

玻璃基板在各種平面顯示器中擔負的角色及其發展

蕭安政
國立聯合大學材料科學工程學系所暨
光纖及玻璃材料研究中心
兼任副教授

摘要

本文回顧應用於各種平面顯示器的玻璃基板。首先從平面陰極射線管顯示器談起，依序介紹與陰極射線管關聯的真空螢光管(Vacuum Fluorescence Tube; VFT)顯示器、場發射顯示器(Field Emission Display; FED)、電漿放電顯示器(Plasma Discharge Display)和這些顯示器所需要的玻璃基板後，再探討固態電子平面顯示器。所謂固態電子，指的是利用與現代半導體製程的相關技術，將顯示器所需要的各種元件製作得非常精巧，而達到輕、薄、短、小的功能，而陣列顯示器是固態電子顯示器的主要成員之一。除了介紹被動與主動陣列的液晶顯示器外，並從玻璃基板的觀點來考量相關製程技術的需求，且提出應用於薄膜電晶體液晶顯示器(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display; TFT LCD)玻璃基板的規格要求，和電致光平面顯示器所需玻璃基板的特性。同時指出將週邊電路整合到固態電子顯示器上是新技術發展的必然趨勢。希望能從玻璃材料的觀點，提出因應平面顯示器發展的看法。

關鍵詞

玻璃基板(Glass Substrate)、平面顯示器(Flat Panel Display; FPD)、液晶顯示器(Liquid Crystal Display; LCD)、固態顯示器(Solid-state Display)

簡介

玻璃材料的用途隨著時間的推移，其所強調的應用特性也有所不同，從早期剛發現時用於裝飾，而後

逐漸成為生活必須的日常用品，也隨著工業時代的來臨，被大量應用在工業用途上；進入資訊通訊的紀元後，更加廣泛應用到光學和消費性電子產品。本文將就本紀元最重要的電子顯

示器作介紹。

談到電子顯示器，首先直覺的反應是陰極射線管，該產品獨領顯示器技術超過半個世紀，直到最近10年其霸主的地位才稍微有些鬆動，尤其是最近5年內新平面顯示器的應用持續擴大，展望未來10年內，將以極快的速度取代陰極射線管。

平面陰極射線管

陰極射線管(Cathode Ray Tube; CRT)⁽¹⁾因為體積大而且笨重，長久以來就是其泛用性的阻礙。雖然陰極射線管的厚度，隨著電子偏向的角度而逐年變薄，卻仍無法達到厚度小於5公分左右的真正平面元件之條件。因為先天上的限制，雖然曾先後推出許多平面陰極射線管顯示器的實驗模型，但是到了1997年，當日本松下和荷蘭飛利浦，都相繼減少研發相關的原型機後，使得更新陰極射線管顯示器的發展幾乎面臨停頓，然而2004年7月韓國SDI宣佈開發出薄型的CRT，讓停滯許久的映像管，再度為消費者所關注。

顯示器根源於陰極射線管，而陰極射線管需要玻璃面板(Panel)、錐管(Funnel)、錐管頸部(Neck)與電子槍基座(Base)和熔封膠(Frit)，以組合成真空管。表一中列出面板、錐管、頸部與基座典型的化學組成及其重要特性以供參考。

從表一中不難發現，陰極射線管玻璃分為兩大類：應用於面板為不含鉛成份的玻璃；而用於錐管部分的玻璃，需要能夠屏蔽電子槍所發出的輻

▼表一 彩色映像管所用玻璃材料的組成與重要特性

單位：重量百分率wt%

| 氧化物 | 不含鉛面板 編號 9082 | 含鉛面板 編號9062 | 錐管 編號0138 | 管頸 編號0149 | 基座 編號0120 |
|---|------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| SiO ₂ | 60 | 62 | 54 | 48 | 56 |
| Al ₂ O ₃ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Na ₂ O | 8 | 7 | 6 | <1 | 4 |
| K ₂ O | 7 | 9 | 8 | 12 | 9 |
| MgO | <1 | <1 | 2.5 | 0 | 0 |
| CaO | 1 | 2 | 3.5 | 0 | 0 |
| SrO | 9 | 9 | <1 | 3 | 0 |
| BaO | 9 | 6 | <1 | 3 | 0 |
| PbO | 0 | 2 | 23 | 31 | 29 |
| ZrO ₂ | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ZnO | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| TiO ₂ | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 |
| CeO ₂ | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0 | 0 |
| Sb ₂ O ₃ | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.6 | 0.5 |
| Co, Ni | Trace | Trace | Trace | 0 | 0 |
| Coefficient of Thermal Expansion (0-300°C), 10 ⁻⁷ /K | 97.2 | 98.8 | 97.0 | 97.5 | 89.5 |
| Strain Point, °C | 483 | 463 | 435 | 428 | 395 |
| Density, g/cm ³ | 2.788 | 2.743 | 2.980 | 3.275 | 3.050 |

資料來源：Handbook of Ceramics, Glasses, and Diamond, 2001

射，因此含有鉛成份，這包括錐管、錐管頸部與電子槍基座三部分。該玻璃是由傳統的鈉鈣矽玻璃中所發展出來的，其中添加約2%左右的氧化鋁，主要是增加該玻璃的耐化學特性，鹼金族氧化物的含量約在13~16%之間，其中以氧化鉀來取代部份氧化鈉，目的是利用混鹼金族離子效應 (Mixed Alkali Effect)來提高該玻璃的電氣特性。值得注意的是，對面板而言，鹼土族金屬氧化物的比率約在17-20%左右，其中以大量的氧化鋇來取代氧化鈣，這與利用混鹼金族離子效應有異曲同工之處，即所謂混鹼土金族離子效應在提升該玻璃的電氣特性的同時，也增加其捕捉電子的能力。而面板與錐管的組成中添加一些氧化鋇以取代氧化鉛。然而在錐管頸部、電子槍基座無可避免地使用含鉛量高的玻璃組成以屏蔽輻射。在面板、錐管和錐管頸部添加一些調整顏色的微量氧化物，並以三氧化二砷作為澄清劑。

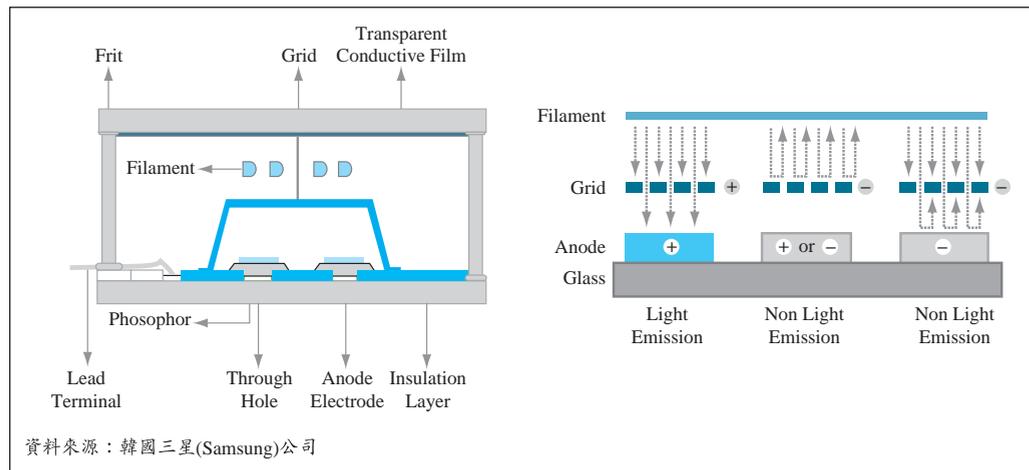
除了電子槍基座玻璃的膨脹係數因需與金屬材料搭配，而相差較大外，其餘的膨脹係數皆很相近。應變點也是隨面板、錐管、頸部至電子槍基座，即製程的先後順序而依序下降。該玻璃的密度也是隨氧化鉛含量的增加而增加。

真空螢光顯示器

真空螢光顯示器(Vacuum Fluorescent Display; VFD)於70年代中葉開始發展，應用於電子計算機，藉由與螢光粉廠商的合作而於80年代達到彩色化。VFD是一種自發光源的元件，其工作的原理與陰極射線管相似，是陰極射線管的改良，請參見圖一。該顯示器主要是利用熱陰極取代掃描的電子束，來點亮址列的畫素。此產品經過驗證，是最佳的平面陰極射線管，也因為產品不但明亮、堅固且價格不高，適用於汽車上。

從圖一中不難發現，該顯示器與

► 圖一 真空螢光顯示器的結構剖面圖



陰極射線管相似的部份；其中不同的部份是以透明的導電膜來驅動Filament成為熱陰極以發射電子，這個真空細胞(Cell)與陰極射線管相似，都需要以玻璃材料與熔封膠做成真空裝置以利放電。

場發射顯示器

場發射顯示器(Field Emission Display; FED)是一種正在發展中的平面顯示器，它是另一種類型的真空螢光顯示器，是利用冷陰極作為其光源，因可能取代傳統陰極射線管顯示器而受到關注，其中較熱門的研究主題為奈米碳管場發射顯示器(Carbon Nano Tube Field Emission Display; CNT FED)，它是屬於一種自發性光源，工作原理如圖二所示，與陰極射線管的工作原理非常相似：螢光體在真空的狀態下受到移動中電子的撞擊而激發；不同的是，陰極射線管利用單一電子槍發射電子，而場發射顯示器是使用數以百萬計陣列的微光學電子發射陰極來發射電子。場發射顯示器的特色是高亮度、高效率、廣視角、應答速度快和完美的色彩品質，從另一角度而言，是一種平面、薄型和低耗電的陰極射線管。

從圖二中可以觀察到，場發射顯示器也必須利用玻璃所構成的真空細胞。其中比較特殊的是冷陰極驅動電路的設計，是由光顯影與薄膜製程所做成的細微電路所控制。為數眾多的

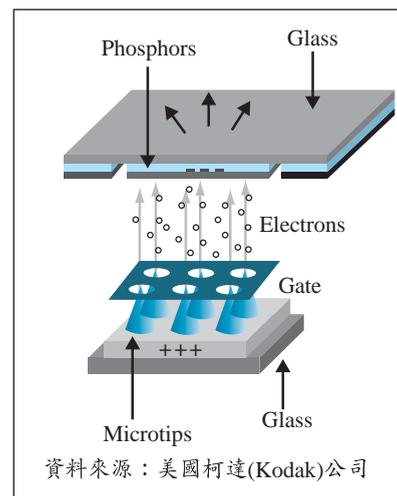
微光學在真空狀態下，由冷陰極發射電子通過閘極撞擊螢光粉而生影像。

從以上的說明可得知，真空螢光與場發射這兩種平面顯示器所使用的玻璃材料，和傳統的陰極射線管所使用的玻璃材料類似，都是屬於鈉鈣矽玻璃的一種，會因該顯示器製程的需求來修改玻璃的組成，或是透過表面改質的方法，達到產品需求。

電漿放電面板

電漿放電面板(Plasma Discharge Panel; PDP)，也是屬於平面顯示器面板的一種。雖然該面板也是屬於真空顯示器的一種，但其作動不採用電子束，而是在密閉的空間中充滿稀有氣體，在減壓的情況下，位於兩電極之間的稀有氣體，利用電極間的電壓差產生電漿來作動。

電漿顯示器面板的結構可以從圖三看出，該顯示器是由上下兩塊玻璃基板所構成。在上基板上依序製作透明電極、Bus電極、介電層與保護層；下基板上則製作址位電極(Address Electrode)、介電層、障壁排(Barrier Ribs)和螢光粉，在將上下兩片玻璃基板熔封之前，先抽真空並灌入鈍氣放電氣體。經由



▲圖二 場發射顯示器的結構剖面圖

放電產生紫外線，在紫外線撞擊螢光粉後放出可見光。對該種顯示器而言，可能採用玻璃材料的部分為基板、熔封膠和障壁排。就本文所探討的玻璃基板而言，該材料必須能夠在薄膜、障壁排和熔封製作的過程中不會影響到最終產品的品質。因此，需將高應力點、耐化性和膨脹係數的特性列入考慮。

電漿所產生的放電，可以直接觀看或者是用來產生紫外線。所產生的紫外線可以用來活化彩色螢光粉，而產生出全彩所需的紅色(Red, R)、綠色(Green, G)和藍色(Blue, B)這三種原色。由於電漿放電顯示器具有產生全彩的能力，使得該項技術成為大型面板顯示器的最佳候選。

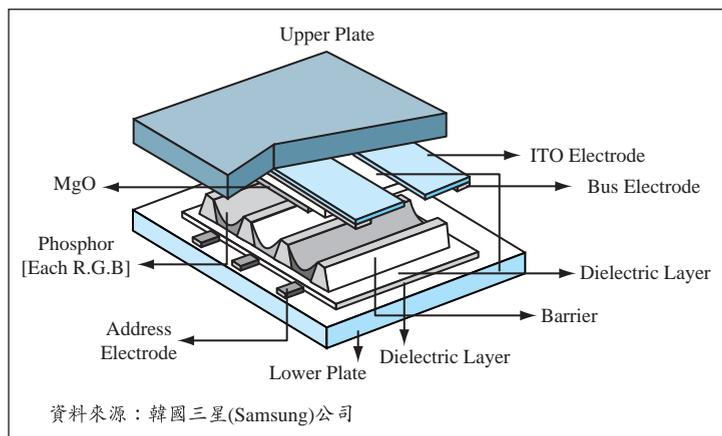
PDP主要應用在大尺寸面板，指對角線超過40英寸，像是壁掛電視。PDP最先使用的是改良的鈉鈣矽玻璃，該玻璃的應變點約為515°C，利用浮式技術生產而得，因此可以省略最

後的拋光工程。現在已經發展出應變點高於610°C，且膨脹係數為 $83 \times 10^{-7}/K$ 的玻璃，以紓緩暴露在攝氏600°C下，所發生的收縮和熱彎曲變形的問題。筆者先前對平面顯示器技術所需要的玻璃基板，和相關的成型技術有過諸多的探討，其詳細的內容請參閱參考文獻13~26。

固態顯示器(Solid State Display)^(2,6-8)

以真空為基礎的顯示器，終究無法滿足因計算機工業持續性成長下，所創造出對平面顯示器的需求。因為該需求必須符合輕量、低能耗、可攜帶且厚度小於3公分以下的顯示器元件。電子材料固態化的革命，已經確認能滿足這項元件的需求。早期對電致光顯示器(Electroluminescence; EL)所作的努力，現在已經轉換成光產生陣列顯示器(Light Emitting Matrix Display)。這陣列的本身就是所排列的每一個畫素，其係一種在真空狀態下，利用薄膜沉積的技術，在玻璃基板上建構電容器的結構。起初使用不含鈉離子玻璃，採用編號7059的鋇鋁硼矽酸玻璃，來作為透明的機械支撐。這種玻璃現在已經被專為液晶顯示器用途，發展出具有更高應變點諸如1737、NA100、OA-10或NA35的平板玻璃所取代⁽⁹⁻¹²⁾。

Brody在60年代末期，發展出主動版的陣列顯示器⁽¹⁾。在該元件中每一個



▲圖三 電漿放電面板的結構剖面圖

交叉點都含有一個開關，以增加輸出應答的非線性性質。這些開關是利用複合半導體薄膜所製造出的薄膜電晶體(Thin Film Transistors; TFTs)^(6,7,8)。Brody極具影響力的研究，是主導平面顯示器發展的主要技術，尤其是主動陣列液晶顯示器的關鍵發展，因為從90年代起該項技術使電致光和液晶顯示器這兩項顯示技術得以實現。

液晶是物質的特殊狀態，從物理的觀點上看來，其行為像是液體，但在X射線照射下，卻顯現出結晶固體的特性繞射圖譜。液晶材料的光學和電學特性，使這些物質能廣泛地應用在顯示器上。因為透過合成有機化學的方式，使得修改液晶到創造出許多特性的組合，而達到最適化的應答功能，幾乎有無限的可能性。簡單的液晶顯示器是 α -numeric和被動顯示器的應用，例如手錶、計算器和電腦。然而，如果要全彩和影像等級的平面顯示器，就需要使用到主動陣列型。

陣列顯示器 (Matrix Display)

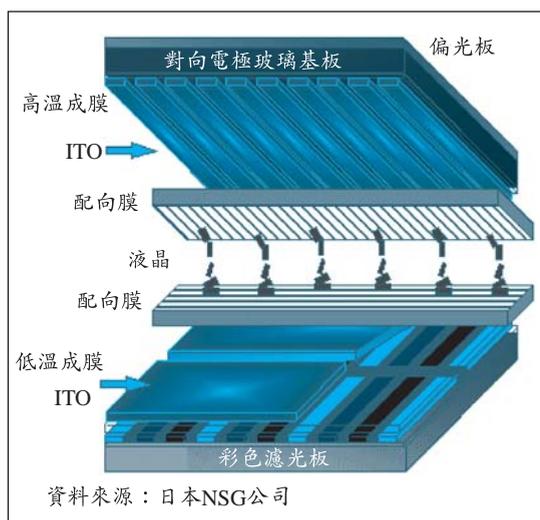
平面顯示器址列陣列中，呈現每一個畫素(Pixel)或稱為顯像單元的方法，與陰極射線管不同。在陣列中，沿著x軸的線路和沿著y軸的線路，會形成交叉，這兩者所形成的交叉稱之為畫素。因此每一個畫素能用一半的電壓，在正確的交叉點達到活化也就是on的動作，而完成啟動該畫素的目

的。這個陣列可以是簡單的被動式陣列，也可以是對每一個交叉點作開關控制的主動陣列。

一、被動陣列液晶顯示器

平面顯示器的對比，主要是隨觀察者能分辨個別畫素的能力而決定。當利用x和y導線，在這些導線施加電壓，而打開特定的畫素時，重要的是鄰近的畫素仍能維持關的狀態。然而在真實的顯示器上，游離的電壓的確出現在這些畫素之間。圖四為典型被動式液晶平面顯示器(Passive Matrix Display)的剖面圖。

因此對顯示器元件而言，具有非線性的輸出是很重要的。換句話說，為了觀察所要的應答，必須施加克服電壓(Threshold Voltage)。電致光和液晶顯示器都有這樣的特點。因此早期的陣列平面顯示器是被動陣列，這些



◀ 圖四 被動液晶顯示器的結構剖面圖

顯示器的尺寸都很小，對相關的應用來說可以滿足需求。

這些顯示器所使用的玻璃，是用浮式法所產製的鈉鈣矽玻璃。早期引進這些玻璃作為顯示器用途，主要還是成本的考量。因為和硼矽酸玻璃比較起來，其成本顯得很低廉。然而，在成功的達到液晶顯示器前，卻有許多主要的問題尚待解決。

早期的顯示器是在高溫下使用玻璃熔塊(Glass Frit)，將顯示器氣密地封裝起來，這樣可以保護顯示器內部，免於受到水氣的侵襲。隨著顯示器尺寸的不斷增大，熔塊封裝的加溫時間，因為平板玻璃的翹曲(Warpage)，而變得愈來愈困難。

取而代之的是，採用環氧樹脂以降低熔封的溫度，但是卻衍生出新的問題—水氣，即水氣進入液晶，而在使用的過程中造成顯示器的退化。顯示器中的薄膜，因為電解(Electrolysis)而逐漸受到摧毀。這主要是顯示器中來自水氣的氫離子，與來自玻璃的鈉離子，產生離子交換，而造成液晶中有移動的離子，因為這些離子的移

動，促發薄膜的電解。這些溶液也可能會與其他的薄膜發生反應而衍生出其他的問題。克服的方法是：在一般的鈉鈣矽玻璃表面上鍍上厚度約為100nm的二氧化矽薄膜(SiO_2)，以阻絕鈉離子和氫離子間的交換。這樣鍍膜，可以直接在浮式生產線上作業，也可以隨後鍍上。浮式製程是採用在熔融的液態錫上，連續形成玻璃帶以生產平板玻璃的方式，其玻璃板的寬度約為3公尺，長度隨著切割的方式可以隨意改變，玻璃的厚度變化在 $\pm 0.1\text{mm}$ ，因為是浮在液態錫上很平，所以翹曲可以忽略，玻璃細條紋的高度小於 $0.1\mu\text{m}$ 。該玻璃能直接應用於TN和STN的被動液晶顯示器，顯示器兩片玻璃基板間的間隙約為 $5\sim 10\mu\text{m}$ ，玻璃的細條紋缺陷必須控制在小於 $20\sim 30\text{nm}$ ，否則玻璃無法容得下製造液晶顯示器所產生的缺陷，而必須要再經過拋光加工^(3,4,5)。表二中，列出以浮式法製造被動液晶顯示器所用鈉鈣矽玻璃的主要製造商。

TN/STN玻璃基板一般是利用浮式法技術所成形的超薄平板玻璃，其通用型不需要經過額外的表面處理即可用來製作TN型液晶顯示器；品質較好的標準型產品或更高等級的產品，包括研磨和研磨替代等級的產品，可應用於對於公差要求更嚴格的STN型液晶顯示器的玻璃基板，請參考表三與表四。

從玻璃製造過程中可知，當玻璃

表二 生產鈉鈣矽平板玻璃並用於顯示器需求的製造商

| 亞洲 | 歐洲 | 美國 |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| Asahi Glass | Pilkington Glass | Libby Owens Ford |
| Nippon Electric Glass (NEG) | Schott Glass | |
| Nippon Sheet Glass (NSG) | Saint Gobain | |
| Hoya | Glaverbell | |
| | Flachglas | |

資料來源：“Handbook of Ceramics Glasses and Diamond” (2001)

仍在浮式床室內，直接在熱玻璃板鍍上機能性薄膜的方式，不但可以擴展平板玻璃應用的領域，而且相當具成本優勢。玻璃板經過鍍膜後，可以創造出許多新的產品。舉例來說：液晶顯示器二氧化矽的障壁層、顯示器和建築玻璃鍍上像是氧化錫參雜氟化物的透明導體或是用於建築玻璃的黑色玻璃作為光吸收薄膜等。

二、主動陣列液晶顯示器

大尺寸平面顯示器的需求，其影像應答的速度，必須與陰極射線管影像應答的速度相當，然而歸因於區塊驅動的被動式顯示器其相鄰畫素間高程度的Cross Talk，是應答速度無法符合要求的瓶頸。也就是被動液晶顯示器非線性應答已經不符合需求，其改進的方法是在每一個畫素裝上開關，來解決Cross Talk的問題。從微電子學的觀點看來，有好幾種可利用的開關技術，是可以藉由薄膜和光微顯影的製程技術，來製造所需要的電容開關。例如已經嘗試過金屬-絕緣體-金屬元件(Metal-insulator-metal Device; MIM)、二極體(Diode)和電晶體(Transistors)。因為薄膜電晶體表現得最好，所以多被採用在大部分主動陣列的應用上。圖五為主動陣列液晶顯示器(Active Matrix Liquid Crystal Display; AMLCD)的結構剖面圖。

Brody對複合半導體薄膜電晶體的

表三 TN/STN玻璃基板材料特性

| 項目 | 規格 |
|---------------------------|-------------------------|
| 熱膨脹係數 | 90E-7/K |
| 應變點(Strain Point) | ~505°C |
| 退火點(Annealing Point) | ~545°C |
| 玻璃轉移溫度(Tg) | ~550°C |
| 假想溫度(Fictive Temperature) | ~565°C |
| 降伏點(Mg) | ~610°C |
| 軟化點(Softening Point) | ~730°C |
| 密度(g/cm ³) | ~2.52 |
| 楊氏係數 | 7300kgf/mm ² |
| 維氏硬度 | 548 kgf/mm ² |
| 莫氏硬度 | ~6 |
| 體積抵抗率 | 8.72~10 Ω.cm (150°C) |
| 誘電率 | 8.25 |
| Loss Tangent | 0.0086 |
| 折射率 | ~1.52 |
| 穿透率 | ~90.0 % |
| 熱傳導度 | 0.68 kcal/(m.hr.K) |

資料來源：日本板硝子技術資料

表四 TN/STN玻璃基板的尺寸規格

| 厚度(mm) | | 通用型 | 標準型 | 高級型 | 研磨玻璃 |
|-----------|------|------------|--------|--------|-------|
| | | GE | ST | EX | |
| 厚度公差 | 1.10 | ± 0.10 | ± 0.05 | ± 0.05 | ±0.05 |
| | 0.70 | ± 0.10 | ± 0.05 | | ±0.05 |
| | 0.55 | | ± 0.05 | | ±0.05 |
| | 0.50 | | ± 0.05 | | ±0.05 |
| | 0.40 | | ± 0.05 | | ±0.05 |
| 表面凹凸 | 1.10 | 0.25(0.20) | 0.15 | 0.08 | 0.05 |
| (MAX) | 0.70 | | 0.20 | | 0.10 |
| (μm) | 0.55 | | 0.25 | | 0.20 |
| cut-off | 0.50 | | 0.25 | | 0.20 |
| 0.8-8.0mm | 0.40 | | 0.30 | | 0.20 |
| 或者 | 1.10 | 0.15 | 0.15 | 0.10 | 0.15 |
| (%) | 0.70 | 0.20 | 0.15 | | 0.15 |
| | 0.55 | | 0.20 | | 0.20 |
| | 0.50 | | 0.20 | | 0.20 |
| | 0.40 | | 0.20 | | |

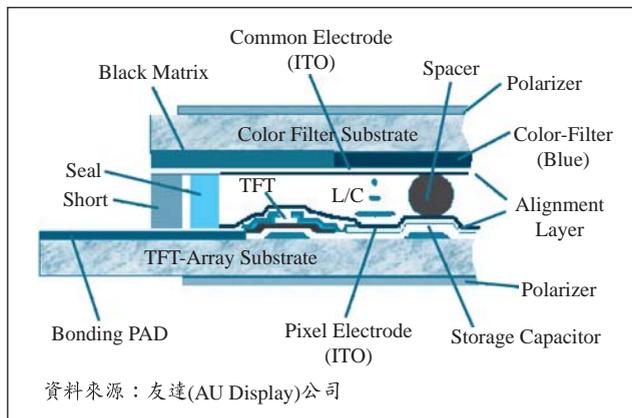
資料來源：日本板硝子技術資料

早期研究，導致近來建構於矽薄膜電晶體主動陣列的發展。低溫的製程係利用非晶矽薄膜(α -Si:H)作為半導體，然而另一種類型是在比較高溫度下，建構性能更好的複晶矽薄膜(Poly-Si)。表五中比較各種不同製程的最大溫度、電子移動率和指出適合該製程的玻璃基板。電子移動率是作為薄膜電晶體性能參考的依據，該數值愈高愈好。

薄膜電晶體中，鈉的污染會導致電氣特性的不穩定性。因此，基於這樣的理由，製造主動陣列顯示器時，即要避免使用鈉鈣矽玻璃。即使具有

二氧化矽障壁層，在較高的程序溫度下，鈉離子還是有可能從玻璃基板逃到相鄰的薄膜。硼矽酸玻璃的特性，比鈉鈣性玻璃的特性好很多。因為硼矽酸玻璃能做為鈉離子的攫取者，而純化沉積在它們上面的二氧化矽障壁層。當然，不含鈉且高溫熔融二氧化矽，對主動陣列液晶顯示器而言，是最理想的玻璃基板，但目前因為作成大面積平板的玻璃基板，要花費高昂的成本，而無法達到規模經濟。其他的材料，像是透明玻璃陶瓷，來取代熔融二氧化矽，作為高溫的基板也有其可行性⁽¹⁾。

以鈉鈣矽玻璃為起點，所發展出的浮式技術，其所生產的平板玻璃佔全世界平板玻璃的絕大部分。一般人認為，生產硼矽酸玻璃需要採用不同的方式，希望在不需拋光的情況下，將玻璃熔體轉化為高品質的平板玻璃。其中美國康寧公司，發展出所謂的熔融溢流下拉法。這個程序在美國專利中有詳盡的描述。利用這個程式可以產製表面特性極佳的超薄平板玻



資料來源：友達(AU Display)公司

▲圖五 主動陣列液晶顯示器的結構剖面圖

表五 主動陣列液晶顯示器的最大製程溫度、電子移動率和適合的玻璃

| 半導體類型 | 最大的製程溫度 (Max. Process Temp., °C) | 電子移動率 (Electron mobility, $\text{cm}^2/\text{V/s}$) | 適合的玻璃基板 |
|----------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 非晶矽(α -Si:H) | 400 | 1 | 退火過的7059,1737 |
| 利用熱處理得到的複晶矽 | 600 | 10~50 | 1737, Eagle 2000, NA35, OA-10, AN100 |
| 利用雷射退火得到的複晶矽 (低溫複晶矽) | 450 | 100 | 1737, Eagle 2000, NA35, OA-10, AN100 |

資料來源：參考文獻(2,6~8)暨筆者整理

璃。該方法是在使液態玻璃膏固化成玻璃板的過程中，且其表面除了空氣外，不會與任何的液體或固體接觸，所以可以得到兩面僅與空氣接觸的自由表面。這些原始玻璃表面，是經過拋光後之玻璃平整性的兩倍。

表六列出主動陣列液晶顯示器所用玻璃基板的製造商和相關的特性。從表六可以看出，第一代利用熔融溢流法所生產編號7059的玻璃，因為需要經過退火，只適合早期製造主動陣列液晶顯示器的要求。1994年推出編號1737F的產品、2000年推出Eagle 2000，而其他日系製造商亦推出同等級的玻璃基板來參與競爭^(9~12)，目前適用於主動陣列液晶顯示器的玻璃基板彙整如表五所示。從玻璃基板的發展看來，最終的想法是，採用浮式技術，來生產適合複晶矽薄膜電晶體所需要的硼矽酸玻璃⁽⁴⁾。對主動陣列液晶顯示器的製造商而言，以浮式技術所生產的玻璃，需要作最後的拋光，才能符合需求。所以目前商業化的產品中，主要是利用熔融溢流法和浮式法生產，以供應平面顯示器所需要的玻璃基板。

對應用於主動陣列液晶顯示器的玻璃而言，有一些玻璃的性質是相當關鍵的。現在將這些材料的特性彙整

表六 主動陣列液晶顯示器所用玻璃基板的製造商和相關的特性

| 製造商及商品名 | Corning 1737F | Corning Eagle 2000 | NHTechno NA35 | NEG OA-10 | Asahi AN100 |
|--|------------------|-----------------------|------------------|--------------|----------------|
| 應變點(Strain Point, °C) | 666 | 666 | 650 | 651 | 670 |
| 退火點(Anneal Point, °C) | 721 | 722 | 700 | 703 | 720 |
| 密度(Density, g/cm ³) | 2.54 | 2.37 | 2.48 | 2.51 | 2.51 |
| 膨脹係數(CTE (0-300 °C), 10 ⁻⁷ /K) | 37.8 | 31.8 | 36.5 | 36.6 | 35.5 |
| 楊氏模數(Young's Modulus, (10 ³ Kg/mm ²)) | 7.14 | 7.06 | 7.01 | 7.08 | 7.90 |

資料來源：參考文獻(9~12)暨筆整理

如下⁽¹⁾：

1. 使用溫度要低於應變溫度 25°C；這取決於所選用的TFT製程，請參考表五和表六。
2. 尺寸的安定性：以製造TFT時，所使用最高的程式溫度，並將玻璃基板維持在該溫度下1小時後，所量得的收縮要小於百萬分之一（光罩步進機最高能補償40ppm）。因為利用光微顯影製程製造TFT時，對位元是非常關鍵的，這同時也使用的溫度息息相關。
3. 密度：因為和製造的效率及最終產品的重量有關，所以密度愈小愈好。
4. 耐化學性：能夠耐光微顯影製程所使用的化學藥劑，這和化學槽的污染有關。
5. 熱膨脹係數：對將周圍電路組裝在玻璃上，即所謂晶片組立在玻璃上而言，和晶體矽 $35 \times 10^{-7}/K$ 的熱膨脹係數吻合，同時和鈉鈣矽玻璃比較起來，能夠提供最佳的耐熱性能。
6. 楊氏模數：越高的楊氏模數，

可以在加工處理的過程中，得到越少的熱彎曲變形。熱彎曲變形的問題，會隨著使用玻璃基板的尺寸愈大而變大，衍生出的問題也越來越嚴重。

7. 表面平整度：在1mm的距離內，因為細條紋所造成的波峰與波谷的距離要小於0.02 μm ，且在25mm的距離內，其變化要小於3.5 μm 。

8. 玻璃板的平坦度：在400mm的距離內，翹曲要小於0.5mm。

9. 玻璃板的厚度：公稱尺寸容許度為 $\pm 10\%$ ，在400mm的距離內要小於50 μm 。

10. 缺陷：玻璃內部的氣泡和結石必須小於0.1mm，表面的抓痕和污點在1500到10000流明(Lux)的照射下，眼睛必須無法察覺，這依玻璃基板的品質而定。

11. 強度：斷裂是因為缺陷而引起的。折斷前的切割，可以產生許多邊緣缺陷。可以發現，被動式液晶顯示器所用的鈉鈣矽玻璃，比主動陣列液晶顯示器所用的硼鋁矽酸鹽玻璃，有更多的缺陷。

從相關的規格來看1737F與Eagle 2000 (表七) 間的差別，整理如下所述。

(1)尺寸加大：1737F最大的尺寸為適合用於第四代的基板，即730 \times 920 mm，而Eagle 2000則鎖定在玻璃基板大於1平方米的第五代的TFT LCD生產線，即1100 \times 1250 mm或是1200 \times 1300 mm。

(2)Eagle 2000並未開發低溫複晶矽(Low Temperature Polycrystalline

Silicon; LTPS)液晶顯示器所需的玻璃基板，也就是無該玻璃經退火過後的相關資訊，主要是受限於技術的瓶頸與市場的需求，因為目前的低溫複晶矽液晶顯示器主要是集中在中小尺寸，且尚處於開發階段，市場未達到相當的量，且因1737F即可達到所需要的要求。

(3)厚度更薄：Eagle 2000比1737F的厚度更薄，從0.7mm降到0.5mm，仔細觀察其規格可以發現，當厚度到達0.5mm時，其公差降反升，這隱含其製程可能已經到達熔融溢流下拉法成型技術的極限。Eagle 2000的厚度應該是在0.6mm左右，因為就目前的TFT LCD生產線，不管是第3代、第3.5代、第4代等，絕大部分都採用0.7mm厚的玻璃基板，考量TFT LCD的製程條件與材料技術，筆者相信面積更大且厚度更薄的最佳組合，應該是面積在1300 \times 1300 mm與厚度在0.6 mm的玻璃基板。

電致光顯示器

電致光顯示器(Electroluminescence; EL)，是從有機或是無機薄膜的畫素中，採直接發射光；而不像液晶顯示器是變換反射光或是穿透光。請參考圖六。無機電致光顯示器存在已有多年，但是仍然受限於藍色螢光粉的低效率。最近日亞藍光技術的突破，可能促使電致光顯示器有更大且快速地發展。有機發光二極體(Organic

表七 Eagle 2000顯示器及玻璃基板的尺寸規格

| Product Description | 5K lux Unannealed | 10 K lux Unannealed |
|---------------------------------------|---|-----------------------------|
| Dimension Criteria | | |
| 1. Maximum Size | 1100×1250 mm | |
| 2. Length/Width Tolerances | ±0.20(≤400) mm | ±0.20(≤400) mm |
| | ±0.30(≤470) mm | ±0.30(≤470) mm |
| | ±0.35(≤500) mm | ±0.35(≤500) mm |
| | ±0.40(≤650) mm | ±0.40(≤650) mm |
| | ±0.50(≤1000) mm | ±0.50(≤1000) mm |
| | ±0.60(≤1200) mm | ±0.60(≤1200) mm |
| 3. Thickness | 0.7±0.03 mm | 0.7±0.03 mm |
| | 0.635±0.03 mm | 0.635±0.03 mm |
| | 0.6±0.03 mm | 0.6±0.03 mm |
| | 0.5±0.05 mm | 0.5±0.05 mm |
| 4. Thickness Deviation | ≤ 15 μm | |
| 5. Edge | Radius Edge with a Bevel Width of 0.1~0.6 mm | |
| 6. Corner Cuts | 1.5±1.0 mm | 1.5±1.0 mm |
| 7. Orientation Corner(s) | Retangles | 4×4±1.0 mm |
| | Square | 2±1.0×5±1.5 mm |
| 8. Squareness | ≤ 0.15% of the Longer Substrate Edge | |
| 9. Streak (Pattern Surface) | Maximum Height or Depth will be < 0.1 μm / 2 mm | |
| 10. Warp (Longer Edge) | ≤400 mm | ≤0.40 mm |
| | >400 mm | ≤ 0.1 % |
| 11. Waviness | Cut off: 0.8~8mm | ≤0.07μm |
| | Cut off:0.8~25mm | ≤ 0.35μm |
| Visual Fault Limits | | |
| 1. Scratch & Stain Pattern Surface | None Visible Using 5K lux | None Visible Using 10K lux |
| | Back Surface | No Visible Using 1.5K lux |
| 2. Inclusions | ≤0.1 mm | |
| 3. Edge Chips | ≤0.5 mm | |
| 4. Edge Cracks | None Visible Using 1.5K lux | None Visible Using 1.5K lux |

資料來源：Abstract From Corning Product Information June 2002

Light Emitting Diodes; OLED)是典型利用電致光的原理所發展出來的顯示器，其顯示的原理與液晶顯示器截然不同，可以彌補液晶顯示器的不足。若和以電壓驅動元件的液晶顯示器做比較，OLED是以電流來控制元件。OLED係利用電子和電洞，在各種不同

的染料層中，重新結合以產生紅、綠和藍光。OLED的被動和主動型式，和上面所探討的液晶顯示器，同樣都很有用。因此，LCD和OLED同樣都採用玻璃基板作為元件的載體。不同的是，OLED只需要一片玻璃基板，而LCD卻需要兩片。

有機發光二極體的基本細胞結構如圖六所示。從圖中可以看到，OLED是利用微電子技術在玻璃基板上製作金屬陰極和透明的陽極，而在金屬陰極與ITO玻璃基板中間堆疊有機層所構成的三明治結構。

這層有機層是由電子輸送層(ETE)、有機發射體和電洞注入層(HIL)所構成。當對這細胞結構施加適當的電壓(通常是數個伏特)，所輸入的正負電荷在有機發射層再結合而產生光(電致光作用)。有機層的結構、陰極和陽極的選擇，主要是使在有機發射層中發生的再結合達最大化，因而可以從OLED的元件中輸出最大的光。在有機發射層中利用Doping高螢光分子的方法，使得電致光的效率和顏色輸出的控制獲得顯著的改善。Doping技術是製作彩色發光二極體的關鍵技術，該技術受到美國柯達公司專利保護。

OLED元件所使用的有機材料分為小分子和大分子兩種。使用小分子的OLED元件一般在真空腔體中利用蒸

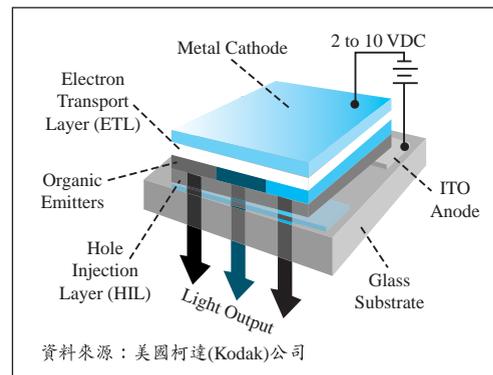
氣昇華來沉積薄膜；使用大分子的PLED元件通常使用溶劑鍍層技術，且該顯示器可分為被動和主動兩種類型。

從使用者的角度來看，玻璃基板的主要功能是作為結構載體、耐刮傷；從製造者的角度來看，玻璃基板必須忍受製程中必然遭遇到的溫度(諸如物理或化學蒸鍍)、化學藥劑處理(例如微顯影製程)、鹼金屬離子的擴散而影響到產品的可信度等。從材料供應者的觀點來看，必須要能因應提供上述種種需求，表八是由法國聖古邦顯示器所發展，可用以作為電致光平面顯示器所用的玻璃基板特性。

CS 77宣稱是專為新顯示器技術所設計的玻璃基板，是利用浮式法技術所生產的平板玻璃。該玻璃具有高尺寸安定性與耐化學藥劑特性，主要是為了克服製作顯示器的製程中，常常必須遭遇到高溫熱循環和蝕刻製程所使用的化學藥劑。而且該材料與鋁的膨脹係數完全吻合，如果有用到鋁框架時採用該材料是最好不過的。和其它具高應變點的玻璃基板比較起來，該材料的密度較低，如果重量是列入考慮的因素，選用該材料可以減少產品重量。

週邊電路

操控平面顯示器面板，需要驅動和位址這兩種電路。對顯示器而言，其重要性和成本約略相同。對LCD和OLED這兩種顯示器而言，採用大量生



▶圖六 有機發光二極體顯示器的結構剖面圖

表八 可用於電致光平面顯示器玻璃基板(CS 77)的特性

| 機械特性 | | | | |
|---|-------------------------|--------|------|--------|
| Density (20°C) | 2.63 g/cm ³ | | | |
| Young's Modulus | 76.6 GPa | | | |
| Poisson's Ratio | 0.222 | | | |
| 熱特性 | | | | |
| Thermal Expansion (25~300°C) | 78E-7/K | | | |
| Heat Capacity | 690 J/kg/K | | | |
| Heat Conductivity | 0.96 W/m/K | | | |
| Softening Point | 832°C | | | |
| Annealing Point | 621°C | | | |
| Strain Point | 580°C | | | |
| 電氣特性 | | | | |
| Log10 Volume Resistivity (250°) | 9.7 | | | |
| Dielectric Constant (1 MHz, RT) | 6.8 | | | |
| Tan Delta (1 MHz, RT) | 0.013 | | | |
| 化學特性 | | | | |
| Alkali Leaching Test (DI H ₂ O, 95°C, 24h) | 0.22 µg/cm ² | | | |
| 光學特性 | | | | |
| Glass Thickness | 6 mm | 2.8 mm | 2 mm | 1.1 mm |
| Transmittance Visible | 89.7 | 90.9 | 91.2 | 91.6 |
| Transmittance at 365 nm | 84.1 | 88.2 | 89.3 | 90.5 |
| Refractive Index at 589.3 nm | 1.53979 | | | |

資料來源：聖古邦顯示器玻璃(Saint Gobain Display Glass)技術資料

產的10~20伏特的積體電路(ICs)，使得上述這兩種顯示器和其他的技術比較起來，擁有極大的競爭性，其他像是電漿和無機電致光顯示器，都需要125~150伏特的電路。

早期的液晶顯示器，其驅動-位址的電路是分開組裝在印刷電路板上。這樣的安排，目的是要讓顯示器面板上的每一個導線，利用電線連接到印刷電路板上，但是眾多的連接線將造成二個主要的問題：其一是製造單一連接器的費用，因為每一連接器的空間只有100µm寬；其二是因為連接失誤所造成的信賴度降低。

未來發展

電子電路技術的下一個變革，是將驅動-位址積體電路晶片直接組裝在玻璃基板上。為了達到此目的，新世代的玻璃基板，如編號1737/Eagle 2000就具有與矽晶圓吻合的熱膨脹係數。積體電路晶片不是利用Flip-chip或是帶狀自動鍵結(Tape Automatic Bonding; TAB)的技術來組裝。混合以上兩種技術，可以得到更精巧的顯示器。

對驅動-位址的電子電路而言，最理想的解決方案，是將它整合在玻璃基板上的薄膜結構中。薄膜電晶體可

以同時製造主動陣列和驅動-位址的電子電路。對投影式的液晶顯示器而言，已經達到商業化的階段，然而小尺寸和1000×1000線陣列，限制了在玻璃基板上交叉的數目。使用熔融的二氧化矽基板，可以利用950~1000°C的製程，來製造高效能的複晶矽電晶體。較大面積顯示器，採用低成本的平板玻璃基板，而該玻璃的應變點，遠低於熔融二氧化矽的應變點。在這個例子中，利用雷射再結晶的製程，可以製造高移動性的複晶矽薄膜，發展更新的顯示器。

平面顯示器的未來，取決於能否成功的整合顯示器面板和驅動-位址電路。這樣可以增加信賴度、減少製造成本，且將導引大面積電子延伸到其他顯示器的應用，例如光學檢知器(Sensors)或微機電(Microelectro-mechanical Devices; MEMs)組件。

結論

資訊、通訊和消費性電子產品其眾多的功能與豐富的內涵，端賴影像顯示器作為與人類溝通的介面。自然是「彩色影像顯示器產業發展推動五年計畫」之重點項目。

參考文獻

1. Bhagavatula V. & Fehlner F. P., "Advanced Applications of Glasses" in "Handbook of Ceramics, Glasses and Diamond", Harper C. A., editor-in-chief, pp7.1-7.33, McGraw-Hill New York, London, 2001
2. Castellano J. A. "Flat Panel Display Handbook" Stanford Resources 1999
3. Kessler Th., Mauch R. H. "Flat Display Glasses"

- Paper presented at 13. Electronic Displays '98, Berlin
4. Kloss T., Lautenschlaeger G. & Schneider K. "Advances in the process of floating borosilicate glasses and some recent applications for specialty borosilicate float glasses" Glass Tech., 2000, 41(6) 177-81
 5. Seward III T. P. & Danielson P. S. "Application for Glasses", Sec. 14 in Engineered Materials Handbook Vol. 4 Ceramics and Glasses, 1015-1103 ASM International 1991
 6. "平面顯示器技術及未來趨勢2001" /石岱勳，李自惠翻譯：成璟文化，臺北，2001
 7. "平面顯示器技術及未來趨勢2000" /何明橋翻譯：成璟文化，臺北，2000
 8. "平面顯示器技術及未來趨勢1999" /何明橋翻譯：成璟文化，臺北，1999
 9. Corning Technical Information
 10. Asahi Technical Information
 11. NEG Technical Information
 12. Nippon Hoya Technoglass Technical Information
 13. 蕭安政 "簡介液晶顯示器所用玻璃基材的發展及其特性" 工業材料154期，109-115頁，1999年10月，新竹
 14. 蕭安政 "玻璃基材應用於液晶顯示器之介紹" 電子月刊54期，132-142頁，2000年元月，臺北
 15. 蕭安政、彭素君 "簡介被動式液晶顯示器玻璃基材" 電子與材料，16期，78~89頁，2002年11月，新竹
 16. 蕭安政 "PDP玻璃基材成型技術之介紹" 工業材料，167期，135~147頁，2000年11月，新竹
 17. 蕭安政 "比較製造平面顯示器用玻璃基材的主要成型技術" 化工技術，90期，184~193頁，2000年9月，臺北
 18. 蕭安政 "TFT-LCD玻璃基材的介紹" 工業材料，162期，115~128頁，2000年6月，新竹
 19. 蕭安政 "新世代TFT-LCD玻璃之介紹" 電子月刊，59期，190~206頁，2000年6月，臺北
 20. 蕭安政 "平面顯示器用玻璃基材的規格、主要成形技術的比較和量產的困難點及其因應的對策" 工業材料，160期，101~109頁，2000年4月，新竹
 21. 蕭安政 "平面顯示器所用玻璃基材性質的介紹及其成形技術的比較" 電子月刊，57期，190~197頁，2000年4月，臺北
 22. 蕭安政 "玻璃基材應用於液晶顯示器之介紹" 電子月刊，54期，132~143頁，2000年元月，臺北
 23. 蕭安政 "簡介電漿顯示器用的玻璃基板" 玻璃材料研討會，陶業學會(2002/1/25 論文集) 187~207，臺北(應邀演講)
 24. 蕭安政、彭素君 "從應用、市場與技術面探討主動式液晶顯示器玻璃基板" 電子與材料，18期，131~143頁，2003年5月，新竹
 25. 蕭安政 "從應用及製程面談如何選擇TFT LCD玻璃基板" 電子月刊，104期，151~159頁，2004年3月，台北
 26. Shiou A. C. "Some technical aspects of glass substrates for TFT applications" Glass Tech., 2003, 44(4) 148-51.