顯 示 技 術 典 範 轉 移

micro-LED 欲成一代宗師 先過良率挑戰

2017年是micro-LED新軍突起的一年，加拿大的VueReal公司月前成功研發畫素密度高達6,000 PPI的micro-LED顯示器，為全球micro-LED顯示器之最。VueReal執行長暨創辦人Reza Chaji現身說法，對於棘手難解的技術課題及與現行主流顯示器的競爭比較，提出深入的觀察和體驗。

口述／VueReal執行長暨創辦人Reza Chaji　整理／李幸宜

新世代顯示技術micro-LED雖是當前的熱門話題，但相關產品及應用仍在萌芽階段。這讓我想起一個耳熟能詳的故事，有兩個製鞋匠去落後地區賣鞋，一個人認為當地人都不穿鞋，沒有商機可言；另一個人則認為當地人買不到鞋穿，所以商機無限。

發光顯示器（Emissive Display）之所以大受歡迎，除了呈現端的彈性、在特定應用情境相對更低的功率消耗，還有更好的影像品質如色彩、對比、畫面更新率。這些優勢來自於三大技術環節的到位，包括大部件的小型化、高明度的可靠性、高溫度的可靠性，缺一不可。

從OLED到micro-LED的挑戰

現行的OLED在發展大型顯示應用時，資本支出和製程投資都極其昂貴，而且還有高解析度、高明度和高溫度的可靠度挑戰，在某些應用情境甚至比LCD更為耗能。最棘手的一點則是，OLED的明亮度和使用壽命成反比。

OLED所面臨的侷限催生了新一代的發光顯示器。市場對micro-LED有許多期望，首先是極低的能耗，藉此延長電子設備的電池壽命；其次是高明度效果，包括戶外等各種環境都能進行虛擬實境應用；再則是製程及封裝的簡化，以大幅降低資本支出；最後是在條件不佳的操作環境仍能穩定運作，擺脫封裝需求，產出真正有彈性、可捲式、可摺疊式的顯示器。

micro-LED近乎真實的體驗的確很有吸引力，色彩更精確、對比明度更高、反應速度更快，因而很適合用於虛擬實境（VR）及擴增實境（AR）。但以現階段的發展而言，昂貴的價格和極高的能耗是亟需解決的問題。

尺寸與良率的技術難題

近期研究發現，在低於10um的小尺寸、低效能應用裡，micro-LED的成本及能耗都比其他方案更高，而且良率極為受限，實用性有待商榷。至於大尺寸應用則有不同問題，像是400小時才能產出一塊面板，這對micro-LED的生產而言過於耗時，看似可行的妥協方案又會明顯影響解析度。

進一步分析尺寸課題，首要挑戰就是成本暴增，其次則是產量不足，光是每年產出一千萬片使用30X30 um^2 LED的超高畫質顯示器，就需要更大量的有機金屬化學氣相沉積（MOCVD）系統的投入，相對於手機每年20億支的出貨量，這個產量仍

是杯水車薪。

在良率部分，對於預期會大量普及於市場的micro-LED而言，99%的良率仍然不夠好，要考量的是當它使用於高畫質或超高畫質面板時，會出現多少個壞死的LED，若想以大量維修來解決這個問題只會面臨居高不下的成本。從我們的觀點來看，micro-LED良率的最低標準至少應該是99.999996%。

四大條件齊備構築競爭優勢

事實上，愈是在小型顯示器，micro-LED的尺寸愈與成本息息相關；在大型顯示器，micro-LED的移轉製程成本則占大宗。

對micro-LED製造成本的估算取決於產品及應用，即使同為小尺寸產品，也會隨著應用的不同而導致像素平均成本的差異，micro-LED用在手機上，其與OLED、LCD之成本競爭則需考量，但若用在AR／MR（混合實境）上，OLED與LCD則在本質材料特性無法滿足未來需求，成本差距則另當別論。

脈衝寬度調變（PWM）是另一項必備要件，LED的效率會隨電流密度的提升而有大幅改善，但目前看好micro-LED應用的主要運作環境大多低於100 mA/cm2，效能表現相對較差，以超高畫質在PWM的時序需求為15奈秒來看，仍是力有未逮。

換言之，micro-LED必須滿足下列四個條件：在低於10微米的尺寸管理及保持micro-LED的效能、在現行的低密度電流來管理及解決效能下降的課題、提升產能、改善良率。如此一來，micro-LED就能打遍天下無敵手，領先其他所有的顯示解決方案。

VueReal以平台發展合作關係

VueReal目前在micro-LED有三大主要解決方案，首先是Solid Printing™技術，能以低缺陷密度、高輸出功率、低成本來運行micro-LED，且相容於所有顯示環境；其次是高效能micro-LED，小尺寸的效能化運作可降低能耗及成本，並提供高數位解析度畫面；第三項則是優化micro-LED的相關技術，例如：面板設計、壞點補償、均勻度補償。VueReal期望透過平台的建立，尋找更多夥伴參與如研究單位、軟體開發團隊，解決多重技術挑戰，進而推動micro-LED有更高效能的應用，單憑一己之力，絕對無法解決層層技術關卡。

我預期2020年就會出現搭載micro-LED的手機，雖然這個目標很有挑戰性，但我對這個走向很有信心。至於虛擬實境及擴增實境亦是快速成長的市場，顯示器的大尺寸和高解析度是主要挑戰，相較之下，像是擴增實境所使用的頭戴式顯示器，以可靠度和高明度取勝的micro-LED反而更能有長足發展。■

micro-LED勝出OLED的四大特點

- 極低的耗能，延長電池壽命
- 更精確的色彩、更高的對比明度、反應速度更快（奈秒）
- 製程及封裝簡化，大幅降低資本支出
- 極佳的穩定性