

# 缺陷檢測技術在液晶顯示器製造之應用

## Investigation of Defect Inspection Technology on TFT-LCD Manufacturing

張鈞傑、黃俊堯、鄭晃忠

Jiun-Jye Chang, Chun-Yao Huang, Huang-Chung Cheng

薄膜電晶體是主動式矩陣平面顯示器的重要元件，隨著面板與玻璃基板的尺寸越來越大，製程的穩定性與可靠度是邁入量產技術必須考量的重要因素，本文將以提高薄膜電晶體製程製造良率的觀點，闡述自動化缺陷檢測技術的重要性。在介紹缺陷檢測技術之硬體需求與軟體系統之後，將針對常見的製程缺陷作一個簡單的分類與分析。

The most important components of AMLCD (active matrix liquid crystal display) are TFT (thin film transistor) devices. The manufacturing stability and devices reliability are more and more important when the panels and glass become larger during TFT-LCD fabrication. We indicated the technology of auto defect inspection system for improving the manufacturing yield. After investigating the hardware equipment and inspection methodology of inspection system, we tried to classify the process defects not only on TFT array but also CF processes.

### 一、前言

以薄膜電晶體陣列 (thin film transistor array) 而言，雖然低溫複晶矽 (low temperature poly silicon, LTPS) 薄膜電晶體的元件特性比非晶矽薄膜電晶體優越，然而其製程較複雜卻也是不爭的事實。較複雜的製程除了阻礙面板大面積化的進度，造成生產良率不佳亦是普遍的問題。一般而言，三代或是四代玻璃基板之非晶矽薄膜電晶體面板製造廠的良率約可以維持在八成甚至是九成以上，可是相同的等

級，即使是日本製造低溫複晶矽薄膜電晶體 (LTPS TFT) 面板的領導廠商 Toshiba 也是在經過了漫長的研發與製程突破之後，才能有將近七成的良率與量產化的實現。由此可見，如何提高良率來降低製程成本，是現階段面板製作大面積化的重要課題。

面積越大的面板 (如：液晶電視) 與製程精密度越高的設計 (如：LTPS TFT array)，都在考驗製程的水準與穩定度，圖 1 為薄膜電晶體陣列製造過程中所發生之缺陷示意圖，由圖可以看到製程中會有許多不同的缺陷產生，有的會造成訊號失真，

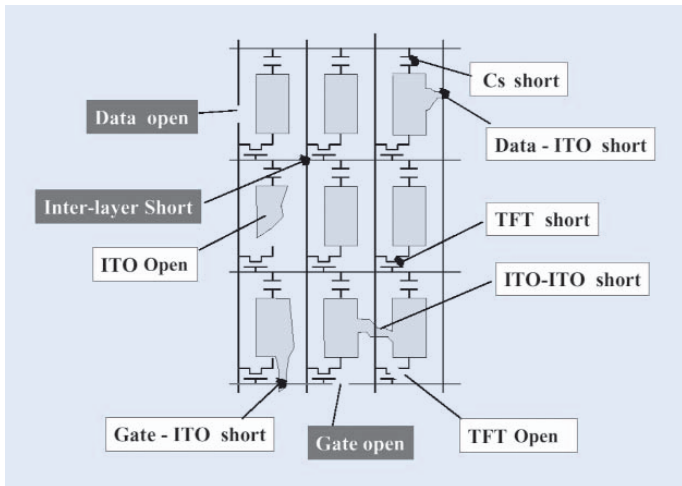


圖 1. 常見之薄膜電晶體面板缺陷示意圖。

例如 Data Open、Inter-layer Short 與 Gate Open 等，而有的則會使得畫素品質不佳，例如 Cs Short、ITO-ITO Short 等，這樣的製程缺陷都是薄膜電晶體製程中難免會發生的，卻也是需要極力降低與控制管理的重要課題。然而，當產品面板面積越來越大並且製程朝向高解析度的需求邁進時，如何在最短的時間內完成檢測，並且檢測出足以影響良率的缺陷，這些技術都是提高生產良率與未來朝向高階薄膜電晶體開發的不二法門<sup>(1)</sup>。

為了有效找出污染源或是造成缺陷的不當製造程序，缺陷檢測技術不斷的演進。圖 2 所示為傳統的人工檢測，是利用反射或透射的光源，以操作員的眼睛做缺陷或是污染物 (例如微粒) 的檢查。可是人眼難免在判斷上太過主觀並且容易造成誤判

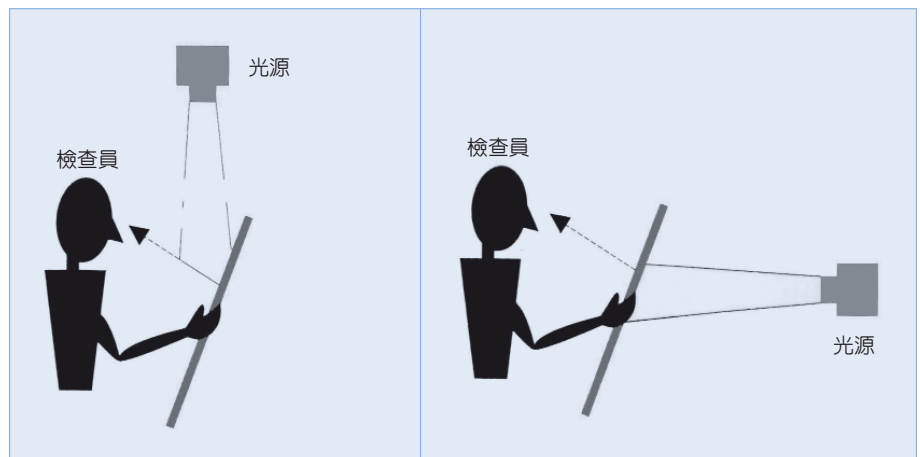
<sup>(2)</sup>，所以在講究量產的工廠裡是較不可行的方法，再加上製程精密度的提高，傳統的人工檢測絕對是無法勝任的；目前這樣的技術只能作單層薄膜沉積後與空白玻璃基板微粒污染的簡單檢查。

因此，我們必須發展一套機械化並且是自動化的檢測機制，以符合製程能力的提升與量產的需求。以圖 2 所示的人工檢測來看，我們必須改善人眼檢測的誤差性並且提高客觀性，因此可選擇利用光學元件來取代操作員的眼睛，例如電荷耦合元件 (charge coupling device, CCD) 利用光訊號與電荷的轉換來擷取資訊。相同的，為了獲得準確的光學訊號，穩定且實用的光源與可以提供穩固檢測平台的機器都是自動化檢測製程不可或缺的要素。圖 3 為一簡單的自動化缺陷檢查裝置之示意圖，由圖中可以發現重要的裝置有光源、濾光片、高解析度光學訊號擷取元件與置放玻璃基板之檢測平台載具，再加上精準的訊號分析技術，缺陷檢測技術系統已完整成形，下文將逐一介紹這些關鍵的裝置與技術。

## 二、缺陷檢測機台的構成要素

自動化缺陷檢測機台的硬體裝置包括提供檢測的光源、高解析度電荷耦合元件與穩定度高的檢測平台，如圖 4 所示為實際的缺陷檢測機台之內部組裝狀況<sup>(3)</sup>。缺陷檢測技術自半導體製程開始蓬勃發展至今，雖然已有種類多樣並且成熟之量產機台，但是因為平面顯示器製程與一般半導體製程的差異性使然，進行薄膜電晶體製程之缺陷檢測時，必須

圖 2. 人工缺陷檢查示意圖。



捨棄超高之缺陷檢測規格（一般半導體之缺陷尺寸為次微米，而薄膜電晶體製程一般約在微米以上之缺陷尺寸），進而要求更快的大面積檢測技術（第五代之薄膜電晶體基板面積已達公尺見方）。

以目前的缺陷檢測技術來作分類，若以檢測之光源來區分，可以分為較小檢測範圍的電子束 (E beam) 與雷射光源以及較大檢測範圍的金屬鹵素燈源 (metal halide lamp)。而另外，若以不同檢測機制與軟體系統來分類，可以區分為以圖形比較為主的圖像比對法與影像強化著色法 (image dyeing)，以及近來常用的數位訊號比較法。

除此之外，以檢測對象則可以分為兩大類。第一類為技術門檻較低的微粒檢測 (particle inspection)，因為沒有任何薄膜圖案，簡單的人工檢查即可以執行，可是當微粒的尺度甚小時（幾微米）則必須利用機器作檢測的工作。而另一類為技術層次較高的缺陷檢測技術 (defect inspection)，因為檢測時基板上已有前製程已製作之圖案，所以要在原有的圖案中檢測出異常的缺陷是相對較困難的技術，而本文就是以此技術為主要探討的目標。

### 1. 檢測光源的選擇

缺陷檢測的光源可以分為兩類，第一類是利用聚焦或者是同調的光源，例如電子束<sup>(4)</sup>或是雷射光源，此類光源能量較高可以做較精細的分析，可是卻因為光源面積較小的限制，以往較少應用在大面積的缺陷檢測。而日本廠商 Toray 在 2002 年的 SID 發表以雷射為光源的缺陷檢測技術 (如圖 5 所

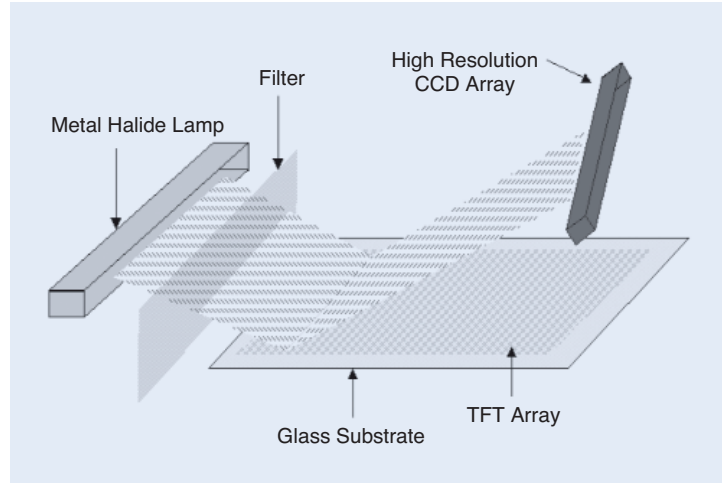


圖 3. 自動化缺陷檢查裝置示意圖。

示)<sup>(5)</sup>，除了提供超高解析度的微粒檢測之外，並利用透鏡 (cylindrical lens) 以擴大光源的照射範圍，並且提供不錯的微粒檢測速度，除了光源與光學系統成本較貴之外，未來的發展是否也可以進一步應用在較高階的缺陷檢測技術是值得注意的。

另一類為利用較大面積光源的檢測技術。一般利用金屬鹵素燈可以提供大範圍照射的光源，除了可以提供較快的製程速度之外，便宜的光源與光學系統成本也是實現量產技術的最大因素。如圖 6 所示，光源可以利用弧狀鏡面提供大面積的平行光源<sup>(6)</sup>，另外也可以經過導光光纖如圖 4 所示，經由長透明燈管提供更大面積的檢測光源。這樣的光源除了比雷射光源價格低廉之外，經過簡單的光學系統即可獲得不錯的穩定大面積光源，這些優勢都是平

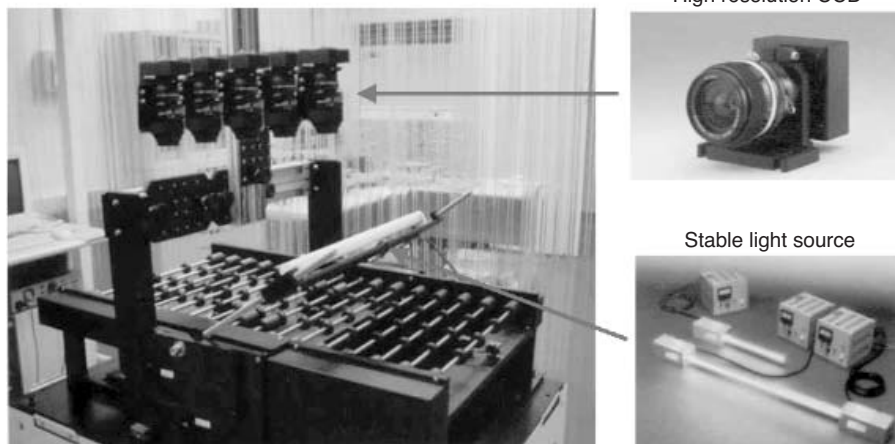


圖 4. 缺陷檢查機台關鍵裝置配置圖。

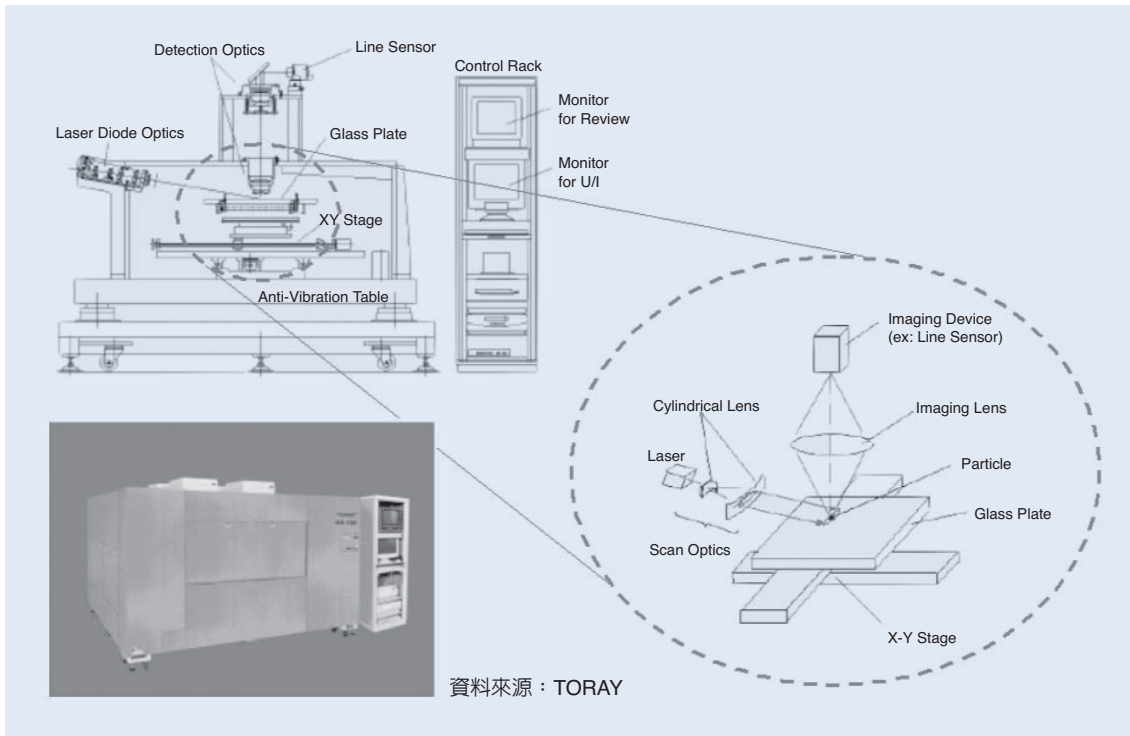


圖 5. 雷射光源缺陷檢查機台示意圖。

面顯示器缺陷檢測機台之首選。

使用金屬鹵素燈管為檢測光源的另一個優點為可以提供全光譜的光源，與雷射光源不同，其波長如圖 6(b) 所示，可以涵蓋 300 nm – 750 nm 左右之可見光區域，當利用如圖 3 所示之濾光片，便可以提供各種不同波長的光源以供缺陷檢測使用。不同波長的光源可以被利用在不同顏色之薄膜缺陷檢測，使用特定波長的光源 (例如薄膜的互補色) 可以增加缺陷檢測的檢測能力與敏感度，當然這些都還是需要其他關鍵組件的配合，才能讓自動檢測機台發揮最大的效用。

## 2. 光學訊號擷取元件

一般而言，自動化缺陷檢測都是在穩定的平台上，讓光源經過被檢測玻璃基板反射後，擷取光源反射的訊號。因此除了穩定的光源之外，光線照射到玻璃基板上的反射與擴散機制就直接影響到後續光學訊號擷取的效能。如圖 7 所示，光源經過反射之後會有鏡面反射與擴散的現象，這些不同的光學現象取決於光源的特性與被照射薄膜表面的狀況，因此為了獲得較佳的反射訊號供缺陷檢測分析，除

了薄膜表面無法控制之外，光源的選擇就必須以鏡面反射越多越佳，如圖 7(a) 所示，如此光學擷取的訊號不但較強並且較無分析上的誤差。

自動光學缺陷檢測系統一般都必須有光學訊號擷取系統才能進行缺陷之分析，常用的光學訊號擷取元件為電荷耦合元件 (CCD)<sup>(7)</sup>，CCD 利用光訊號引發光電效應，進而以電訊號的方式輸出，經由數位化電訊號的輸出，再轉換成影像訊號，這就是一般看到的 CCD 光學擷取影像，當然也可以直接利用 CCD 的數位訊號直接進行訊號分析，這就是利用 CCD 進行缺陷檢測的兩種機制。

如圖 8 所示，每一顆 CCD 都有其光學感測的範圍與解析度，而 CCD 裝置的高度 ( $H$ ) 更會影響到光學感測的範圍 ( $W$ )，因此檢測裝置的相互關係便決定了硬體上缺陷檢測之解析度。舉例來說，以 CCD (假設解析度為 7500 pixel/組,  $R_{CCD}$ ) 高度為  $H_1$  的裝置，其 CCD 可以在玻璃基板上感測的範圍為  $W_1$  (假設是 60 mm)，這樣的裝置根據公式  $R_1 = W_1/R_{CCD}$  可以算出  $R_1$  是 0.008 mm，這表示硬體上的解析度最高可以支援到 8  $\mu\text{m}$  的硬體解析度 (利用軟體配合可以使實際缺陷檢測解析度再提高)。

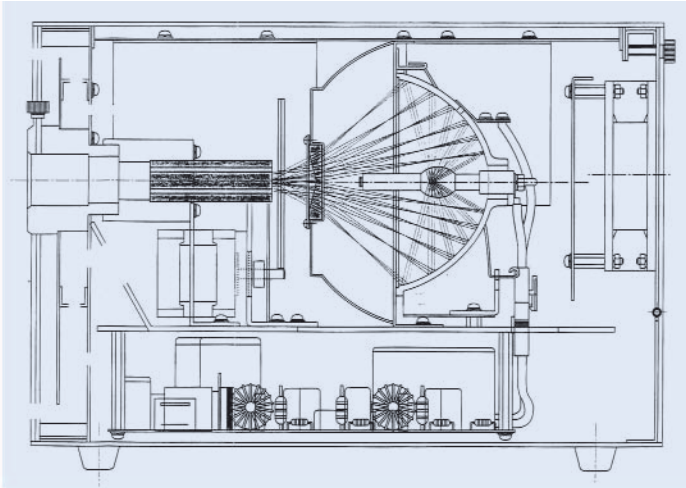
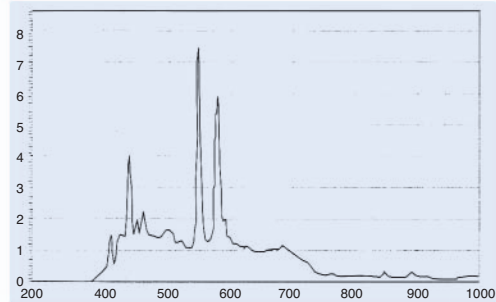


圖 6. 自動化缺陷檢查機台之光源。



同樣的，為了提高硬體的檢測解析度，我們可以將 CCD 靠近玻璃基板，當高度降為  $H_2$  時，其 CCD 可以感測的範圍縮小為  $W_2$  (假設是 45 mm)，如此經由公式可以算出硬體解析度便可以提高為  $6 \mu\text{m}$  左右。

因此，為了獲得較好的硬體解析度必須犧牲檢測的速度，因為較小的  $W$  雖然獲得了較佳的解析能力，可是卻需要較多次的掃描才能將相同大小的玻璃基板掃描完畢。所以為了維持較佳的硬體解析度並且增加掃描速度，如圖 8 所示，使用並列之 CCD 進行缺陷檢測就是量產技術實現上不可或缺的技术。

### 3. 檢測平台的考量

缺陷檢測製程除了上述的穩定光源、敏感且高解析度的光學擷取系統之外，檢測平台的性能也是達到最佳檢測狀況的必要條件。一直以來，因為半

導體製程的一再日新月異進步，製程的線寬控制已經幾乎達到物理極限，其中黃光製程就是追求小線寬的極致表現，而相同的為了達到曝光的最佳狀態，製程平台 (stage) 的穩定性是重要的關鍵。

為了獲得穩定的檢測平台，半導體黃光製程所用的平台成本非常高，因此在平面顯示器可以忍受較大線寬的優勢之下，我們可以選擇的方式反而較多。如圖 9(a) 所示，傳統的彈簧除振式製程平台可以使用在線寬較大、可忍受較大振動的缺陷檢測製程上 (例如配向膜 (PI) 或是彩色濾光片 (color filter))；而圖 9(b) 所示為類似一般常用的光學氣動避振桌，因為可以迅速地將微小的振動消除，雖然成本略高一些，但也廣泛的應用在自動化缺陷檢測機台上，不啻是一個成本不貴卻效果不錯的設備技術。

雖然圖 9 這兩種製程平台都可以提供不錯的避振效果，可是相同的，基板都必須與平台緊密的接

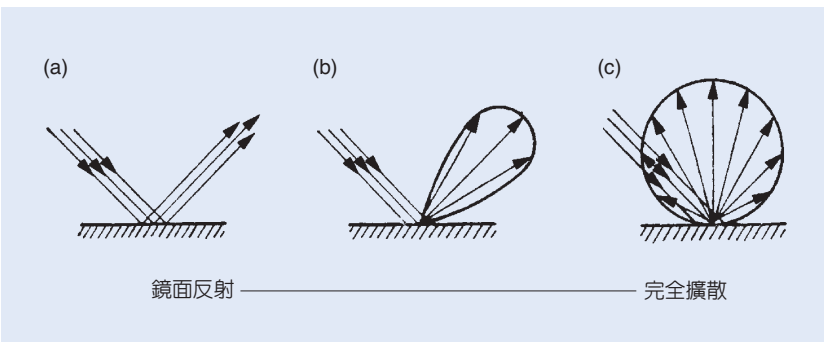


圖 7. 檢測光源特性示意圖。

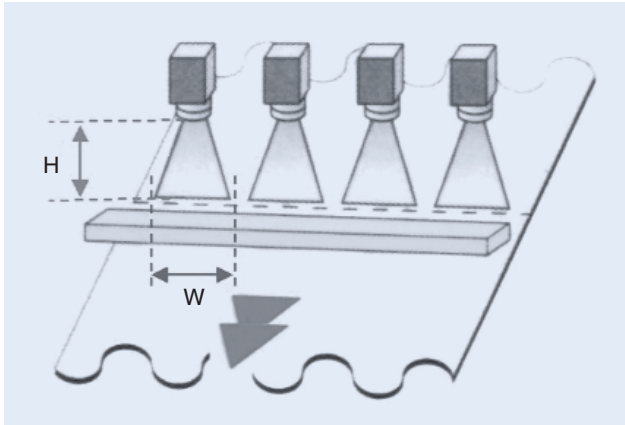


圖 8. 自動化缺陷檢查機台之 CCD 應用。

觸，因此也帶來污染的問題，再加上現今玻璃基板越來越大的趨勢，玻璃在製程或是傳送過程中所引起的靜電累積，卻是未來量產技術上的另一個大問題，我們稱之為靜電放電現象 (electro-static discharge, ESD)。日本檢測設備廠商 Orbotek 於 2002 年的台北光電展中發表了如圖 10 所示之非接觸式基板平台<sup>(8)</sup>，其最大的訴求就是利用氣體的壓力將玻璃基板與基板平台分開，以達到非接觸而可減少污染的機會。此技術必須精確的控制玻璃基板在平台上的穩定度，所以無論噴氣孔 (nozzle) 之上是否有無玻璃基板，每一個噴氣孔都必須要獨立的維持一定的氣壓，才可達到非接觸式的製程優勢，是值得繼續觀察的技術。

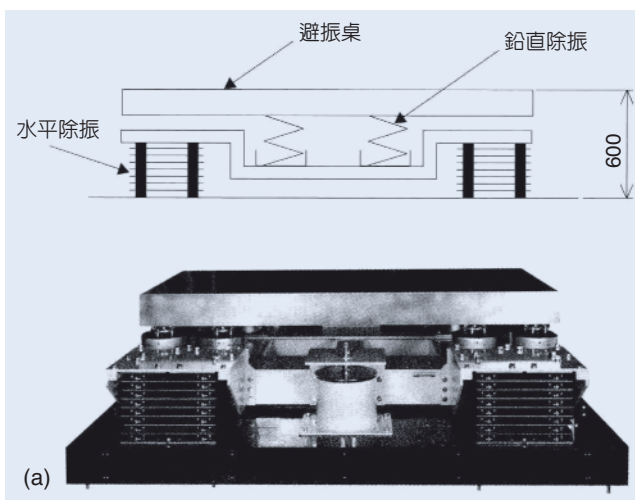


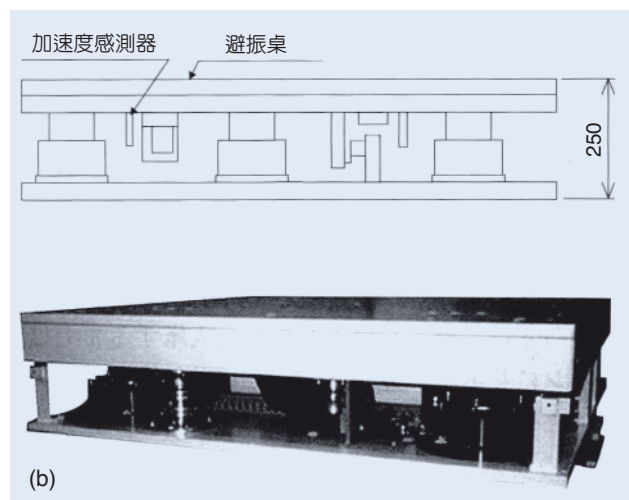
圖 9. 自動化缺陷檢查機台之基板平台。

### 三、缺陷檢測技術的分類

在經過上述穩定而大範圍的光源、高解析度的光學擷取系統與穩定且可以精確移動的檢測製程平台之後，已經具備完整的缺陷檢測系統之硬體要求。硬體設備固然提供了一個完善的製程工具，可是要達到缺陷檢測的最佳化製程，還是需要軟體分析與辨識系統的配合，方能順利完成此自動化缺陷的檢測。

缺陷檢測的技術不斷推陳出新，可是能實際應用並且實現量產化的技術並不多，一般常見的就是利用 CCD 擷取光學訊號之後，以 CCD 所轉換得來的數位或影像資訊，進行缺陷的檢測與分析。如圖 11 所示為一利用影像比對的缺陷檢測技術<sup>(8)</sup>，利用定義如圖 11(a) 之影像範圍為標準單元 (unit cell/pixel)，利用重複比對的方式進行電晶體或彩色濾光片陣列內的比對，當發現如圖 11(b) 所示之缺陷時，便可以進行缺陷的標定與紀錄。這樣的缺陷檢測技術較為簡單，可是卻較耗時並且會受到標準單元影像的影響，而有不同的缺陷檢測結果。

與上述影像比對的缺陷檢測技術不同的另一項比對技術，就是利用 CCD 擷取光學訊號之後，直接利用所得到的數位資訊，進行缺陷的檢測與分析。此技術無需定義標準單元的誤差，而是利用陣列內週期性排列的圖案特性，直接以陣列內圖案週期之規則性進行左右數位訊號的比對。圖 12 所示



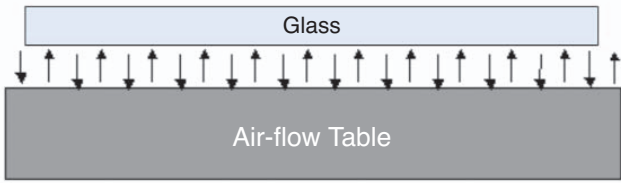


圖 10. 自動化缺陷檢查機台之新型無接觸式基板平台。

為數位訊號比對技術示意圖，以圖中 (1) 的訊號所示為掃描到缺陷時的訊號圖形，因為此缺陷為容易反射的污染物 (例如金屬微粒污染)，所以經過掃描後會有如圖中 (1) 異常的突起訊號，而在同一時間的另一區無污染區域，同樣獲得訊號之後 (如圖中之 (2) 所示)，以訊號 (1) 減掉訊號 (2)，則可以分辨出此缺陷的存在與位置。此技術是直接以週期規則性進行缺陷檢測，除了需了解陣列內實際的週期之外，雜訊 (noise) 的處理也是此項技術需注意的問題。如果雜訊太大，當兩個訊號比較時就不容易分辨出實際的缺陷，因此當自動化缺陷檢測機台使用數位訊號比對技術進行缺陷檢測，訊雜比 (S/N ratio) 就是最重要的機台檢測技術指標。

#### 四、液晶顯示器製造之缺陷分類

接下來要介紹的是平面顯示器在製造上經常發生的缺陷種類，進階的缺陷檢測軟體除了將缺陷找出來並且定位之外，更可以做簡單的缺陷種類與大小的分類，以協助工程師做更正確且更快的判斷。

圖 13 所示為平面顯示器製程中容易發現之缺陷分布示意圖<sup>(5)</sup>，因為玻璃基板與半導體所使用的矽晶圓不同，其方方正正的長方形形狀更是增加了

許多製程上的困難。以半導體矽晶圓常用的旋乾 (spin drying) 製程為例，長方形的玻璃基板就容易形成如圖 13(a) 所示之放射狀缺陷分布。相同的，越來越大的玻璃基板，使得越來越多的清洗與濕蝕製程利用滾輪傳動式 (convey type) 的方式進行製程，因此製程所造成的缺陷分布就會像圖 13(b) 一樣成直線狀。所以，善用檢測機台所提供的資訊對於缺陷的發現與管理是有很有效的。

常見的平面顯示器之缺陷分布還有一個類似圖 13(a) 所示之放射狀缺陷分布，就是在不當的黃光製程之後，因為黃光的機台大多都是以旋轉的機制進行製程，所以當有缺陷產生時，就可以明顯看到以中心為原點的放射狀缺陷分布。會形成這樣的情況有兩種可能，第一為污染物微粒太多，因此在旋轉塗佈或是旋轉顯影的時候，就產生放射狀的劍影與缺陷。而第二個就是水痕 (water mark) 的產生，因為顯影時顯影液沒有因旋轉的機制被帶走，留下含有光阻與顯影液的水痕，再加上黃光製程中有很多是液體旋轉的製程，所以對水氣的導流與疏散的設計是非常重要的。如果設計不良，使得製程中的水氣之產生量超過機台疏導的負荷，便會產生大量水痕，影響整個製程甚大。

雖然面板製造過程中免不了有一些製程缺陷的產生，可是當這些缺陷落在如圖 14 及圖 15 這些關鍵的位置時，將造成嚴重的後果。輕則元件漏電流增加或是發生訊號耦合 (coupling) 現象，重則斷線、亮暗點更是機會甚大，這樣的製程缺陷都是薄膜電晶體製程中須避免發生的問題。然而，當面板面積越大的時候，發生這些製程缺陷的機率也大幅增加，這些會造成良率下降的製程缺陷，我們稱為

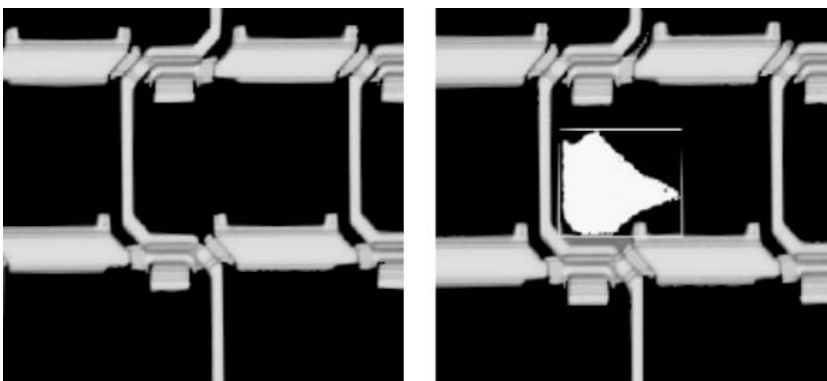


圖 11. 自動化缺陷檢查技術之圖像比對技術。

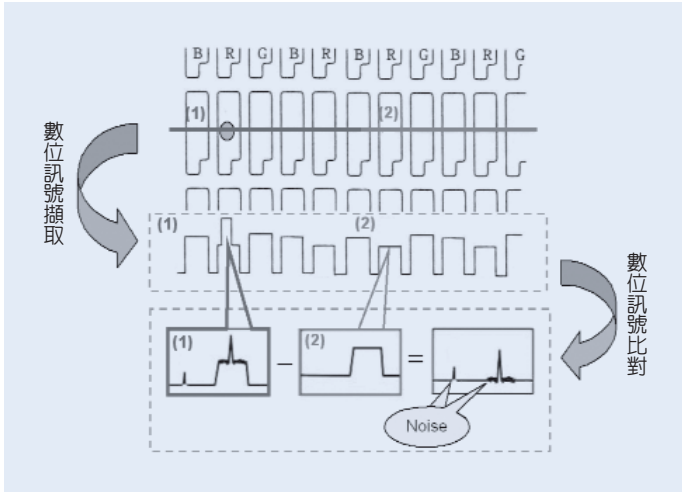
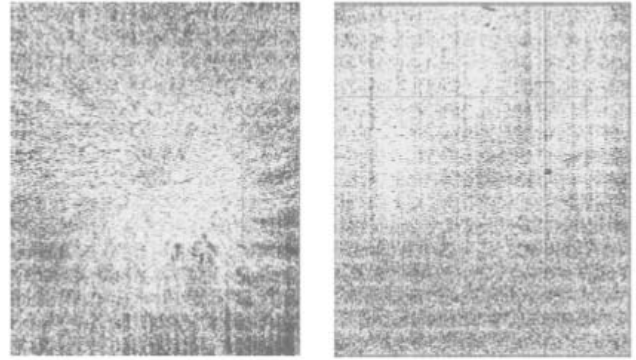


圖 12. 自動化缺陷檢查技術之數位訊號比對技術。

「killer defect」。

以圖 14(a) 為例，薄膜製程中免不了有使用光阻的相關製程，可是當乾蝕刻或是離子植入後，光阻往往禁不住損傷而有光阻焦化的情形發生，因此當數千 Å 的焦化光阻沒有去除乾淨而殘留的話，往往會影響後續薄膜沉積的問題。而另一個光阻殘留的狀況是 gel 殘留，gel 指的是光阻液中所摻雜的雜質，或是顯影時沒有完全被顯影液帶走的光阻殘渣，所以其成分大部分為有機物質，一旦發生殘留將會一樣造成後續薄膜沉積的問題。

圖 14(b) 代表導致金屬導線短路或是斷線的缺



(a) Spin Dry

(b) Air Knife

圖 13. 製程導致之缺陷分布示意圖。

陷問題，當缺陷不慎落在金屬導線上或者是兩條金屬導線中間，嚴重者會造成面板之點缺陷甚至是線缺陷，所以在金屬薄膜製程中尤其更要小心此類缺陷的控制與管理。而圖 14(c) 指出的缺陷則會造成訊號傳遞的失真，一般元件中，上下層的訊號都是以接觸窗 (contact window/hole) 進行連接，一般為了元件縮小化的需求，接觸窗都會比較小，因此一旦有缺陷或是污染微粒落在接觸窗中，則會造成訊號無法傳遞的問題，這樣的問題常常造成元件失控或是面板點缺陷的發生。

離子植入的技術在半導體製造中是普遍應用的製程，主要功用是於矽晶圓上形成較高摻雜濃度的接面，目的是形成源極 (source) 與汲極 (drain) 區

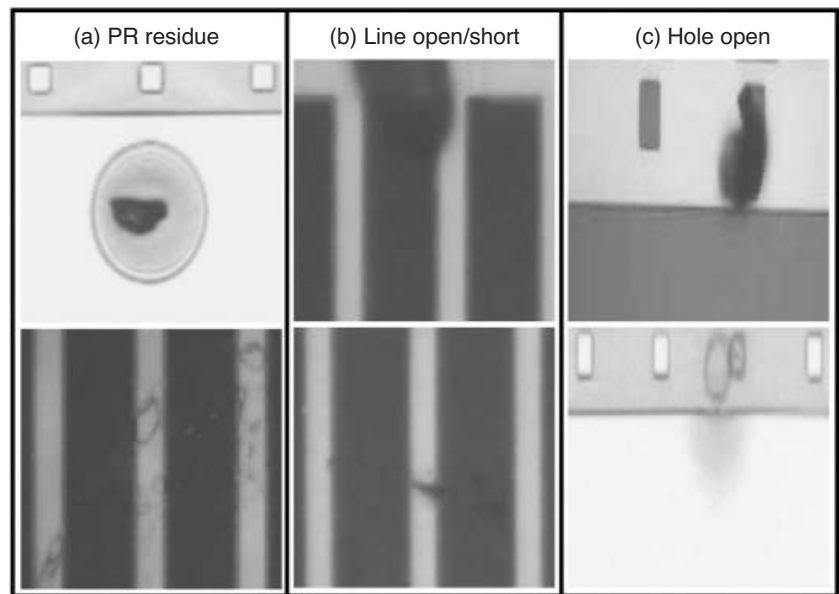


圖 14. 薄膜電晶體製程產生之缺陷分類。

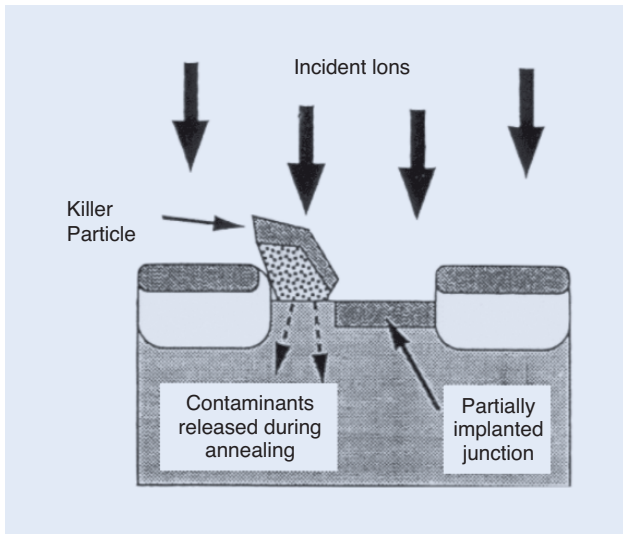


圖 15. 薄膜電晶體離子植入製程缺陷之影響。

域，如此訊號的輸入才不會因為金屬與純矽所形成的蕭特基界面 (Schottky contact) 而造成誤差。以薄膜電晶體的製程為例，在邁入低溫複晶矽薄膜電晶體製程時，因為不似非晶矽薄膜電晶體在沉積薄膜時即時摻雜 (*in-situ doping*) 磷，而形成  $N^+$  重摻雜區域，所以必須和半導體製程一樣利用光阻定義圖形並進行離子植入製程，因此如果缺陷如圖 15 所示落在需離子植入的區域時，將會使得離子植入之劑量不足，嚴重的甚至無法進行有效的離子植入<sup>(9)</sup>。對於製程上的影響，輕則增加接觸之阻值，重則將造成訊號無法寫入，其影響不可謂不嚴重，因此，將此類缺陷同樣歸類為「killer defect」的一種。

在後段彩色濾光片塗佈的製程一樣也可以利用自動化缺陷檢測技術，一般來說，彩色濾光片對於缺陷的容忍度較高，因為不像薄膜電晶體元件有較小的線寬，並且微小的污染也容易對元件特性造成影響，所以彩色濾光片的缺陷檢測一般來說較為簡單，技術門檻也較低，因此一般設備廠商在跨入平面顯示器檢測領域時，往往將此視為第一個切入的市場。常見的彩色濾光片缺陷主要是針對如圖 16 之混色現象所造成的缺陷，一般是在三種顏色各自塗佈與定義區域的製程中，圖案定義不完全而與相鄰的顏色混在一起。為了解決這樣的製程問題，可以在各種顏色定義之後進行缺陷檢測製程，相信可以大幅改善製程能力與製程良率。

另一個令工程師傷腦筋的就是「Mura」的檢測。Mura 是一個日文翻譯的字，一般泛指大面積塗佈之不均勻現象，尤其是在某一角度才可以發現之不均勻卻不明顯的現象，如圖 17(a) 所示。Mura 不只發生在彩色濾光片的製程中，薄膜電晶體陣列製造裡的黃光製程亦容易發生，只是在黃光製程裡，光阻除了大部分顯影將去除外，蝕刻製程過後也應該去除乾淨。所以，一般來說，Mura 對後段的彩色濾光片製程的影響較大。

Mura 很難檢測的原因是因為在如上述所介紹的缺陷檢測技術中，主要的機制為在異常的缺陷會造成異常的光反射訊號，所以才可以被分析出來，而類似 Mura 這樣單純是因為厚度的問題所產生的現象，相對上就較難以自動化的缺陷檢測機台發現。即使在廠商的努力之下，台灣廠商宏濶科技已經開發出如圖 17(b) 可以檢測出 Mura 的技術，可是仍會以許多小缺陷來表示，對於製程缺陷的管理上容易有誤判的情況，可是相較於 Mura 的有效檢測技術這樣的小問題是可以忍受，並且是值得期待的一項檢測技術。

## 五、缺陷檢測技術的未來與挑戰

薄膜電晶體一直以來都是液晶顯示器控制液晶動作最主要的元件，也是達成主動式驅動顯示器最有效的方法，而其元件陣列的製程缺陷控制與管理更嚴重影響顯示器顯示品質之優劣。在傳統的非晶矽薄膜電晶體液晶顯示器中，因為電子遷移率 (electron mobility) 的限制 (一般小於  $1 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )，非晶矽薄膜電晶體只應用在作為訊號的開關而已，且為了達到足夠的驅動能力，元件與畫素設計上都使用較大的線寬與設計準則 (design rule)。相較於低溫複晶矽薄膜電晶體，因為擁有較佳的載子遷移率，所以一般線寬的要求都比非晶矽薄膜電晶體來得高，因此缺陷檢測的解析度相對的也較為嚴苛。再加上越來越大的玻璃基板與越來越大的液晶面板製作，缺陷檢測的速度也遇到前所未有的考驗。未來的液晶顯示器製造勢必朝著大面積化、高精細度與高解析度的趨勢，這也是缺陷檢測技術未來最大的挑戰。

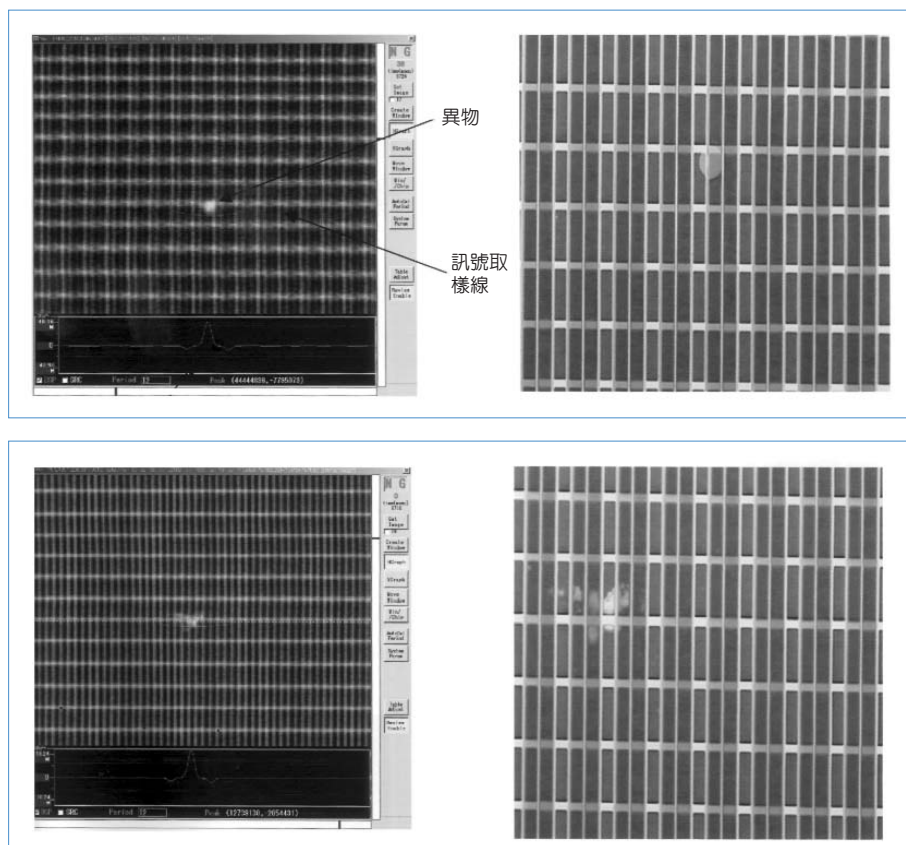


圖 16.  
彩色濾光片製程產生之缺陷。

### 1. 檢測速度的挑戰

以薄膜電晶體液晶面板製作的趨勢可以明確的看到大面積化的需求，圖 18 所示為 LG-Philips 於 2003 年 SID 所發表的產品趨勢<sup>(10)</sup>，除了非晶矽薄膜電晶體面板突破 52 英吋之外，低溫複晶矽薄膜電晶體面板亦朝向 20 英吋以上的大尺寸邁進。

一般來說，製程缺陷的發生是難免的，我們可以利用即時的檢測技術協助並做製程的修正與修

補。缺陷檢測對製程良率的提升有很大的幫助，可是隨著面板的大面積化，缺陷檢查的時間將隨著面積的擴大而增加，以圖 19 所示之單一 CCD 元件的缺陷檢測機台為例，針對 5  $\mu\text{m}$  的缺陷做檢測，當面板尺寸小於 5 英吋時，檢測製程每小時可以有 40 片以上的製程速度，可是當面板尺寸大於 20 英吋時，每小時只能檢測 10 片以下。而當面板解析度增加，缺陷檢測的解析度亦需隨著增加，製程的

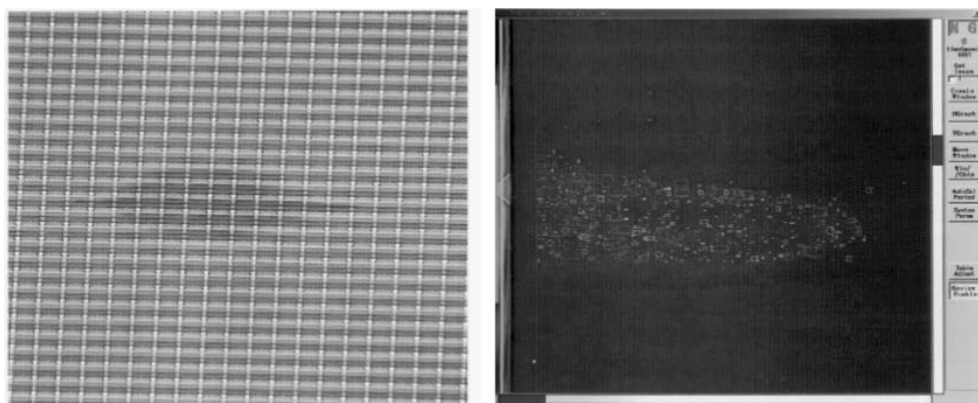


圖 17.  
彩色濾光片製程產生之  
Mura 缺陷。

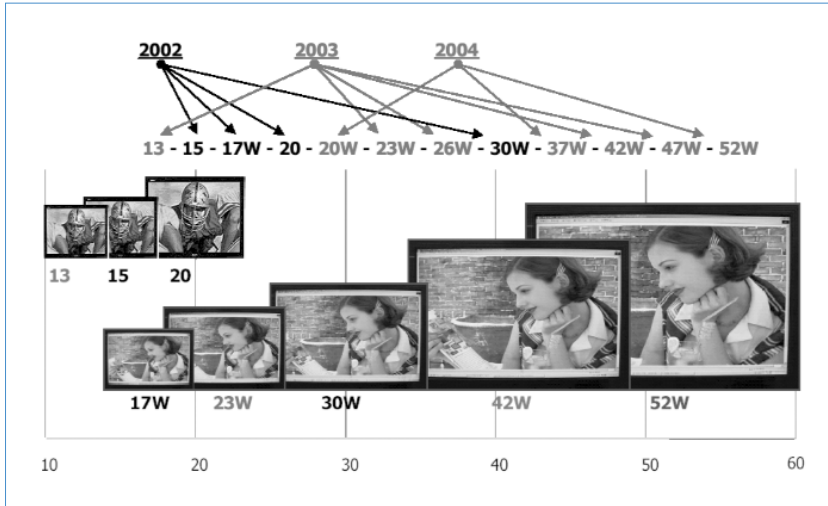


圖 18. 大面積薄膜電晶體面板製造趨勢。

速度更將雪上加霜，以圖 19 中  $2\ \mu\text{m}$  的缺陷檢測為例，當面板尺寸大於 20 英寸時，每小時只能檢測個位數的數量。因此明顯的，製程缺陷的檢測與量產速度必須做一個完善的規劃與取舍，雖然缺陷檢測可以降低製程缺陷以提高良率，可是如何在提高檢測技術的同時更增快製程時間，都是未來生產高解析度與大面積化產品所必須關注的問題<sup>(11)</sup>。

## 2. 解析度的趨勢

在邁入低溫複晶矽薄膜電晶體製程時，因為低溫複晶矽薄膜電晶體可以提供較高的電子(洞)遷移率 (electron/hole mobility)，一般介於  $100-200\ \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  左右，目前已有  $500\ \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  以上的研發成果<sup>(12)</sup>，所以低溫複晶矽薄膜電晶體不只可應用在作為訊號的開關而已，更可以將簡單的電路整合於薄

膜電晶體陣列週邊，如此不僅大大提高了此薄膜電晶體面板的價值，更大幅改善了封裝後因為週邊電路所造成的不必要之體積浪費，以達到窄框化面板製程與未來整合型面板可行性的願景。較高的電子遷移率可以使較小的導通路徑 (channel length/width) 也可以達到足夠的元件特性，因此低溫複晶矽薄膜電晶體往往需要如圖 20 所示較高的設計準則製程，而較高的設計準則除了可以提供高解析度面板的製程之外，更可以大幅提高每個顯示元件 (pixel) 的開口率 (aperture ratio)，以獲得較佳的顯示色彩飽和度以及省電的優點。可是相對的如前節所述，越高的設計準則代表著元件線寬越精細，而越小的線寬對缺陷的容忍度就大幅降低，所以，雖然較高解析度的缺陷檢測較耗時間 (如圖 19 所示)，可是面對未來的製造趨勢，這似乎是不得不面對的一個重要課題。

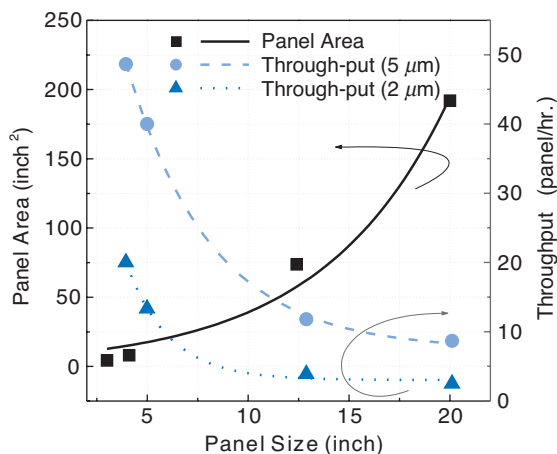


圖 19. 面板大小對檢測速度之影響。

## 3. 缺陷準確性與自動化管理

自動化缺陷檢測技術不但要求高解析度之外，為了實現量產化更必須追求檢測速度，而在生產者的角度，檢測的準確度與時效性更是無庸置疑的重要。缺陷檢測的準確度包含兩個要求，第一個是檢測結果的再現性，相同的受測玻璃控片在相同的檢測狀況下，進行連續的兩次缺陷檢測，其結果應該在一定的誤差範圍內，而除了檢測出的缺陷數目要求之外，如果自動檢測機台可以進行自動缺陷分類的話，其分類後的結果也必須要求在一定的準確度。

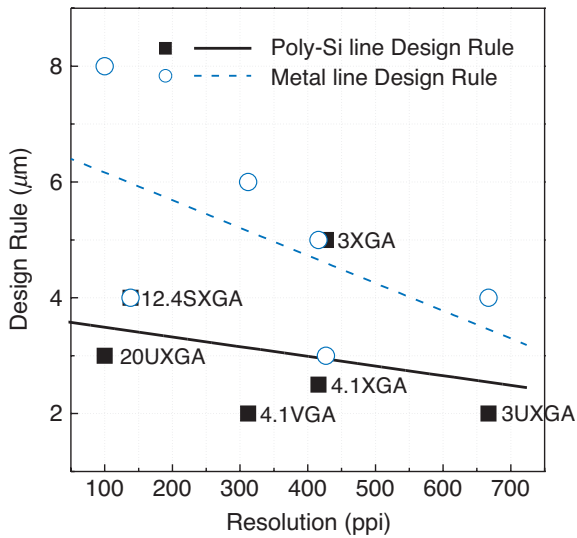


圖 20. 面板解析度與設計準則關係圖。

第二種缺陷檢測準確度的要求是與實際的缺陷大小不能有太大的差異，如圖 21 所示，線上製程在自動檢測機台上檢測出的缺陷大小，利用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 進行分析<sup>(13)</sup>，比對的結果如果如圖 21(a) 所示漂移中央對角線太多的話是不好的檢測結果，理想狀態下應該如圖 21(b) 所示都朝中央對角線趨近，這代表的是當檢測出 2 µm 大小的缺陷時，以掃描式電子顯微鏡分析後應該也是 2 µm 左右。

在經過前文詳細的自動化缺陷檢測技術之硬體與軟體介紹後，如何利用這個功能強大的工具更是一個新興的課題。在網路技術普遍應用的時代，製造工廠也逐漸利用網路的快速與方便的特性，配合

電腦伺服器的網路，使得工廠管理與製造排程也更加的有效率並且大大降低製造成本。相同的，在自動化缺陷檢測製程上也可以大量應用方便快速的網路系統，進行製程上缺陷的管理與控制。以圖 22 所示為自動化缺陷檢測系統與網路系統的搭配示意圖，因為網路連結的關係，不同的生產線可以互相互換資訊並進行缺陷管理，甚至於在各項製程之前的前檢測 (pre-inspection) 與製程完成之後的後檢測 (post-inspection)，經過網路的訊號傳遞，除了可以做即時的當站缺陷警示之外，缺陷資料更可以經過網路傳送至資料處理資料庫進行線上 (in-line) 比對，而在經過與製程與資訊管理系統整合之後<sup>(14)</sup>，更可以提供及時的製程變異通知、改善的統計製程品管數據 (statistical process control, SPC) 以及最佳的根源問題分析 (root-cause analysis)，這樣多樣化的附加功能讓自動化缺陷檢測技術達到最大的效用。

## 六、結語

完善的自動化缺陷檢測系統需要穩定且大面積的光源，還需要高解析度光學訊號擷取系統與穩定且運作精確的製程平台，另外，選擇一種判斷迅速與分析準確的軟體配合更是必需的。為了即時監控缺陷的形成與第一時間處理製程上的異常狀況，同步監控缺陷檢測系統並且納入網路進行資料庫管理與分析，更是可以將缺陷檢測的功能發揮到極致。

未來的平面顯示器產品勢必朝向大面積與高解析度的趨勢前進，利用自動化缺陷檢測系統之協助

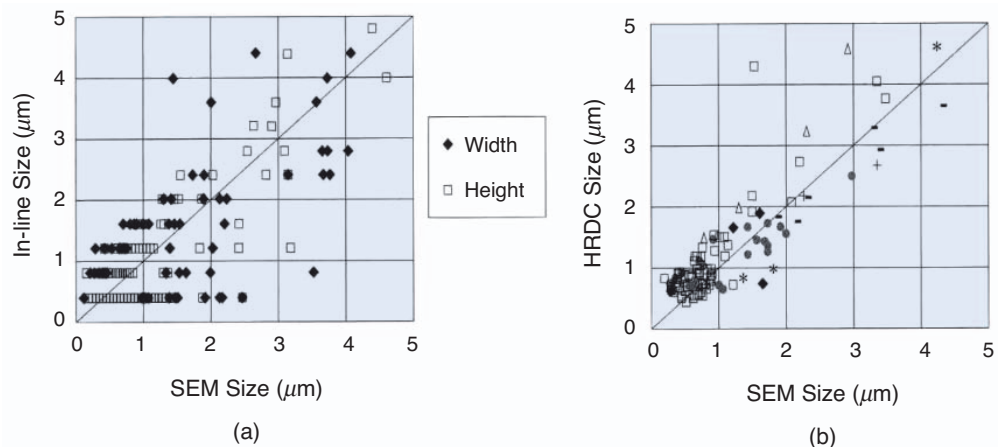


圖 21. 缺陷檢測準確性之校正。

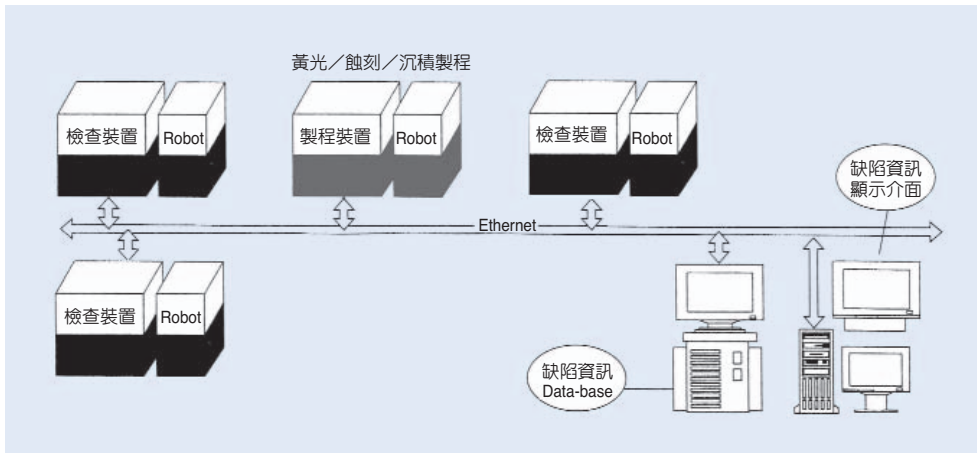


圖 22.  
自動化缺陷檢測之網路  
示意圖。

以釐清製程上的問題，並且進行單站製程的技術提升，進而提高產品製造的良率，這就是缺陷檢測技術的功用所在。

除了本文所述之液晶顯示器製造之外，自動化缺陷檢測技術對於其他相關的顯示器製造一樣都有應用之實例，例如薄膜塗佈製程、電漿顯示器 (PDP) 製造、陰極射線管 (CRT) 顯示器等<sup>(3)</sup>。甚至只要與週期性圖案相關之工業領域，都可以看到其多樣化的應用，例如鋼板製造、紡織業與醫藥產業製造<sup>(4)</sup>，在外國的應用已是行之有年。由此可見，相同的自動化缺陷檢測技術，不管在任何產業的應用，都是提供最佳化製程與降低生產成本的最佳幫手。

## 參考文獻

1. J.-J. Chang, C.-C. Chen, C.-S. Chuang, Y.-H. Yeh, Y.-M. Kang, and Y.-S. Huang, *IDW '02*, 557 (2002).
2. 李春森, *Micro-Electronics*, 204, June (2003).
3. 黃永順, 缺陷檢測技術之研發與現況, 台北: 宏瀨科技 (HIROSE TECH.) (2002).
4. J. Shaw, R. Guldi, T. Kim, D. Corum, J. Ritchison, S. Oestreich, J. Lin, K. Weiner, K. Davis, and R. Fiordalice, *半導體科技*, 37, Dec. (2002).
5. M. Hayashi, *SID '02*, 300 (2002).
6. S. Hayama, *KUBOTEK Defect Inspection Process Report*, Kyoto (1999).
7. 佐藤光世, *Semiconductor FPD World*, 76, Oct. (2002).
8. Y. Shigeru, "Optical Inspection as Alternative to Electrical Tester Using Accurate Detection & Classification of Open/Shorts," *FPD Expo. Taiwan* (2002).
9. T. C. Smith, *Photoresist and Particulate Problems*, 653.
10. S.-D. Yeo, H.-C. Choi, C.-H. Oh, H.-M. Moon, W.-S. Kim, and K.-S. Park, *SID '03*, 1196 (2003).
11. J.-J. Chang, C.-C. Chen, C.-S. Chuang, C.-Y. Chen, Y.-F. Wu, C.-Y. Sheu, and S.-W. Chang, *IDRC '03* (2003).
12. F. Takeuchi, A. Hara, and N. Sasaki, *IDMC '02* (2002).
13. 山崎裕一郎, "Pattern 欠缺檢查技術之裝置," *2002 Semiconductor Technology Outlook*, 605 (2002).
14. B. Welch, H. Amin, and J. Clerico, *半導體科技*, 28, May/June (2003).
15. 山本和彥, 畫像處理關於目視檢查自動事例集, Tokyo (1991).

張鈞傑先生為國立清華大學工程與系統科學碩士，現任工業技術研究院電子工業研究所製程整合工程師。  
黃俊堯先生為國立交通大學電子工程博士，現任工業技術研究院電子工業研究所元件設計工程師。  
鄭晃忠先生為國立清華大學材料工程博士，現任國立交通大學電子工程學系教授。

Jiun-Jye Chang received his M.S. degree in Engineering and System Science from National Tsing Hua University. He is currently an integration engineer at ERSO/ITRI.

Chun-Yao Huang received his Ph.D. degree in Electronics Engineering from National Chiao Tung University. He is currently a device-designing engineer at ERSO/ITRI.

Huang-Chung Cheng received his Ph.D. degree in Materials Science and Engineering from National Tsing Hua University. He is currently a professor in the Department of Electronics Engineering, National Chiao Tung University.