

場發射顯示器簡介

賴俊村 博士

工業技術研究院電子工業研究所

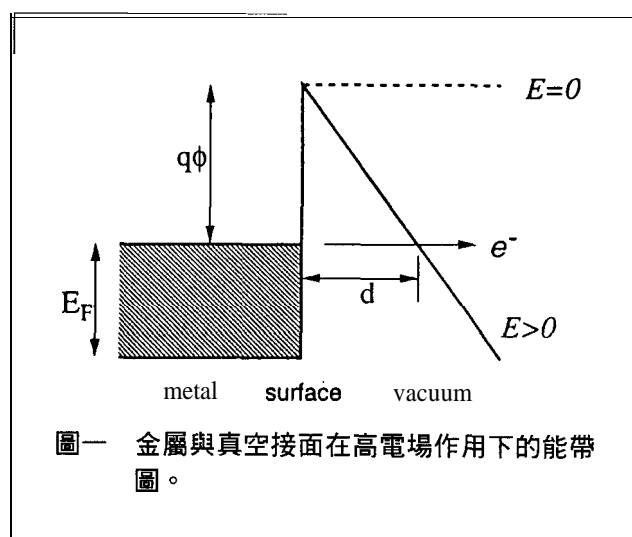
真空微電子開發部

一、概述

場發射顯示器 (Field Emission Display, FED) 為平面顯示器 (Flat Panel Display) 之一種，場發射顯示器在近幾年受到廣大的注意，主要是其除了具有如液晶顯示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 輕薄的特性之外，更具有如陰極射線管 (Cathode Ray Tube, CRT) 的高亮度自發光優點；目前 LCD 雖然為市場主流，但其亮度、視角、功率消耗之特性尚需進一步改善，而傳統的 CRT 顯示器雖有高亮度及大視角的優點，但其厚重的本體非常不便於攜帶，而場發射顯示器之自發光運作方式使其揉合了 LCD 及 CRT 之優點，此特性使得場發射顯示器成為極具競爭力的平面顯示器之一。

二、場發射顯示器基本原理

場發射顯示器，顧名思義，即是基於場發射原理所製作的一種顯示器，場發射原理簡單來說，是導體中的電子在高電場作用下從導體穿透位能障壁 (potential barrier) 至外界的導通過程，圖一顯示金屬與真空接面在高電場作用下的能帶 (energy band) 圖示，當電場 $E=0$ 時，金屬內的電子需具備足夠的能量 (大於 $q\phi$) 才有機會到達真空側，但是當電場夠大時 ($E>0$)，電子不需足夠的能量及可直接穿透 (tunneling) 位能障壁而到達真空側，電



圖一 金屬與真空接面在高電場作用下的能帶圖。

場愈大則電子必須穿透的位能障壁距離 d 將會愈小，所得到的電流也將愈大，此即是 FED 內電子發射的基本機制。

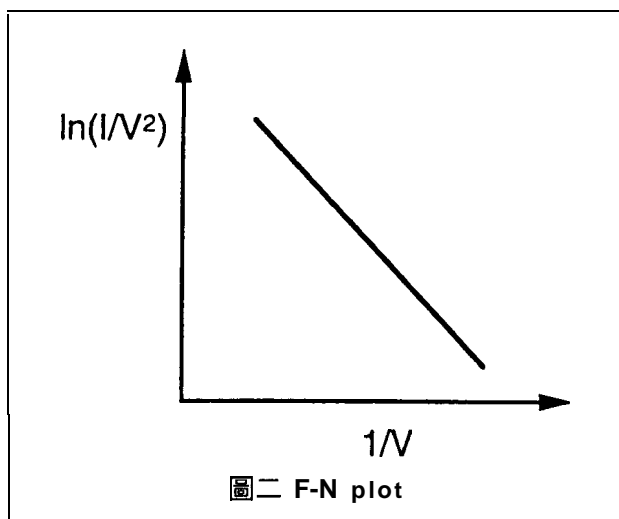
依場發射原理所導出的電壓-電流特性一般可以著名的 Fowler-Nordheim 方程式來表示

$$I = aV^2 \exp(-b/V) ,$$

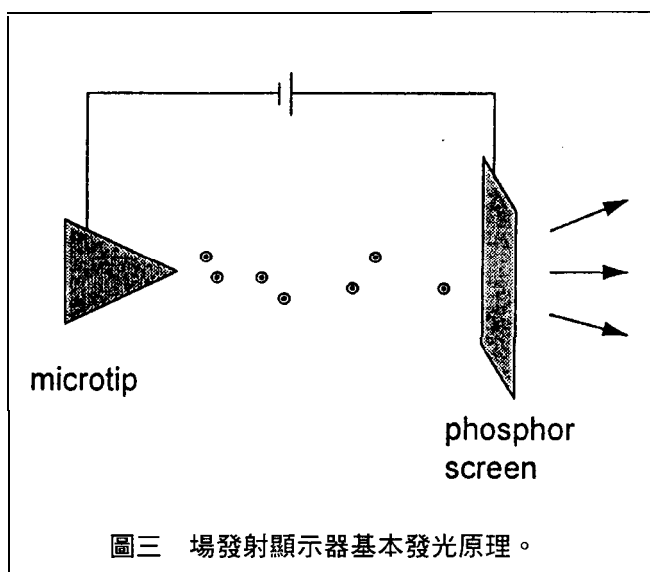
此方程式若以對數方式表示則可寫成

$$\ln(I/V^2) = \ln(a) - b/V ,$$

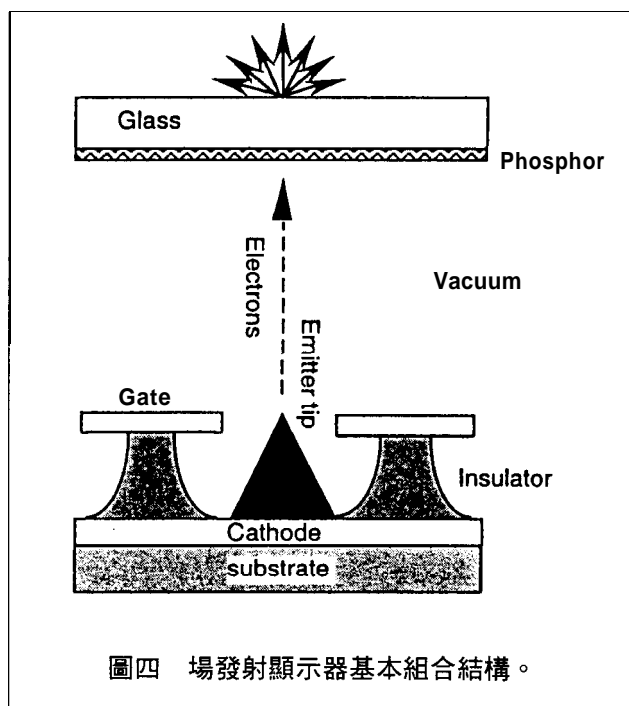
若將電壓-電流特性以 I/V^2 對 $1/V$ 做對數圖將會得到直線的關係，如圖二所示，此稱為 F-N plot；因此若一元件其電性符合 F-N plot 的直線關係，我們便可推論其導通機制是由場發射主導。



由於場發射的電流大小與電場強度直接相關，因此若要得到夠大的電流，最直接的辦法即是增強金屬與真空接面的電場，由於元件操作電壓有所限制，直接加大電壓以求得高電場的方式並不實用，因此一般在實際應用時則是將金屬製作成微尖端（micro-tip）形狀，依電磁理論可得知尖端表面會產生較強的電場，如此即可在不增加操作電壓的情況下增加金屬接面的電場，此高電場使得金屬尖端成為一合適的電子源，FED 即是利用此電子源所產生的電子撞擊螢光粉體（phosphor）使其發光，圖三即顯示此概念，此組合一般稱為二極控制方式，

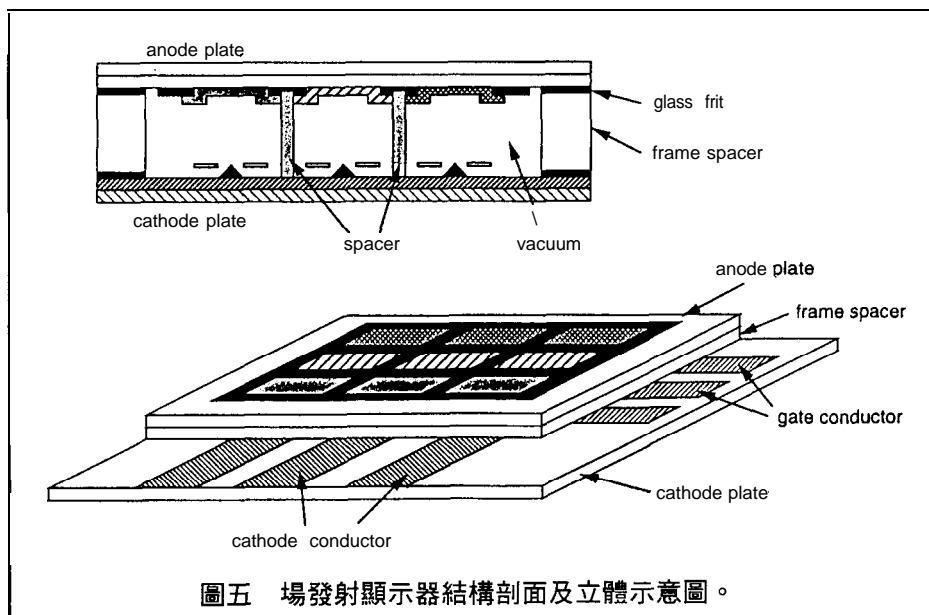


因為其電極僅有尖端及螢光板兩側；實際應用在顯示器時，為了控制電子源所發射的電流大小，會在金屬尖端周遭加上一控制電極（gate），如圖四所示，此電極因為非常接近金屬尖端（一般約為 0.5~1 μ m 距離），故大大增加了尖端電場及其發射電流，此種組合屬於三極控制方式，而螢光粉體的發光強弱則經由 gate 電極電壓的大小來控制，此即是 FED 的基本操作原理。



三、顯示器各部分結構及製程

由圖四即可瞭解 FED 的基本結構，其空間組成大致可分為陰極板（微尖端底板）、陽極板（螢光板），以及兩板之間的真空封合區，整體組合如圖五的剖面圖及立體圖所示，陰極板上的一區微尖端與陽極板上的一區螢光粉體相對應，許多區域的組合即可形成文字或圖案，不同區域可使用可發出不同顏色的螢光粉體，如此則可以顯示彩色圖形；一般來說，陰極板及陽極板使用的基板厚度約介於 0.5 mm ~ 1.5 mm，而上下兩板的間距則依應用方式



圖五 場發射顯示器結構剖面及立體示意圖。

至外側的導線 (cathode line 及 gate line, 參見圖五); 目前陰極板的元件大致均是以薄膜技術製作, 圖六為一般微尖端的製作程序, 步驟 1 和 2 是以薄膜沉積並蝕刻出所需的洞口形狀, 洞口直徑約為 $1\ \mu\text{m} \sim 1.5\ \mu\text{m}$ 左右, 之後以斜角蒸鍍一層金屬犧牲層 (步驟 3), 再以垂直蒸鍍沉積形成金屬尖端 (步驟 4), 最後將元

件浸泡於蝕刻溶液中並將犧牲層蝕刻溶解, 待上層金屬剝離乾淨後即完成金屬尖端的製作 (步驟 5)。

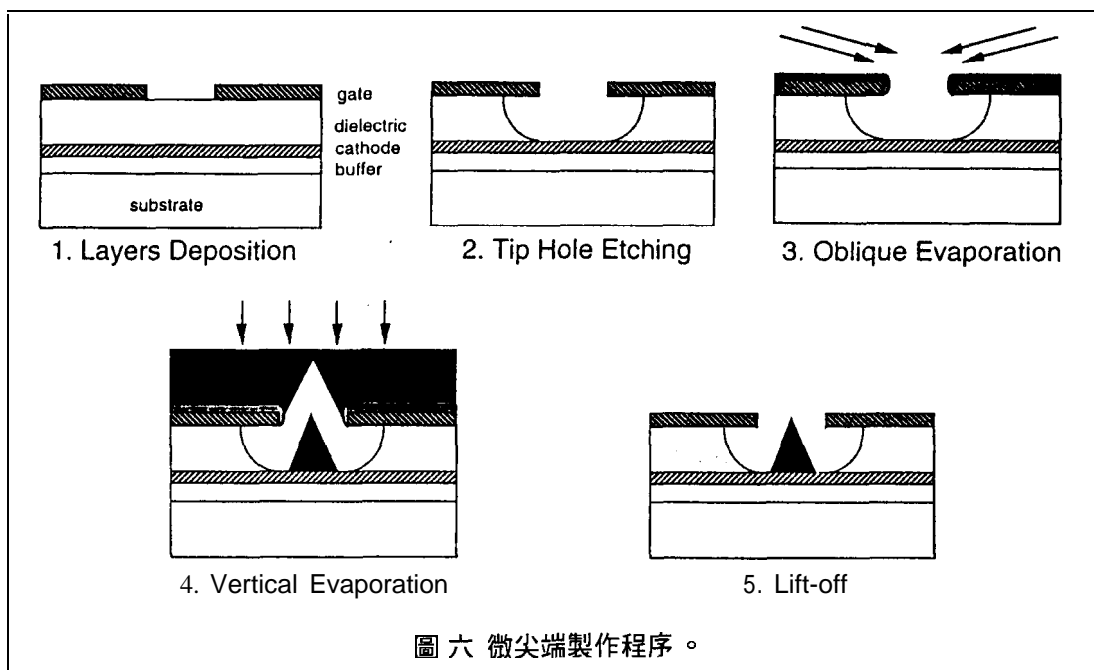
約介於 $0.2\ \text{mm} \sim 2\ \text{mm}$ 之間, 故顯示器整體面板的總厚度可小於 $5\ \text{mm}$, 此反應了其輕薄的特色; 以下我們針對各部份的結構逐一做介紹:

(a) 陰極板

陰極板的主要功能是将控制訊號導引至尖端區域並將其轉換成發射電子源, 陰極板上除了具有許多微金屬尖端之外, 尚有分別連接尖端及控制電極

(b) 陽極板

陽極板的功用即是將從金屬尖端發射出來的電子加速並撞擊陽極板上的螢光粉體而使其發光, 螢光粉體的材料、區域大小及形狀設計均可依顯示器的應用需求做調整; 製作陽極板的方法有許多



圖六 微尖端製作程序。

種，圖七介紹一種以網印（screen printing）方式製作彩色陽極板的程序，在沉積完成透明導電電極（ITO, indium-tin-oxide）後，即用網印方式印上黑色基底（black matrix）漿料的圖案，黑色基底的功能是防止不同區域的螢光粉體不會互相混雜而產生混色，並可增強不同區域發光的對比，印完黑色基底後接著依續印上三種螢光粉體漿料至不同位置，完成網印程序後將陽極板置於高溫爐內做燒結（firing），此步驟可將網印漿料內的凝結劑、溶劑、水份等燒光，僅留下黑色基底及螢光粉體，至此即完成陽極板的製作。

（c）真空封合

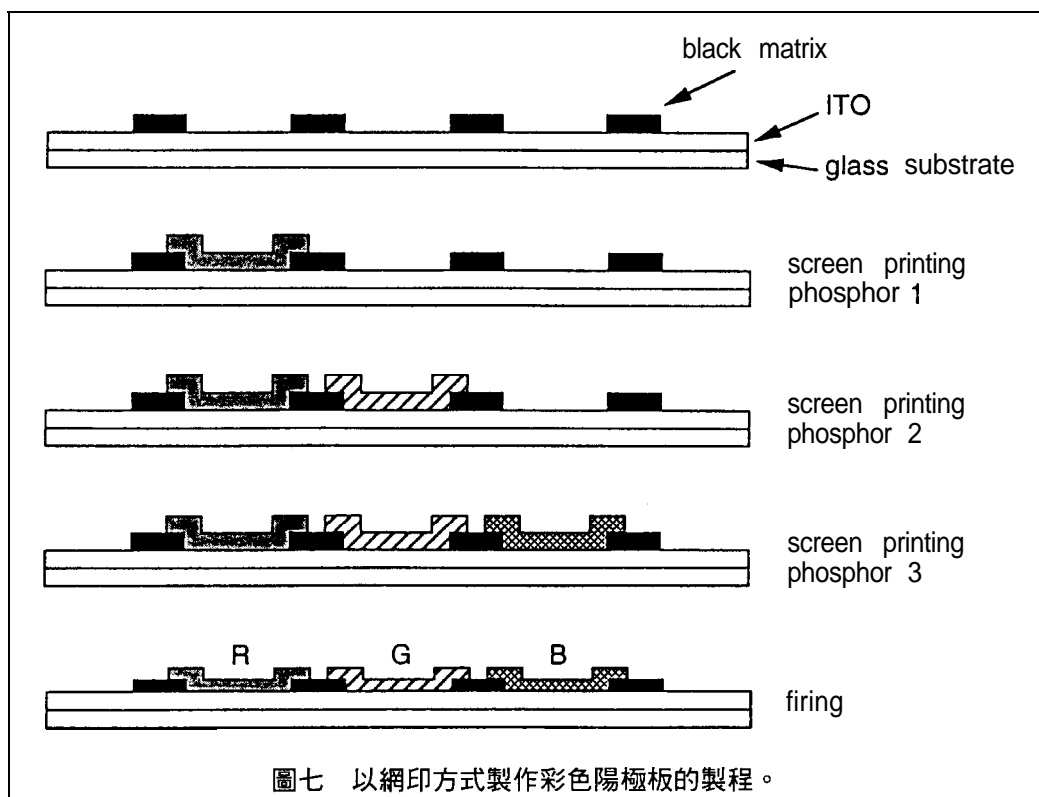
完成陰極板及陽極板之後，此兩板即可互相對位並封合，對位時每一個尖端區域要與一個螢光粉體區域相對應，如前述圖五所示，由於 FED 腔體內的電子從尖端發射經由真空而至螢光粉體，故顯示器的封合目的除了將腔體內的氣體抽乾淨之外，還必須能長久維持其真空度，一般封合時常使

用玻璃膠(glass frit)將顯示器的邊框封住，玻璃膠在燒結後其特性與玻璃類似並與上下板接合，故可保持氣密性，另外由於腔體內抽成真空後，上下兩板會承受外界的大氣壓力，為了避免上下基板破裂，一般會置放一些支撐柱(spacer)在腔體內以抵抗大氣壓力；顯示器腔體內的真空度一般要求低於 10^{-7} torr，為了達到並維持此高真空度，顯示器在製作過程中必須經過烘烤以去除表面吸附的氣體，腔體內並會置放可吸附殘留氣體的材料(getter)，如此才能使顯示器在長時間操作後依然保有所需的真空度。

四、結語

此文章大致介紹了場發射顯示器的基本運作原理及結構，目前市面上雖然尚未有此顯示器大量販售，但由於其所具有的一些特點，使的歐、美、日、韓的廠商及研究機構均相繼投入研發，相信在

全世界各研發團隊的努力與改善之下，將可使其在未來的平面顯示器市場中佔一席之地，工研院電子所在此領域也已研發多年，目前已完成單色高亮度 FED 之研發，並衍生出許多關鍵技術，未來將朝彩色高解析度 FED 之研發做更大的努力。



圖七 以網印方式製作彩色陽極板的製程。