

LTPS 現況及未來展望

低溫多晶矽 (low temperature poly-silicon, LTPS)，號稱為次世代的 TFT LCD 技術，受到全球各界的注目。低溫多晶矽的優點在於其輕薄的特性、反應速度快、可靠度高、低耗電及高畫質等等，對於現今行動資訊、通訊社會的廣大需求來說，低溫多晶矽的優質表現正好符合一切的需求。根據調查，全球目前有生產或計劃生產低溫多晶矽 TFT LCD 的廠商超過 10 家以上。在 Semiconductor & FPD World 的統計中，2000 年全球 LTPS TFT LCD 面板市場規模為 970 億日圓，2001 年約 1,600 億日圓，在整體 TFT LCD 市場衰退的情況下仍然有此高成長，更證實了 LTPS 的優越性。

范原銘

一、LTPS TFT 技術的優越性

所謂的 LTPS 技術，就是可以在約 600 度以下的溫度生產多晶矽 (polysilicon)。以前需要 1,000 度以上的高溫，因為製程溫度條件下降，所以也不需要石英等的特別玻璃基板，材料成本等均較易降低。LTPS TFT LCD 在 1990 年中由 Sony、Sanyo 及 Toshiba 等公司發展出來，在初期採用 bottom gate 電晶體結構，如圖 1 所示。然而在最近電晶體結構發展中逐漸轉向於另一種被稱為 top gate 的電晶體結構。主要原因在於 top gate 電晶體在製程中可以產生較大的晶粒 (grain size)，所以電子遷移率較 bottom gate 高。由於 top gate TFT 的性能優於 bottom gate，所以它是 LTPS 未來的主流技術。

由於低溫多晶矽技術具有比非晶矽薄膜電晶體大數百倍以上的電子遷移率，使得部分積體電路可

以同時製作在玻璃基板上，這便是 LTPS 產品的一大特色 - 把驅動 IC 直接設計並製作在玻璃基板上，並與 TFT 元件共同製造完成，這樣做可省去驅動 IC 的成本與其構裝成本，包括驅動 IC 等週邊電路可以內建、接點數及零件數減少、系統設計簡單化，以及顯示器可靠度提升，不像非晶矽 (a-Si) 面板有 TAB 封裝腳距先天限制。表 1 表示非晶矽和低溫多晶矽 TFT LCD 的可靠性比較。從表格中也可以看到低溫多晶矽 TFT LCD 的元件面積也較非晶矽 TFT LCD 小，因此其開口率 (aperture ratio) 高，所以自然也比較省電。除了以上的特點，目前 4 - 6 bit DAC 及 SRAM 皆可以直接製作於玻璃基板上。SRAM 內嵌在面板的技術可以大幅地減少電力消耗，其方法是在畫素電極裡形成 SRAM，在靜態影像顯示時，可達到省電的效果。在不遠的將來，LCD 時間控制器 (LCD timing controller)、高壓製程的位準移轉器 (level shift reference driver) 等等也都能整合在一起。若是 LTPS 面板充分發揮其各項優點，並在生產良率、製程設備成本下降方面

范原銘先生為台灣工業技術學院電子工程碩士，現任統寶光電股份有限公司行銷部經理。

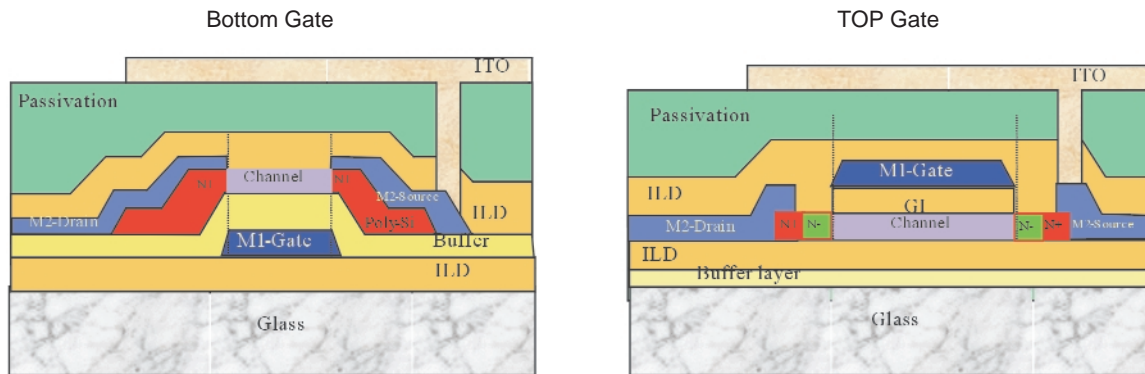


圖 1. Top gate & Bottom gate.

向非晶矽看齊，則生產成本比非晶矽 TFT LCD 少 20% 亦是可能的，這與 a-Si TFT LCD 有很大的不同。唯一美中不足的是因為製程複雜度的增加，良率的提升有其難度，這也是各廠商所需要努力的地方。LTPS 技術尚未成熟，以致價格上未必比 a-Si 有利，不過一旦跨入量產的門檻，並達到和 a-Si 相當的良率和產出，理論上 LTPS 的成本要比 a-Si 低。

二、LTPS 的產品應用

目前因為 LTPS TFT LCD 只省下驅動 IC 的成本，加上 LTPS 的良率亦比 a-Si 少 10% 以上，所以還是集中在 10.4 吋以下產品的應用。在小尺寸的應用市場上如數位相機、行動電話、PDA 等，因為小尺寸產品的良率較高，加上節省驅動 IC 的效益比較顯著，產品價格與 a-Si TFT LCD 相差較

有限，但顯示效果好很多，因此市場比例有攀升趨勢。低溫多晶矽 LCD 市場利基在於其超高解析度，許多中小型產品都可達到 200 ppi (pixels per inch) 的水準，比起目前一般非晶矽 TFT LCD 的 83 - 93 ppi 高上許多。

目前行動電話手機所使用面板，大都是單色 STN 面板，使用者對於其性能要求不高。當系統進入 2.5 G 和 3 G 時代之後，面板走向將和 PC 類似，必須具備顯示愈來愈多資訊量的能力，也就是說解析度提高、彩色化和動態影像顯示能力等等，並著重省電力。現在業界正嘗試多樣化的面板技術，包括 a-Si、彩色 STN、TFD 和 OLED 等。表 2 顯示了日本行動電話搭配彩色面板狀況與科技趨勢。

當行動電話手機邁入彩色化之後，系統業者勢必要引進能同時滿足動態影像顯示和增加顯示顏色的面板，而且最好也兼具省電功能，所以採用

表 1.
2.2" 220 × 176 × RGB 非晶矽和低溫多晶矽 TFT LCD 的可靠性比較。

項目	非晶矽 TFT LCD	低溫多晶矽 TFT LCD
元件	$V_{th} (n\text{-ch}): 2V$	$V_{th} (n\text{-ch}, p\text{-ch}): 2 \pm 1V$
	電子移動率 (n-ch): $> 0.5 \text{ cm}^2/V.s$	電子移動率 (n-ch): $> 200 \text{ cm}^2/V.s$
	NA	電子移動率 (p-ch): $\sim 100 \text{ cm}^2/V.s$
製程	n-ch TFT	畫素內電路及 CMOS 整合驅動電路
TFT 元件面積	1	$\sim 1/2$
抗震性	180 G	$\geq 300 \text{ G}$
抗扭轉性	~ 1000 次	≥ 10000 次
接點	~ 800 點	~ 20 點
外接驅動 IC 數	scan: 1 pc, data: 2 pcs	0 pc

資料來源：統寶光電

		1999 年	2000 年				2001 年		
		4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q
L C D	STN	2	2	2	10	19	11	21	5
	GF	-	-	-	-	-	-	1	3
	TFD	-	-	-	-	-	2	-	1
	TFT	-	-	-	-	-	1	2	5
有機 EL		-	-	-	-	-	-	1	-
合計		2	2	2	10	19	14	25	14
半透過式 BL		2	2	2	10	14	9	17	10
透過式 BL		-	-	-	-	-	1	1	1
反射式 FL		-	-	-	-	5	4	6	3
合計		2	2	2	10	19	14	24	14

資料來源：『月刊 Display 2001/11』

表 2.

日本行動電話搭配彩色面板狀況 (至 2001 年 8 月為止)。

Company	NEC	Matsushita	Mitsubishi	Toshiba
Model	FOMA N2001	FOMA P2101V	FOMA D2101V	-
Size	2.1"	2.2"	2.15"	2.0"
Technology	OLED	a-Si TFT	LTPS	LTPS
Colors	4,096	260K	4,096 - 65,000	4,096

資料來源：統賣光電

表 3.

日本 3G 行動電話面板使用概況。

LTPS TFT 技術的面板將是一大趨勢。在日本新出的 3G 手機 FOMA 上，已知的 4 家手機製造商中，有兩家就是使用 LTPS TFT 技術的面板，這兩家公司分別為 Toshiba 和 Mitsubishi。表 3 表示了最近日本 3G 行動電話 FOMA 的面板使用概況。

另外，在 PDA 的應用來說，由於 PDA 不再只是安排行程或電話簿等的功能，充滿娛樂性的多媒體產品已廣泛使用在高階產品上。在日本廠商新推出的 PDA 產品將電視錄影、動畫播放、音樂錄製及播放、聽廣播等生活機能都包含在內。過去灰階型 STN LCD 面板的解析度大致上是 160 × 120 點 (畫素)，以現在的需求來說，這樣的解析度難達清晰、美觀的水準。新推出的 PDA，大都採用 240 × 320 點解析度，甚至是 320 × 320 點解析度。與相同 LCD 面積畫素數 160 × 160 的 LCD 相比，320 × 320 解析度新產品可提供 4 倍的資訊量，因為畫素間距縮小，可呈現更細膩的畫質，視覺效果更佳。所以各國 LCD 廠商紛將焦點瞄準 PDA 市場。根據市調公司 DisplaySearch 在 2001 年 7 月的統計預測，2000 年 PDA 採用 TFT LCD 的比例為 17%，

至 2001 年預估可達 37%。而 2001 年兩款熱門的彩色 PDA - Compaq 的 iPAQ 與 SONY 的 CLIE 等彩色機種，都是採用低溫多晶矽 TFT LCD。消費者對上述 PDA 面板的視覺感受大多肯定。

大尺寸的 TFT LCD 面板已廣泛的被使用在筆記型電腦及顯示器等產品上。在 a-Si TFT LCD 面板價格越來越便宜的同時，廠商採用的意願也高，TFT LCD 在各應用產品的滲透率也逐漸提升 (參見表 4)。以筆記型電腦來看，TFT LCD 的滲透率在 2001 年第二季達 98.4%；市調公司 DisplaySearch 也預期在 2001 年 STN LCD 將不再應用在筆記型電腦上。另一方面，LCD 電視也成長快速。儘管在不景氣當中，2001 年第二季 10 吋以上 LCD 電視的出貨量比前年同期成長 170%。其他在數位相機、數位錄影機等的商品早已全面使用 TFT LCD 的面板。未來在低溫多晶矽 TFT LCD 技術突破價格、量產以及技術瓶頸時，使用低溫多晶矽 TFT LCD 的產品種類可以說更多，而且更為普遍。

表 4.
TFT LCD 在各應用產品的滲透率。

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
PDA	0%	18%	30%	45%	60%	70%
Cellular Phone	0%	0%	5%	11%	17%	30%
DSC	100%	100%	100%	100%	100%	100%
DVC	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Portable Game	55%	95%	100%	100%	100%	100%
Car Navigation	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Portable DVD	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Notebook	89%	95%	98.4%	100%	100%	100%
LCD Monitor	100%	100%	100%	100%	100%	100%
LCD TV	100%	100%	100%	100%	100%	100%

資料來源：Toppoly, DisplaySearch, Electronic Journal, Nikkei Electronic, Press 2001。

三、LTPS 與 OLED 的發展關係

驅動 LTPS 加速發展的動力來自於應用市場的擴大，行動電話手機、個人數位助理 (PDA)、數位相機、筆記型電腦等需求的增加，其市場潛力已遠大於過去的預測。除此之外，1999 年竄起的 OLED，亦是一大推手。根據工研院經資中心的報告，OLED 產值由 1999 年的 25 億日圓預估至 2003 年時成長至 247 億日圓，年複合成長率 (CAGR) 達 77%，為中小型平面顯示器中成長幅度最高的產品。在 OLED 的廠商積極擴充產能之

下，預估在 2003 年 OLED 將成長至 1,400 萬片的使用量，年複合成長率將高達 93%。業界在 2000 年嘗試開發 OLED 時發現，必須結合 LTPS 方能在性能上獲得大幅提昇。高階用全彩面板方面，active matrix 驅動為必需之技術，因為單純 Matrix 驅動有隨著精細度越高，則每一條線之點燈時間變短之缺點，很難達成高亮度、低耗電及使用壽命長之目標，而 active matrix 即能夠解決此難題；特別是有 OLED 方面，由於 a-Si TFT 之電流驅動還不理想，需要移動度更高之 TFT 技術。所以開發 LTPS 是同時掌握未來 TFT LCD 和 OLED 的關鍵技術。

在商品化的 LTPS-OLED 產品上，1999 年 Sanyo 與 Kodak 首先推出 2.4 吋全彩主動矩陣 (LTPS TFT) 之 OLED 面板，如圖 2 所示，面板厚度為 1.8 mm，較同畫面尺寸之 LTPS TFT-LCD 薄，如圖 3 所示，解析度為 852 × 222 畫素，亮度 150 燭光 / 平方公尺，對比 500 : 1，採 12 V 的直流電驅動，壽命可達 3000 小時，雖然產品壽命仍未達商品化標準，此次展示讓 LTPS TFT-OLED 在所有顯示器中大放異彩。

2000 年 Sony 成功地開發出 13.0 吋之 LTPS TFT-OLED，如圖 4 所示，為 OLED 大面積化注入一股強心劑。2001 年 Seiko Epson 發表一款可顯示 26 萬色之 2.8 吋 LTPS TFT-PLED 面板試產品，採用英國 Cambridge Display Technology (CDT) 開發的高分子材料，並以噴墨 (ink jet) 成膜技術研製而



圖 2. Sanyo 與 Kodak 2.4 吋全彩主動矩陣 (LTPS TFT) 之 OLED 面板。

成，解析度達 100 ppi (pixel per inch)，為目前業界解析度最高的全彩產品。其畫面尺寸為 2.8 吋，解析度 200×150 畫素，1 個畫素由 9 個次畫素 (sub pixel) 構成，藍光發光效率 2.8 lm/W，室溫壽命 2500 小時，紅光發光效率 2.15 lm/W，80 °C 壽命 4800 小時，綠光發光效率 18 lm/W，80 °C 壽命 1000 小時，白光發光效率 1.37 lm/W，室溫壽命 6000 小時。

截至目前為止，日系 OLED 廠商多採用低分子材料研發產品，不過 Toshiba 於 2001 年 5 月份推出全球首款採用高分子材料的 2.85 吋 Q-CIF LTPS TFT-PLED，如圖 5 所示，而 Seiko Epson 則率先跟進。

在韓國廠商動向上，三星 SDI 於 2001 年底表示，已成功開發出 15.1 吋 LTPS TFT-OLED，此一產品尺寸大於 Sony 的 13 吋產品，為目前全球尺寸最大者。三星 SDI 此次發表的 15.1 吋全彩主動式 OLED，長 307.2 mm、寬 230.2 mm，於 LTPS TFT 基板上形成低分子 EL 膜，可呈現全彩 (26 萬色)，色相自然回應速度快，支援高畫質動態影像，解析度為 XGA 級 (1024×768)，畫素數達 786,000 個，較 Sony 的產品約多出 1.6 倍。預期此一產品的開發，將使得過去主要應用於小型 mobile 產品的 OLED，亦能將使用範圍擴大到筆記型電腦與監視器等中大尺寸的產品市場。

OLED 元件中使用層狀有機材料，有機蒸鍍薄膜一般為非結晶結構，故相較於單晶結構電子 / 電洞移動率 (mobility) 較慢，如非單晶小分子電洞移動速率為 $10^{-2} - 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，高分子電洞移動速率為 $10^{-4} - 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，而電荷很容易被某些組成和結構上的缺陷 (如含氧或其他雜質) 所限制，目前有機發光材料對電子、電洞傳遞速率很難達到一致，電子與電洞再結合機率直接影響到 OLED 元件之發光效率。

在技術上，OLED 與 LCD 相異之處在於 OLED 元件驅動是需要靠電流驅動，與 LCD 用電壓驅動不同。以驅動技術上來看，又可分為被動式 (passive) 與主動式 (active) 驅動。在被動矩陣中，若有 M 條掃描線，則每一個畫素中之 OLED 最多只點亮了整個圖框時間 (frame time) 的 $1/M$ 時間，

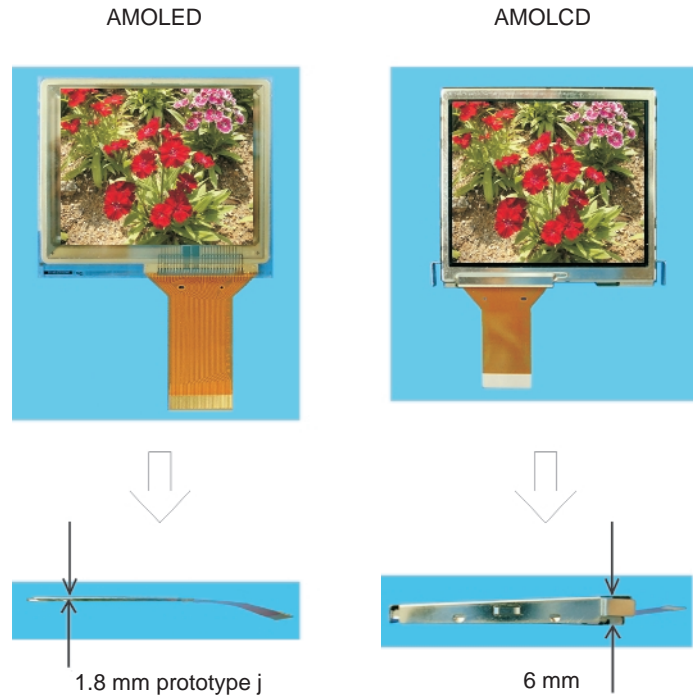


圖 3. Sony 與 Kodak 2.4 吋全彩主動矩陣 LTPS TFT-OLED 面板厚度與 LTPS TFT-LCD 比較。



圖 4. Sony 13.0 吋全彩主動矩陣 LTPS TFT-OLED 面板。

因此每一個 OLED 畫素在點亮期間必須被驅動至真正顯示亮度的 M 倍，以使眼睛能感受到所要求的顯示器平均亮度。因為 OLED 的亮度基本上和流過電流成正比，因此高脈衝亮度將會導致高脈衝電流，而引起被動式 OLED 顯示器在高階應用上的限制，此外，高脈衝電流會造成電極線上明顯壓

表 5.
Amorphous-Si TFT 與
poly-Si TFT 技術比較。

TFT Technology	Mobility (cm ² /V-s)	ASIC Integration	Display size (Mother Glass)	Manufacturing Cost
amorphous-Si	< 1	Not Applicable	5 - 20 inch (300 × 400 - 650 × 830 mm)	Competitive
LTpoly-Si	≤ 200	Integrated Drivers	0.5 - 12inch (300 × 400 - 600 × 720 mm)	Competitive
HTpoly-Si	≤ 200	Integrated Drivers	0.4 - 2 inch (8 - 12 inch wafer size)	Expensive

降及功率損耗。基於被動式 OLED 這些考量，因此主動式 OLED 會是一比較理想架構，由於每個畫素均有記憶驅動信號功能，因此每一個畫素的 OLED 均可被獨立且連續驅動。以主動方式驅動 OLED 就不像被動矩陣將 OLED 驅動至很高脈衝電流與亮度。

在高解析度傳統被動式 OLED 元件中，每條線驅動電壓與電流較主動式 OLED 元件高，因此利用主動式 OLED 可解決 OLED 元件之可靠度 (reliability) 與均勻性 (uniformity) 問題，若要製作全彩元件且要能顯示快速動畫則非 TFT 莫屬。在 OLED 元件驅動上電子 / 電洞移動率與 I_{on}/I_{off} 比值要求越高越好，poly-Si TFT 之電子移動率約比 amorphous-Si TFT 大 200 倍，如表 5 所示，因此 OLED 以 poly-Si TFT 製作出來之元件非常符合理想平面顯示器之要求。

未來預期 LTPS TFT 技術除了在 LCD 應用

外，在 OLED 與 PLED 驅動上將會扮演著舉足輕重之角色。所以不管是 TFT LCD 或是 OLED 的面板，LTPS 都是不可或缺的技术。

四、廠商動態

在 2000 年中小尺寸 LTPS 的市場，東芝、三洋電機和 ST-LCD (Sony 和豐田的合資企業) 的市場佔有率各為 55%、24% 和 21%，三家鼎立的狀況十分明顯。然而近來有意投入 LTPS 技術的廠商也日益增加，由於大尺寸 TFT-LCD 面板市場競爭日益劇烈，廠商因獲利因素加速惡化，而逐漸轉往中小尺寸或積極發展技術層次較高之 LTPS 技術。例如 Samsung、Seiko Epson、Matsushita 及 LG Philips 等廠商都有投入中小尺寸 LTPS 的發展。台灣業界有意投入 LTPS 的公司也有統寶和元太，另外想發展 OLED 的友達也已投入。在三家公司中，統寶是唯一全新的公司，完全投入 LTPS TFT 技術的發展，該公司過去雖未具備 a-Si 的經驗，直接投入 LTPS，不過就投入時間點來看，跳過 a-Si 其實也是必然的選擇。以時機考量，在 2002 年量產，恰可趕上 PDA 全面彩色化以及手機面板彩色化趨勢的利基於市場的開拓。在大尺寸方面，除了 Sharp (CGS) 與 Toshiba 不遺餘力的往大尺寸 LTPS 面板發展外，Toshiba 也與 Matsushita 合資，在新加坡成立 AFPD 為專門製造低溫多晶矽面板公司。還有 ST-LCD 持續擴增 LTPS 產能，鳥取三洋、三洋電機也邁向整合，持續 LTPS 技術的開發。以上種種動作，皆可顯示廠商冀望低溫多晶矽 TFT LCD 的商機可為將來帶來無限的前景，也取代 STN、甚至 a-Si TFT LCD 的次世代液晶顯示技術。然而在目前的問題，除了技術開發的困難度相

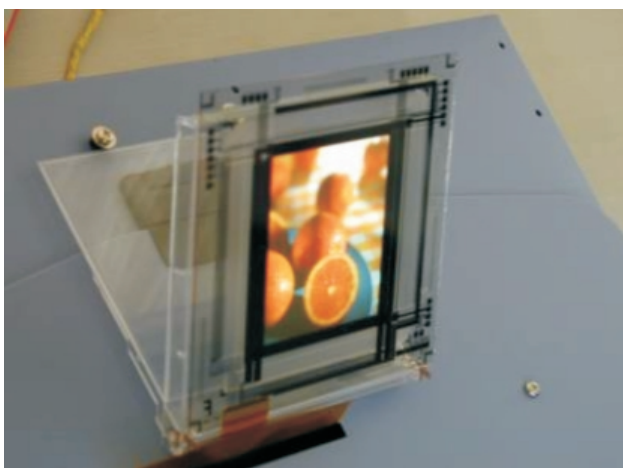


圖 5. Toshiba 2.85 吋全彩主動矩陣 LTPS TFT-PLED 面板。

較於 a-Si 較高外，製造設備由於並沒有標準化，使得供給面的成長相對地受到影響。

五、未來展望

LTPS 在近期內將是需要低耗電池能產品的主力顯示技術。未來將朝 OLED 顯示器與 LTPS TFT LCD 並行發展，兩者都需要以 LTPS TFT 技術為基礎。低溫多晶矽有機發光二極體 (LTPS-OLED) 在未來特定市場應用上將很重要，特別是在小尺寸到大尺寸的螢幕顯示上。而 LTPS TFT LCD 也將成為

新世代單一面板 (single-panel)、高解析度背投影顯示器 (rear-projection display) 之重要元件。未來更將逐漸進入高階大尺寸顯示板市場，成為主流技術。LTPS TFT 是未來顯示器的必然趨勢，除三大先驅外，日本、南韓及台灣等的一些廠商都有發展 LTPS TFT LCD 的計畫，可以預見到 2003 年時 LTPS TFT LCD 面板產能將是目前的 5 倍以上。因應技術提升所必然之現象，對講求高精細畫質的消費者而言，LTPS TFT LCD 的普及將更加令人期待。未來 LTPS TFT 的核心技術也將使 OLED 的技術更加發揚光大。