

貳、經驗分享

一、光電及半導體製程設備的電氣測試方法探討

(一)前言

近年來我國TFT-LCD面板產值屢創新高，設備投資金額更高居全球首位，然而龐大的設備資本投資中進口比例高達90%以上，不僅造成外匯流失，對國內TFT-LCD產業整體競爭力的提昇也形成阻礙。為有效降低我國光電產業界未來的經營成本，政府相關部門特邀集國內產、學、研單位研商對策，並確定屆2008年時，將加速把TFT-LCD製程設備國產化比例提高至50%的目標，為國內工具機、電子機械等機械業者帶來良好的轉型契機。

TFT-LCD製程設備安全性是目前國內業者關注之重點，本文主要探討由國際半導體設備與物料協會(Semiconductor Equipment and Materials International, SEMI)所制定公佈SEMI S9-1101「半導體製程設備的電氣測試方法」，以提供國內製造商設計與製造之參考，此規範目前已被國內許多光電大廠列為設備採購必須符合的安全基準規範之一，因此協助國內製造商符合此一規範之要求，將是TFT-LCD製程設備電控技術研發的重要課題，也是設備國產化成功與否的關鍵因素。

(二)TFT-LCD產業發展現況

TFT-LCD是繼半導體產業後，成為我國高科技產業在21世紀中最主要的前瞻工業，其應用除了手機、數位相機/攝影機及筆記型電腦上外，亦將擴及電視機，預期2006年國內產值將超過台幣一兆元，成為世界最大生產國。但面臨韓國TFT LCD業者每吋面板售價將降至十美元的強大競爭威脅，為有效降低我國光電產業界未來的經營成本，經濟部工業局確立屆2008年時，將加速把TFT-LCD製程設備國產化比例，從原預計40%提高至

50%的新目標，以提升我國在國際市場的競爭力，因此TFT-LCD製程設備國產化成為台灣LCD大廠提昇全球競爭力之重要條件，國內各光電大廠亦朝此方向努力，期望能為我國光電產業每年增加七十億元的設備產值，達成替代進口的效益。

另外為了提昇產能，光電製程設備皆已朝向自動化及大型化的改變，導致工廠安全管理需求更甚於半導體廠，使得廠房潛藏了更多安全問題之風險，若製程單元一旦發生安全防護失效或工安事故等情形，除了可能導致設備損壞、環境污染外，嚴重時可能造成人員傷亡或火災爆炸，加上光電產業投注之設備資本龐大，一旦發生工安事件，其損失將難以估計。因此，光電製程設備是否能夠符合安全規範要求，實為國產化過程中的重要關鍵。

（三）電氣安全測試要點

本文主要說明光電/半導體製程設備電氣安全測試SEMI S9之標準，提供國內製造商參考，內容包含測試條件、測試項目及測試方法，如下所述：

1. 測試條件說明

設備必須在製造商所規定操作範圍之內，以最不利(least favorable)之情況下被測試，這些條件包含：

- 供應電壓準位
- 供應頻率
- 可移動零件位置
- 操作模式(如：馬達操作中全溫升條件)
- 溫控開關的調整、控制裝置、或在操作者可觸及範圍內類似的控制。

1.1 測試供應電壓-決定最不利的供應電壓來測試，須考慮：

- 1.1.1 多標稱額定電壓(如 120/240V)。
- 1.1.2 標稱額定電壓範圍的極限值(如 208-240V)。

1.2 變壓器的標稱額定電壓不須考慮(如 $120\pm 5\%$)。

備註：某些標準(如IEC 61010-1與IEC 60950)可能指定任何額定供應電壓的90%及110%。

1.3 測試供應頻率-決定最不利的供應頻率來測試，考慮指定的標稱頻率(如50Hz，60Hz或50/60Hz)。

2. 測試項目說明

2.1 洩漏電流測試(針對電線插頭設備)

測試設備：實均方根電位計，具1.0%的靈敏度；一個1500歐姆的阻抗電路。

測試順序：針對以電線插頭(cord-and-plug)(插頭/插座組合 plug/socket combination)連接工廠分電路的設備，確定設備已被隔離(如：將設備安置在木頭或其他可絕緣的表面)。連接設備到額定電源，但不連接PE導體，以製造商指定之最大負載狀況操作。連接1500歐姆阻抗的電路在每一個可觸及的金屬部份與設備的PE導體之間，判定容易接近的帶電體，移除在正常操作中可被操作者移除的所有門及面板等。

計算漏電流公式：

$$\text{漏電流} = \frac{\text{測量得到的電壓}}{1500\Omega}$$

接受標準：不超過3.5mA。

2.2 接地連續性測試

測試設備：具有 0.1Ω 量測範圍，1.0%靈敏度的低阻計。

測試程序：切斷設備的供應電源，設備以正常配線方式安裝完畢，從設備主電源接地端子(PE端子)切斷供應端接地導體(保護接地導體)，使用低阻計量測PE端子與每一個容易接觸金屬部位間(把手、顯示器、門 等)之間的電阻，測試完畢後，把保護性接地導體重新連接。

例 外：本項測試不須量測在單一故障時不太可能帶有電能的金屬表面。

接受標準：PE端子及測試點間之電阻不可超過 0.1Ω 。

備 註：某些標準(如IEC 60204-1，IEC 61010-1)可能指定使用電流注入法執行本項測試。

2.3 啟動電流測試

測試設備：無(目視檢查)

測試程序：依據製造商操作手冊，從設備在完全停止狀態下啟動三次。確認接連啟動之間的時間足夠讓設備回復到初始狀態。

接受標準：測試期間沒有任何設備的過負載或過電流保護裝置被啟動。

2.4 輸入測試

測試設備：實均方根電流錶，具3.0%的靈敏度。

測試程序：在最大正常操作負載條件(例如：啟動所有馬達、電熱器等，依製造商指定之最大負載條件)。

接受標準：量測電流不超過設備銘牌所指定之額定全載電流值的110%。

2.5 介電測試

測試設備：時間精度 ± 5 秒之計時器，具有測試電壓指示耐電壓測試器，和可聽見或可看見電氣崩潰(breakdown)指示器，或具有自動拒收特性對於任何不可接受的單元。使用一個交流電流測試設備，具有正弦波輸出之變壓器，此變壓器具有500VA之額定或更大，除非在直接量測輸出端電壓時，提供一個電壓錶。

測試程序：使設備從電源端斷開，在主電路可帶電金屬零件與不帶電金屬零件之間導入耐電壓電位1500VAC或2121VDC，雷擊保護元件與裝置，與已被認可實驗室認證過之電子零件，在測試過程中可能被損壞而可從電路中切斷。

在測試中下列條件必須設定：

- 此設備必須在它的最大操作溫度。
- 開關必須置於“ON”位置。
- 經過接觸器的電路，必須由手動方式完全吸入，或旁通接觸器接點的電路。

2.6 應力消除測試

測試設備：時間精度 ± 5 秒之計時器，一個重量已校正過可施加156牛頓(35磅) ± 1.56 牛頓(0.35磅)，具有平面支撐以穩固設備。

測試程序：針對電纜線及插頭連接之設備，必須提供應力消除來預防像拉或扭絞傳輸到端子、接合或內部導線的機械應力。支撐設備在一個平面上，而當施力在電線上時不可被移動，從最不利之角度直接施以156牛頓(35磅)的力量在設備的電源線上，慢慢施力並維持一分鐘。

接受標準：電源線不得移位，至其應力直接施力於內部電氣接點。

2.7 變壓器輸出端短路測試

測試設備：時間精度 ± 5 分之計時器，質地良好的金屬導體可承受短路電流。

測試程序：設備置於待機狀況，將每一個電源變壓器的輸出予以短路。

接受標準：危險的狀況(例如煙、火或材料融化)不會在8小時之內發生，或在過電流保護、熱保護、或其他保護電路/裝置於8小時內不會產生致動。

備註：變壓器輸出的過電流保護裝置，若為國家認可的測試實驗室登錄或認可，而且額定值不超過極大輸出電流的125%，則不須做輸出短路電路測試。

2.8 電源供應器輸出端短路測試

測試設備：時間精度 ± 5 分之計時器，質地良好的金屬導體可承受短路電流。

接受標準：危險的狀況(例如煙、火或材料融化)不會在8小時之內發生，或在過電流保護、熱保護、或其他保護電路/裝置於8小時內不會產生致動。

備註：電源供應器本身若為國家認可的測試實驗室登錄或認可，而且依照認證之規格與製造商使用說明書來使用時，則不須做此測試。

2.9 安全電路功能測試

測試設備：視所測試的安全裝置而定。

測試程序：依功能測試每個安全迴路(如EMO、緊急停止、行程極限sensor、氣體sensor、光柵與安全互鎖)被致動及重新設定。

接受標準：

- 當EMO致動時，在設備的主電氣箱內所有危險電壓及大於240VA的電力必須解除能量，除非被SEMI S2所允許可例外。
- 緊急停止或安全互鎖開關的致動導致設備或相關零件自動進入安全狀態。
- 安全電路的重置不可導致系統回復先前之操作。

2.10 安全電路導體開路測試

測試設備：無(目視檢查)

測試程序：針對每個獨立的安全連鎖(如門連鎖)、EMO、與安全sensor(如排氣sensor, 低液面sensor)依序斷開每個導體與連接器。

接受標準：

- 安全迴路開路造成設備處於安全狀態，如同安全裝置被啟動。
- 接回導體不可導致系統繼續操作。

2.11 電容器儲存電能放電測試

測試設備：時間精度±1秒之DC電位計，靈敏度1.0%。

測試程序：測試每一個電容器是否儲存危險能量(20焦耳或更高)，連續監視電容器兩端的電壓。斷開設備的供應電源，10秒之後記錄跨接電容器兩端的電壓。

接受標準：自設備切斷電源後，電容器的放電在10秒內小於20焦耳。

計算電容量的公式： $J = \frac{1}{2} CV^2$ J為能量，單位焦耳
C為電容，單位法拉
V為電壓，單位伏特

2.12 溫度測試

測試設備：時間精度± 5秒之計時器，解析度0.1° C之溫度記錄器。

測試程序：設備依製造商的最大設計負載狀況連續操作8小時，或溫度已達平衡狀態(無論哪個先到達)，量測並且記錄室溫，量測並且記錄表1所列元件與裝置之溫度。

備 註：溫度平衡是在5分鐘的間隔，取連續的3個讀值，其間
溫度變化不超過1 °C。

接受標準：量測溫度不超過(表一)所列之值。

表一、最大溫度限制值

設備的零件	溫度限制(°C)
閘刀開關刀片與接觸點	55
保險絲與保險絲座	110
橡膠及熱塑性絕緣導體	詳備註1
導體端子	--
設備標示60 °C或60/75 °C供應導體	75
設備標示75 °C供應導體	90
匯流排及連接帶或棒	125
電容器	詳備註2.
半導體電力開關	詳備註3.
印刷電路板	詳備註4.
馬達及變壓器	詳備註5.

備註1：溫度如導體上的標示。

備註2：溫度標示在電容器上。

備註3：適當電力消散的溫度由半導體製造商建議。

備註4：電路板的操作溫度依製造商的指定。

備註5：馬達或變壓器的額定溫度，如製造商有提供則依其指定，如未提供則使用適當標準(如IEC 61010-1)來參考。

(四)結果與討論

依據本中心實際執行SEMI S9測試之結果，如果廠商設備皆能依循IEC 60204-1、SEMI S2標準來設計及製造，其結果皆可順利通過以上項目測試。以下概略說明IEC 60204-1與SEMI S2的在安全迴路設計上的重點與觀念，提供國內製造商注意及參考。

1. 洩漏電流測試

本項測試須注意必須將待測設備與地面絕緣隔離，且將外部保護性接地迴路(PE)拆除主要針對電源線為插頭/插座組合方式之設備，此類設備依據IEC 60204-1的定義，不應超過16A的額定電流，及不超過3kW的額定總功率，所幸此類設備其體積多不大，否則若要將大型設備與地面絕緣，在實務上將會有所困難。

依據SEMI S9的標準，此項測試如果超過3.5mA，將判定不合格，但依據IEC 60204-1 2005年版標準第8.2.8節之內容，當電氣設備洩漏電流超過3.5mA AC或DC時，其保護性接地回路必須滿足下列一個或更多條件：

- 保護性導體的截面積至少為 10mm² 銅導線，或 16mm² 鋁導線。
- 提供額外一條與原有保護性導體相同截面積的保護性導體。
- 如果發生保護性導體不連續時，自動切斷供應端電源。

2. 變壓器輸出端短路測試

此項測試大多要求廠商在變壓器一、二次側安裝經國家認可的測試實驗室驗證合格的過電流保護裝置，以降低廠商測試費用成本。

3. 電源供應器輸出端短路測試

此項測試大多要求廠商必須採購經國家認可的測試實驗室驗證合格的電源供應器，以降低廠商測試費用成本。

4.安全電路功能/開路測試

此處安全電路泛指如EMQ、緊急停止、行程極限sensor、氣體sensor、光柵與安全互鎖...等迴路，安全迴路的設計必須依據IEC 60204-1第9.2、9.3、9.4節，其評估方式及安全種類等級則可參考EN 954-1，節錄相關重點，敘述如下：

故障發生時的控制功能及降低風險的對策：

- 安全對策的採用依據風險評估的結果決定，依據 EN 954-1，安全對策種類有 B, 1, 2, 3 到 4 共五個等級。
- 降低風險的對策包含：
 - 使用保護裝置(如互鎖式護罩、電子感應保護裝置、光柵)
 - 使用電路互鎖保護
 - 使用部份或完整的多重備用設計(redundancy)或多樣性(diversity)(EN 954-1 Category 3 and 4)
 - 功能測試(每執行一個循環即自我檢查)

另依據EN 418對於EMO、緊急停止迴路的要求如下：

- 必須超越所有模式的任何功能及操作
- 可能產生危險動作的致動器，應儘快以安全方式將其動力切除(如使用無動力之機械式剎車，或種類 1 的反向電流剎車)。
- 重置不可引發重新啟動
- 緊急停止只能為種類 0 或種類 1 的停止，由風險評估來決定
- 種類 0：使用硬體接線的電機/子機械元件，不可使用軟體的電子邏輯方式
- 種類 1：使用電機/子機械元件來移除動力
- 要求為正向模式
- 未有解除指令時緊急停止的狀態會被保持
- 緊急停止的解除需透過手動操作去做解除

（五）結論

上述測試項目的內容，均為SEMI S9標準所要求之測試項目，廠商如為確保符合光電及半導體製程設備達到電氣安全之要求，除了符合SEMI S9的規範之外，SEMI S2及IEC 60204-1各項要求也是評估安全性符合的重點。

安全電路在光電/半導體製程設備的實機測試檢查上，往往因其製程不可中斷而有實務上的困難，必須在空載條件或是利用電氣圖面審查來確認是否達到安全設計要求。另外，目前國內外製造商對安全迴路設計、選用等級種類較缺乏完整概念，或者因成本因素而被忽略掉，技術文件多未提及風險評估、危險分析等相關資料，因此，本文除了描述SEMI S9所要求電氣安全測試項目之外，亦強調安全電路及風險評估的重要性，希望國內廠商能夠真正瞭解SEMI S9 IEC 60204-1在電氣安全設計及測試上的重要性與目的，以期提昇我國光電/半導體製程設備電氣安全技術水準，順利達成設備國產化之目標。