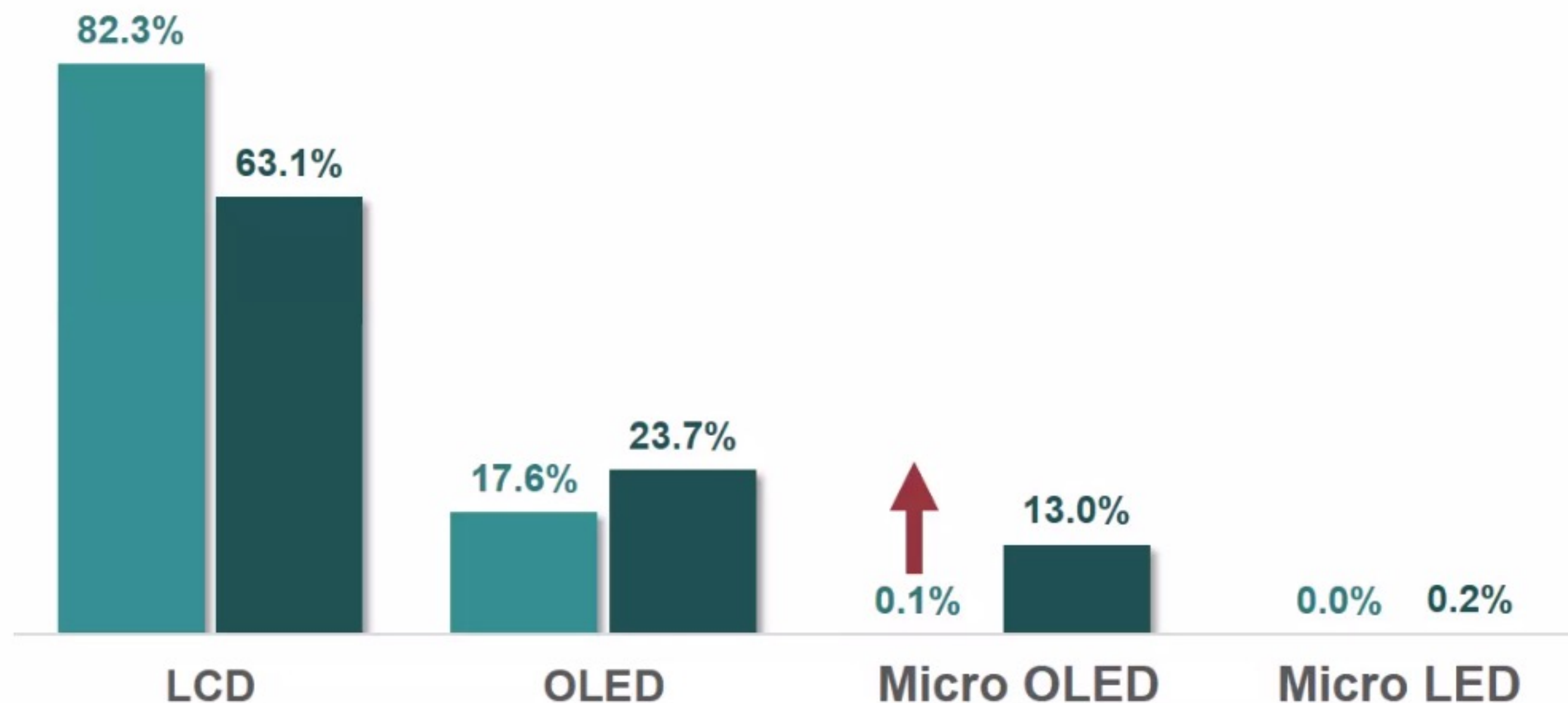
傳統OLED結構



- 技術關鍵在如何將OLED材料精準且均勻地蒸鍍到矽晶圓上，關鍵材料有FMM精密遮罩、阻隔水氧的封裝材料、高亮度的OLED發光材料、可形成窄間距的BM樹脂等等
- 頭戴裝置用的Micro OLED主要供應商為eMagin、Kopin、Sony、Seiko Epson(用於自家AR裝置)，而近年包括三星、LG、京東方、奧雷德等業者也看好市場投入發展

預估 VR 顯示技術將慢慢從 LCD 朝 Micro OLED 發展

■ 2021~2025 不同顯示技術的VR裝置出貨量市佔變化 ■ 2021E ■ 2025F

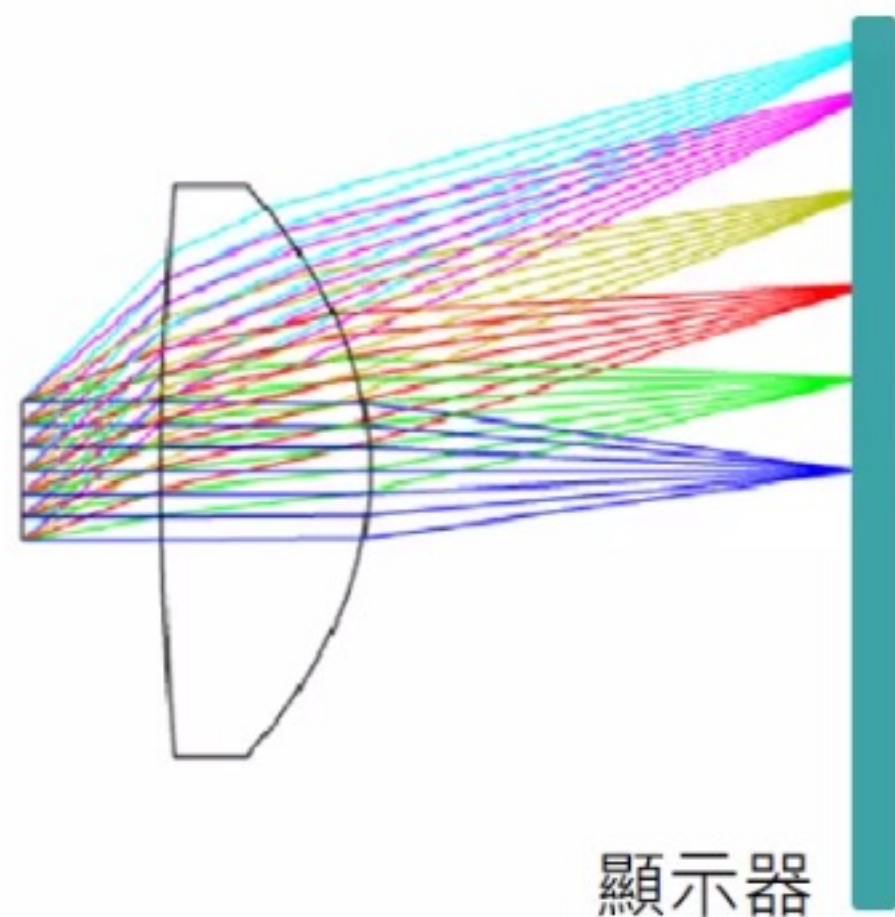


- 由於VR頭戴裝置所使用的像素點較多，若採用Micro LED可能導致成本過高，預估Micro LED導入VR裝置的時間會落在2024年以後

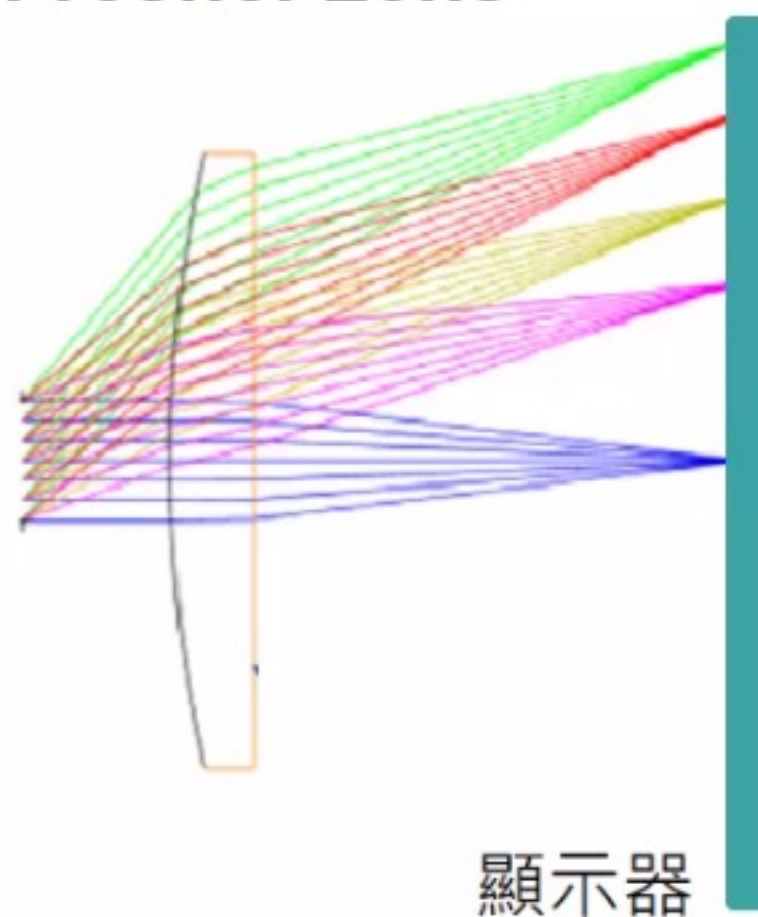
VR 裝置主流鏡片為菲涅爾透鏡

但因較大且厚重，近年逐漸朝餅乾鏡發展

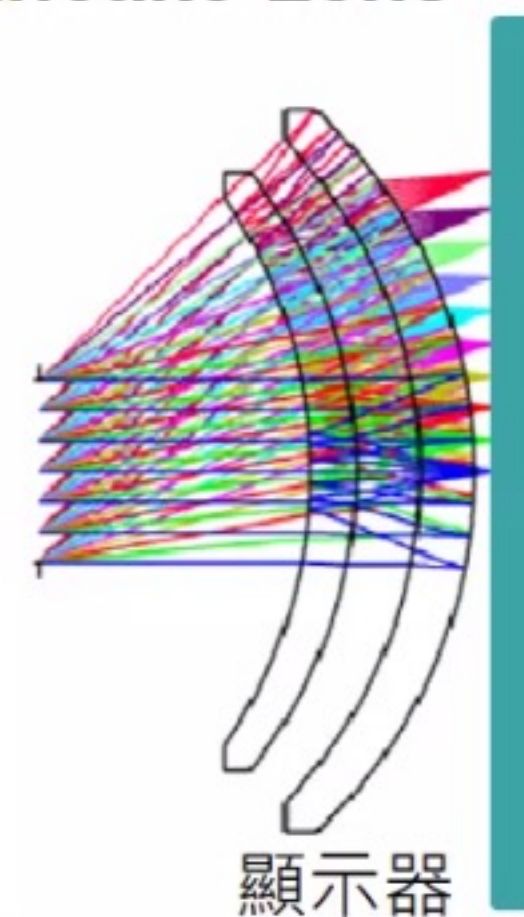
傳統透鏡



菲涅爾透鏡
Fresnel Lens



餅乾鏡
Pancake Lens



- 菲涅爾透鏡能減少傳統透鏡的重量體積，且具有較高視野範圍($FOV > 100^\circ$)，為目前VR裝置的主流鏡片，但因表面呈現鋸齒狀，容易產生色散及影響影像銳利度
- 為了再減少重量體積，市場出現新的解決方案，餅乾鏡結合偏光片的折疊光路設計，使其更加輕薄，且能解決菲涅爾透鏡的色散問題，但視野範圍仍有待提升(FOV 約 95°)

LCOS 技術成熟且價格低，目前被較多 AR/MR 裝置所採用

■ AR/MR裝置顯示技術的比較

顯示技術	顯示器供應	AR/MR裝置	體積	亮度	速度	耗電	價格
LCOS	Kopin 奇景光電	2013 Google Glass 2016 Microsoft HL 2017 RealWear HMT-1 2018 RealWear HMT-1Z1 2018 Magic Leap 1 2019 Google Glass EE2 2020 Rokid Glass 2	★★	★★	★	★	★★★★
MEMS	MicroVision	2019 North Focals 2019 Microsoft HL 2	★	★★★★	★	★★	★★
DLP	TI	2020 Vuzix M4000 2020 Vuzix Blade	★	★★	★	★	★★★★
Micro OLED	Seiko Epson Sony eMagin Kopin	2017 Epson BT-300 2019 Nreal Light 2019 Epson Bt-30C 2021 Epson Bt-40 2022 Rokid Air Pro	★★★★	★	★★	★★	★★
Micro LED	JBD	近期發表的數款AR裝置	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★

*以上資訊僅列出主要技術、廠商及產品

近期的 AR 裝置多採用 Micro LED + 光波導技術

TCL

mi xiaomi

oppo

VUZIX®



全球首款雙目全彩

外觀類似一般眼鏡

單目分體設計

首款 μ LED AR

Leiniao AR

Smart Glasses

Air Glass

SHIELD

顯示器 μ LED

顯示器 μ LED

顯示器 μ LED

顯示器 μ LED

μ LED顏色 RGB

μ LED顏色 單色(綠色)

μ LED顏色 單色(綠色)

μ LED顏色 單色

μ LED尺寸 4 μ m

面板尺寸 0.13 吋

鏡片厚度 1.3 mm

μ LED供應 JBD

背板技術 CMOS

μ LED供應 JBD

最大亮度 300萬 nits

最大亮度 200萬 nits

眼鏡重量 <60 g

眼鏡重量 51 g

眼鏡重量 30 g

對比度 10萬:1

預訂上市 未訂

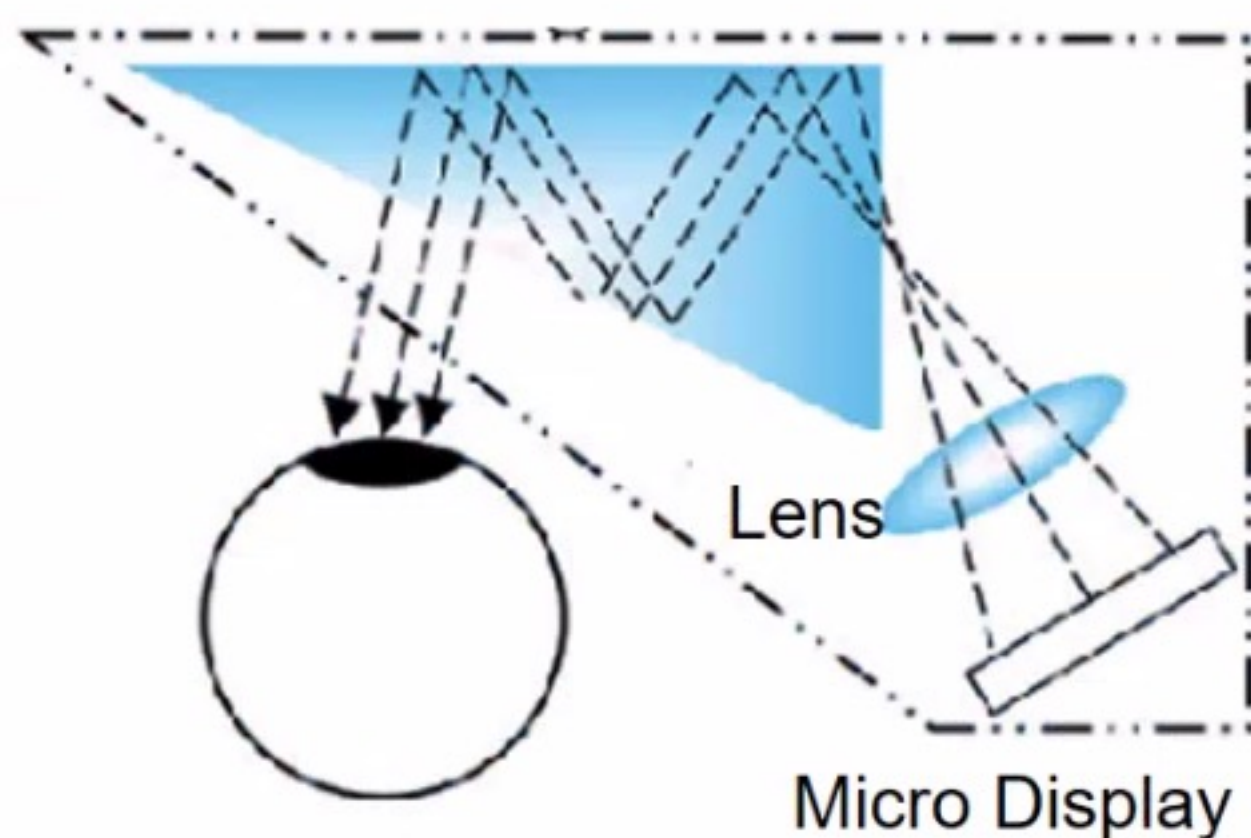
預訂上市 未訂

預訂上市 未訂

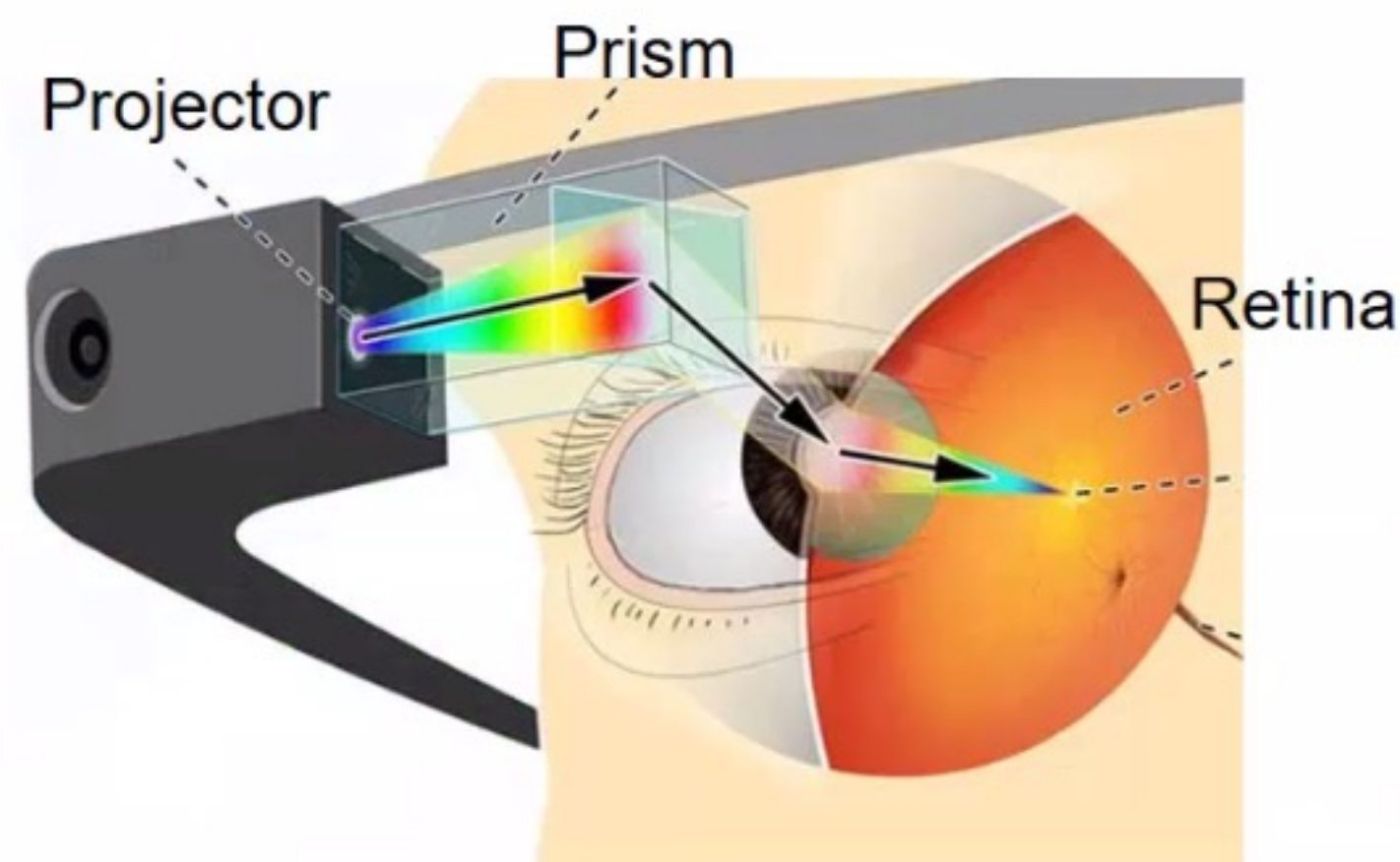
預訂上市 2022 Q3

光波導具有體積小、視角廣、外觀更像眼鏡等優點 逐漸成為 AR 裝置的主流光學系統

■ AR/MR裝置兩大主流光學系統



光波導 Waveguide

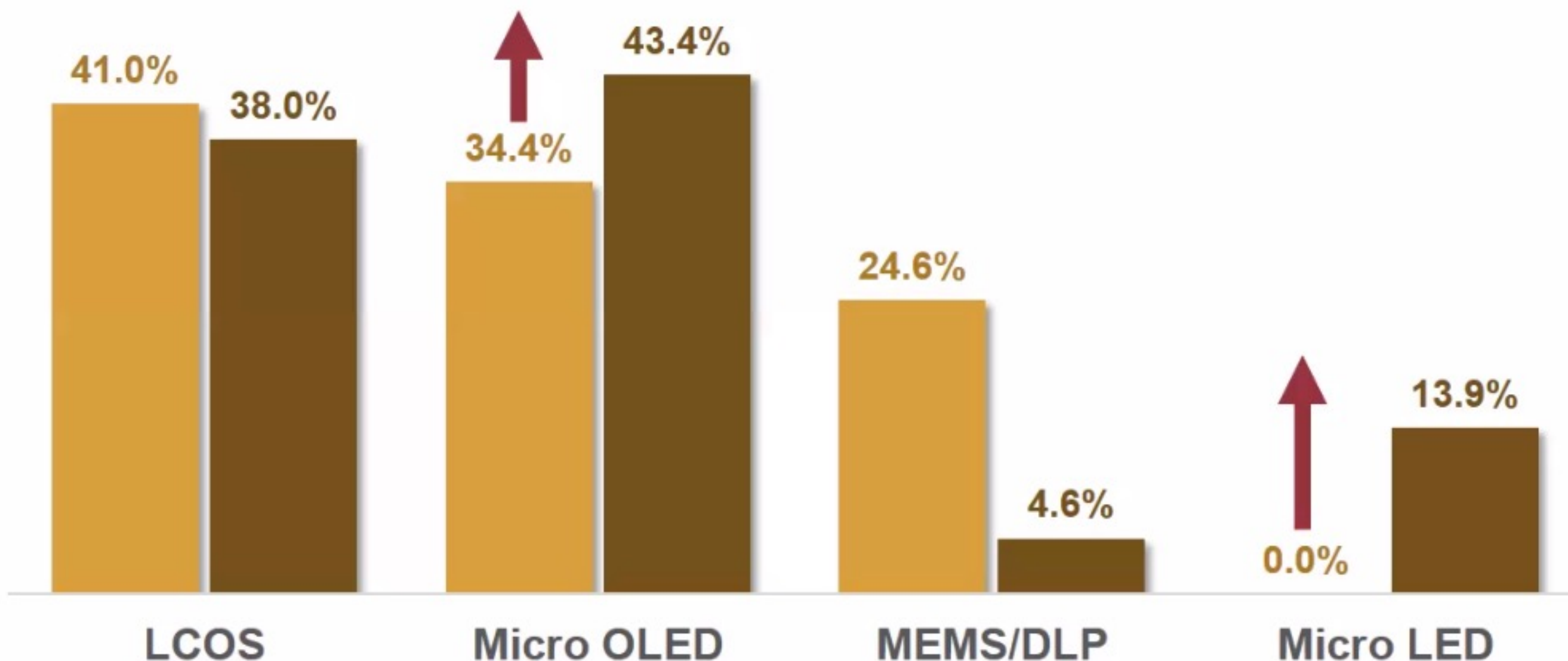


稜鏡 Prism

- 光波導由於傳輸過程會造成光的損失，使其光學效率較低，搭配高亮度的Micro LED被視為較佳的解決方案
- 不同的光波導技術正發展之中，而這些技術仰賴更多光學材料的支援

預估 AR/MR 顯示技術將朝 Micro OLED 及 Micro LED 發展

■ 2021~2025 不同顯示技術的AR/MR裝置出貨量市佔變化 ■ 2021E ■ 2025F



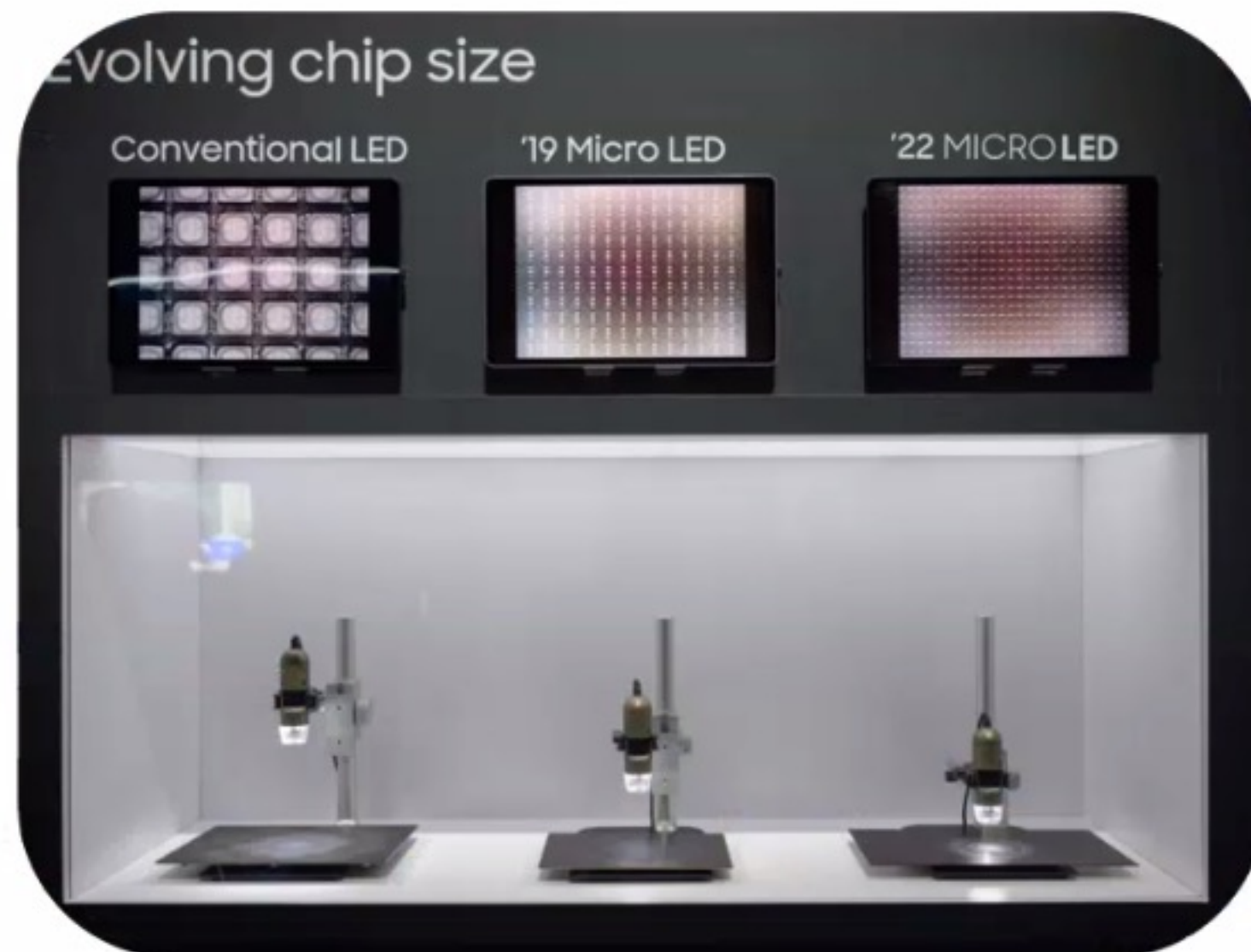
- AR/MR裝置導入Micro LED的時間預估將比VR裝置來得更快
- Micro OLED具有不錯的反應速度且能耗低，再加上和Micro LED相比，目前技術成熟度及價格更具優勢，預估也會吸引一些業者採用

為避免受到 LCD / OLED 的價格競爭 一般認為 Micro LED 會先從利基型產品開始切入市場



Micro LED 電視商品化最為積極的業者三星

近期發表 89、101、110 吋 Micro LED 電視



- 預定5月量產89及101吋Micro LED電視，89吋暫訂售價為8萬美元，將比2021年推出的110吋Micro LED電視便宜約40%
- 相較三星過去的Micro LED電視，今年有大幅改變：
 1. 採用LTPS-TFT背板取代過去的PCB背板
 2. 由銻創所供應的30x60 μm 晶片，尺寸較過去大幅縮小(125 \times 225 μm)

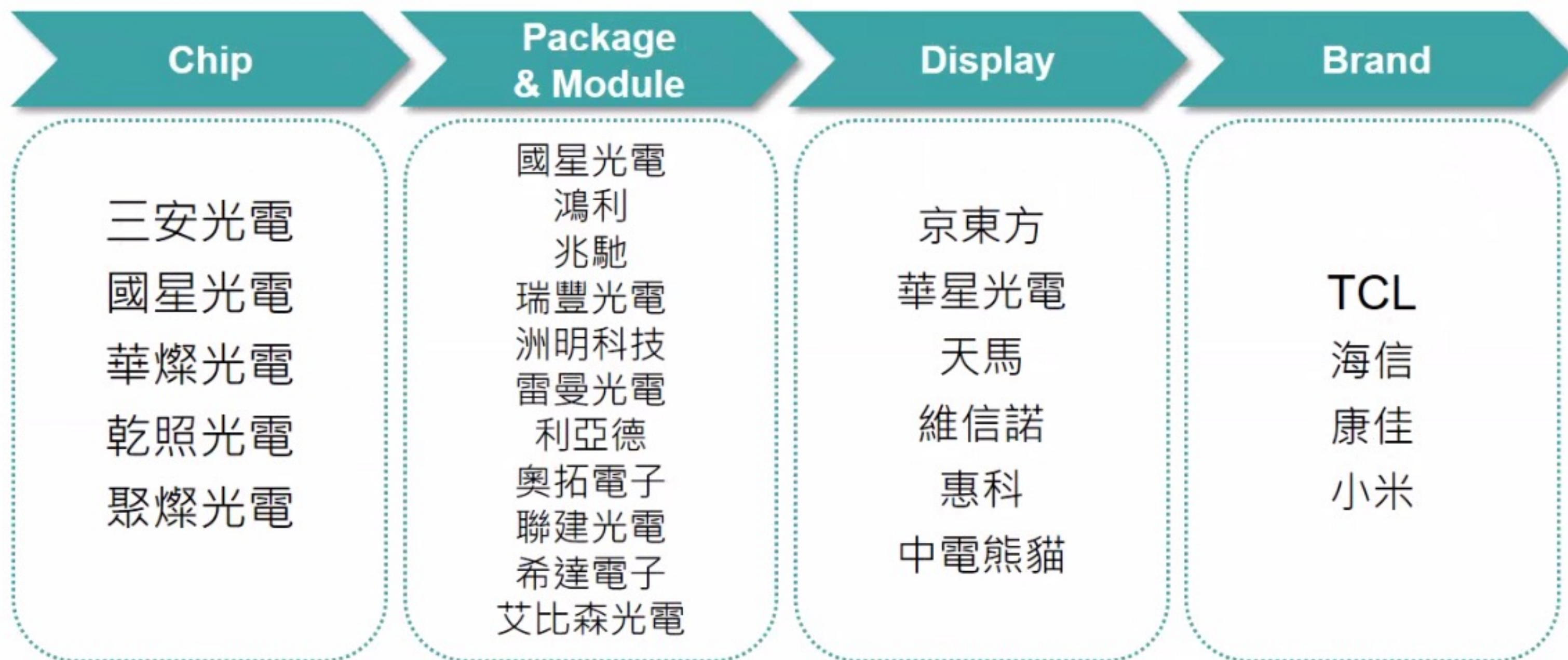
各國依據不同產業重心，有不同的發展優勢

■ Micro LED各國佈局比較(僅列舉部份代表業者)

國家	品牌	μLED 晶片	零組件 供應鏈	關鍵 設備	關鍵 材料	Micro LED 發展優勢
臺灣	(較少)	銖創 富采	(完整)	(較少)	(較少)	<ul style="list-style-type: none"> • 具備完整供應鏈 • 部份製造技術領先
中國	TCL 小米	三安光電 JBD	(完整)	(較少)	(較少)	<ul style="list-style-type: none"> • 具備完整供應鏈 • 市場資金豐沛
日本	Sony	Sharp Kyocera	(較少)	Topcon TDK	住友電工 信越化學	<ul style="list-style-type: none"> • 著重佈局利基型應用 • 可供應關鍵材料及設備
韓國	三星 LG	三星 Lumens	(垂直整合)	(垂直整合)	三星 Dongjin	<ul style="list-style-type: none"> • 三星及LG整合產業發展
歐美	Meta Apple	Plessey CEA-Leti	(專利佈局)	Aixtron Veeco	Nanosys	<ul style="list-style-type: none"> • 科技巨頭、新創引領發展，著重穿戴應用 • 量子點材料及設備供應

2020年中國在 Mini / Micro LED 投資高達250億人民幣

■ 中國投入Micro LED的主要業者

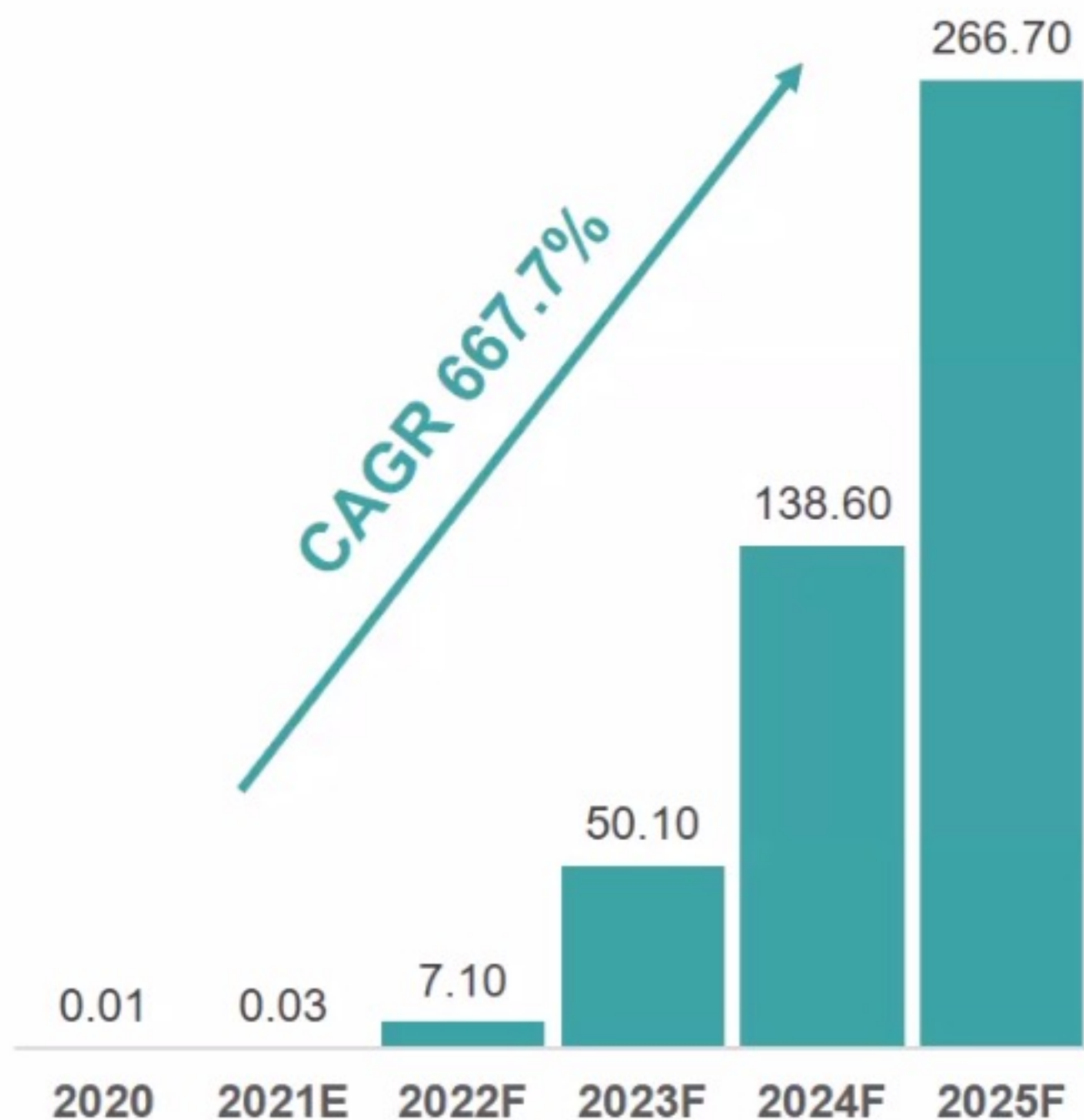


■ 近期中國Micro LED相關投資(人民幣)

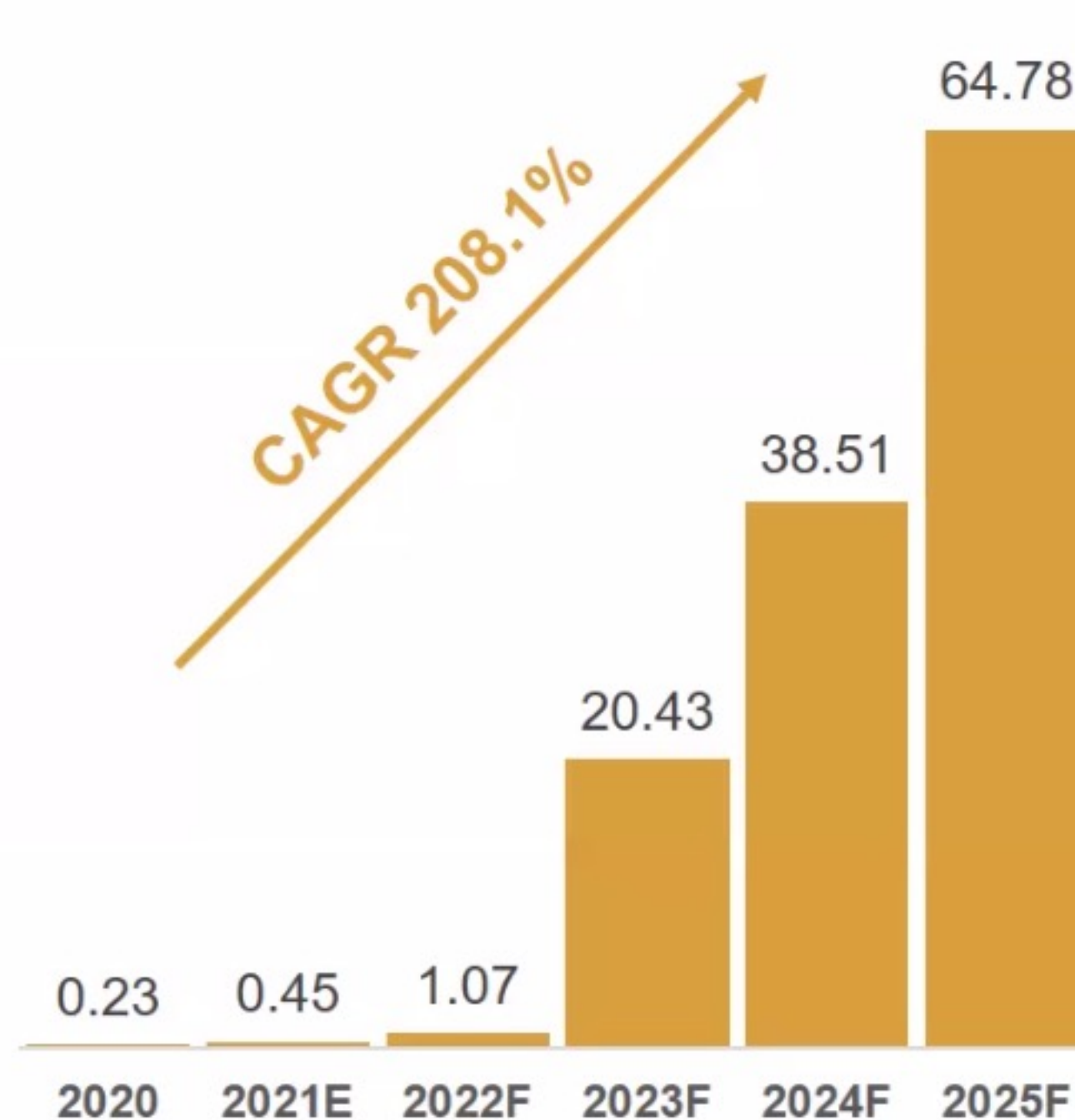
- 三安 120億產線
- 華燦 募資15億研發與量產
- 乾照 14億研發與量產
- 瑞豐 15億湖北產線
- 雷曼 2.7億COB技術
- 利亞德 10億與晶電合作
- 維信諾 12億成都產線
- TCL 28億收購茂佳
- 鴻利 40億新型背光產線

OMDIA 預估 Micro LED 市場將在2024後看到明顯成長

■ Micro LED出貨量(萬台)

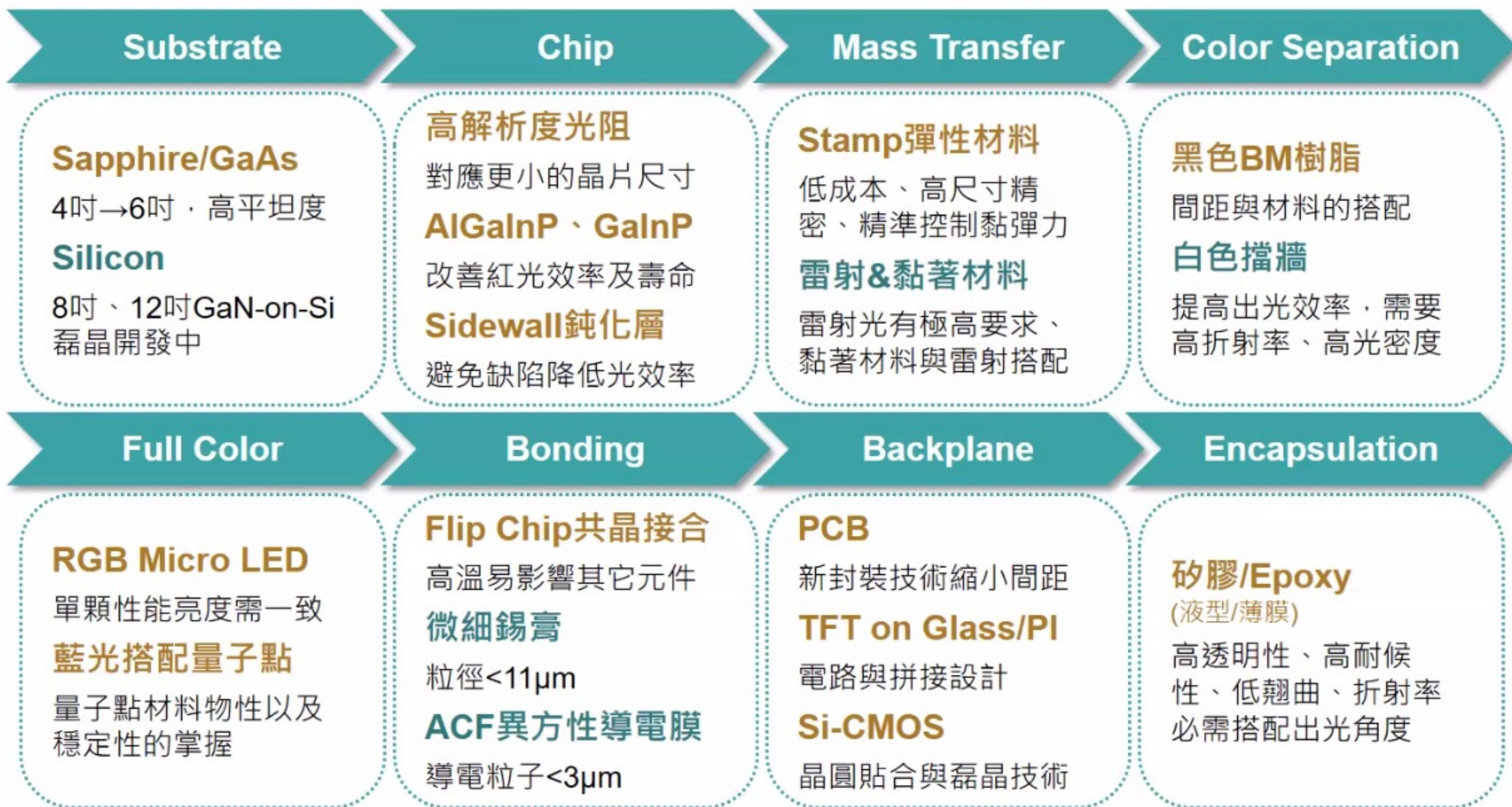


■ Micro LED市場規模(億美元)



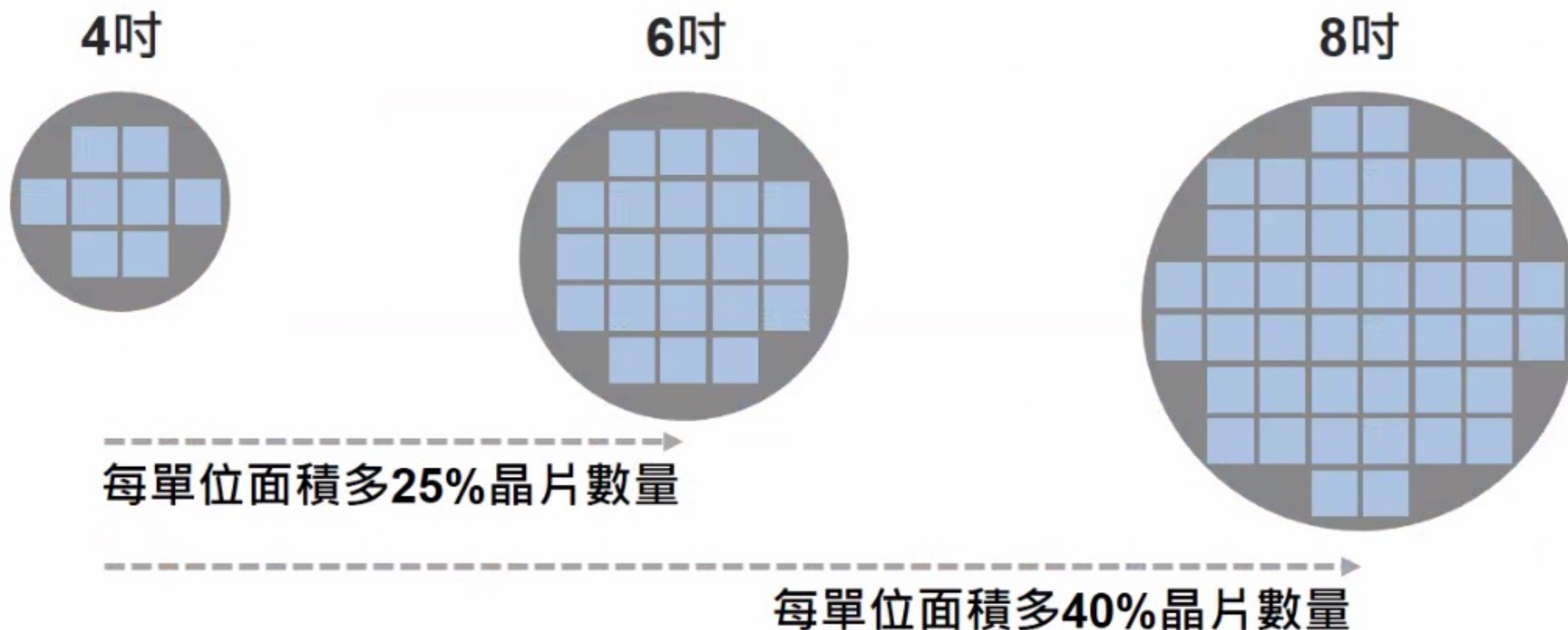
Micro LED 成本的下降需仰賴各製程材料的開發

■ Micro LED各製程技術與材料要求 黃字：目前主流技術的關鍵材料需求



晶圓利用率愈高 (愈大的基板+愈小的晶片), 成本效益愈好

■ 晶圓基板尺寸提升帶來的效益 (晶片尺寸相同的情況下)



- 藍、綠光使用藍寶石基板(GaN-on-Sapphire), 紅光一般使用砷化鎵基板(GaInP-on-GaAs)
- 為提升晶片利用率來降低Micro LED成本, 目前多朝6吋藍寶石及砷化鎵基板發展
- 藍寶石基板硬度高, 尺寸愈大愈易翹曲且成本大幅增加, 再往8吋發展的空間有限

GaN-on-Si 有機會透過技術成熟的矽晶圓及半導體製程來降低 Micro LED 的生產成本

■ GaN LED磊晶不同基板材料特性比較：○ 較佳、X 較差

	GaN-on-Si	GaN-on-Sapphire
磊晶尺寸效益	○ (8吋、12吋已有業者展示)	X (4吋、6吋)
基板成本	○	X
基板平整度	○	X
基板移除	○ (現今半導體成熟技術)	X (雷射，可能損傷晶片)
熱膨脹係數差異	X	○
磊晶晶格匹配度	X	○
磊晶發光效率	X	○
技術成熟度	X	○

- GaN與Si晶格匹配度差且熱膨脹係數差異大，易造成發光效率低或磊晶層在降溫過程受到應力影響而導致晶圓龜裂、翹曲等問題
- 目前投入GaN-on-Si Micro LED的有Plessey(與Meta達成獨家供應協議)、Allos(晶電取得技術授權)、Aledia(與CEA-Leti合作)、英諾賽科等業者

巨量轉移目前以 Stamp transfer 技術較多業者所採用

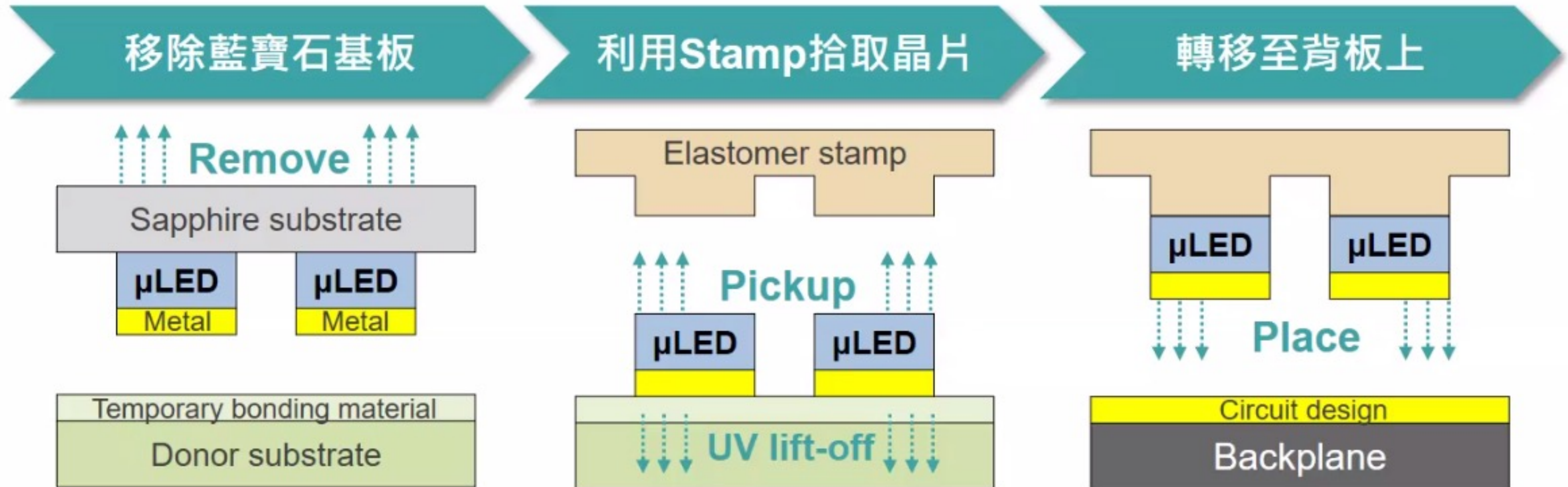
包括 X-Display、Mikro Mesa、銻創、三安光電、維信諾 等業者

Mass transfer	代表廠商	優點	缺點	潛力材料
Stamp transfer	X-Display, Mikro Mesa	低成本 易放大生產	Stamp尺寸誤差 及溫差可能影響精度	PDMS, Silicone, adhesive, weak bonding material
Laser transfer	K&S, 3D-Micromac	可選擇性轉移 可一次大量轉移	雷射性能要求高	Laser diode, temporary bonding material
Fluidic assembly	鴻海(eLux)	大尺寸面板效率高	晶片背板需重新設計 PPI無法太高	Quantum dot, IPA, acetone, H ₂ O, alloy
Roll to Roll	KIMM	可一次大量轉移	轉移良率較低 壓輪可能損傷晶片	PDMS
Electrostatic	Apple(LuxVue)	高精確度	高成本 靜電可能損傷晶片	Eutectic alloy, Al ₂ O ₃ , Ta ₂ O ₅ , thermoplastic resin, epoxy
Magnetic	SelfArray	高精確度	磁力可能損傷晶片	Ferromagnetic metal
Cartridge printing	VueReal	可對應不同尺寸及 解析度的顯示器	成本及技術門檻高	Bonding material

- 除Stamp transfer外，Laser transfer則因效率極高，目前有許多業者開始投入研發

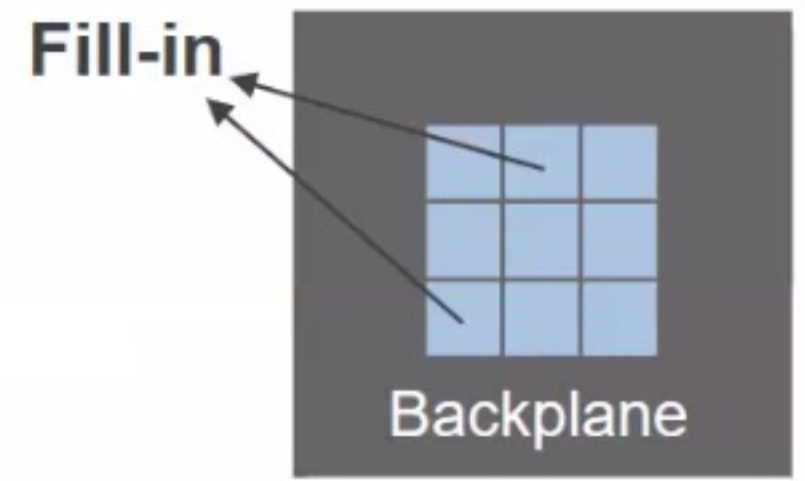
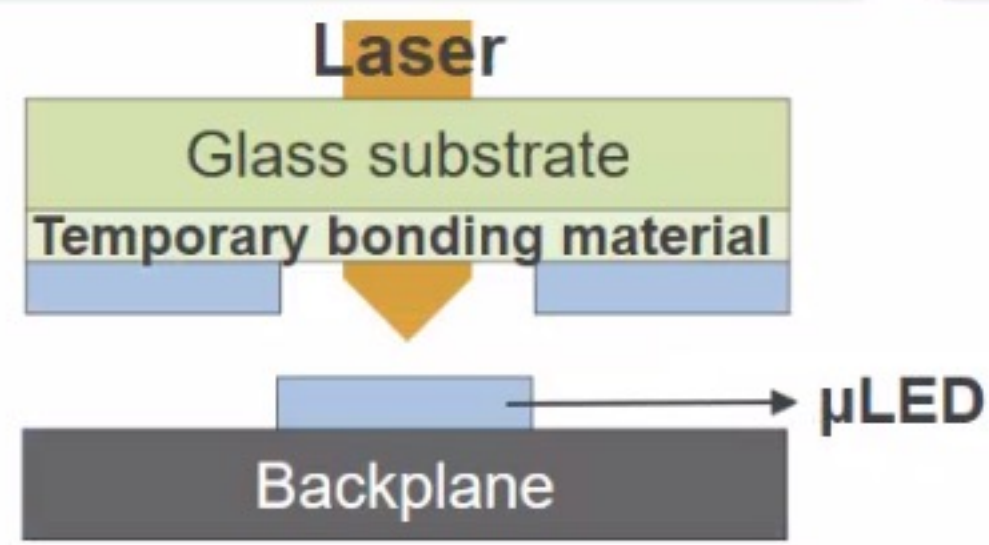
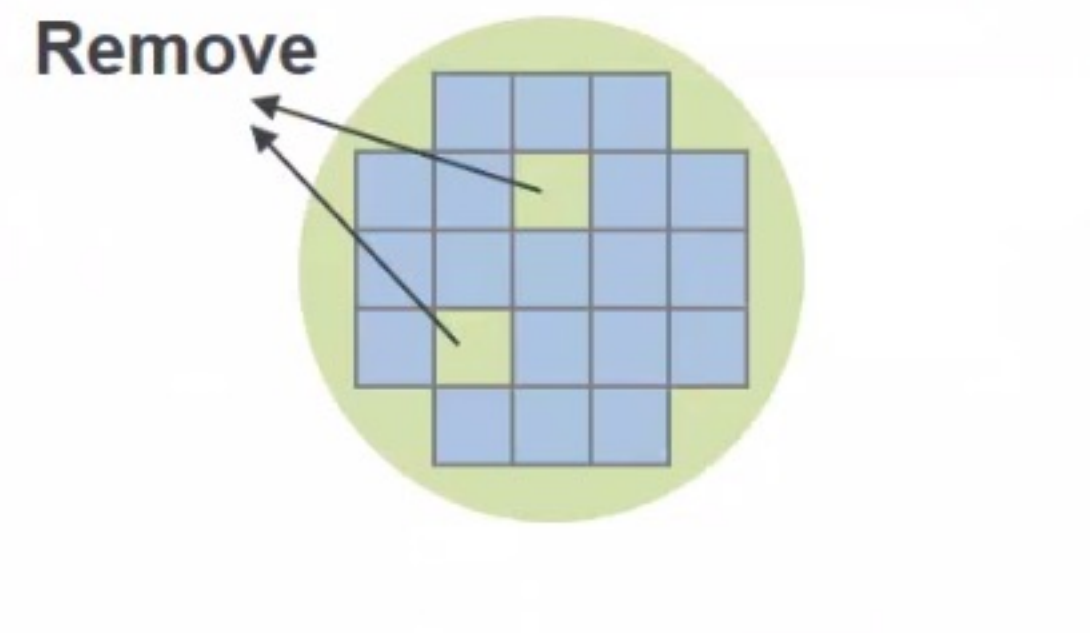
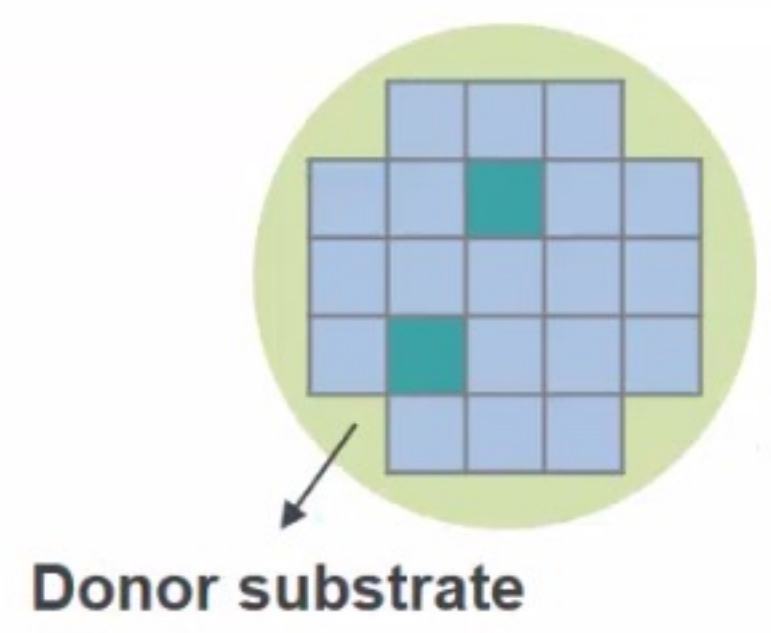
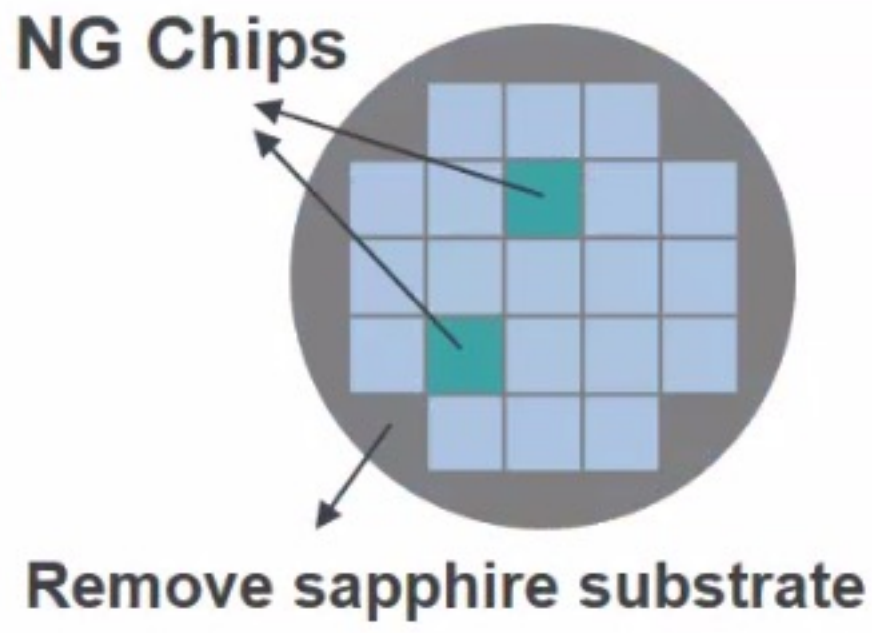
各家 Stamp transfer 設計不同，創造不同材料需求

Stamp transfer 主要流程



- 雷射去除基板並暫時黏著在臨時基板上使電極朝上，以利最後Flip-chip bonding
- 或在晶片上設計弱化結構，直接使用Stamp進行轉移(X-celeprint專利)
- Stamp多為PDMS橡膠，對於尺寸、黏彈力、溫度影響等物性控制要求精準
- 凸塊設計(尺寸/有無)涉及使用壽命、成本、轉移的速度及良率
- 全彩化、color separation、接合、封裝、電路、修補不同技術及材料的選擇

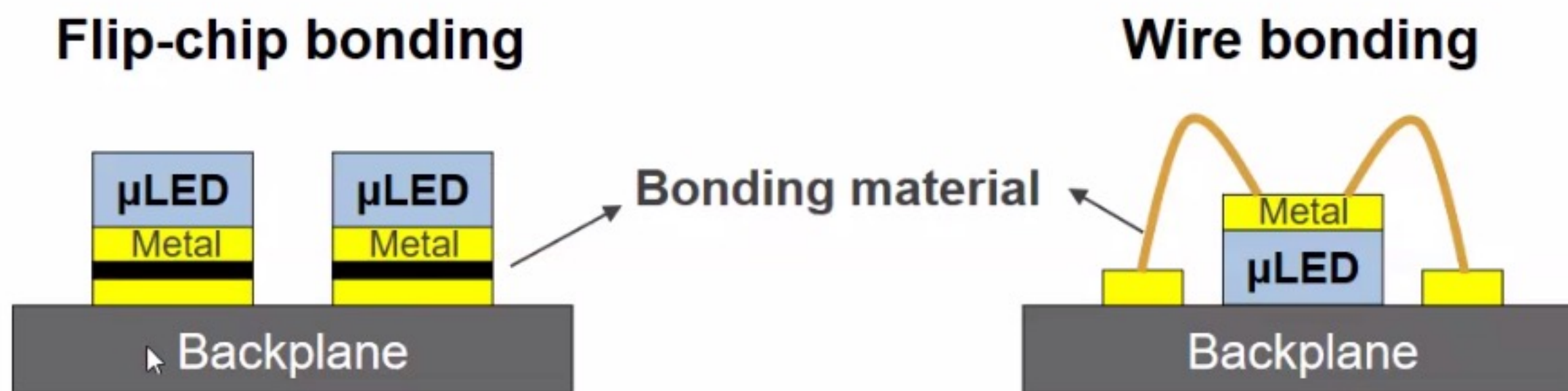
Laser Transfer 關鍵技術之一在於黏著材料與雷射的搭配



- 優勢：可單個/多個/選擇性轉移晶片、高效率、對於轉移晶片的尺寸及間距彈性高
- 缺點：對雷射性能要求高、雷射可能損傷晶片、設備投資額高、放置晶片的精準度不易控制

Flip-chip Bonding 比 Wire Bonding 能有較高的像素密度及散熱性，是目前 Micro LED 主要發展方向

■ Micro LED 常見的接合方式及材料



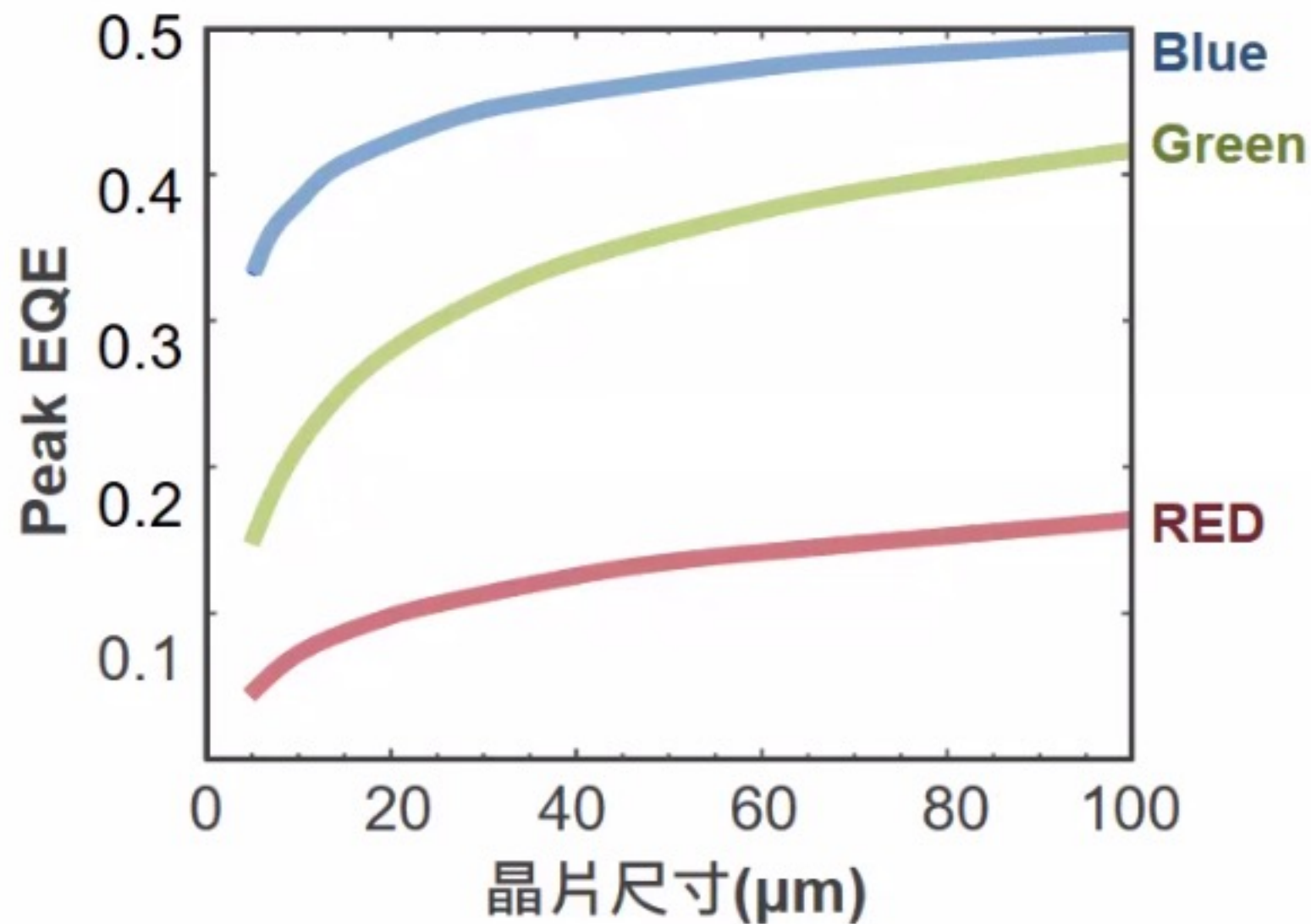
Metal：金屬線材、錫膏、金屬共晶接合、薄膜金屬層

Adhesive：ACF異方性導電膜

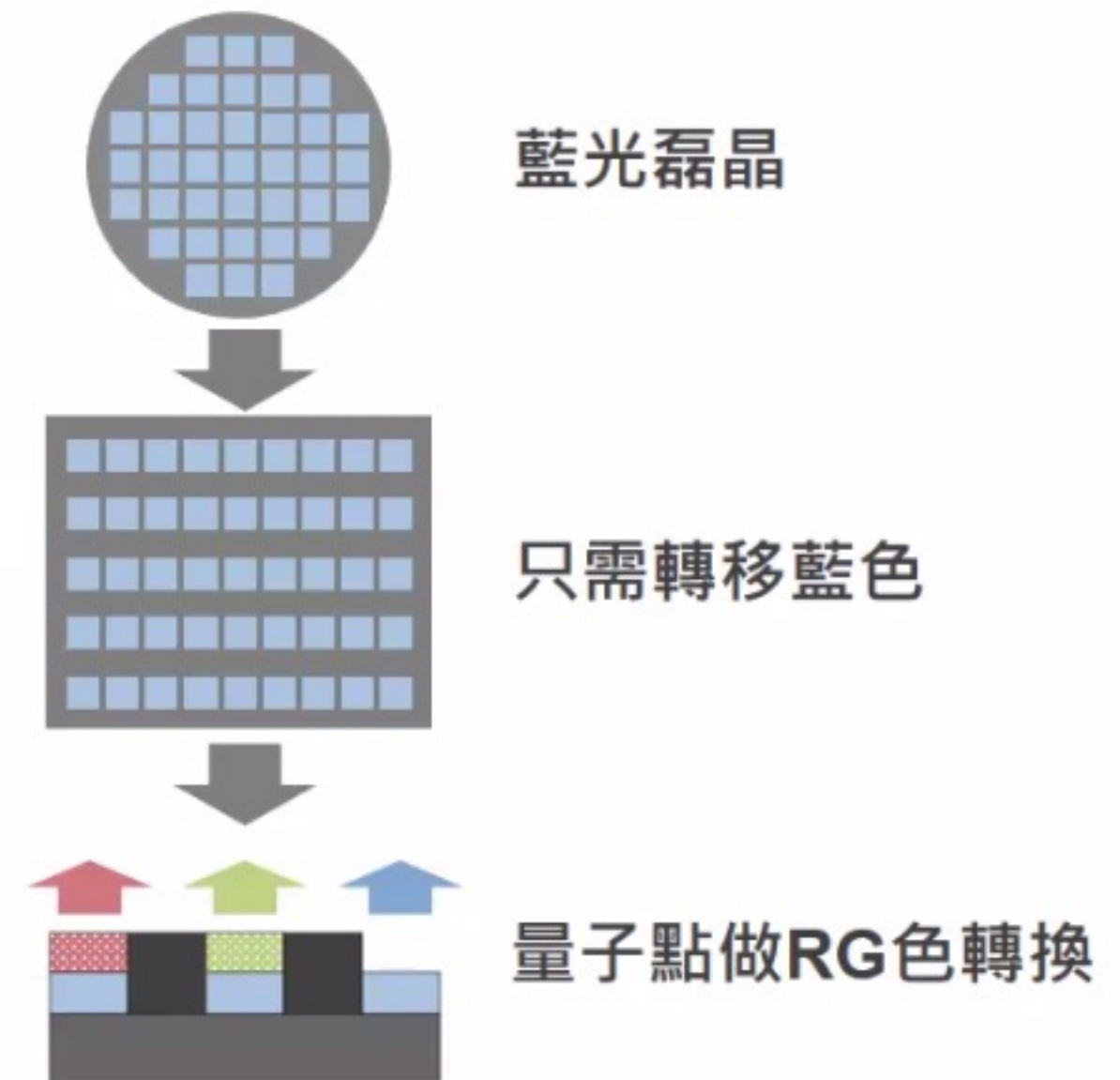
Nanotube：鋁沉積的矽化鎢U型管

量子點色轉換層技術可解決紅、綠晶片發光效率低的問題 並簡化巨量轉移、修補製程及驅動電路設計

■ RGB Micro LED發光效率比較



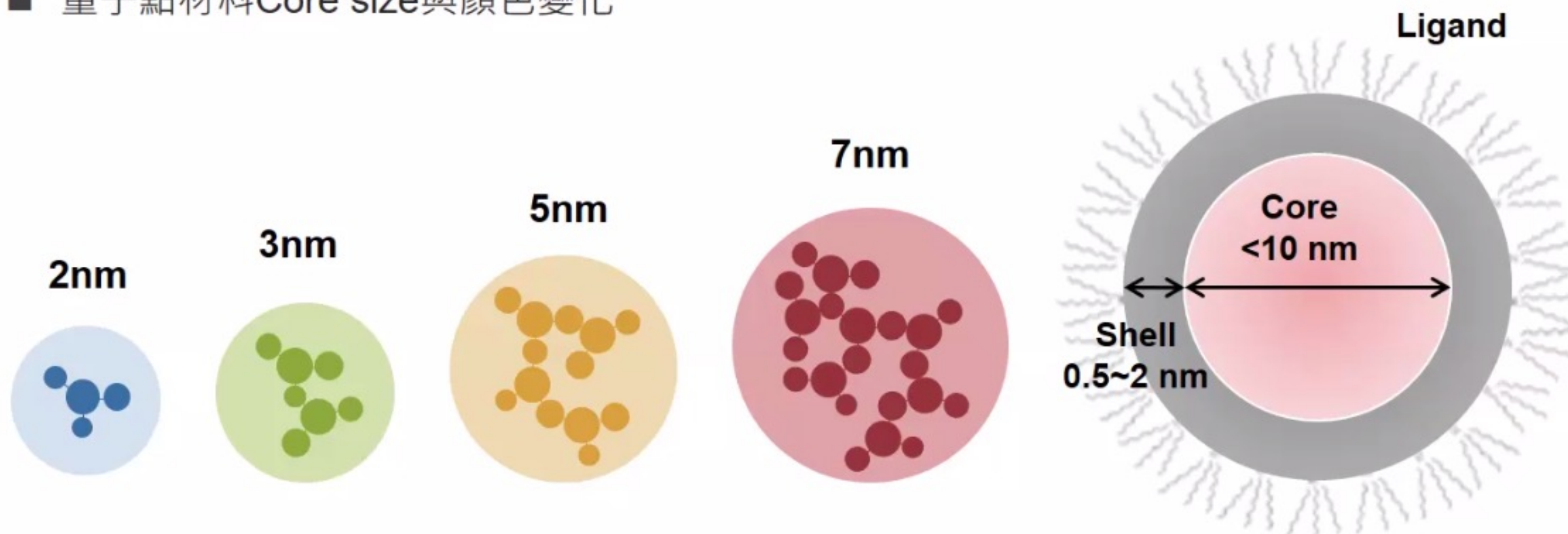
■ 量子點Micro LED製程



- 量子點色轉換技術的關鍵在於：量子點材料的可靠性、製程選擇(曝光顯影/噴墨印刷)，以及如何避免漏光、像素間互相干擾、提升光轉換效率等等

量子點材料可藉由控制粒徑大小來改變顏色

■ 量子點材料Core size與顏色變化

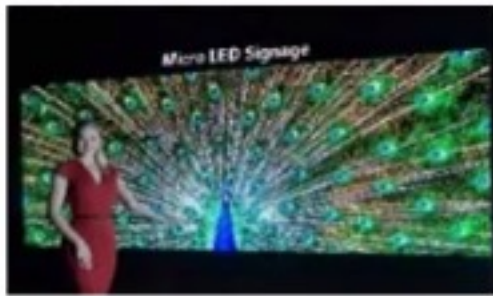






- 量子點多為II-VI及III-V族半導體材料，Micro LED 色轉換量子點材料目前以 CdSe、InP 為主流
- 因應無鎘議題近年Micro LED業者投入InP及鈣鈦礦(Perovskite)材料的開發，但發光效率尚未追上含鎘量子點材料

曝光顯影與噴墨印刷 是目前 Micro LED 量子點色轉換層的主流技術

	Photolithography	Ink Jet Printing (IJP)
製程		
生產成本	高	低
QD層厚度均一性	較佳	較差
適合應用	穿戴裝置(高像素密度PPI)	大尺寸面板(像素密度低及間距大)
主要挑戰	<ul style="list-style-type: none"> • 成本是最大問題(材料利用率低) • 曝光顯影及烘烤製程降低量子點材料的物性 	<ul style="list-style-type: none"> • 噴頭墨水易堵塞 • 墨水不均造成的Mura問題

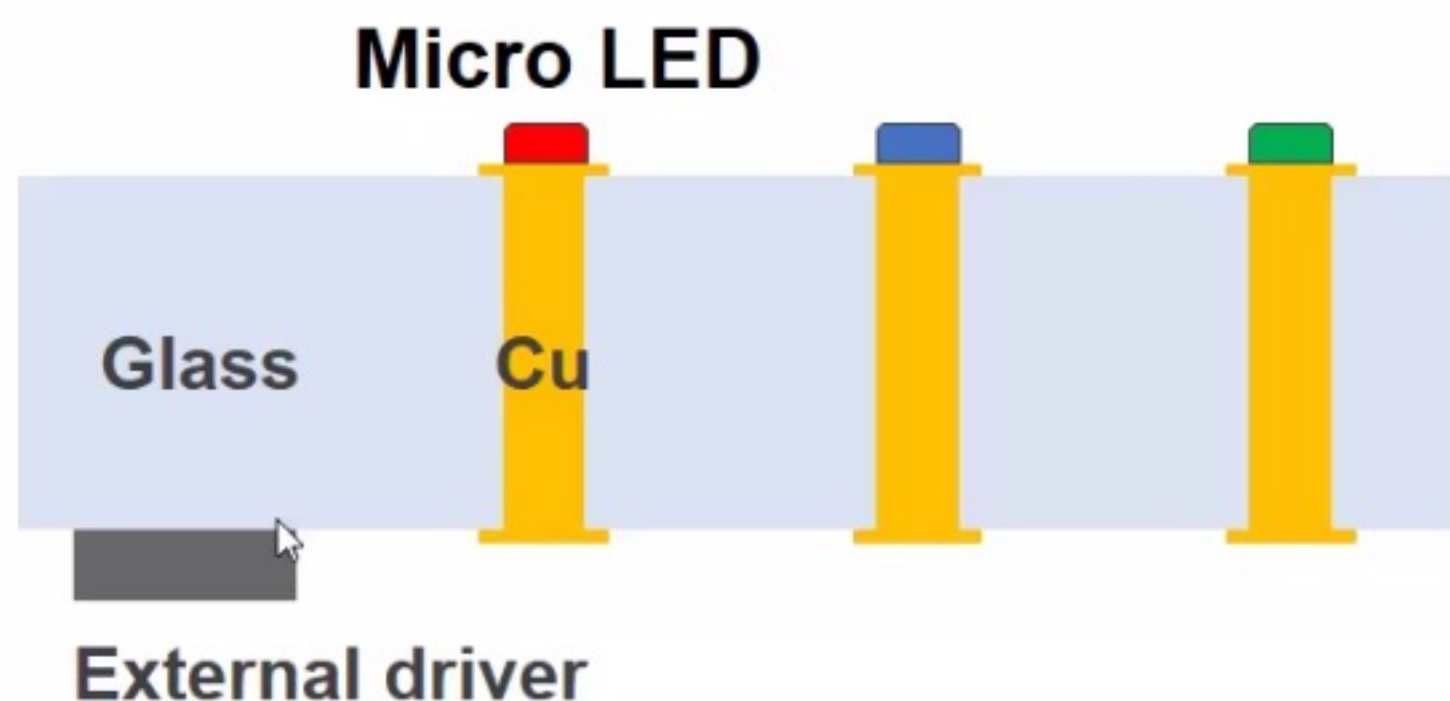
不同背板技術，有不同特點與應用領域

	PCB	IGZO-TFT	LTPS-TFT	Si-CMOS		
Mobility (cm ² /v · s)	N/A	5~50	50~100	N/A		
Driver	PM	AM	AM	AM / PM		
Highest PPI	~20	~300	~500	>1,000		
Uniformity	Low	Medium	Medium	High		
Display cost	Medium ~ High	Low	Medium	High		
Key Materials	Epoxy, glass fiber, Cu, PI substrate	Metal oxide, PI/glass substrate	Polysilicon, PI/glass substrate	Silicon wafer		
Features	易於製造與拼接但像素密度低	省電(較低漏電流) 大尺寸供應(G10.5)	較高像素密度 最大尺寸僅G6廠	無需巨量轉移 需搭配精密IC製程		
Applications	 大型商用顯示器	 電視	 電腦/車用	 手機	 手錶	 穿戴裝置

- TFT背板可結合現在LCD產能，再加上應用廣泛，為目前面板廠極欲發展之方向
- a-Si因電子遷移率低較不適用Micro LED；LTPO可結合IGZO與LTPS優點，有業者開發中

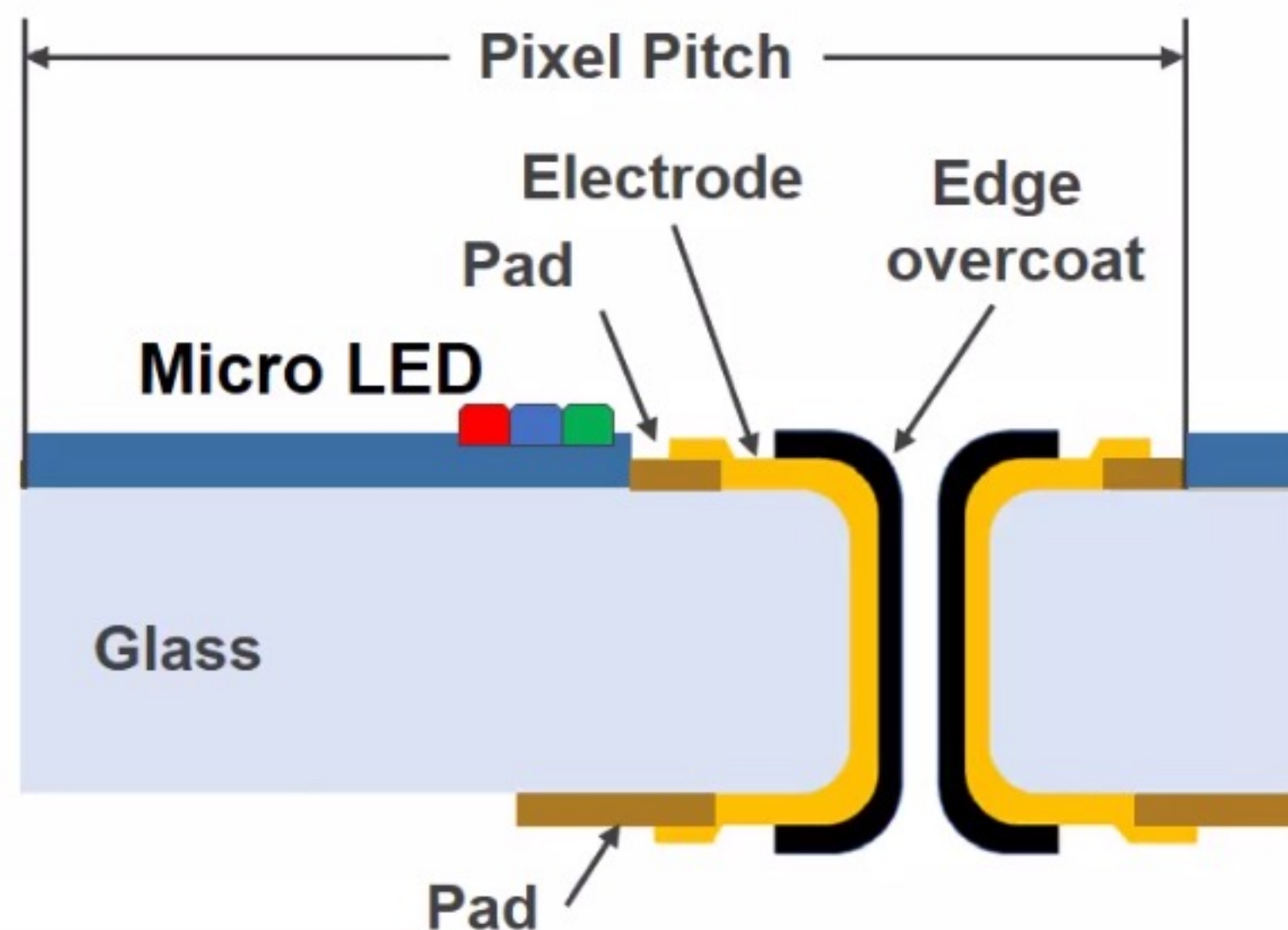
玻璃基板為了實現無縫拼接，需要有特殊設計

■ 玻璃通孔TGV技術



- 利用雷射在玻璃穿孔，再電鍍銅填孔，並將驅動電路做在基板之下

■ Wrap-around Electrode技術



- 由Corning所開發的技術，將極薄的電極包覆在玻璃邊緣，使拼接不影響像素間間距

總結

頭戴裝置是進入元宇宙的必要設備，預估VR顯示技術將從現行的LCD朝向Micro OLED發展，而AR/MR裝置則由LCOS朝Micro OLED及Micro LED發展

Micro LED為避免受到LCD及OLED的價格競爭，產業界普遍認為會先從頭戴裝置、大型顯示器等利基型產品切入市場，而Micro LED成本的下降仍需仰賴各製程材料的研發

臺灣Micro LED供應鏈完整，且部份製造技術具領先優勢；不過在材料、設備端仍需仰賴更多業者的投入；此外，中國已經投入大量資金進行研發及建廠，需留意未來對產業造成的影響