

第十章

液晶顯示器的產業化

- 10.1 液晶顯示器產業的發展趨勢——從小型化到大型化再到多樣化
- 10.2 步入成熟期的液晶產業
- 10.3 支撐液晶產業成長的製造裝置
- 10.4 TFT 液晶的世代及內涵
- 10.5 玻璃基板尺寸大型化的背景及其限制
- 10.6 關於玻璃基板（母板）尺寸的標準化

10.1 液晶顯示器產業的發展趨勢——從小型化到大型化再到多樣化

液晶螢幕是液晶顯示器的核心。作為顯示元件的液晶螢幕，市場對其要求主要集中在兩個方面，一是顯示面積，二是顯示資訊量。在顯示面積不變的條件下，顯示資訊量決定於像素數（圖像解析度規格，即 **display format**）和灰階數（顏色數）。只有像素數足夠高，圖像才能精細清晰；只有灰階數足夠多，圖像才能自然逼真。此外，所要求的性能還有視角和響應速度等。這些都屬於顯示品質或顯示品位。應該說，目前液晶顯示器產業的發展趨勢主要體現在上述「顯示面積」和「顯示資訊量」上。

10.1.1 母板玻璃大型化的背景

液晶顯示器於 20 世紀 70 年代達到實用化，到 90 年代由於在筆記型電腦上的成功應用而發展成為一大產業。到 90 年代後半期開始用於 PC 監視器，目前正穩步佔領 TV 市場，其發展速度令人眼花繚亂。在 90 年代以後的生產線上，母板玻璃的尺寸不斷擴大，2005 年第 6 代（1,500mm×1,850mm）、2007 年第 8 代（2,200mm×2,600mm）生產線正式投產，目前第 9 代（2,600mm×3,100mm）生產線正在籌建中。

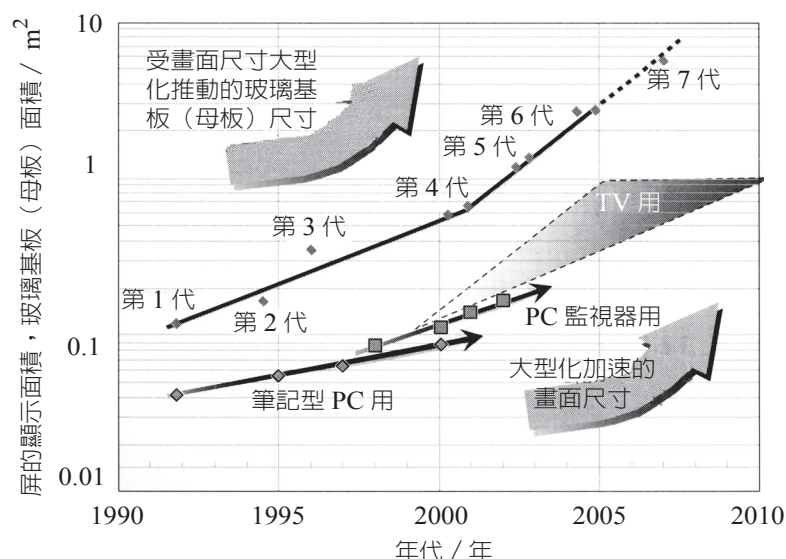
如圖 10-1 所示，隨著液晶螢幕由筆記型電腦向 PC 監視器再向大型 TV 的轉變，畫面尺寸的增加速度逐漸加快，而母板玻璃尺寸的增加速度更快。畫面尺寸的擴大，一方面是資訊設備本身的要求，另一方面也是提高大型屏生產效率的有效措施。因此，母板玻璃大型化是大勢所趨。母板玻璃尺寸的大型化與顯示螢幕毫米級尺寸的差別化是今後液晶螢幕廠商的競爭戰略。

10.1.2 多樣化的畫面尺寸將擴展液晶產業的領域

如上所述，畫面尺寸大型化已成為液晶螢幕的發展潮流。其結果，30 吋以上的直視型液晶顯示器也達到實用化，並進一步向大型化方向發展，如在 EDEX 2004 電子顯示器展覽會上，三星展出 54 吋（PVA）、LG 展出 55 吋（S-IPS）、夏普展出 45

吋 (ASV)，在 2004 年 10 月，夏普還推出 65 吋製品^①。看看我們身邊的電子設備，可以說是液晶顯示器無處不在，而為滿足各式各樣設備的搭載要求，液晶螢幕最主要的差別還是畫面尺寸。正因為液晶螢幕尺寸範圍廣，而且能滿足不同的業務要求，因此液晶顯示器得到廣泛的推廣和普及。圖 10-2 表示液晶顯示器的應用與畫面尺寸分布，可以看出，從小畫面到大尺寸其幾乎覆蓋了所有領域。為參考與比較，圖中也示出了 CRT 和 PDP，在一定的尺寸範圍內，二者正與 LCD 處於競爭之中。

畫面尺寸在十幾吋以下的顯示器，LCD 獨領風騷；從十幾型到 30 吋之間，LCD 與 CRT 處於競爭之中；三十幾吋以上的大型領域，LCD 與 PDP 處於競爭之中；更大的畫面尺寸，特別是在 100 吋量級以上，採用 HTPS (high temperature polysilicon，高溫多晶矽) 液晶與 LCOS (liquid crystal on silicon，單晶矽基板上的反射型液晶) 的投影機將佔統治地位。



圖中的第 6 代尺寸為 1,500mm×1,800mm+α，第 7 代尺寸為 1,850mm×2,200mm（2006 年投產的第 8 代尺寸為 2,200mm×2,600mm）。在大型化方面走在前頭的顯示螢幕各個廠商，將擴大玻璃基板（母板）尺寸置於戰略地位。圖中曲線所描繪的顯示螢幕面積，是針對當時先端製品而言（而主流產品的面積要比圖中所描繪面積小）。

圖 10-1 液晶螢幕畫面尺寸的增加推動玻璃基板（母板）尺寸更快地增加

① LG 於 2006 年 3 月 8 日發布當時世界最大 100 吋；夏普於 2007 年初展示 108 吋，並計畫於 2008 年下半年將該產品推向市場。

平面顯示器之技術發展

對於 CRT 所佔的領域，看來將由 LCD 取而代之，對此持懷疑態度的人已越來越少。關於 PDP 所佔的領域，有兩種觀點：一種觀點認為，PDP 與 LCD 各自發揮長處，長期共存，共同發展；另一種觀點認為，由直視型液晶和投影型液晶雙方覆蓋的領域，早晚會取代 PDP。到底朝哪個方向發展，取決於今後的技術進步。

在投影機領域，採用半導體技術製作的 HTPS 與 LCOS 正與 DMD 方式處於競爭之中。在中小型顯示領域，有機 EL 顯示器正在走向實用化，其會蠶食一部分 LCD 的市場。

10.1.3 擴大尺寸的過度競爭將引發結構性不景氣

圖 10-3 表示硬碟記錄密度的技術動向，而圖 10-1 表示液晶螢幕面積的擴大趨勢。如果將圖 10-3 與圖 10-1 相對比，發現二者有驚人相似性。那麼，二者的趨勢代表什麼意義呢？

圖 10-3 表示 HDD 的記錄密度隨時間的推移，從圖中可以看出，HDD 的競爭點是「記錄更多的資訊」，即在激烈的競爭中記錄密度以更快的速度上升。相比之下，圖 10-1 表示顯示螢幕的顯示面積和母板玻璃基板面積隨時間的推移，從圖中可以看出，液晶顯示器的競爭點是「顯示更多的資訊」，為此，各公司紛紛推出更大尺寸尺寸的顯示器。

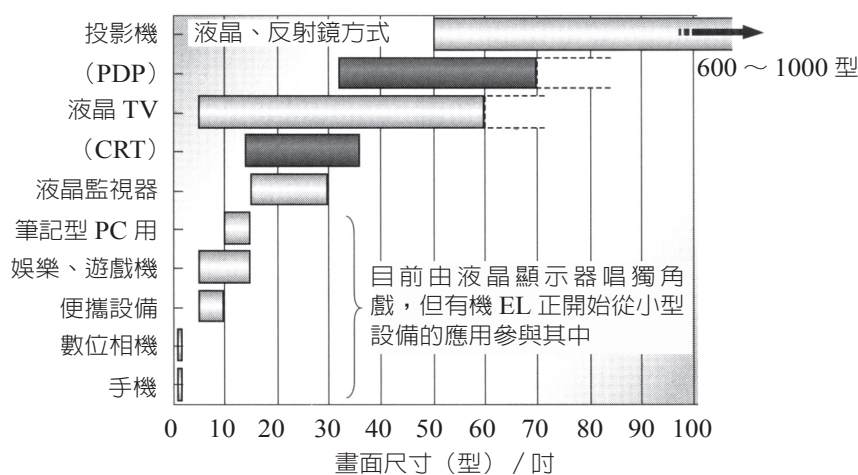


圖 10-2 液晶顯示器的應用與畫面尺寸分布，從小畫面到大尺寸幾乎覆蓋了所有領域

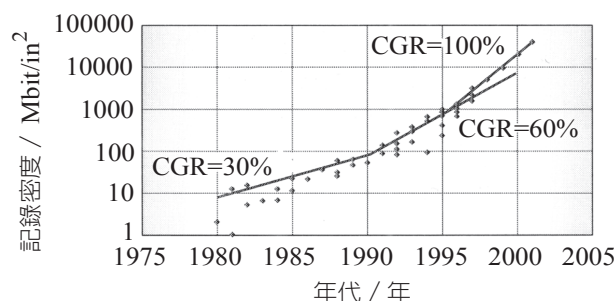
那麼，這種激烈競爭的結果又將如何呢？久保川昇提出「過技術（over technology）引發結構性不景氣」的觀點，現摘錄如下：

「HDD 最大的附加值表現為記錄容量，能比其他公司更早地將大容量製品投入市場，可以獲得更高的超額利潤（pioneer gain）。為此，各個廠商紛紛推出更高記錄密度的產品。在用戶追求更大容量 HDD 的時代，這一競爭的勝者能獲得非常高的利潤；但是，到現在，在 HDD 的容量比用戶所需要的容量增加快得多的時代，即使記錄密度再提高，也往往並不表現為容量的增加，而更追求使 HDD 上搭載的磁頭和其他附件數目更少。」

如果將上述摘錄中的「HDD」換成「液晶螢幕」，將「容量」、「記錄密度」換成「畫面尺寸」，則前半段所講的不正是目前液晶產業的現狀，而後半段所講的不正是今後液晶產業將要面對的問題嗎？

液晶螢幕的大型化，一般是先於市場需求而超前進行的。在這種背景下，作為生產者的液晶螢幕廠商之間展開激烈競爭，以透過更大的畫面尺寸，獲得超額利潤。競爭的結果，畫面尺寸及母板尺寸急劇擴大。

關於今後的液晶螢幕市場，許多廠商瞄準 TV 市場正籌建新的大型基板生產線，並將 50 吋、甚至 80 吋 TV 也納入計畫之中。採用不斷開發成功的最新技術（見第 9 章），製作這類大型液晶顯示器目前看來應該說問題不大。但是，屆時能培育成可消



伴隨 HDD 的激烈競爭，其記錄密度快速提高。到 1990 年前後，年增加率為 30%（10 年 10 倍），20 世紀 90 年代前半期，年增加率為 60%（10 年 100 倍），20 世紀 90 年後半期，年增加率為 100%（10 年 1000 倍），呈加速增加勢態。同半導體積體電路存儲密度每 3 年 4 倍（摩爾定律，年增加率 60%）的增加速度相比，HDD 記錄密度的增加速率更快。

圖 10-3 HDD 記錄密度的推移

化這類大型屏的市場嗎？如果其生產數量大大超過市場需求，勢必造成結構性的不景氣。為了不落入前面談到的「過技術引發結構性不景氣」，不僅要考慮技術的可能性，特別還應考慮市場的成熟度。

10.1.4 功能饑渴狀態下，不斷增加的顯示資訊量

以上透過與硬碟的發展動向類比，討論了液晶顯示器畫面尺寸的發展趨勢。之所以二者的發展趨勢相類似，看來是因為其都屬於資訊處理元件。另一個處理資訊的重要元件是半導體積體電路。

液晶顯示器（特別是 TFT LCD）的製作沿用了積體電路技術中的技術，因此，人們經常對二者的製作技術及產品性能等進行對比討論。下面，針對作為存儲元件的 DRAM 和作為顯示元件的液晶顯示器，以對比的方式，重點討論後者的發展趨勢。

成功描述半導體積體電路發展趨勢的，是著名的摩爾定律。對於 DRAM 來說，如圖 10-4 所示，存儲容量每 3 年增加到 4 倍。而對於顯示元件的液晶來說，也可看出類似的規律。同樣如圖 10-4，液晶的顯示容量為像素數 $\times$ 灰階數。真正意義上的液晶顯示器（特別是 TFT LCD）自上世紀 90 年代起，作為 PC 用顯示器而嶄露頭角，而激烈的產業化競爭也隨之而來。如圖 10-4 所示，液晶的顯示容量，即像素數 $\times$ 灰階數，也同 DRAM 的存儲容量一樣，以每 3 年 4 倍的速度增加。與半導體積體電路類推，上述像素數 $\times$ 灰階數也稱為總比特（bit）數。顯示畫面中製作的電晶體數（等於像素數）與使用每個電晶體寫入像素的灰階數之積，可以看作等同於 DRAM 的積體度。畫素寫入的調灰顯示的資訊，取決於周邊連接的驅動 IC 的比特數。

這樣，一方面在像素數 $\times$ 灰階數不變的前提下，增大尺寸可以降低微細加工的難度，提高觀看者的臨場感和參與感；另一方面，像素數 $\times$ 灰階數即顯示資訊量的增加，可以更加平滑細膩地顯示逼真的圖像。

對於 DRAM 和硬碟來說，為提高「存儲密度」這一功能，一直在進行持續的技術開發。市場對能存儲更多資訊元件的要求是強烈和無止境的。其結果，DRAM 如圖 10-4 所示，其積體度以每 3 年 4 倍的速度提高；硬碟如圖 10-3 所示，其記錄密度以更大的加速度提高。其共同的背景是，相對於「存儲密度」這一功能來說，處於「功能饑渴狀態」。關於功能饑渴，可定義為：電子元件所提供的功能，與系統側（電子

元件的用戶)所要求的水準相比,處於壓倒性不足的状态。

那麼,液晶顯示器的情况又是如何呢?至少可以說,在上世紀 90 年代是處於功能饑渴状态。市場對 PC 用顯示器的要求是,在不斷擴大尺寸的同时,增加像素數(顯示器的顯示規格)與灰階數。為此,生產廠商紛紛加入到競爭之中。在此背景下,顯示螢幕尺寸的擴大、圖像解析度的提高、灰階數的增加成為當時 PC 用顯示螢幕發展的主要潮流。那麼,今後的情况又將如何呢?

上述狀況,因液晶顯示器用途不同存在很大差異。首先,看看筆記型電腦用液晶顯示器,其畫面尺寸呈逐漸增加勢態(見圖 10-1)。目前高端筆記型 PC 搭載的多為 15 型級的顯示器,畫面尺寸與 A4 紙相當,再大造成攜帶不便,失去便攜的意義(與桌面電腦兼用的巨型筆記型電腦的顯示螢幕尺寸有的要更大些)。另一方面,對於決定顯示資訊量的像素數、灰階數來說,其增加的傾向暫時會持續下去,但也並非無限制地增加。顯示器是供人看的,一味追求高性能而跨入超越人感覺的世界,由此造成價格攀升,恐怕難以被人接受。

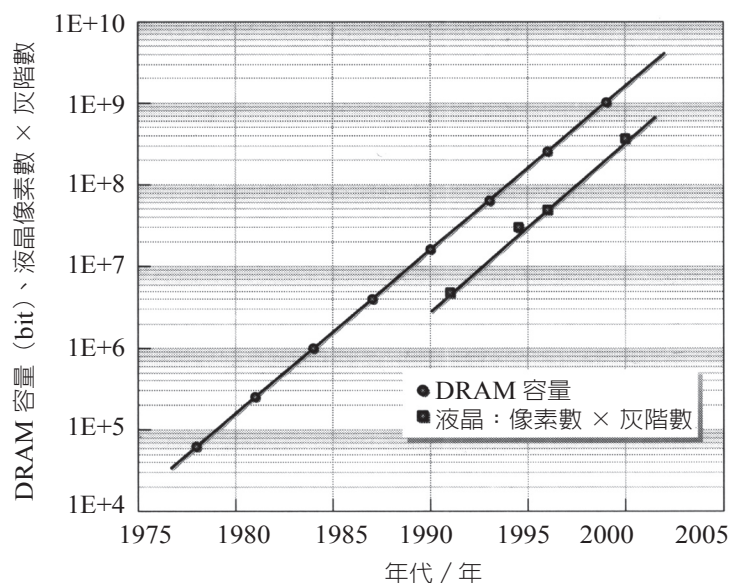


圖 10-4 液晶總比特數(像素數 × 灰階數)與 DRAM 密度發展趨勢的對比(圖中分別按液晶前瞻製品、DRAM 前瞻開發品的參數作圖)

平面顯示器之技術發展

對於監視器用途而言，畫面尺寸仍有進一步增大的餘地。現在的主流機型為 15 ～ 17 吋，但考慮到桌面上的操作性，希望畫面尺寸再大些更好。從生理學考慮，也許以 20 吋為限，但市售產品達到該尺寸領域仍需時日。關於像素數，一般未見到像筆記型 PC 用途那樣的急劇增加的傾向。其背景是，相對於筆記型電腦（沒有 CRT 與之競爭）競爭的重點是高精密度（圖像分辨率），監視器用液晶顯示器與 CRT 競爭的重點是價格。也就是說，在同圖像分辨率較低的 CRT 的競爭中，在畫面尺寸等同的條件下，監視器用液晶顯示螢幕的當務之急是降低價格。

對於 TV 用途而言，為實現置換 CRT 的目標，液晶顯示器的當務之急是降低價格。目前，TV 用液晶顯示器同監視器用一樣，都是在「畫面尺寸」上展開激烈競爭。但是，直視型液晶畫面尺寸的擴大是無限的嗎？答案是否定的。對於數十型以上的超大尺寸來說，投影型佔據優勢。關於「像素數」，目標是達到 HDTV 的水準，但圖像解析度超過播放規格決定的水準，「高精密化」已無差別可言。

如此看來，在上世紀 90 年代 PC 用途中見到的液晶顯示器畫面尺寸擴大、顯示資訊量增加的傾向，按用途不同，今後都會達到頂點。圖 10-4 中所示 DRAM 積體度提高的趨勢已持續了 30 年，在業界的共同努力下，這一趨勢估計還能持續 10 年以上。相比之下，對於液晶顯示器來說，由於加入人的視覺因素，其性能指標依應用目的不同，都會有一定的限制。

可說明這種顯示器性能極限的實例是數位相機。在最初數位相機普及時期，其像素數大致在 30 萬上下，此後在短短的 2 ～ 3 年間，像素數由 200 萬提高到 500 萬甚至 800 萬，目前這種高像素數位相機已達到實用水準。對於一般應用來講，達到這種程度的資訊顯示量也就足夠了。從另一方面講，過高的像素數也有不利的一面，例如，對 PC 來講，為顯示超過 200 萬像素的龐大數據的顯示器，目前並不多見。

10.1.5 共同營造繼續發展的空間

為使今後液晶市場繼續擴大，應該如何做呢？是繼續使目前的功能饑渴狀態繼續下去，還是形成新的功能饑渴狀態？無論哪一種情況，僅靠液晶企業自身的力量是遠遠不夠的。在其周圍構築需要這些功能的環境是極為重要的。

一個例子是 PC 用顯示螢幕的高精密化。按目前的狀況，要求顯示螢幕高精密化

的基礎還不十分健全。例如，管理圖形顯示性能的圖形轉換器（**graphics adapter**）的性能還跟不上液晶螢幕高精密化的速度。為了能夠以高精密化的圖像且動態地顯示電腦模擬及電腦圖形，不僅對顯示螢幕，對整個 **PC** 也提出高性能化的要求。在些基礎上，還需要開發能充分發揮高精密畫面功能的應用環境。只有高精密屏有用武之地，才能激發廠商生產高性能液晶螢幕的熱情。

對於監視器來說也有類似的情況。儘管目前焦點僅集中於畫面尺寸和價格，但一旦同 **CRT** 的競爭勝出之後，新的關注點將是顯示資訊量的擴大，即在液晶的強項上再次發生高精化的競爭。這種局面即將出現，需要共同為此打造基礎。

對於 **TV** 用途來說，以置換 **CRT** 為目標，目前關注的焦點是畫面尺寸和價格，而從以往的經驗看，這最終體現為價格的競爭。另外，從畫面尺寸看，40 ~ 50 吋量級也納入批量生產計畫之中，但更大尺寸尺寸的機型目前還看不出大量需要的市場前景。從技術上講，60 ~ 80 吋超大型螢幕的製作並不存在什麼問題，但若不預先培育這種超大型液晶顯示器的市場，最終存在引起單純供給過剩的危險性。目前看來，扮演液晶成長的畫面尺寸大型化（源於功能饑渴）能繼續延伸，但如果沒有市場期盼的「新的功能」需要的出現，則難以維持其繼續成長。為此，不僅需要液晶廠商的努力，而且需要以高度資訊社會為目標的各行各業的大力支持。

在同 **DRAM** 進行比較時，另一個重要的論據是比例定律（**scaling law**）。**DRAM** 的發展趨勢是由功能饑渴和比例定律共同決定的。液晶的發展趨勢也符合比例定律，但由於其為顯示元件，不象半導體積體電路那樣同價格優勢相關聯（指隨積體度提高，平均每個存儲單位的價格降低）。有關比例定律的詳細討論請見下一節。

10.2 步入成熟期的液晶產業

10.2.1 液晶和半導體各自符合不同的比例定律

半導體積體電路積體度的提高符合摩爾定律，即其容量按「每 3 年 4 倍」的速度提高。這種比例定律（**scaling law**）表示，構成積體電路的元件尺寸隨半導體微細化技術的進步而不斷縮小。上述微細化的定量指標稱為特徵線寬（**design rule** 或 **pattern rule**）。目前產業化水準的特徵線寬已達 130nm ~ 90nm（甚至 40nm）的水準。另

平面顯示器之技術發展

一方面，對於 TFT 液晶的陣列基板工程來說，由於採用了與積體電路製作同樣的技術，從而呈現出與半導體比例定律相類似的發展趨勢。但由於陣列基板是在大尺寸玻璃板上完成微細加工，從而其信號線寬度比積體電路的要寬得多。圖 10-5 表示液晶螢幕信號線寬的發展趨勢，為進行比較，圖中也示出半導體積體電路的特徵線寬。

作為高精密化顯示商品的 TFT 液晶螢幕，到目前為止人們都力求做到像素的高精密化。高精密化意味著使像素尺寸縮小，這需要應對幾個設計上的挑戰。即使如此，對開口率影響很大的信號線線寬的微細化也是極為重要的技術。從信號線線寬的動向看，各個顯示螢幕廠商的設計標準有所不同，但總的說來是按每 3 年 0.65 倍的比例向微細化方向發展。與半導體積體電路的特徵線寬相比，儘管 TFT 的特徵線寬要大一個數量級，但圖 10-5 中兩條曲線的斜率是一致的。如果考慮到製作液晶顯示器採用的是與製作積體電路相同的成膜、曝光、蝕刻技術，則上述的一致性不難理解。

在此必須注意的是，雖說液晶和積體電路微細化技術的動向相同，但二者要實現的目標和效果卻有很大差異。對於半導體積體電路來說，微細化直接體現為積體度的提高。其結果，積體度以每 3 年 4 倍的比率提高。積體度的提高直接使下游用戶受益（體現為性能的提高）。

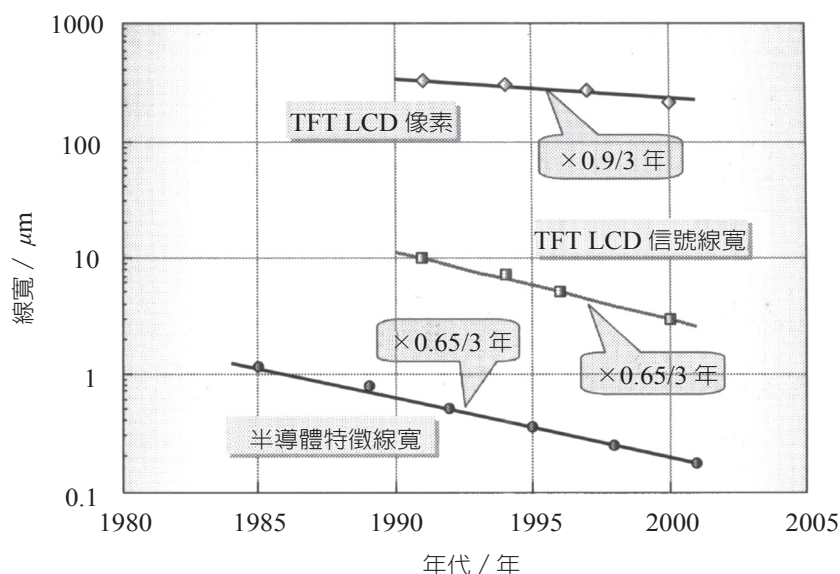


圖 10-5 液晶螢幕信號線寬的發展趨勢