

# 一、緒 論

## 1.1 前言

在 1970 年初期，液晶顯示裝置首先應用在電子計算機及電子鐘錶上，隨後多種新的光電效應及驅動技術的改良，使其具有低消耗功率、薄型輕量、低電壓驅動等的優點，目前薄膜電晶體—液晶顯示器（Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display TFT-LCD，以下簡稱液晶顯示器）已廣泛應用在筆記型電腦、桌上型顯示器、數位相機、行動電話、PDA、中小型可攜式電視、汽車導航、攝錄放影機、影像電話及投影電視等。

液晶顯示器是台灣繼 IC 工業後，最被各界重視及看好的產業之一，尤其在大型液晶顯示器部份，在國內友達光電、奇美電子、中華映管、瀚宇彩晶及廣輝電子等多家廠商大舉投資之下，已創造另一項台灣奇蹟。

液晶顯示器是政府喊出 2008 年「兩兆雙星」計畫中，除了半導體外的「一兆」。行政院指出台灣的液晶顯示器將在 2006 年達到 1 兆 3 千 7 百億元的產值。台灣目前 6 家廠商：友達光電、奇美電子、中華映管、瀚宇彩晶、廣輝電子和群創光電，至少已經投入 3 千 5 百億台幣，未來 5 年至少還要投資 4 千億元。

前有韓國 LG、Philips 與 Samsung 兩家顯示器面板業者，這兩家業者現階段為全球最大之 TFT LCD 供應商，面板出貨量排名分佔全球第一、二名，後有中國大陸預計在 2005 年以後，TFT-LCD 產業逐漸步入成長階段。台灣廠商必須儘速克服現有技術及市場困難點，包括：提昇良率、掌握關鍵零組件、開拓大型顯示器面板市場、提高產品附加價值的新技術開發等。

液晶顯示器具有絕緣材料與電子電路的複合結構，在製程中包含許多的生產作業，其中有兩種或兩種以上物體間的互相摩擦、移動與分離，因此在作業中很難避免靜電的產生與蓄積，以及因靜電所引發的吸附塵粒與靜電放電現象，將嚴重危害液晶顯示器的良率。本研究希望針對液晶顯示器製程特性，參考電子元件製程及其他行業之靜電評估與防制經驗，結合現場製程靜電量測數據，提出適合於液晶顯示器製程之靜電評估與防制方法，並探討防制方法成效。

## 1.2 研究背景

薄膜電晶體－液晶顯示器（Thin Film Transistor -Liquid Crystal Display, TFT-LCD, 簡稱液晶顯示器）的製程良率相較於其他電子元件製程為低，影響製程良率的因素很多，然而其中一項主要而必須克服的障礙，就是液晶顯示器基材(Substrate)所產生的靜電（Electrostatic）問題，因為基材本身是玻璃，一種絕緣性的材料，可以因為摩擦產生多量的靜電並保持很長一段時間，所以相較於其他行業的製程，液晶顯示器製程中潛在靜電問題更多及影響更明顯，而且基材面積越大靜電問題越嚴重。

液晶顯示器本身螢幕和驅動元件，以及製程中的光罩和機器手臂操控器等都會受到靜電的破壞或影響。靜電放電對於液晶顯示器的破壞可以直接觀察得到，如螢幕的缺陷、金屬線路被溶解或蒸發、元件電阻值的改變、氧化層被破壞或擊穿等，同時靜電放電會破壞昂貴的光罩，以及影響以微處理器為中心的電子電路或控制器發生誤動作。TFT-LCD 的製程良率相較於其他電子元件製程為低，因此，如何避免液晶顯示器製程中因靜電所引發危害產品及良率下降問題，是國內製造廠商相當關切的課題。



### 1.2.1 國內液晶顯示器產業

隨著數位家電及行動通訊產業的發展，數位電視及高畫質彩色化的行動電話，將取代電腦相關產品成為下一世代的新興資訊產品，液晶顯示器市場成為推動國際市場高峰的主要動力。

台灣目前主要 6 家廠商：友達光電、奇美電子、中華映管、瀚宇彩晶、廣輝電子和群創光電。其中友達光電的員工人數已超過 1 萬 7 千人，緊追在後的奇美電子員工人數也已經超過萬人。以營收來看，全球第三及台灣第一的友達光電，2004 年營收預計超過 1 千 8 百億新台幣，奇美電子的營收預計超過 1 千 2 百億新台幣。

自 1997 年底中華映管宣佈與日本三菱電機技術合作率先投入第三代大型 TFT-LCD 生產線之後，便開啟國內一波波風起雲湧的大型 TFT-LCD 量產投資熱潮，短短三年中單是大型 TFT-LCD 的投資總額即超過 3 千億新台幣。

台灣 2003 年上半年新增的兩條五代線，因製程良率不佳，良率提昇之速度不如預期，產能擴充速度也因而無法趕上市場需求之速度。2003 年台灣投入新的生產線，上半年包括友達光電與廣輝電子所新增五代線已開始投產，另外中華映管第二季也新增一條四代線的生產線。2003 年下半年奇美電子新的五代線也於 8 月份開始投產，規劃之最大產能為每月投片量 12 萬片。瀚宇彩晶於第四季開始投產，所規劃之最大產能為每月投片量 12 萬片。

2003 年台灣五代線之生產，因受限新製程技術與彩色濾光片之良率與供應不足等問題，產量之提升極為有限。2004 年上半年，預期台灣顯示器面板業者包括友達光電與廣輝電子的五代線，應可望解決大部分之製程問題，加以彩色濾光片的投片量與良率，預期也將較 2003 年提昇，故友達與廣輝之五代線生產良率，應可攀升到 75% 以上。瀚宇彩晶將於 2004 年第一季，開始投產五代線，然預期瀚宇彩晶因現階段未有五代線之量產技術，因此製程良率之提昇仍待觀察。友達光電於 2004 年第二季將投產第二條五代線，預期生產線良率之提昇速度應可望較第一條生產線快速。2004 年底群創光電也將投產新的五代線，不過因其目前並未有任何 TFT-LCD 之生產線，故其製程良率之提昇速度仍屬未知。

2003 年第三季，相較於台灣五代線良率仍低，韓國顯示器面板業者因較早建構五代線，故其所擁有的三條五代線良率均已提升到 80% 以上，故現階段五代線之投片量與良率均為全球之冠。

中國大陸的顯示器面板產業仍處於萌芽階段，目前在中國大陸最活躍的莫過於較屬於勞力密集的組裝廠，至於前段技術層次較高的生產線包括陣列與液晶製程，現階段在中國大陸內並未設有生產線。預期 2005 年以後大陸的 TFT-LCD 產業發展，將在兩條新五代線陸續投入的帶動下逐漸步入成長階段。



### 1.2.2 液晶顯示器的市場前景

根據 DisplaySearch 的預測，未來 3 年全球顯示器面板的產值是 540 億美元，而整個 DRAM 才 260 億美元，晶圓代工只有 240 億美元的市場。

2003 年全球 TFT-LCD 產值為 285 億美元，預估 2007 年產值為 558 億美元，每年複合成長率達到 20%。2003 年台灣大尺寸顯示器面板佔全球市佔率高達 38%，預估台灣未來所有玻璃基材產能佔全球的 40%。2003 年全球 30 吋以上電視產品，預計出貨約 3 百萬台，2004 年的供貨預估在 8 至 9 百萬台之間，2005 年將成長到 1 千 5 百萬台，等於全球 1 億 5 千萬台電視市場的 10%。

大尺寸顯示器面板的下游市場主要包括液晶監視器、筆記型電腦以及液晶電視。液晶電視因較傳統之映像管電視更具輕、薄之優勢，故十分受消費者青睞，儘管其影像與色彩之表現不如傳統電視，但隨著液晶顯示器面板之技術進步，現階段液晶電視之影像播放畫質，已達消費者可接受之範圍，因此預期液晶電視之售價，將成為未來市場需求揚昇的關鍵因素，約佔液晶電視 1/3 成本的液晶顯示器面板，因而成為眾所矚目的焦點。

2004 年第一季台灣大尺寸 TFT LCD 面板產業，各尺寸別面板總出貨量約達 12 百萬片。預估 2004 年台灣大尺寸顯示器面板產能將於第 3 季成為全球第一大供應國，將創造 4690 億新台幣產值。

### 1.3 文獻回顧

在高科技產業中產生的靜電危害問題，造成產品損壞及良率下降的損失，每年超過 10 億美元[1,2]，而且這類問題會隨著電子元件的尺寸越小越嚴重，生產速度越快越嚴重，基材尺寸越大越嚴重，如果不能有效控制製程中產生的靜電問題，製程中的損失將會越來越嚴重[1,3,4,5,6,7]。



### 1.3.1 液晶顯示器製程的靜電問題

液晶顯示器本身螢光幕和驅動元件，以及其製程中的光罩和機器手臂操控器等都會受到靜電的破壞或影響。靜電放電對於液晶顯示器的破壞可以直接觀察得到，例如螢光幕的缺陷、金屬線路被溶解或蒸發、元件電阻值的改變、氧化層被破壞或擊穿等[4]。

#### 1. 製程中靜電問題的類型

製程中的靜電問題分為三類[1,3,4]，靜電吸附(Electrostatic attraction ESA)，增加灰塵吸附在帶靜電的元件表面，即使是在無塵室的環境中，也會因為吸附塵粒造成產品的缺陷，靜電吸附亦會造成物件的意外移動或者無法移動，造成元件被卡住而發生破裂；靜電放電(Electrostatic discharge ESD)直接破壞產品，通常會熔解電路的尖端(< 1.0 mm)，金屬線路被蒸發，絕緣氧化層被擊穿，以及其他的損壞，包括製程元件（如光罩）的損壞，此外靜電放電通常會產生電磁干擾(Electromagnetic interference EMI)中斷生產中的製程，以微處理器為中心的電子電路或控制器發生誤動作。

#### 2. 製程中靜電問題的影響

液晶顯示器製程中可能遭遇的靜電破壞或影響[4,8]，如表 1 所示。經由表 1 可以了解液晶顯示器製程的不同作業，遭遇的靜電問題並不相同，因此必須清楚瞭解製程中的某一作業中靜電的產生過程，才能採行適宜的靜電防制方法，而且若未能有效抑制製程中靜電問題，必然會降低製程的良率，增加生產成本。

#### 3. 薄膜電晶體的靜電放電耐受度

利用傳輸線模式(Transmission Line Model TLM)預測薄膜電晶體的靜電放電耐受度，發現薄膜電晶體的通道長度(Channel Length)小於 10 $\mu$ m，靜電放電破壞電壓(Breakdown Voltage)與通道長度呈線性相關，若是通道長度大於或等於 10 $\mu$ m，靜電放電破壞電壓約為 425V[9]。

表 1 液晶顯示器製程中可能遭遇的靜電破壞或影響

製程中遭遇的靜電破壞或影響	伴隨其他靜電現象
TFT 陣列的線路發現短路及點缺陷	基材吸附塵粒
偏光片及驅動電晶體遭破壞	靜電放電的光及聲音
印刷油墨發生擴散	週遭物件遭吸引靠近或排斥遠離
間隔劑分佈不均	間隔劑因靜電的作用力而移動
玻璃基材發生吸附或移動	基材吸附塵粒或週遭物件
偏光片發生吸附或移動	偏光片吸附塵粒或週遭物件



#### 4. 製程中玻璃基材的靜電量

液晶顯示器的製造過程，大概分為陣列、液晶及組裝等三個製程。在陣列製程中，靜電主要在光阻液塗佈於玻璃基材及去離子水清洗玻璃基材等作業因摩擦而產生[4,8]，如表 2 所示。在面板與組裝製程中，靜電主要產生於玻璃基材持續的接觸與分離作業，如在滾輪/傳輸帶上移動、真空吸取、高速摩擦、薄膜貼附與分離作業[4,8]，如表 2 所示。



表 2 液晶顯示器製程中主要產生靜電的作業

作業	玻璃基材靜電量 (KV)
在滾輪/傳輸帶上移動	-2~-1
塗佈光阻液	-3~-2
配向	-10~-6
封膠	-0.3~-0.2
去離子水清洗	-2
與真空吸盤分離	-3~-2
移除偏光膜/保護膜	-2~-1
熱硬化/冷硬化	-2~-1
玻璃基材表層加壓力	-4~-2



## 5. 陣列製程中的靜電問題

陣列製程中最常見的靜電問題，包括：塵粒吸引及附著所引起的圖樣缺陷 (Pattern Defects)，薄膜電晶體(TFT)的性能衰退或破壞[1]。

### (1) 黃光作業區域的靜電量

黃光作業區域包括真空吸盤吸引與分離、滾輪或傳輸帶上移動、光阻塗佈、顯影及烘烤等作業，表 3 說明在黃光作業區域中各作業的玻璃基材表面靜電壓值，可以得知在光阻塗佈、預烤、玻璃基材與金屬又分離等作業中產生多量的靜電[4,8]，亦即潛在發生靜電問題。

### (2) 工作平台頂起作業的靜電問題

陣列製程中玻璃基材必須非常精準的被置放與固定在平台(Stage)上，當平台的頂針(Elevating Pin)將玻璃基材頂起時會產生靜電，此時靜電放電(ESD)會發生在玻璃基材與頂針及平台間，造成陣列電晶體的破壞，同時因為靜電吸附(ESA)的作用，讓玻璃基材與平台互相吸附難以分離，在玻璃基材的中央位置最為嚴重，若是玻璃基材因為分離時造成反彈而移動位置，就可能在機械手臂拿取時發生破裂的結果，當玻璃基材的尺寸越來越大，或者厚度越來越薄，這樣的情形也會越來越容易發生[1]。

### (3) 玻璃基材入/出料作業的靜電量

陣列製程中的入/出料>Loading/Unloading)作業區段，製程艙(Process Chamber)中都會發生類似於工作平台的靜電放電問題。玻璃基材在放入卡匣(Cassette)前，已經使用靜電消除器消除蓄積的靜電，可是當機械手臂將玻璃基材放入卡匣內，仍然會因為手臂與基材間的摩擦與分離而產生靜電，而且當機械手臂持續將玻璃基材放入卡匣中，會明顯增加卡匣中其他玻璃基材的靜電量，例如：位於卡匣底部的玻璃基材，靜電壓可以達到 20KV 以上 [1]。

表 3 黃光作業區域中各作業之玻璃基材表面靜電壓

作業	靜電壓 (KV)
光阻塗佈前	0~-1
光阻塗佈後	4
預烤	-3
顯影	-0.5
在金屬叉上	-0.2
在卡匣中	-6



## 6. 液晶製程中的靜電問題

液晶製程中靜電問題包括吸附塵粒、靜電放電造成損壞、陣列電晶體的性能衰退、基材因排斥作用產生移動而不易對準[1]。

### (1) 配向作業的靜電問題

配向作業是液晶顯示器製程中特有的，玻璃基材必須被高速摩擦以產生依序扭轉的液晶，經由改變外加電場旋轉液晶的方向，造成讓光線通過與否的效果，才能在螢光幕上任一位置顯示明亮或灰暗的點，形成視覺化的顯示平面。在摩擦過程中玻璃基材產生及蓄積大量靜電，玻璃基材表面靜電壓可能高於 10KV[4,8]，潛在發生靜電放電事故，特別在玻璃基材將要離開金屬檯面時，可能發生嚴重的靜電放電破壞基材上的電子線路，因此必須採用適宜之靜電防護方法。

### (2) 對準作業的靜電問題

在陣列電晶體基材與彩色濾光片的對準(Alignment)作業區段，靜電消除器必須降低出料匣與平台上基材的靜電，以及對準、劃線(Scribe)及切割(Break)等作業時的靜電，避免靜電放電造成陣列電晶體的損壞[1]。

### (3) 封膠印刷作業的靜電問題

封膠印刷作業是液晶顯示器製程中特有的，膠液經由印刷滾輪塗佈在玻璃基材上，因為滾輪與基材間的接觸壓力與移動持續產生靜電，造成膠液因靜電作用力而移動，發生膠液擴散影響基材上封膠圖樣的完整[4,8]。

## 7. 組裝製程中的靜電問題

組裝製程包含將驅動 IC 與液晶面板組合，以及背光板等其他裝置組合成液晶顯示器。製程中靜電問題主要為靜電放電的破壞，在裝配驅動 IC 及最終的產品測試時最容易發生。此外應注意人員在組裝過程中所產生的靜電，經由人員手套及外套所產生的靜電放電對產品造成的破壞[1]。

### 1.3.2 製程靜電問題的防制成效

#### 1. 黃光作業區域靜電問題的防制成效

在黃光作業區域中，製程目的將所需要電晶體驅動陣列線路轉印至玻璃基材上，採用真空吸引方式將基材精準且牢固地固定在金屬檯面上，所以在移動及真空吸引的過程中，基材持續摩擦與分離產生多量靜電，特別在出料盒中基材表面蓄積大量靜電如表 4 所示，此時若有其他物件接近基材則可能發生靜電放電，破壞基材上的電子線路，因此必須採行適宜之靜電防護方法[4,8]。在製程中玻璃基材表面蓄積大量負極性的靜電壓，為達到生產速度的要求必須在最短時間內，提供大量的正極性離子達到電荷中和目的，一種直流式的靜電消除器可以符合這個需求，適當調整靜電消除器的離子產生量，可提供大量的正極性離子與少量的負極性離子，足以中和玻璃基材表面的靜電壓，至於少量負極性離子的作用，在於降低因正離子過多而發生反帶電的情形。



表 4 黃光作業區域中入料及出料作業靜電量及消除效果

作業	基材表面靜電壓 (KV)	
	未使用靜電消除器	使用靜電消除器
入料	-3.8	< 0.1
出料	-16.4	< 0.1



## 2. 配向作業區域靜電問題的防制成效

在配向作業中玻璃基材產生及蓄積大量靜電，可能發生嚴重的靜電放電破壞基材上的電子線路，因此必須採行適宜之靜電防護方法。由表 5 配向作業區域基材靜電量及消除效果得知，製程中加裝靜電消除器可以降低靜電問題的發生[4,8]。



表 5 配向作業區域基材靜電量及消除效果

作業	基材表面靜電壓 (KV)	
	未使用靜電消除器	使用靜電消除器
摩擦	多於-10	少於-2



### 3. 封膠印刷作業區域靜電問題的防制成效

封膠印刷作業區域因為滾輪與基材間的接觸壓力與移動持續產生靜電，造成膠液因靜電作用力而移動，發生膠液擴散影響基材上封膠圖樣的完整。由表 6 封膠印刷作業區域基材靜電量及消除效果得知，製程中加裝靜電消除器可以降低靜電問題的發生[4,8]。



表 6 封膠印刷作業區域基材靜電量及消除效果

作業	基材表面靜電壓 (KV)	
	未使用靜電消除器	使用靜電消除器
封膠印刷	多於-3	少於-0.2



## 1.4 研究目的

在大部份工業製程中都會產生靜電荷的累積；輕則使人感到不舒適，重則對人體造成傷害，甚至在易燃性氣體、液體和粉塵的裝卸與輸送過程中產生火災爆炸事故。尤其在特定危險區域的工業製程中，如化學工業、石油工業、塗料工業、塑膠工業、製藥工業、食品工業、印刷工業和電子工業等，更容易有靜電危害產生的問題。

工業界的靜電危害，除了造成火災、爆炸等不幸事件外，同時亦會因靜電放電影響生產製程的良率。特別當產品本身具靜電敏感性，容易因靜電蓄積導致吸附塵粒，或靜電放電破壞電子線路，在製程中靜電危害的問題將會屢見不鮮。若產品本身或部分為絕緣材料，則會增加靜電危害事故的嚴重度與發生率，因產品在輸送或處理過程中，由於持續摩擦與分離產生多量的靜電，又因本身具絕緣性會導致靜電大量累積，當靜電累積到危險程度即會發生靜電放電，周遭為靜電敏感性元件或產品，則可能發生元件或產品被壞而影響生產製程的良率。

液晶顯示器具有絕緣材料與電子電路的複合結構，在製程中包含許多的生產作業，其中有兩種或兩種以上物體間的互相摩擦、移動與分離，因此在作業中很難避免靜電的產生與蓄積，以及因靜電所引發的吸附塵粒與靜電放電（ESD）現象，將嚴重危害液晶顯示器的良率。並且液晶顯示器的玻璃基材在製程中，不斷與許多種不同物質間產生接觸和分離的作業，持續產生與累積靜電，因此製程中各個作業都潛在靜電問題發生可能性，所以液晶顯示器製程中潛在靜電問題比其他工業製程是更為常見及更明顯。

相較於其他電子元件製程，液晶顯示器的製程良率一直較低，影響製程良率的因素很多，其中一項主要而必須克服的障礙，就是液晶顯示器基材所產生的靜電問題，因為基材是玻璃，一種絕緣性的材料，可以因為摩擦產生多量的靜電並保持很長一段時間，所以液晶顯示器製程中潛在靜電問題會比其他工業製程更多及影響更顯著。

在石化、塑膠、橡膠及其他行業中，包括電子、半導體業等相似製程的行業中，同樣有兩種或以上物體間的互相摩擦、移動與分離而產生靜電，在這些製程中所產生的靜電問題已經被相當清楚的了解，例如：產品表面沾附灰塵、靜電放電破壞產品、設備操作的困擾等問題，都是因為未能控制製程中環境因素的後果，因此藉由在其他工業製程中所建立的靜電防制知識與經

驗，應用於液晶顯示器製程中將有助於降低製程中潛在靜電問題，進而提高製程良率。

液晶顯示器的製造過程分為陣列、液晶及組裝等三個製程，製程可由數個作業區域組成，作業區域若再依製造流程先後或接觸不同物件作細分，作業區域可由數個作業組成，如清洗作業區域包括真空吸盤吸引與分離、滾輪或傳輸帶上移動、去離子水清洗與移除等作業。因此液晶顯示器製程中涵蓋許多的產生靜電的作業，並且作業中玻璃基材的靜電量，有相當大的差異。期望解決液晶顯示器製程中肇因靜電引起產品良率問題，就必須配合現場生產流程，對於製程中潛在靜電問題作詳細闡述，否則可能疏忽製程中某一流程，導致疏忽重大潛在靜電問題。

本研究希望針對液晶顯示器製程特性，參考電子元件製程及其他行業之靜電評估與防制經驗，結合現場製程靜電量測數據，提出適合於液晶顯示器製程之靜電評估與防制方法，並探討防制方法成效。



## 二、液晶顯示器製程特性

液晶顯示器的製造過程，一般分為三個區段，第一個區段為陣列（或稱 Array 或 TFT）製程，相似於半導體製程中的前段製程，重複在基材上進行薄膜、曝光、顯影、蝕刻、清洗等步驟，製程目的在玻璃基材上形成薄膜電晶體陣列。第二個區段為液晶（或稱 Cell 或 LCD）製程，此為液晶顯示器特有的製程，主要為形成密封且可被電場旋轉的液晶顯示器面板，經由外加電場扭轉液晶排列方向，光源則透過液晶及彩色濾光片，在螢幕上顯示各種顏色明亮或灰暗的光點，眾多光點則組成影像供觀賞或閱讀。第三個區段為組裝（或稱 Module 或 LCM）製程，包括液晶面板、光源、背光板、與連接外界電子訊號的驅動電路和機械結構等，共同組成將電子訊號轉換成影像的液晶顯示器。

液晶顯示器的製造過程分為陣列、液晶及組裝等三個製程，製程可由數個作業區域組成，作業區域又可由數個作業組成，因此製程中包含相當多數量不同的作業，而且這些作業中都可能潛在發生靜電危害問題。液晶顯示器製程的不同作業所遭遇的靜電問題並不相同，因此必須清楚瞭解製程中的某一作業中靜電的產生過程，才能採行適宜的靜電防制方法，而且若未能有效抑制製程中靜電問題，必然會降低製程的良率，增加生產成本。



## 2.1 液晶顯示器面板結構

液晶顯示器面板中單個像素的結構示意圖如圖 1 所示，主要構成元件由上往下依序為偏光片 (Polarizer Film)、玻璃基材 (Glass Substrate)、彩色濾光片 (Color Filter)、封裝材料 (Seal Material) 間隔劑 (Spacer)、液晶 (Liquid Crystal)、薄膜電晶體陣列 (TFT Array) 及顯像電極 (Display Electrode)、玻璃基材、偏光片等組成。



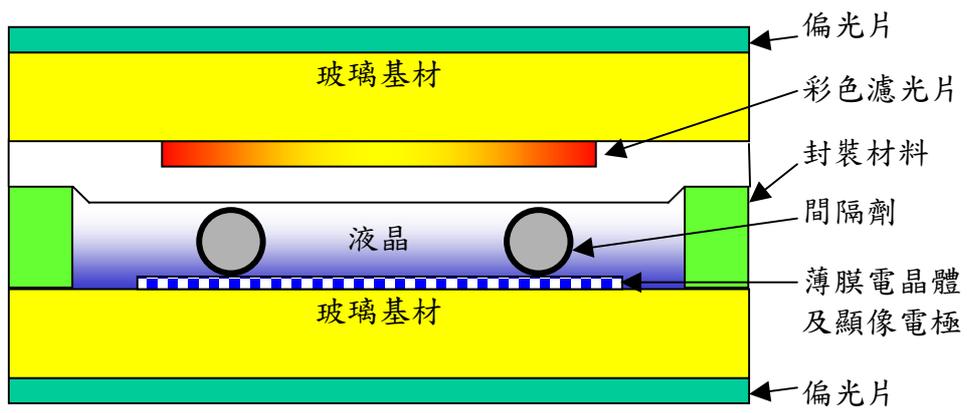


圖 1 液晶顯示器面板中單個像素的結構示意圖



## 2.2 液晶顯示器製程與設備

液晶顯示器之生產製造技術結合半導體產業、化學材料產業及光電產業之製造技術，主要分為：陣列、液晶、組裝等製程。陣列製造技術主要是將玻璃基板透過類似半導體製造技術，如鍍膜、曝光、顯影、蝕刻等技術，在基板上形成眾多的薄膜電晶體(TFT)(參見圖2)。液晶製造技術主要是將陣列製程完成的基板與彩色濾光片基板分別作配向處理，並透過檢準機械對位壓合，再進行框膠燒成，切割成預定尺寸面板，再注入液晶，並將偏光板貼附以及檢測工作，完成液晶顯示器面板(參見圖1)。組裝製程主要是將切割完成之面板與驅動IC、電路板、背光板等外部零件組立起來，成為液晶顯示器之後再作最後的檢查。





圖 2 陣列製程中單個像素薄膜電晶體的結構示意圖



### 2.2.1 陣列製程及設備

陣列製造流程（參見圖 3 所示）依序可分為玻璃清洗、成膜、清洗、光阻塗佈、預烤、曝光、顯影、硬烤、蝕刻、光阻剝離、檢查等作業區域。製程設備分為洗淨設備、濺鍍及電漿化學氣相沉積設備、光阻塗佈設備、燒成爐、曝光設備、顯影設備、濕式及乾式蝕刻設備、光阻剝離設備及陣列檢查設備等。陣列製程半成品之單個像素的結構示意圖，參見圖 2。



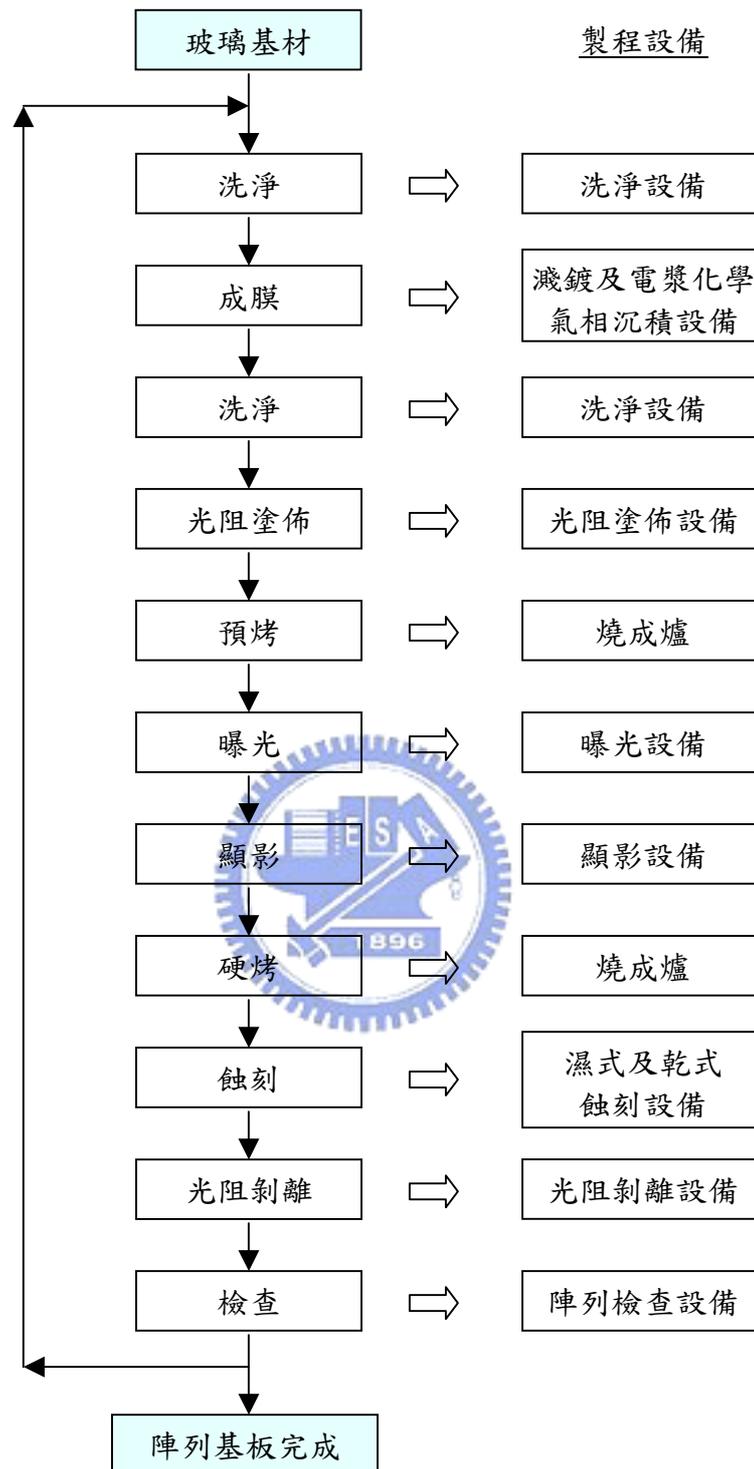


圖 3 液晶顯示器的陣列製造流程

### 2.2.2 液晶製程及設備

液晶製造流程（參見圖 4 所示）可分為清洗、配向膜塗佈、燒烤、配向、清洗、膠框印刷、間隔劑散佈、上下玻璃貼合、熱壓合、面板切割、液晶注入、封口、偏光板貼片、檢查等作業區域。製程設備分為洗淨設備、配向膜塗佈設備、燒成爐、配向設備、膠框印刷設備、間隔劑散佈設備、組合對立設備、切割裂片設備、液晶注入/封口設備、偏光板貼片設備、檢查設備等。液晶製程半成品之單個像素的結構示意圖，參見圖 1。





圖 4 液晶顯示器的液晶製造流程

### 2.2.3 組裝製程及設備

組裝製造流程（參見圖 5 所示）可分為清洗、異方性導電膜貼片、線帶自動結合壓著、背光板、檢查、包裝等作業區域。製程設備分為異方性導電膜貼片設備、線帶自動結合/玻璃上直接接合構裝設備、檢查設備等。



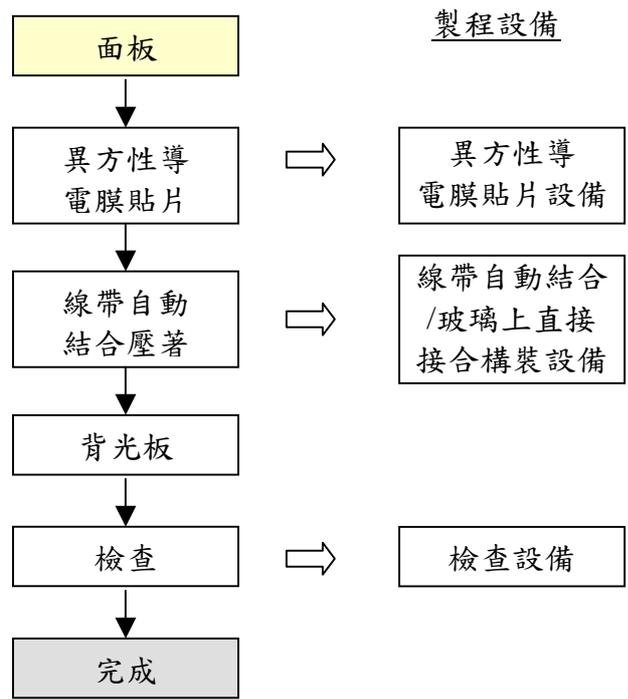


圖 5 液晶顯示器的組裝製造流程



### 三、研究靜電評估模式與防制方法

在石化、塑膠、橡膠及其他行業中，包括電子、半導體業等相似製程的行業，製造過程中同樣有兩種或以上物體間的互相摩擦、移動與分離而產生靜電，在這些製程中所產生的靜電問題與發生機制已經被相當清楚的了解，都是因為未能適當控制製程或環境中影響靜電產生或蓄積之因素的後果，因此藉由在其他工業製程中所建立的靜電評估與防制的知識與經驗，應用於液晶顯示器製程中將有助於降低製程中潛在靜電問題，進而提高製程良率。

防止液晶顯示器製程發生靜電問題，應先熟悉作業過程中靜電產生流程，能夠辨認靜電問題形成的每一階段，包括靜電產生及散逸的影響因素，靜電放電危害類型，然後能針對靜電問題運用靜電量測儀器，進行製程中物件及環境之靜電量測，掌握製程中靜電量，評估具潛在危害之靜電問題，後續研擬與採行適宜之靜電防制方法，同時持續量測與比對施行靜電防護措施的效果，才能確保靜電防護措施持續有效，以及製程中潛在靜電問題已被有效控制，達成減低製程中肇因靜電引起良率問題。

運用靜電量測儀器確認機台中蓄積靜電的位置，典型的靜電量測位置就在機台的入/出料（Loading/ Unloading）作業位置，發現玻璃基材蓄積多量靜電。液晶顯示器製程分為三個主要的製程，陣列製程中主要潛在靜電問題，包括機械手臂吸取與放置玻璃基材、玻璃基材在滾輪上移動等作業步驟。液晶製程中主要潛在靜電問題，包括機械手臂吸取與放置玻璃基材、玻璃基材在滾輪上移動、去離子水清洗玻璃基材、切割與壓片、人員拿取玻璃面板、真空吸引玻璃面板、偏光板貼合等作業步驟。組裝製程中主要潛在靜電問題，包括保護膜剝離、面板組裝、維修作業時偏光片剝離等作業步驟。

製程靜電危害防制方法有許多種，液晶顯示器製程主要採用靜電消除器，減低製程中潛在靜電危害問題。靜電消除器利用電荷中和原理，採用高壓電經由放電尖針將周圍空氣電離，產生正負極性或單極性離子，將玻璃基材的靜電中和，同時使基材的靜電量趨近於零。所以採用靜電消除器，利用離子中和的方法消除基材的靜電問題，成為必須且有效的靜電危害防制方法。

### 3.1 靜電問題的物理現象

工業製程中，靜電荷會伴隨各種不同作業(如：原料入料、物料攪拌、成品輸送或分裝等)而產生，若靜電蓄積至危險程度，即會發生靜電放電，輕微者造成產品損壞、人員電擊等事件，嚴重者則可能引燃週圍易燃性蒸氣或粉塵，造成火災爆炸事故。

雖然靜電效應是電學中最早被證明出來的，但是在現代工業中靜電經常被視為“無名火”，亦即是無法有系統性的分析和控制靜電產生之危害。在所有現代工業中可能潛在的引火源中，靜電經常被視為最不容易被控制的引火源。然而，只有對靜電現象多做研究並將結果應用到工業上的實際狀況下，才可增加控制靜電危害的能力。

工業界靜電的危害，除了造成火災、爆炸等不幸事件外，同時亦會因靜電放電影響生產製程的良率。特別當產品本身具靜電敏感性，容易因靜電蓄積導致吸附塵粒，或靜電放電破壞電子線路，在製程中靜電危害的問題將會屢見不鮮；若產品本身或部分為絕緣材料，如液晶顯示器的基材為玻璃材料，則會增加靜電危害事故的嚴重度與發生率，因產品在輸送或處理過程中，由於持續摩擦與分離產生多量的靜電，又因本身具絕緣性會導致靜電大量累積，當靜電累積到危險程度即會發生靜電放電，周遭為靜電敏感性元件或產品，則可能發生元件或產品被壞而影響生產製程的良率。

### 3.1.1 靜電產生及影響因素

兩種不同物體互相接觸後分開，其中某一物體會失去自由電子成為帶正極性電荷的物體，而另一物體則會得到自由電子成為帶負極性電荷的物體，這種靜電產生過程通常稱為摩擦帶電 (Triboelectric Charging)。事實上，兩種不同物體分離時產生不同極性的電荷，但是總體觀之，兩物體上電荷的總和仍然為零。

製程中靜電產生的主要機制，包括物體接觸分離、物理上的破壞、電場感應及帶電離子附著等。液晶顯示器製程中靜電產生，主要在於玻璃基材的接觸分離產生靜電，如在滾輪/傳輸帶上移動、真空吸取與分離、高速摩擦、薄膜貼附與分離等作業，都會產生多量靜電。此外，製程中亦會發生帶電離子附著玻璃基材而產生靜電。若有其他物體接近帶靜電的基材則會因為感應而帶有靜電，不需要經由接觸的過程。

#### 1. 靜電產生原因

靜電產生的原因，主要是由於兩種物體互相接觸及分離等運動，致使原本呈中性的物體因而帶正或負極性的靜電。靜電產生的主要原因包括物體接觸分離、物理上的破壞、電場感應及帶電離子附著等原因。

##### (1) 接觸分離產生靜電

兩種物體互相接觸後分離，在兩種物體上發生相反極性而電荷量相等的靜電。如在固體與固體、固體與液體、液體與液體、液體與氣體間等，任何一種情況下均會發生接觸分離而產生靜電。

##### (2) 物理上破壞產生靜電

一種物體被破壞後，由於電荷分佈不均勻，亦會使物體產生靜電。如在粉碎固體或液體霧化等情況下會發生破壞而產生靜電。

##### (3) 感應產生靜電

被絕緣的導體會受周圍靜電存在的影響，在導體本身因為感應產生靜電。如在被絕緣的導電性固體、液體等均有可能發生感應而產生靜電。

##### (4) 帶電離子附著

空氣帶電的離子附著在物體上，會使物體產生靜電，或者帶靜電物體本身發生靜電放電，亦會使周圍其他物體產生靜電變化的情形。

#### 2. 靜電量的影響因素

作業中產生靜電量高低之主要影響因素，包括兩種物體的種類、物體中雜物

及不純物、物體表面情況、運動時間、分離速度、接觸面積及壓力等。液晶顯示器製程中的靜電量高低，主要在於玻璃基材的運動時間、分離速度、接觸面積及壓力等。

(1) 物體之種類

物體本身特性影響，致使不同物體互相接觸分離，產生靜電之大小及極性有所不同，依物體在摩擦帶電序列表上相對位置有關。

(2) 雜物及不純物

一種物體中混入雜物或不純物，會使物體產生較多的靜電；若雜物或不純物能增加物體的導電性，亦會增加物體本身靜電的散逸速度。

(3) 物體表面情況

物體表面粗糙或有污染物、氧化物及水份等，均會增加靜電的產生。

(4) 物體運動時間

物體初次或初期運動時，產生較大的靜電；重覆或持續運動時，產生的靜電較小。玻璃基材在製程中持續在滾輪/傳輸帶上移動、真空吸取、高速摩擦、薄膜貼附與分離作業都會產生多量靜電。

(5) 接觸面積及壓力

物體接觸面積越大，靜電的產生越大；物體接觸面的壓力越大，靜電產生也越大。玻璃基材在製程中因為面積及壓力的影響產生多量靜電。

(6) 分離速度

兩種物體分離速度越大，產生的靜電越大。製程中的玻璃基材持續接觸與分離、薄膜貼附與分離作業產生多量靜電。

### 3.1.2 靜電散逸現象

靜電散逸原因為同一或不同物體上，相反極性靜電互相吸引，導致物體上靜電的不均衡現象減低，達成物體累積的靜電量降低。靜電散逸現象主要為放電或傳導等方式將靜電散逸。

通常在液晶顯示器製程中有金屬的物件或機具，金屬物件與玻璃基材摩擦產生的靜電，會藉由金屬的導電性及接地措施，在傳導過程中將靜電散逸至大地，並失去原來產生的靜電，利用傳導方式將靜電散逸。

此時製程環境中的玻璃基材即成為帶靜電的物體，靜電蓄積至某一程度，因高電場強度發生電離，玻璃基材的靜電向空間釋放，或者玻璃基材的靜電會經由接觸而直接釋放至另一個物體，這種釋放的過程稱為靜電放電。由於玻璃基材為絕緣材料，所以靜電散逸速率緩慢，玻璃基材的靜電會蓄積很長一段時間，在後續製程與機台中，帶有靜電的基材會吸附空間中的塵粒而被污染，或者玻璃基材在機台中接觸其他的物件或機具，發生靜電放電，造成電子元件破壞或設備誤動作等靜電放電事件。所以液晶顯示器製程中潛在靜電問題比其他工業製程更為常見及更明顯。

#### 1. 放電引起靜電散逸

##### (1) 空氣電離

物體帶靜電至某一程度，會因電場強度足以讓空氣發生電離，物體上的靜電向空間釋放，因而減低本身的靜電。因此物體靜電蓄積程度有上限值，通常表面電荷最大密度為  $27 \mu\text{C}/\text{m}^2$ ，空間中電場強度為  $3 \times 10^3 \text{ KV}/\text{m}$ 。

##### (2) 靜電放電

物體上的靜電會經由接觸，直接傳導至另一個物體，這種傳導的過程稱為靜電放電。在接觸的瞬間受到傳導途徑的電阻值高低，以及傳導物體間電場分布情形的影響，靜電放電有不同類型、聲光與放電能量。

#### 2. 傳導引起靜電散逸

物體的靜電經由傳導通路向大地散逸，會減低物體本身的靜電，影響靜電散逸速率則為傳導通路的導電性。

##### (1) 導電性傳導通路

傳導通路為導電材質亦即導電性高，則物體的靜電散逸快。

##### (2) 絕緣性傳導通路

傳導通路為絕緣材質亦即導電性低，則物體的靜電散逸緩慢。

### 3. 靜電散逸時間

物體的靜電會以傳導的方式將靜電散逸，則靜電散逸時間的長短，可以表達物體靜電散逸能力的高低，亦即靜電散逸時間短，代表靜電散逸能力高，而且物體的電荷量及靜電散逸時間可以經由計算式得知。帶靜電的物體是導體時，帶電電荷量(Q)可由下式計算得：

$$Q = Q_0 \exp\left(\frac{-t}{RC}\right) \quad C(\text{庫倫})$$

其中 $Q_0$  代表物體初始之電荷量， $t$ 為時間(sec)， $RC$ 乘積為靜電散逸時間(sec)，因此導體對大地間的電容值越高或電阻值越高，則靜電散逸速度越慢。



### 3.1.3 靜電放電現象

靜電放電的種類包含：火花(Spark)、電暈(Corona)、刷狀(Brush)、射狀(Propagating Brush)、大量粉堆(Bulk Powder)、雷狀(Lightning like)等放電類型。當物體上電荷累積到使電場達到空氣的介電強度為  $3\text{MV/m}$  時，就會產生放電現象，並將所儲存的全部或部份能量釋放出來，形成具有光與熱的放電路徑，並可能熔解金屬線路、破壞絕緣保護層、放射電磁波。液晶顯示器製程中發生靜電放電類型以火花、電暈及刷狀放電為主。

近來由於很多設備的零件都使用非導電性塑膠，使得設備中某部份金屬的元件、組件、管路、容器或結構形成電的絕緣體，致使因摩擦產生的靜電累積至危險程度，發生火花放電。在工業製程中因為靜電放電而引起靜電問題，以絕緣導體所發生火花放電佔絕大部份，因為累積在絕緣導體上的靜電發生放電時，會將所有的能量在一次放電中釋放，造成元/物件的嚴重破壞。

玻璃基材為絕緣材料，所蓄積的靜電不會由單次的靜電放電將能量釋放出來，而是可能在玻璃基材表面之鄰近區域發生多次靜電放電。因為靜電在玻璃基材表面的移動速率很慢，每次靜電放電的持續時間卻很短，無法在一次放電時將蓄積的能量釋放，所以在玻璃基材表面會發生多次的靜電放電，由於電場強度和周圍環境上的幾何形狀之不同，會有三種不同的放電型式：電暈、刷狀及射狀等三種放電。

當接地金屬靠近一表面上充滿單極性電荷的絕緣物體，就可能產生電暈或刷狀放電。當一個接地金屬電極靠近上述的絕緣物體，會使電極表面的電力線集中，若電極表面的電場達到空氣介電強度（正常條件下為  $3\text{MV/m}$ ）時就會產生電暈或刷狀放電。產生電暈或刷狀放電的條件與許多的參數有關，如：電極的曲率半徑、電極接近電場的速度及電荷的極性等。事際上，電極的曲率半徑小於  $0.5\text{mm}$  時才可能產生電暈放電，電極半徑大於  $0.5\text{mm}$  時較可能產生刷狀放電。

### 3.2 製程靜電評估模式

兩種或兩種以上物體間的互相摩擦、移動與分離都會產生靜電，在石化、電子、半導體等許多行業中，這些製程中所產生的靜電問題已經被清楚的釐清，因此藉由在其他工業製程中所建立的靜電防制知識與經驗，應用於液晶顯示器製程中將有助於了解製程中潛在的靜電問題。

半導體製程的靜電防護計畫中，主要的防制措施為採用靜電消除器，防護計畫中首先決定製程中的何種作業區域潛在靜電問題，並造成產品的良率下降；再者則是選擇適合該作業區域的靜電消除器[3]，達成靜電消除的目的。所以在液晶顯示器製程中想要降低製程中的靜電，就必須要了解靜電產生的機制，以及製程中靜電產生的位置，所以，首先的步驟就是決定靜電產生的位置，以及靜電蓄積會在何種物件上[1]，才能針對蓄積靜電的物件，採行合宜的靜電防制方法。

進行製程靜電防制，應先瞭解靜電事件發生原理，熟悉作業過程中靜電產生及散逸的因素，以及靜電放電危害，能夠辨認靜電事件形成的每一階段，然後能針對原因運用靜電量測儀器，進行製程中物質及環境量測，掌握製程中靜電物理量，評估具潛在之靜電危害因素，後續研擬與採行適宜之靜電防制方法，同時持續量測與比對施行靜電防護措施的效果，才能確保靜電防護措施持續有效，以及製程中潛在靜電問題已被有效控制。

### 3.2.1 靜電產生過程

在製造過程中，所有因靜電所引起的事件都依循著相同的發展過程，參見圖 6 所示，如以下所述：首先兩種物體接觸而分開，發生電荷分離，此即電荷產生(Charge Generation)；然後電荷可能累積在產品/半成品/原料，或可能在設備/機台/容器/管路，或可能在人員/工具/物件，此即電荷累積(Charge Accumulation)；若電荷散逸(Charge Decay)則電荷量減低，不會發生電荷累積；若電荷無法散逸，則累積至足夠程度將發生靜電放電(ESD)，同時可能破壞周圍對靜電敏感的物料、元件或環境，而發生靜電危害事件(ESD Event)。

在某一時空的特定製程中，將每一步驟都能定義清楚是很不容易的事，如玻璃基材在滾輪上傳送，基材與滾輪接觸與摩擦產生靜電，當滾輪與基材分離後，不同極性電荷會分別蓄積在基材與滾輪上，但基材在傳送過程的同時時間中與數個滾輪發生接觸與分離，亦即基材本身同時時間內有靜電產生、分離、累積及發生靜電放電等過程。當然亦會同時考慮幾種步驟間相互的影響與發生的情況，如電荷分離速率和電荷散逸速率的差異程度，才能判斷靜電累積的程度，以及靜電問題的嚴重性。藉由靜電防制知識與經驗，正確辨認液晶顯示器製程中靜電問題，才能針對問題研擬適宜之防制方案。



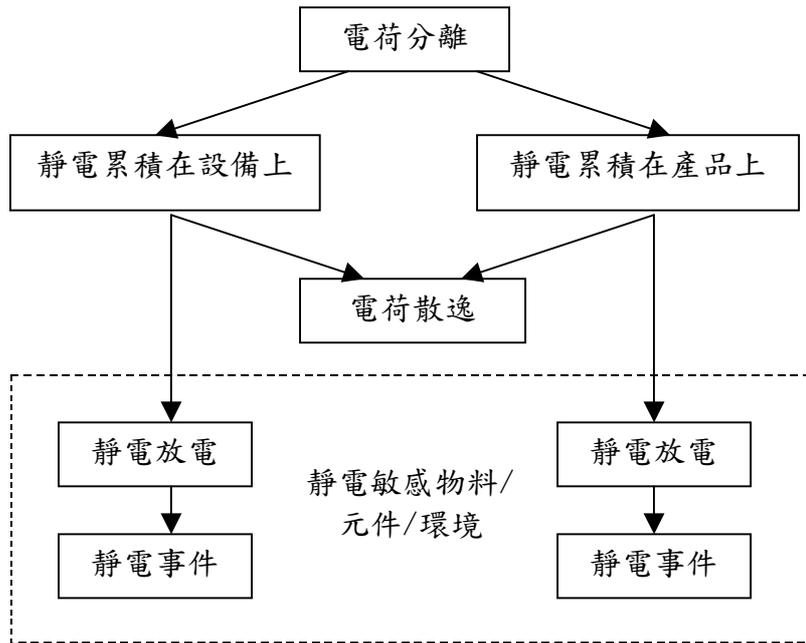


圖 6 靜電產生過程



### 3.2.2 製程靜電評估方法

進行液晶顯示器製程靜電評估，首先應收集製程相關資料，包括原物料、製程方法及製程設備等，繼之在現場辨認製程中發生潛在靜電問題的機台、作業或物件，使用適當量測儀器確認發生潛在問題的機台、作業或物件，然後依據防制原則選擇適宜之防制方法。

液晶顯示器製程中的採行靜電量測，確認機台中蓄積靜電的位置，典型的靜電量測位置就在機台的入/出料（Loading/ Unloading）作業位置，發現玻璃基材蓄積多量靜電，以及出料盒中亦發現同樣問題[1]。液晶顯示器製程分為三個主要的製程，在陣列製程中，靜電主要在光阻液塗佈於玻璃基材及去離子水清洗玻璃基材等作業因摩擦而產生[4,8]。在液晶與組裝製程中，靜電主要產生於玻璃基材持續的接觸與分離作業，如在滾輪/傳輸帶上移動、真空吸取、高速摩擦、薄膜貼附與分離作業[4,8]。

液晶顯示器之生產製造技術結合半導體產業、化學材料產業及光電產業之製造技術，主要分為陣列、液晶、組裝等製程。本研究希望針對液晶顯示器之各製程、各作業區域及各作業，依靜電評估方法，收集製程相關資料，在現場辨認製程中發生潛在靜電問題的機台、作業或物件，使用適當量測儀器確認發生潛在問題的機台、作業或物件，然後依據防制原則選擇適宜之防制方法。期望釐清製程、作業區域、作業中潛在重大靜電問題，進而有效控制，達成增加製程良率。

### 3.2.3 製程靜電量測方法

在液晶顯示器製程進行現場的靜電量測，應注意靜電場容易受到周圍環境影響，並不容易得到精確的數值，建議現場量測時應選擇影響最小的位置、受測物件不可以置於桌面，以及選擇物件無接觸金屬的區域進行量測[10]。

對於製程中量測對象為大型板狀物件，如玻璃基材，通常採用靜電場/壓計(Electrostatic- field Meter)量測玻璃基材表面靜電壓值，藉以確認製程中靜電產生的位置，判斷是否可能影響製程良率與機台運作，藉以確認製程、作業、機台或物件中是否具潛在靜電問題。若作業中玻璃基材周圍有金屬物件，如金屬叉、機械手臂、金屬檯面和金屬傳送滾輪，則應注意這些金屬物件可能影響周圍靜電場分布，進而影響玻璃基材表面靜電壓的量測數值，此一錯誤數值可能造成誤判而疏忽重大潛在靜電問題，致使製程中持續發生靜電問題而未能有效得到解決。

製程環境中進行玻璃基材或其他被測物的表面靜電壓量測，必然會受到週遭機台或物件對於靜電場的干擾，應慎重選擇玻璃基材或其他被測物表面的量測點，能夠將周圍環境的影響降至最低，得到接近於實際狀況的數值。另外應將注意力集中於靜電壓量測數值較高的製程、作業、機台或物件，亦即代表該作業或物件產生多量靜電，潛在發生靜電問題可能性。

### 3.3 製程靜電防制方法

對於 ESD 的防護措施可分為兩大類，第一種方法在減低製程中產生的靜電，以及控制製程中已經產生的靜電，不致發生靜電放電；第二種方法為改變現有電子元件特性或增加特定的電子元件，以增強電子元件對於靜電破壞的承受度[11]。

製程靜電危害防制方法有許多種，受限於液晶顯示器製程中的限制，如控制在一定範圍內的環境溫溼度、空間中潔淨度的要求與基材本身絕緣特性，因此一般製程的靜電危害防制方法無法完全適用於液晶顯示器製程。靜電消除器利用電荷中和原理，採用高壓電經由放電尖針將周圍空氣電離，產生正負極性或單極性離子，將玻璃基材的靜電中和，同時使基材的靜電量趨近於零。所以採用靜電消除器，利用離子中和的方法消除基材的靜電問題，控制製程中已經產生的靜電，成為必須且有效的靜電危害防制方法。



### 3.3.1 靜電防制方法

靜電防制方法分類如下：接地、增加溼度、限制速度、抗靜電材料與靜電消除器等五種[12]。工業製造過程中，因作業環境、程序及材料的不同，所實施的靜電危害防制方法，亦會有所不同。

#### 1. 靜電防制方法採用原則

靜電防制方法有五種，至於在某一製程現場應採行何種方法，則必須考量作業環境、程序及材料的不同，以及現場製程環境、條件與限制，甚至經費、管理系統與人力素質等等因素，採行適宜之靜電危害防制方法，有時必須考量作業環境、作業程序及原物料的不同，以及現場製程環境、經費需求、管理系統與人力素質等因素限制，才可能採行適宜之靜電危害防制方法。無法在製程現場採行一種靜電危害防制方法而能降低潛在的靜電問題，而且沒有一種靜電防制方法可以適用於所有的製程或作業，有時會採用二種或二種以上的靜電防制方法。

#### 2. 靜電消除器

靜電消除器利用高壓電將空氣電離產生帶電離子，由於異性電荷會互相吸引而中和，可使帶靜電物體的電荷被中和，達成電荷蓄積程度至最低，因此不會發生危害的靜電放電。靜電消除器大致可分類為被動式、主動式及輻射源式等三種[13]，必須參考作業環境因素選擇合適的靜電消除器，才能發揮最大的靜電消除效果。

##### (1) 被動式靜電消除器

利用已接地之金屬針、金屬箔片、導電性纖維等，接近帶靜電的物體，因為電場強度增加，在金屬針的針端將發生空氣被電離，產生帶電離子可使帶靜電物體的電荷被中和，達到靜電消除的目的。帶靜電物體表面的電荷密度必須達到一臨界值，才能使金屬針的針端發生電暈放電，將空氣電離產生帶電離子，達到靜電中和的效果；若是低於此一臨界值，則靜電中和的效果會降低。被動式靜電消除器與帶靜電物體的距離過近，可能發生帶相反極性電荷的問題。

##### (2) 主動式靜電消除器

使用交流或直流高壓電源接到一組金屬針，在金屬針的針端因為電場強度增加，周圍空氣被電離產生帶電離子，可使帶靜電物體的電荷被中和，達到靜電消除的目的。主動式靜電消除器是靜電消除效果最好的靜電消除器，能夠

利用高壓電源產生大量的帶電離子，消除製程中絕緣材料表面的多量靜電，製程現場使用適宜的主動式靜電消除器，可以達成物體表面蓄積靜電量趨於零。

### (3) 輻射源式靜電消除器

利用輻射源所產生的帶電離子，亦可中和帶靜電物體表面所累積的靜電。輻射源在空間中所產生帶電離子數目較少，不致發生具危害性的放電，可適用於存在易燃性氣體的環境中，但是靜電中和的效果低，而且使用時需注意輻射源之相關管理辦法與防護措施。

## 3. 其他靜電防制方法

### (1) 接地

靜電防制方法中，接地是最有效且經濟的方法[12,13,14]。製程中因摩擦、感應或傳導等方式產生靜電，若電荷蓄積在對地絕緣的金屬設備、導電性產品或人員上，則蓄積的電荷會在一次放電中將能量釋放，此類靜電放電為發生靜電事故之主要原因，防制的方法就是將所有具導電性的物件實施接地，並保持低的接地電阻，能夠將蓄積在金屬設備、導電性產品或人員上的電荷迅速向大地散逸，避免發生靜電事故。

### (2) 增加濕度

增加作業環境中空氣的相對溼度，在目前傳統產業的製程中亦是常見的靜電防制方法。在高溼度（相對溼度 R.H.>65%）環境中，因為某些物質表面具親水性容易吸附空氣中的水份，進而達成降低物質的表面電阻值，增加產品、容器或元件上電荷散逸的速率，達成電荷蓄積程度至最低，因此不會產生過量的靜電。若物質表面為非親水性，則不易吸附空氣中的水份，致使無法降低物質的表面電阻值，因此不能增加電荷散逸的速率，這類物質包括部份人造聚合物如：ABS（Acrylonitrile- Butadiene- Styrene，丙烯腈-丁二烯-苯乙烯）、Teflon（鐵氟龍，氟碳聚合物）等，這類物質需要相對溼度提高至 80%，甚至 90%以上，才能有效降低物質的表面電阻值，達成電荷蓄積程度至最低。

### (3) 抗靜電材料

製程中物質所蓄積的靜電會經傳導路徑向大地散逸，傳導路徑為絕緣性材料（導電性低）則靜電散逸率慢，若傳導路徑為導電性材料（導電性高）則靜電散逸率快，因此工業製程中使用大量的化學材料，應用於製程設備與元

件，這類材料通常為絕緣性材料，所以靜電散逸速率慢，容易在設備/元件、產品或人員上蓄積大量的靜電，增加發生靜電事故的機率。物質的表面電阻係數小於  $10^{11} \Omega/\text{square}$  或體積電阻係數小於  $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ，即可避免物質蓄積過量的靜電，並且稱該類物質為抗靜電材料[12]。

#### (4) 限制速度

工業製程中兩種物體因摩擦而產生靜電，並且逐漸累積而發生靜電事故，因此降低摩擦的速度可以減緩靜電的產生，亦可達成防制靜電事故發生的目的。在工業製程中受限於物質特性與產量要求，限制速度的靜電防制方法，通常多應用於易燃性液體的輸送作業[12]。



### 3.3.2 製程現場靜電消除器

液晶顯示器製程中靜電問題，主要因為玻璃基材在作業中產生多量靜電並維持很長一段時間，所以靜電危害防制方法主要針對玻璃基材所蓄積靜電進行防制，採行靜電消除器利用電荷中和原理，將玻璃基材表面蓄積靜電降至最低。進行製程靜電防制，應持續量測與比對施行靜電防護措施的效果[6,7]，才能確保靜電防護措施持續有效，以及製程中潛在靜電問題已被有效控制。

靜電消除器採用高壓電經由放電尖針將周圍空氣電離，產生正負極性或單極性離子，將玻璃基材的靜電中和及靜電量趨近於零。使用靜電消除器必須針對製程中靜電產生機制的不同，適當調整正與負極性離子的量，達成電荷中和目的。同時靜電消除器架設位置，應接近帶靜電物體而遠離接地金屬物件，以發揮最大的靜電消除效果。應定期保養靜電消除器，確保靜電消除器能發揮預期成效。此外需注意因電離所產生臭氧的衛生問題，以及高壓電源與帶電體產生短路及放電所引發的安全問題。

#### 1. 選擇靜電消除器的原因

一般行業中減低製程產生的靜電，通常採用機台接地及抗靜電材料作為主要的靜電防制方法[3]。電子業、半導體業及光電業因為製程中採用許多的絕緣的材料，所以必須採行不同的靜電防制方法。半導體製程中通常採用許多的絕緣的材料，如鐵氟龍(Teflon)、石英(Quartz)以及其他的絕緣材料，製程中容易因為接觸與摩擦產生靜電，發生靜電放電的破壞與吸附塵粒，所以在半導體行業的無塵室中，採用靜電消除器成為可行的靜電防制措施[3]。液晶顯示器製程中因為玻璃基材是絕緣材料，很難採行其他的靜電防制方法，所以在製程中廣泛使用靜電消除器[1]，消除製程中潛在靜電危害問題。

#### 2. 選擇靜電消除器的類型

液晶顯示器製程中已大量採用靜電消除器作為主要靜電危害防制方法。為提高產量致使製程中物件移動速度增加，靜電消除器必須在較短時間內將物件蓄積靜電降至最低，所以必須採用單位離子量較高的靜電消除器，或將靜電消除器接近物件增加靜電消除效果[1]。在製程中玻璃基材表面蓄積大量負極性的靜電壓，為達到生產速度的要求必須在最短時間內，必須提供大量的正極性離子達到電荷中和目的，一種直流式的靜電消除器可以符合這個需求，適當調整靜電消除器的離子產生量，大量的正極性離子與少量的負極性離

子，足以中和玻璃基材表面的靜電壓[4]，至於少量負極性離子的作用，在於降低因正離子過多而發生反帶電的情形。

### 3. 調整靜電消除器的距離與位置

靜電消除器的架設位置，應儘量接近預期消除靜電的玻璃基材，同時遠離周圍的金屬箱/架/蓋/網/物件，才能讓靜電消除器發揮最大的靜電消除效果。在機台中入/出料作業區域的卡匣(Cassette)位置，使用靜電消除器應在涵蓋比較廣的區域，讓靜電消除器產生的正負極性離子，能夠分佈於卡匣中由上到下的玻璃基材，通常在卡匣上方裝設棒狀直流脈衝型靜電消除器(Bar-type Pulsed-dc Air Ionizer)。在工作平台(Stage) 的入料端採行靜電消除器，降低作業中玻璃基材產生的靜電，發現靜電消除器與玻璃基材的距離，對於靜電消除效果具有重大的影響，兩者之間的距離越近，靜電消除效果越好[7]。

### 4. 調整靜電消除器的離子風方向

玻璃基材在放入卡匣前，在入料端裝設靜電消除器降低玻璃基材的靜電，發現靜電消除器裝設的位置十分重要，應在卡匣兩端裝設靜電消除器，並且靜電消除器的離子風能夠分佈於卡匣內的所有玻璃基材上，才達到最好的靜電消除效果[7]。液晶顯示器組裝製程使用桌上型(Bench-top)靜電消除器，很容易被桌上的工具阻礙未能發揮靜電消除效果，作業人員使用這類靜電消除器時應加以注意[1]。風扇型靜電消除器應裝設在基材的正對面，確保離子能均勻分布在基材表面，若是靜電消除器的離子風方向平行於基材，由於距離的不同會在基材表面產生散逸時間不同的結果，因此會在表面有不同的電壓[1]。

### 5. 定期清潔靜電消除器

靜電消除器採用高壓電經由放電尖針將周圍空氣電離，產生正負極性或單極性離子，同時會在放電尖針沉積塵粒，影響產生空氣電離的效果，亦會影響無塵室的潔淨度，必須定期清潔靜電消除器的放電尖針[1]。在工作平台的入料端，以及在機台中入/出料作業區域的卡匣(Cassette)位置，使用靜電消除器並加以清潔靜電消除器，靜電散逸時間會比清潔放電尖針前縮短約 14%~21% [7]。

### 6. 量測靜電消除器的效果

製程中使用靜電消除器，應確認已經有效的消除靜電，或者已經達到最佳的靜電消除效果。採用 ANSI EOS/ESD S3.1-1991[15]中提及靜電模擬板(Charged Plate Monitor)的測試方法，是一種可行的方法，但是模擬板的尺寸

只有 150×150mm，相較於大尺寸的玻璃基材，所蓄積的靜電有相當大的差異，所以測試結果並不能正確表達玻璃基材表面的靜電散逸時間[1]。另一種可行的方法，在製程現場使用靜電場/壓計(Electrostatic- field Meter)進行基材表面的靜電量測，可以直接得知靜電消除效果。還有另一個優點，可以測試並調整靜電消除器達到最佳的效果。

