

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：95144663

※申請日期：95.12.1

※IPC 分類：H01L 29/772

一、發明名稱：(中文/英文)

垂直式有機電晶體及其製造方法

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學

代表人：(中文/英文) 黃威

住居所或營業所地址：(中文/英文)

新竹市大學路 1001 號

國 籍：(中文/英文) 中華民國 TW

三、發明人：(共 3 人)

姓 名：(中文/英文)

1、孟心飛

2、洪勝富

3、趙宇強

國 籍：(中文/英文)

(均同) 中華民國 TW

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為：95年6月2日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

本發明提出一種垂直式有機電晶體及其製造方法，此種垂直式有機電晶體乃是在基板上方垂直設有射極、柵極與集極，而射極與柵極之間、多孔洞之柵極與集極之間為有機半導體層，其載子通道的長度將可簡單的由有機半導體層之厚度所決定，並使得集極電流可以由射極與柵極孔洞間的電位差所貢獻出的空間電荷電流所決定，藉以達到利用柵極電壓來有效控制集極電流之目標，且本發明垂直式有機電晶體係具有簡單製程，並無須採用光微影蝕刻技術。

六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)、本案代表圖為：第 1 圖

(二)、本案代表圖之元件代表符號簡單說明：

10 基板

20 射極

30 柵極

31 孔洞

40 集極

50 有機半導體層

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係有關一種有機電晶體，特別是指一種垂直式有機電晶體（Vertical organic transistor）結構以及製造垂直式有機電晶體之方法。

【先前技術】

有機場效應電晶體是有機電子元件中不可或缺的重要元件。目前的有機場效應電晶體結構與傳統無機半導體製成之場效應電晶體結構相似，是在基板上設有一閘極，並在此閘極上沈積有絕緣層與有機半導體層，有機半導體層上方則具有在同平面上之源極與汲極。其操作方式係藉由外加電壓於閘極上而在有機半導體層中形成導電通道，使得電流可以從源極經由導電通道到達汲極。

然而，大多數的有機半導體相較於無機半導體具有較低的載子移動率，故具有低應答速度與小的電流調變之特徵。為了改善此缺點，許多研究相繼出現具有較高載子遷移率之有機半導體。譬如，有人嘗試將源極與汲極之間的距離縮短以提高汲極電流，但是，當源極與汲極之間的距離縮短到次微米的時候，往往需要利用許多光微影蝕刻技術來製作電極，而光微影蝕刻技術中所使用的溶液與製程方法通常會使得有機半導體的特性劣化。

為了解決上述製造在源極與汲極之間短通道的困難，先前技術中有提出一些解決方案。如許圖茲曼（Stutzmann）等人所發表的「自我對準、垂直通道、高分子場效應電晶體（Self-aligned, vertical-channel, polymer field-effect transistors）」，以及貝克爾（Becker）等人所發表的「垂

直通道全有機薄膜電晶體 (Vertical channel all-organic thin-film transistor)」；其將源極與汲極製作成垂直之電極，兩者之間利用絕緣層分開，再利用機械或化學方法挖開一溝槽後，接著製備有機半導體層、絕緣層與閘極。這種方法所製作之元件中，源極與汲極之間的距離是利用絕緣層的厚度來調變的，元件的電流方向則垂直於平面。然而，上述方法需要利用機械或是化學方式製備溝槽，而具有不易製備之缺點。

另外，莫路維亞 (Meruvia) 等人揭示了一種改變元件結構之方法。類似於金屬基極電晶體，其元件結構乃包含射極、基極與集極，並使用有機半導體作為射極、金作為基極、矽作為集極。此方法是利用射極與基極間不同能階差所製造出之熱電子並調控適當之基極厚度來調變電流。然而，此方法利用矽當作其中的集極，並無法滿足軟性電子產業之需求。

此外，蕭克利 (Shockley) 所發表的「電晶體電子元元：缺陷、單極性與開關電晶體 (Transistor electronics: Imperfections, unipolar and analog transistors)」，是在固態半導體圓柱結構中心具有一重摻雜之圓柱區域，類比為真空管中的陰極，而陰極周圍環繞著數個重摻雜半導體圓柱區域，類比為真空管中的網柵電極，再外圍則是一重摻雜半導體圓柱殼，類比為真空管中接受載子的平板電極。此方法是利用矽或鍺無法滿足軟性電子產業的需求，其構想也難以利用半導體技術達到。

又，如楊 (Yang) 等人、麥克艾爾凡 (McElvain) 等人與美國專利第 5,563,424 號「高分子柵極三極體 (Polymer grid triodes)」，是設有三個電極，並分別以兩層有機分子層隔開。操作方式與真空管相似，其中一個

電極注入載子後利用第二個電極上電壓的調變來控制可以到達第三個電極的電流，且電流的方向是垂直於基板。但是，這樣的方法需要用化學方法處理第二個電極，而在有機分子選擇上會遭受限制，且製程步驟複雜。

另外，由工藤 (Kudo) 等人與美國專利第 7,002,176 號「垂直有機電晶體 (Vertical organic transistor)」所揭示的製程方法，是形成具有三個電極的元件結構，並分別以兩層有機分子層隔開三個電極，且電流的方向是垂直於基板。其第二個電極的製作方式係使用蒸鍍遮罩進行雙源蒸鍍，藉由調控遮罩與樣品距離、遮罩與蒸鍍源距離、兩個蒸鍍源之間距離、遮罩上圖紋間距離來達到最後蒸鍍在樣品上面的網柵電極的幾何形狀。然而，上述方式在製備網柵電極之手續相當複雜，且此方法無法定義出很好的網柵電極之邊界。

再者，美國專利第 6,774,052 號「製作奈米碳管可穿透式電晶體 (Method of making nanotube permeable base transistor)」也揭示一種製程方法，是藉由成長奈米碳管在集極半導體上做為閘極，再沈積半導體在奈米碳管上做為集極。然而，其所使用材料均為不可撓，並無法滿足軟性電子產業的需求。

另外，美國專利第 6,884,093 號「具有新穎的柵極結構之有機三極體與製作方法 (Organic triodes with novel grid structures and method of production)」，則須用到昂貴之半導體蝕刻設備，並無法降低製程成本。

由以上得知，如何研製一種具簡單製程之有機場效應電晶體，來突破許多製程上的限制並使製程簡單化，並用以提供下一代軟性電子與顯示

技術之重要電子元件，係實為目前眾所期盼解決的重大課題。

【發明內容】

有鑑於一般有機場效應電晶體難以縮小源極與汲極之間距離，尤其是很難在有機半導體上以光微影蝕刻技術製備次微米級之通道，本發明乃提供一種垂直式有機電晶體，不但可由有機半導體層的厚度控制電極距離，更將柵極設計為具有多個孔洞，從而可利用柵極中孔洞大小與密度使元件特性獲得有效控制。

再者，本發明所提供之垂直式有機電晶體之製造方法，係可利用較簡便的蒸鍍或溶液製程製造垂直式有機電晶體，而具有孔洞之柵極的製作上，係可利用孔洞狀結構所形成的蒸鍍光罩或壓印方式來成型，並無須採用光微影蝕刻方式。

另外，本發明所提供之垂直式有機電晶體及其製造方法，可在透明導電玻璃或可撓性基板上完成，具有與有機發光元件與軟性電子技術整合之可能性。並且，此垂直式有機電晶體具有低操作電壓之特性($<3V$)。

為達上述目的，本發明所揭露之垂直式有機電晶體，是在基板上依序設有射極、具有孔洞之柵極與集極，且射極與柵極之間、柵極與集極之間分別用第一有機半導體層與第二有機半導體層來隔開。此元件中的載子是由射極注入並通過柵極中的孔洞到達集極，射極與集極之間的電位分佈是可以利用柵極與集極之電壓來調控。當柵極與集極的電壓在柵極上的孔洞間貢獻出能障時，很少載子可以通過柵極而到達集極；反之，如果在孔洞間沒有能障時，載子可以穿越孔洞到達集極。也就是說，集極電流可以由

射極與孔洞中間的電位差所貢獻出的空間電荷電流來決定，因此，對於固定射極與集極電壓時，集極電流可以藉由有效的控制閘集電壓來獲得控制。

此外，本發明所揭露之垂直式有機電晶體之製造方法，其步驟包含：首先，提供基板，再形成射極於基板上，然後，以非光微影蝕刻方式，製作有機半導體層於射極上，且有機半導體層中設有柵極，柵極具有複數個孔洞，最後，形成集極於有機半導體層上。其中柵極必須與射極、集極相隔開來，係可利用絕緣層作為支撐，或者將有機半導體層分為兩階段的方式製作。而具有孔洞之柵極，基本上係可利用孔洞狀結構（譬如聚苯乙烯球、奈米球或已圖案化之絕緣層）作為蒸鍍光罩再進行柵極之蒸鍍，或者，以孔洞狀結構製作壓模再以壓印方式將柵極成型。因此，整個製程中沒有任何一個步驟需要複雜的光微影蝕刻技術。

為使對本發明的目的、技術特徵及其功能有進一步的了解，茲配合圖式詳細說明如下：

【實施方式】

請參照第 1 圖，係繪示本發明之垂直式有機電晶體，係為垂直結構，其在基板 10 上設有三個電極，分別為以有機半導體層 50 相互隔開的射極 (emitter) 20、多孔洞 31 的柵極 (grid) 30 與集極 (collector) 40，其中射極 20 是載子注入之電極，集極 40 是收集可通過柵極 30 到達集極 40 之載子的電極，而載子經過的路徑距離將簡單的由有機半導體層 50 厚度所決定，而柵極 30 設計成具有多個孔洞 31，則載子會由射極 20 注入並通過柵極 30 中的孔洞 31 到達集極 40，使得集極 40 電流可以由射極 20 與孔洞 31

中間的電位差所貢獻出的空間電荷電流來決定，故可藉由有效控制閘集 30 電壓進而達到調變集極 40 電流之功能。

以下則透過數個具體實施例對於本發明提供之垂直式有機電晶體及其製造方法進行詳細說明。

【實施例一】

請參照第 2A 圖~第 2H 圖，係顯示本發明之實施例一所提供之垂直式有機電晶體之製作流程。

首先，如第 2A 圖所示，提供一具有銦-錫氧化物 (ITO) 之導電層 120 的玻璃基板 110。基板 110 也可以選擇可撓性基板。

然後，如第 2B 圖所示，蝕刻 ITO 導電層 120 以定義出所需射極之電極區域，依序以丙酮、異丙醇與氧電漿清潔 ITO 玻璃基板 110，旋轉塗佈聚(3,4-伸乙二氧噻吩)：聚(苯乙烯磺酸酯) (PEDOT:PSS) 之導電高分子 121，並於真空 200°C 退火 10 分鐘，膜厚約 50 奈米 (nm)。

接著，如第 2C 圖所示，旋轉塗佈聚(3-己烷噻吩) (P3HT) (以 1wt% 溶於三氯甲烷中) 之第一有機半導體層 130 於導電高分子 121 上，並於真空 120°C 退火 10 分鐘，膜厚約 110nm。本實施例使用之 ITO 射極(功函數 4.7eV) 因塗佈有 PEDOT:PSS(功函數 5.1eV) 之導電高分子 121，因此與 P3HT 有機高分子(離子化位能 5eV) 介面是歐姆接觸。在此所使用的有機高分子不限於本實施例之 P3HT，具有小能障的接觸仍可利用電洞傳輸層使得載子更易注入有機半導體。

之後，使用旋轉浸潤法將二甲苯滴於第一有機半導體層上以溶出尚可

溶解在二甲苯中的 P3HT。此製程步驟乃使用旋轉浸潤方式，以一種有機溶劑處理第一有機半導體層，會使得後來旋轉塗佈溶於該有機溶劑中的有機半導體，不會再去溶解以該溶劑處理過的第一有機半導體層，而旋轉浸潤之後的第一有機半導體層之厚度會減少，如本實施例之原厚度約 110nm，旋轉浸潤後約 20nm（在此特別說明，圖式中元件尺寸並非以實際比例繪製，而僅用以清楚顯示本發明之主要特徵）。

接續，如第 2D 圖所示，利用旋轉塗佈法，將分散於乙醇中之聚苯乙烯球溶液塗佈於上述步驟處理過的基板 110，或是直接將基板 110 放置在分散於乙醇中之聚苯乙烯球溶液中。此時聚苯乙烯球 140 將會因靜電吸引力而吸附到第一有機半導體層 130 的表面上，但因為聚苯乙烯球 140 之間又有靜電斥力（來源是聚苯乙烯球表面帶負電的官能基），因此此刻聚苯乙烯球 140 是不會聚集在一起的。在經過適當的浸泡時間後，將基板 110 取出並快速放置於沸騰的異丙醇中 10 秒，然後拿出並快速的用氮氣吹乾。

經實驗得知，使用有沸騰的異丙醇處理的好處應有兩點：(i)使得液體揮發的速度變快，使得聚苯乙烯球 140 還沒移動到可以聚集在一起的時候溶液就揮發光了，因此達到分散聚苯乙烯球 140 的目的。(ii)將聚苯乙烯球 140 的表面融化，使得球與 P3HT 接觸的地方有黏著的功能。若調整浸泡時間長短可以得到以下結果：在固定濃度下，浸泡的時間越長，可以得到的孔洞密度就越高

如第 2E 圖所示，以聚苯乙烯球 140 做為蒸鍍光罩，並蒸鍍鋁 (Al) 做為柵極 (Al grid) 150，並使柵極 150 形成有多個孔洞 151。

再如第 2F 圖所示，將柵極 150 置於乙醇中，利用超音波震盪將聚苯乙烯球 140 震下。利用膠帶將聚苯乙烯球 140 黏下，亦可達到相同的效果。

如第 2G 圖所示，旋轉塗佈 P3HT(以 1wt% 溶於二甲苯中)之第二有機半導體層 160 於柵極 150 上。

最後，如第 2H 圖所示，蒸鍍 Al 於第二有機半導體層 160 上做為集極 170，也就製作完成一 ITO/PEDOT:PSS/P3HT/Al grid/P3HT/Al 結構的垂直式有機電晶體。

如第 3A 圖與第 3B 圖所示，為實施例一之垂直式有機電晶體的操作模式示意圖，其中實線表示為金屬或 PEDOT:PSS 的功函數，虛線表示為沿著會經過柵極的電位分佈，破折線表示為沿著會經過柵極中孔洞的電位分佈。

此垂直式有機電晶體中的載子是由射極注入第一有機半導體層中，經過柵極中孔洞後經由第二有機半導體層而可以被集極接收。射極與集極之間的電位分佈是可以被柵極電極所調控的。當柵極與集極電壓在第一有機半導體與第二有機半導體層中建構出一個對載子的能障時，載子不容易跨越此能障，因而可以到達集極的載子少；此有機電晶體狀態稱為關（見第 3A 圖）。當柵極與集極電壓在第一有機半導體與第二有機半導體層中沒有建構出對載子的能障，或是能障較低時，載子可以輕易的穿過而到達集極；此有機電晶體狀態稱為開（見第 3B 圖）。

接著，本發明藉由多個實驗對於本實施例之垂直式有機電晶體進行量測、分析。

以下首先說明以旋轉塗佈法將聚苯乙烯球旋塗上基板，並且以超音波

震盪將聚苯乙烯球震下之方式製作的垂直式有機電晶體之實驗結果。

本實施例係在做完利用超音波震盪將聚苯乙烯球震下之步驟後，以原子力顯微鏡量測柵極之表面形貌，其結果顯示，原子力顯微圖中洞的大小跟所使用的聚苯乙烯球直徑相當，可見利用超音波震盪後並沒有對柵極造成破損。

再者，本實施例使用半導體參數分析儀量測電晶體特性。如第 4 圖，顯示柵極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_g 時之關係圖。可看出此垂直式有機電晶體的集極電流 I_c 的確是可以被柵極電壓 V_g 所調控的，其電流增益為 506。

另如第 5 圖，顯示柵極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體柵極電流 I_b 與柵極電壓 V_g 於不同柵極電壓 V_g 時之關係圖。可看出在所有操作範圍中，柵極電流 I_b 都極小，表示多數射極注入之載子均到達集極。

如第 6 圖，為第 4 圖中柵極電壓 $V_g=0.5$ 伏之數據取絕對值開根號。由此圖可以瞭解垂直式有機電晶體的電流是遵守「空間電荷限制電流」的。

第 7 圖與第 8 圖分別是柵極中具 100nm 直徑孔洞與具 500nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_g 時之關係圖。第 7 圖與第 4 圖的差別是加正電壓較大時，第 7 圖的線幾乎都連在一起。而第 8 圖與第 4 圖的差別是加正電壓較大時，集極電流 I_c 仍不會降到很低，因此造成垂直式有機電晶體在開與關兩個狀態時電流的大小差別不是很大。

當在製程中旋轉塗佈不同濃度的聚苯乙烯球溶液做為蒸鍍光罩，濃度

低的將會在柵極中造成較少的孔洞，而濃度高的將會造成在柵極中具有較多的孔洞。而孔洞多代表電流通道多，因此集極電流 I_c 相對而言較大。如第 9 圖與第 10 圖，是柵極中具 500nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於柵極電壓 $V_g = -0.8$ 伏特與 $V_g = 0.8$ 伏特時之關係圖。

接續，以下說明將基板放置在分散於乙醇中之聚苯乙烯球溶液中，再經過沸騰的異丙醇處理的方法，並且以膠帶將聚苯乙烯球黏下的方法所製造出來的垂直式有機電晶體之實驗結果。

如第 11 圖與第 12 圖所示，顯示使用 0.05wt% 濃度之 1000Å 聚苯乙烯球製作柵極中具 100nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體之元件特性。其中第 11 圖為垂直式有機電晶體之集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_g 時之半對數圖，由上而下之曲線的柵極電壓 V_g 分別為 -1.0、-0.8、-0.6、-0.4、-0.2、0.0、0.2 伏特，且垂直式有機電晶體在開狀態與關狀態時的電流比例 (on/off 比例) 為 122.6。第 12 圖則為 log-log 圖，且繪示有斜率為 1 和 2 的直線，斜率為 1 的直線是代表在低電壓的時候的電流電壓關係是遵守歐姆定律，斜率為 2 的直線是代表電晶體所操作的電流是空間電荷限制電流。

另外，如第 13 圖與第 14 圖所示，顯示使用 0.08wt% 濃度之 2000Å 聚苯乙烯球製作柵極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體之元件特性。其中第 13 圖為垂直式有機電晶體之集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_g 時之半對數圖，由上而下之曲線的柵極電壓 V_g 分別為 -0.9、-0.4、0.1、0.6、1.1、1.6、2.1 伏特，且垂直式有機電晶體在開狀態與關狀態時的電

流比例 (on/off 比例) 為 116。第 14 圖則為 log-log 圖，且繪示有斜率為 1 和 2 的直線，斜率為 1 的直線是代表在低電壓的時候的電流電壓關係是遵守歐姆定律，斜率為 2 的直線是代表電晶體所操作的電流是空間電荷限制電流。

另一方面，本實施例之垂直式有機電晶體可包含一絕緣層；如第 15 圖所示，將絕緣層 180 設於柵極 150 上方，可以減小柵極 150 與集極 170 之間之漏電流，或者，如第 16 圖所示，絕緣層 190 可形成在柵極 150 周圍，以減小柵極 150 與集極 170 或射極之間的漏電流。

此外，本發明更提供多種製作具有孔洞之柵極的實施態樣，請詳見以下之實施例二~四。

【實施例二】

請參照第 17A 圖~第 17D 圖，係顯示本發明之實施例二所提供之垂直式有機電晶體之製作流程。

本實施例是在射極 220 上方旋轉塗佈上一種共聚物(copolymer)之絕緣層 230 後(見第 17A 圖)，經過適當處理可以製成孔洞狀結構 240(見第 17B 圖)，然後，將柵極 250 鍍上，即具有多個孔洞(見第 17C 圖)，之後，旋轉塗佈上有機半導體層 260，再將集極 270 鍍上去則完成此垂直式有機電晶體(見第 17D 圖)。

本實施例中，也可以選擇絕緣層 230 為氧化鋁，製作方法是在射極 220 上方鍍上鋁後經過適當處理(譬如陽極處理)即可以製成孔洞狀結構之氧化鋁。

【實施例三】

請參照第 18A 圖~第 18F 圖，係顯示本發明之實施例三所提供之垂直式有機電晶體之製作流程。

在另一基板上方使用某種材料一或是直接使用該基板，經過適當處理可以將該材料一或基板製成孔洞狀結構 340（見第 18A 圖），然後，把做為犧牲層 380 之材料附著於孔洞狀結構 340 上（見第 18B 圖），將柵極 350 鍍上（見第 18C 圖），而此時準備好已鍍上射極 320 與第一有機半導體層 330 之基板 310，將整個鍍有柵極 350 之結構進行壓印到第一有機半導體層 330 上（見第 18D 圖），柵極 350 黏著於第一有機半導體層 330 上後（見第 18E 圖），再旋轉塗佈上第二有機半導體層 360 並蒸鍍上集極 370（見第 18F 圖），即完成垂直式有機電晶體之製作。

【實施例四】

請參照第 19A 圖~第 19F 圖，係顯示本發明之實施例四所提供之垂直式有機電晶體之製作流程。

在基板 410 上鍍好射極 420 後（見第 19A 圖），以奈米球 430 做為蒸鍍光罩置於射極 420 上方（見第 19B 圖），依序蒸鍍絕緣層 440（見第 19C 圖）、柵極 450（見第 19D 圖），然後，將奈米球 430 去除，即形成具有多孔洞之柵極 450（見第 19E 圖），旋轉塗佈上有機半導體層 460 後，再將集極 470 鍍上去，即完成此垂直式有機電晶體（見第 19F 圖）。

綜上所述，根據本發明所揭露的垂直式有機電晶體及其製作方法，乃

是使用射極/有機半導體層/多孔洞之柵極/有機半導體層/集極之垂直結構，載子通道距離可簡單的由有機半導體層厚度所決定，並使得集極電流可以由射極與孔洞中間的電位差所貢獻出的空間電荷電流來決定，從而可有效控制閘集電壓來達到調變集極電流之目標。

再者，本發明係可利用較簡便的蒸鍍或溶液製程製造垂直式有機電晶體，且多孔洞柵極之製作並無須任何光微影蝕刻步驟，不會對已存在之有機半導體層有型態上的改變。根據上述實施例，本發明可使用聚苯乙烯球做為蒸鍍光罩，或者可利用其他孔洞狀結構所形成的蒸鍍光罩或壓印方式來成型多孔洞柵極，製程簡化許多，並可定義出大小確定的電流通道。

也就是說，本發明係具有操作電壓低、電流調變明顯、柵極製作簡便、電流通道與電極區域定義明顯、載子注入是透過歐姆接觸、電流遵守空間電荷限制電流等優點。除此之外，本發明使用有機半導體材料，將可與可撓性基板整合，來達到輕量化。

雖然本發明以前述之實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明。在不脫離本發明之精神和範圍內，所為之更動與潤飾，均屬本發明之專利保護範圍。關於本發明所界定之保護範圍請參考所附之申請專利範圍。

【圖式簡單說明】

第 1 圖係本發明之垂直式有機電晶體之結構示意圖；

第 2A 圖~第 2H 圖係本發明之實施例一之垂直式有機電晶體之製作流程；

第 3A 圖與第 3B 圖係本發明之實施例一之垂直式有機電晶體的操作模式示意圖；

第 4 圖係本發明之實施例一柵極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_g 時之關係圖；

第 5 圖係本發明之實施例一柵極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體柵極電流 I_B 與柵極電壓 V_g 於不同柵極電壓 V_g 時之關係圖；

第 6 圖係本發明之實施例一柵極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 開根號與集極電壓 V_c 於柵極電壓 $V_g=0.5$ 伏特時之關係圖；

第 7 圖係本發明之實施例一柵極中具 100nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_g 時之關係圖；

第 8 圖係本發明之實施例一柵極中 500nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_g 時之關係圖；

第 9 圖係本發明之實施例一柵極中具 500nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於柵極電壓 $V_g=-0.8$ 伏特時之關係圖；

第 10 圖係本發明之實施例一柵極中具 500nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於柵極電壓 $V_g=0.8$ 伏特時之關係圖；

第 11 圖係本發明之實施例一使用 0.05wt% 濃度之 1000Å 聚苯乙烯球製作柵極中具 100nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體，其集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_B 時之半對數圖；

第 12 圖係本發明之實施例一使用 0.05wt% 濃度之 1000Å 聚苯乙烯球製作柵極中具 100nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體，其集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_B 時之 log-log 圖；

第 13 圖係本發明之實施例一使用 0.08wt% 濃度之 2000Å 聚苯乙烯球製作柵

極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體，其集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_B 時之半對數圖；

第 14 圖係本發明之實施例一使用 0.08wt% 濃度之 2000Å 聚苯乙烯球製作柵極中具 200nm 直徑孔洞之垂直式有機電晶體，其集極電流 I_c 與集極電壓 V_c 於不同柵極電壓 V_B 時之 log-log 圖；

第 15 圖與第 16 圖係本發明之具有絕緣層之實施例一的不同實施態樣；

第 17A 圖~第 17D 圖係本發明之實施例二所提供之垂直式有機電晶體之製作流程；

第 18A 圖~第 18F 圖係本發明之實施例三所提供之垂直式有機電晶體之製作流程；及

第 19A 圖~第 19F 圖係本發明之實施例四所提供之垂直式有機電晶體之製作流程。

【主要元件符號說明】

10 基板

20 射極

30 柵極

31 孔洞

40 集極

50 有機半導體層

110 基板

120 導電層

- 121 導電高分子
- 130 第一有機半導體層
- 140 聚苯乙烯球
- 150 柵極
- 151 孔洞
- 160 第二有機半導體層
- 170 集極
- 180 絕緣層
- 190 絕緣層
- 220 射極
- 230 絕緣層
- 240 孔洞狀結構
- 250 柵極
- 251 孔洞
- 260 第二有機半導體層
- 270 集極
- 310 基板
- 320 射極
- 330 第一有機半導體層
- 340 孔洞狀結構
- 350 柵極

360 第二有機半導體層

370 集極

380 犧牲層

410 基板

420 射極

430 奈米球

440 絕緣層

450 柵極

460 有機半導體層

470 集極

十、申請專利範圍：

1. 一種垂直式有機電晶體，包含：

一基板；

一射極，設置於該基板上；

一集極，設置於該射極上方；

一柵極，設置於該射極與該集極之間，且該柵極係形成有複數個孔洞；及

一第一有機半導體層與一第二有機半導體層，分別設置於該射極與該柵極之間、該柵極與該集極之間。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之垂直式有機電晶體，其中該基板係為導電玻璃基板或可撓性基板。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之垂直式有機電晶體，其中該射極係為銦-錫氧化物 (ITO)。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之垂直式有機電晶體，其中該射極更包含一由聚(3,4-伸乙二氧噻吩):聚(苯乙烯磺酸酯) (PEDOT:PSS) 所形成之導電高分子，設於該 ITO 與該第一有機半導體層之間。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之垂直式有機電晶體，其中該集極係由鋁 (Al) 所形成。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述之垂直式有機電晶體，其中該柵極係由鋁所形成。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述之垂直式有機電晶體，其中該第一有機半導體層與該第二有機半導體層之材料係同一種有機半導體。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述之垂直式有機電晶體，其中該有機半導體材料係聚(3-己烷噻吩) (P3HT)。
9. 如申請專利範圍第 1 項所述之垂直式有機電晶體，更包含一絕緣層，設置於該柵極之一側或周圍。
10. 如申請專利範圍第 9 項所述之垂直式有機電晶體，其中該絕緣層係共聚物(copolymer)或氧化鋁。
11. 一種垂直式有機電晶體之製造方法，其步驟包含：
 - 提供一基板；
 - 形成一射極於該基板上；
 - 以非光微影蝕刻方式，製作一有機半導體層於該射極上，在該有機半導體層中形成一柵極，且該柵極形成有複數個孔洞並和該射極相隔開來；及
 - 形成一集極於該有機半導體層上，且該集極係和該柵極相隔開來。
12. 如申請專利範圍第 11 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該基板係為導電玻璃基板或可撓性基板。
13. 如申請專利範圍第 11 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該射極係使用旋轉塗佈方式所形成。
14. 如申請專利範圍第 11 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該有機半導體層之製作步驟，係包含：
 - 將一第一有機半導體層旋轉塗佈於該射極上；
 - 將複數個聚苯乙烯球旋轉塗佈於該第一有機半導體層上；

將該柵極蒸鍍於該些聚苯乙烯球上，使該柵極形成有該些孔洞；及
將一第二有機半導體層旋轉塗佈於該柵極上，並製成該有機半導體
層。

15. 如申請專利範圍第 14 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中形成該些聚苯乙烯球之步驟，係使該第一有機半導體置於分散有該些聚苯乙烯球之乙醇溶液一段時間，使該些聚苯乙烯球吸附到該第一有機半導體層上。
16. 如申請專利範圍第 15 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該第一有機半導體置於分散有聚苯乙烯球之乙醇溶液一段時間之步驟之後，係經過沸騰的異丙醇處理，使該些聚苯乙烯球較為分散並黏著於該第一有機半導體上。
17. 如申請專利範圍第 14 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中將該柵極蒸鍍於該些聚苯乙烯球之步驟之後，更包含利用超音波震盪將該些聚苯乙烯球震下。
18. 如申請專利範圍第 14 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中將該柵極蒸鍍於該些聚苯乙烯球之步驟之後，更包含利用膠帶將該些聚苯乙烯球黏下。
19. 如申請專利範圍第 11 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該有機半導體層之製作步驟，係包含：

將一第一有機半導體層旋轉塗佈於該射極上；

製作一孔洞狀結構，並形成一犧牲層於該孔洞狀結構上，將該柵極

蒸鍍於該犧牲層上，使該柵極具有該些孔洞，以壓印方式將該柵極黏著於該第一有機半導體上；及

將一第二有機半導體層旋轉塗佈於該柵極上，並製成該有機半導體層

20. 如申請專利範圍第 11 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該有機半導體層更包含一絕緣層，位於該柵極之一側或周圍。

21. 如申請專利範圍第 20 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該有機半導體層之製作步驟，係包含：

形成該絕緣層於該射極上，且該絕緣層形成有一孔洞狀結構；

將該柵極形成於該孔洞狀結構上方，使該柵極形成有該些孔洞；及

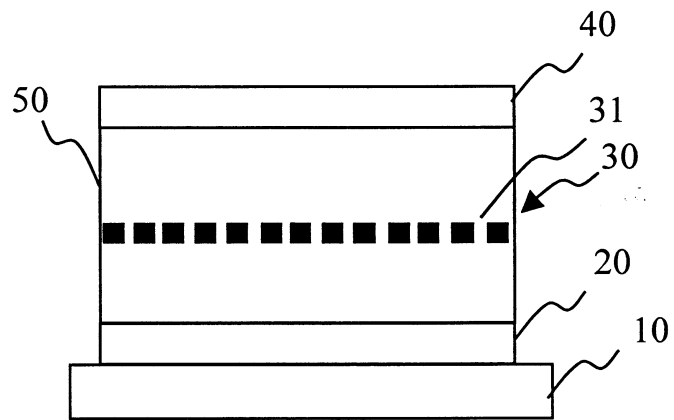
將該有機半導體層旋轉塗佈於該柵極、該絕緣層與該射極上。

22. 如申請專利範圍第 20 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中該絕緣層係共聚物(copolymer)或氧化鋁。

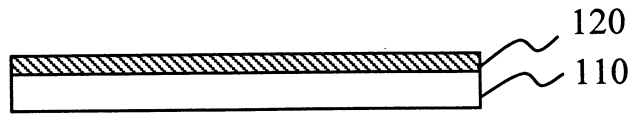
23. 如申請專利範圍第 20 項所述之垂直式有機電晶體之製造方法，其中形成該絕緣層之步驟，係包含：

形成複數個奈米球於該射極上；及

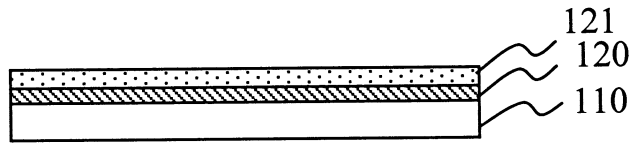
將該絕緣層蒸鍍於該些奈米球上，而形成有該孔洞狀結構。



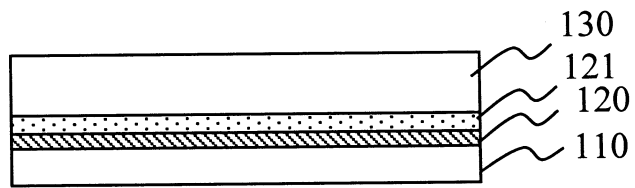
第1圖



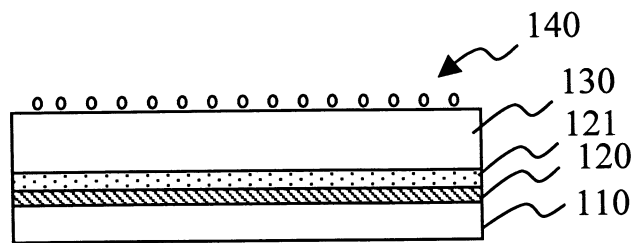
第2A圖



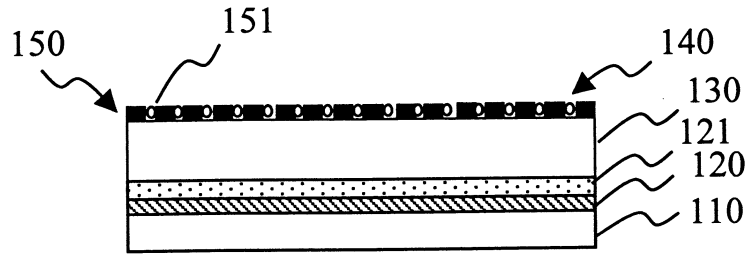
第2B圖



第2C圖



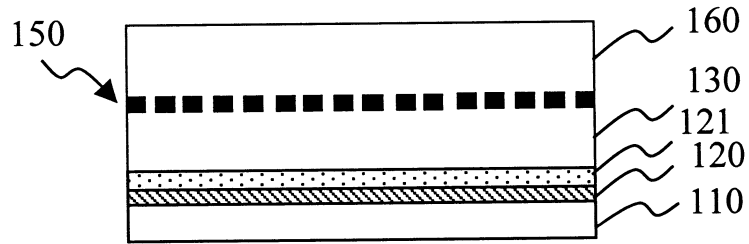
第2D圖



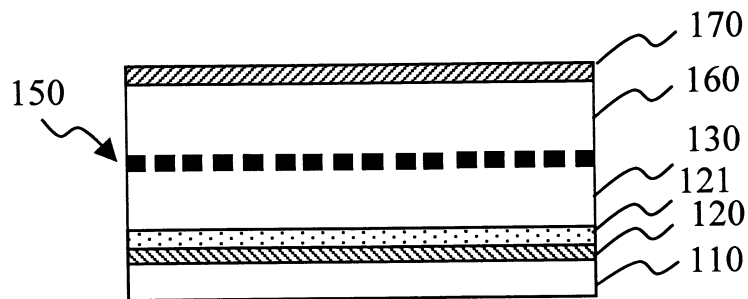
第2E圖



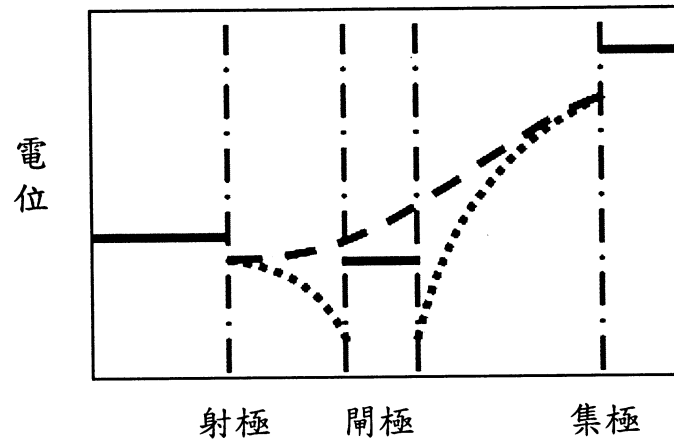
第2F圖



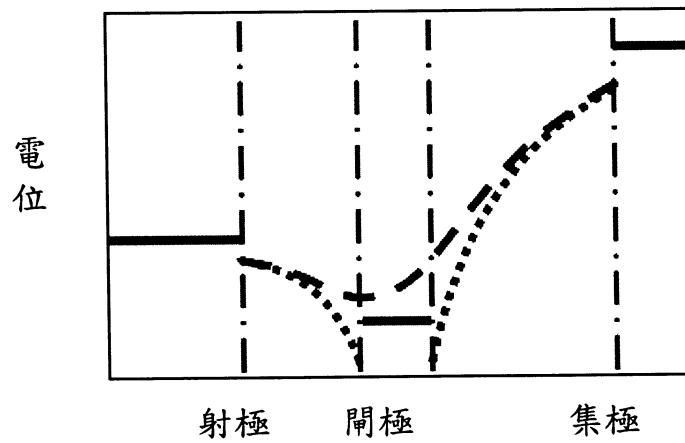
第2G圖



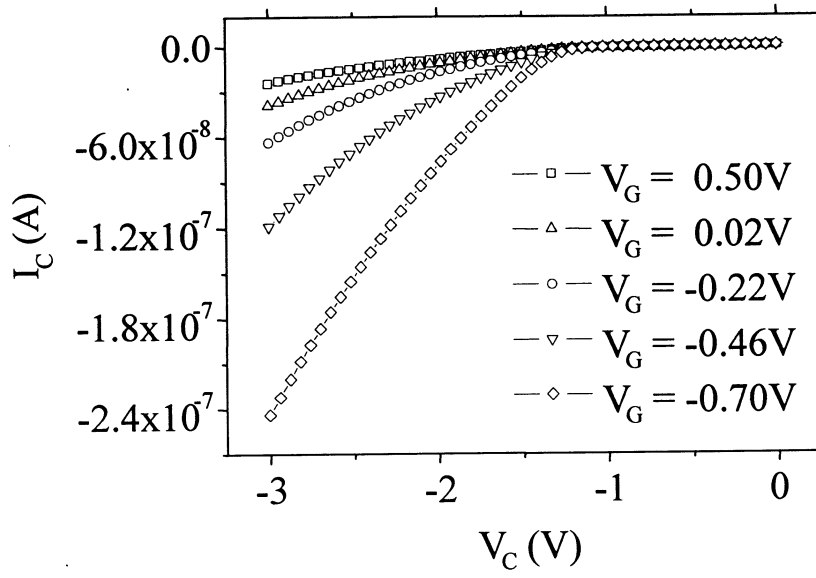
第2H圖



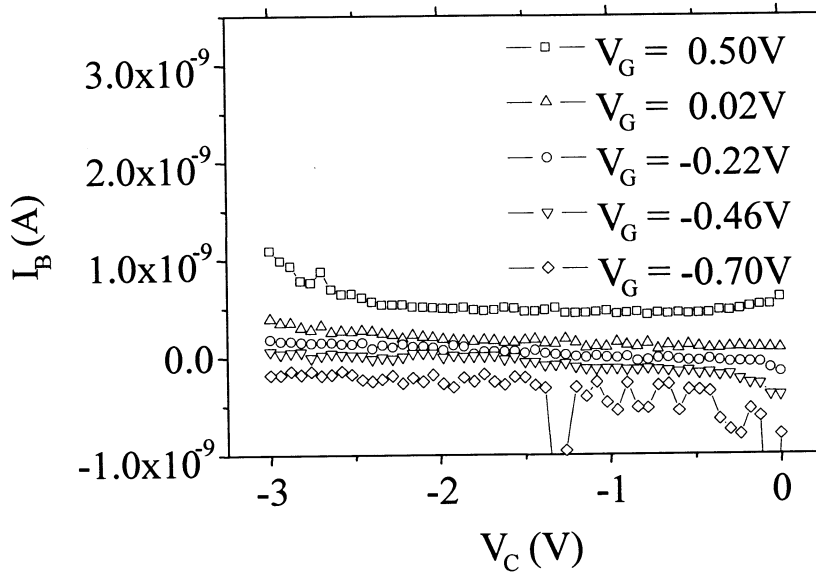
第3A圖



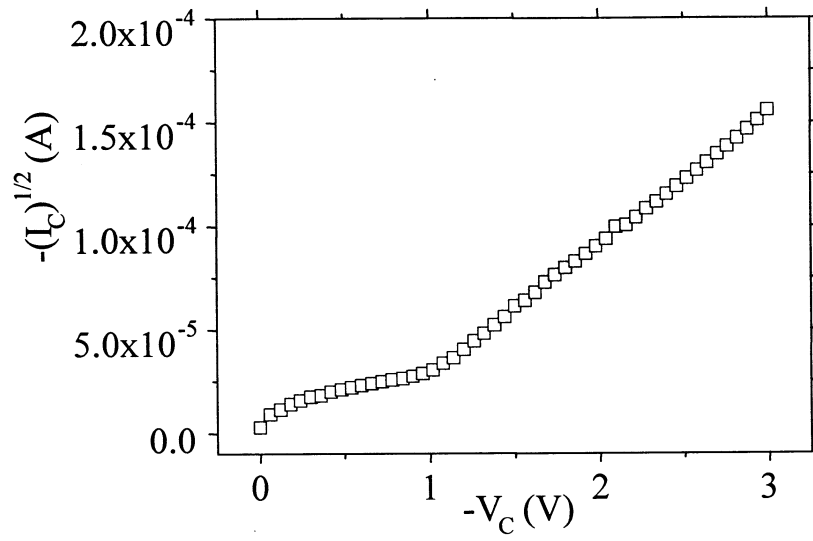
第3B圖



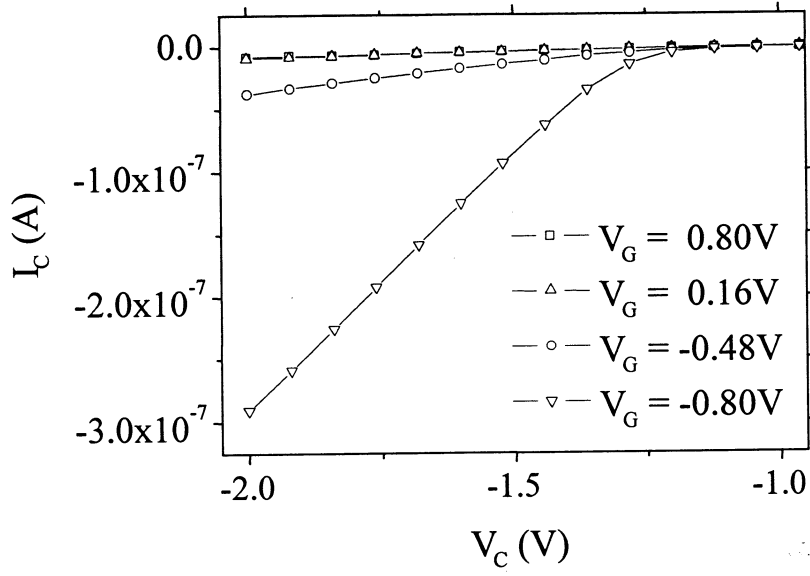
第4圖



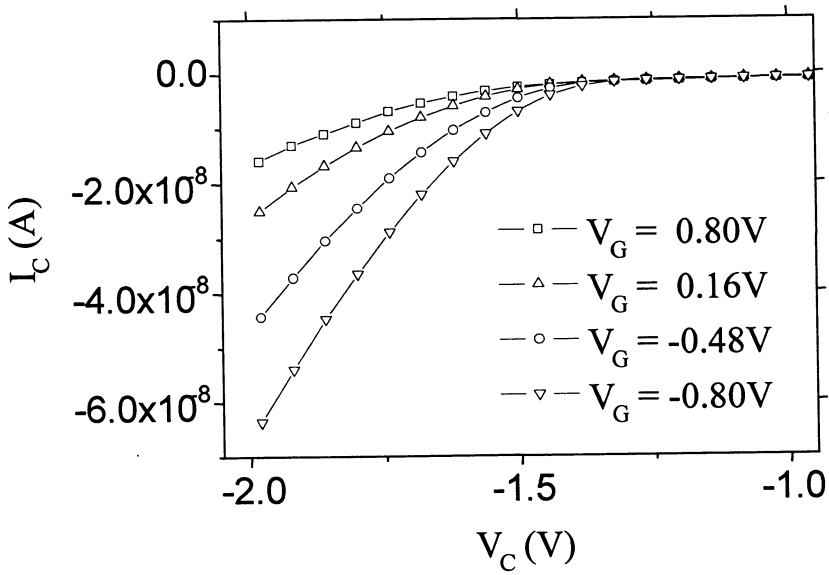
第5圖



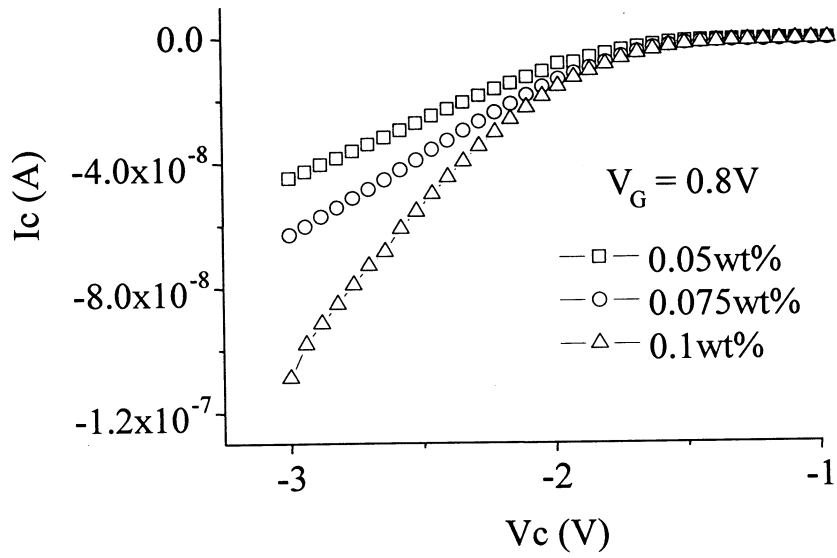
第6圖



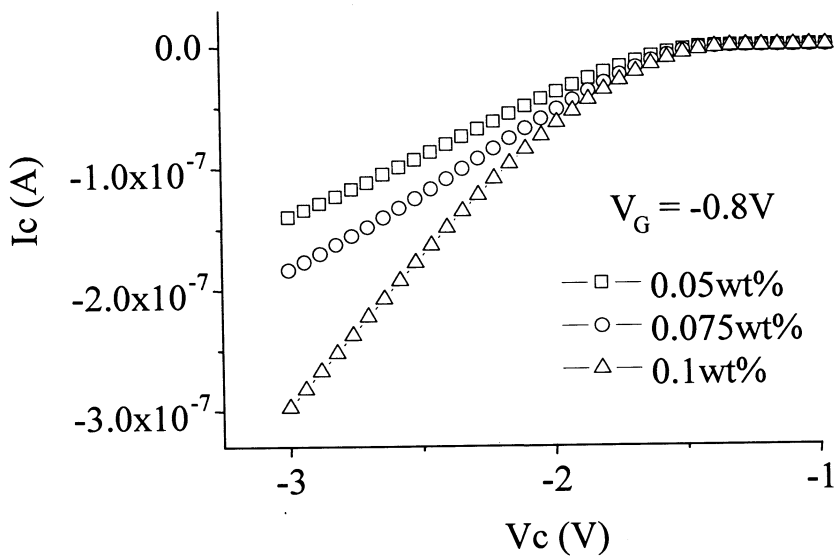
第7圖



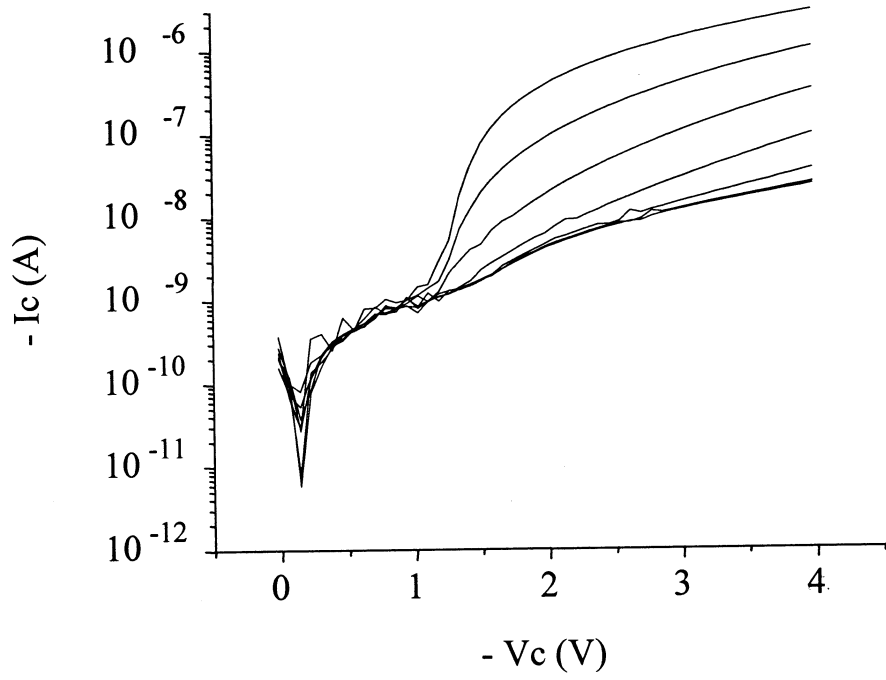
第8圖



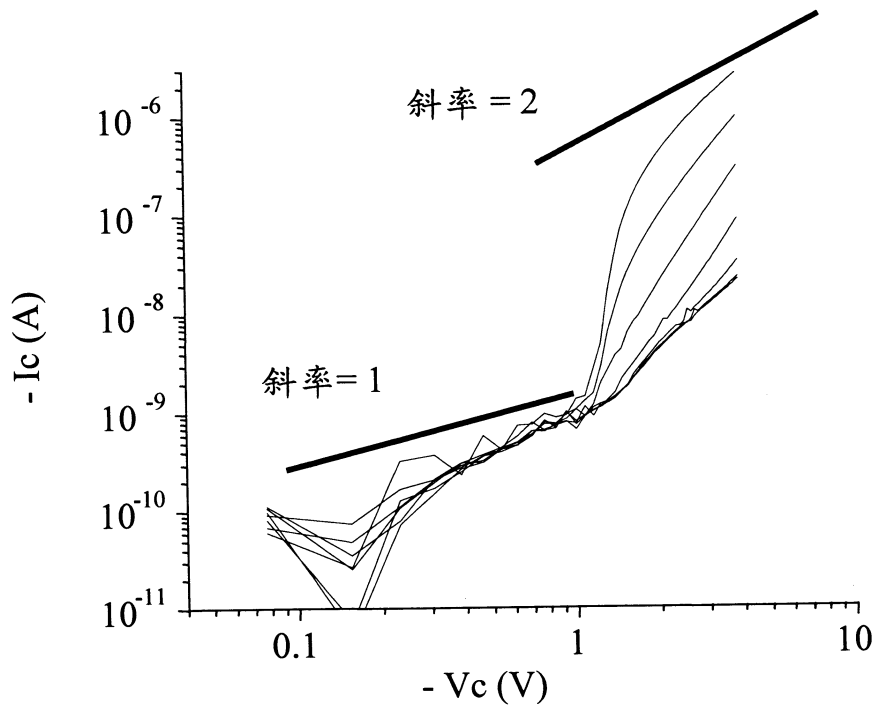
第9圖



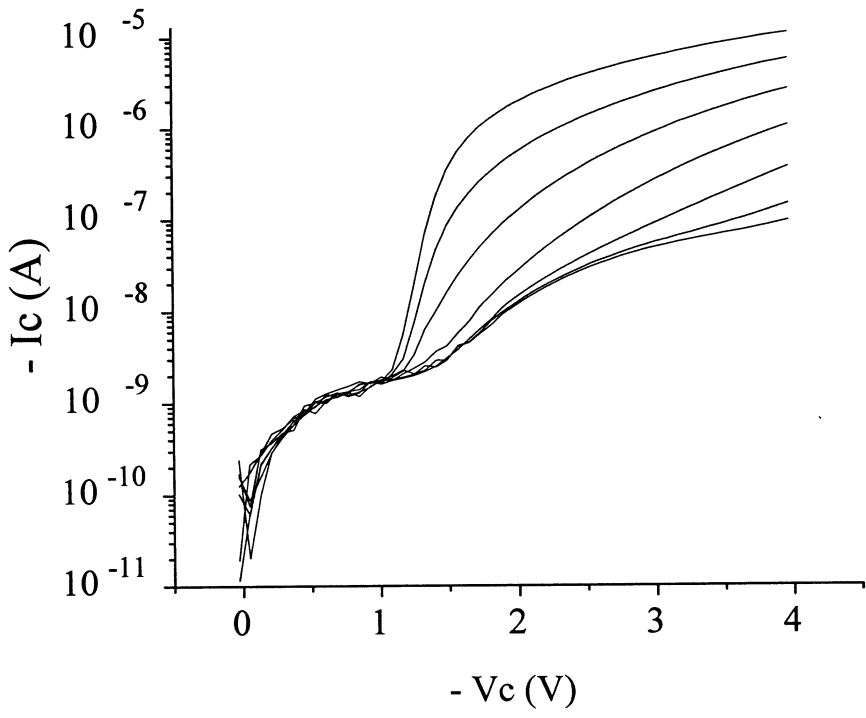
第10圖



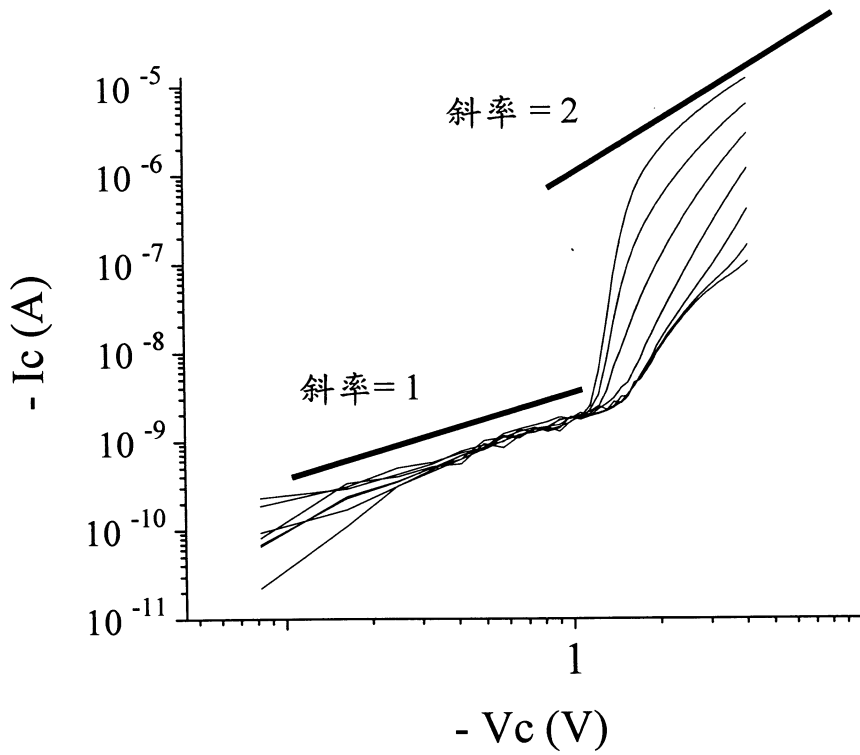
第11圖



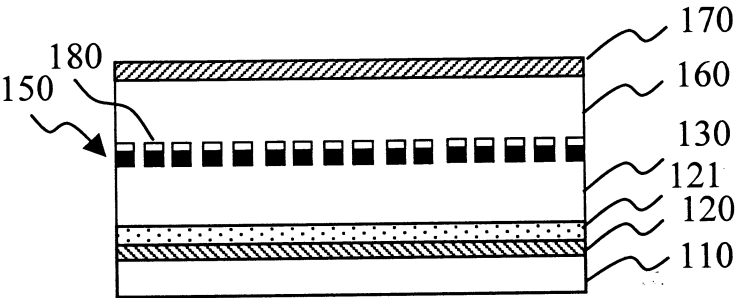
第12圖



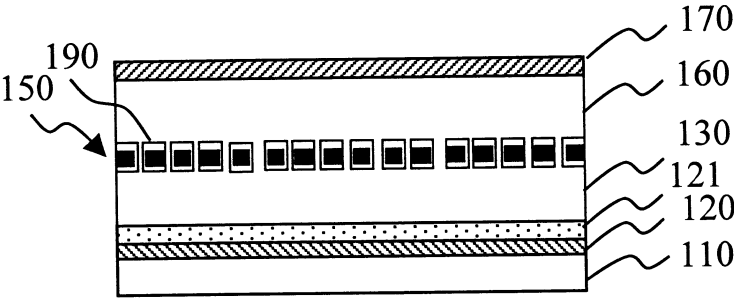
第13圖



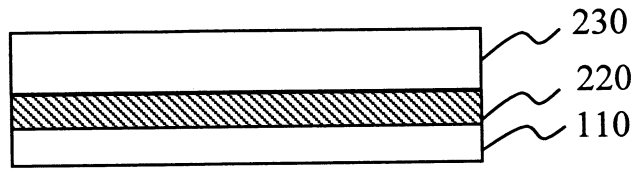
第14圖



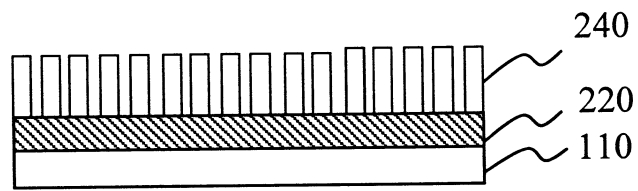
第15圖



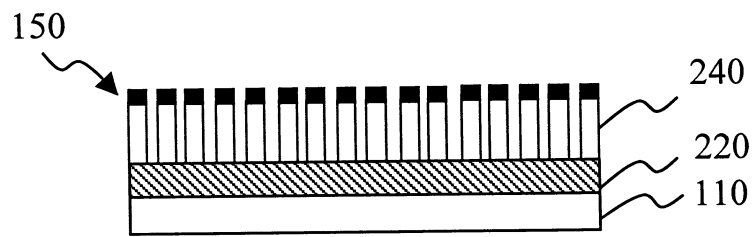
第16圖



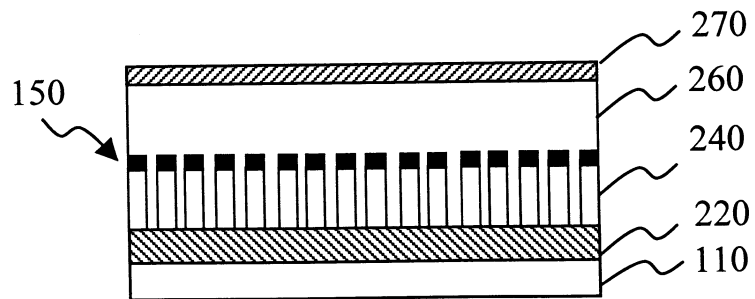
第17A圖



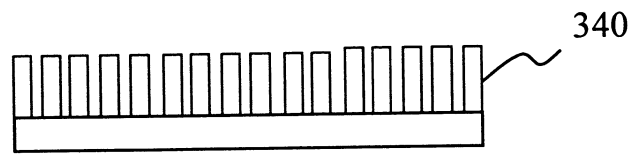
第17B圖



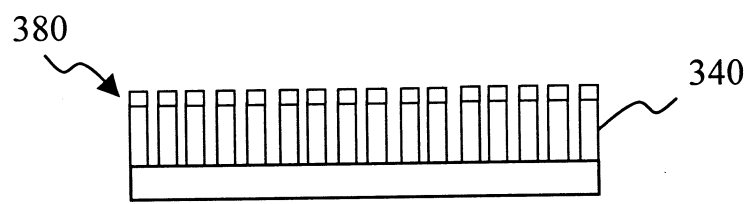
第17C圖



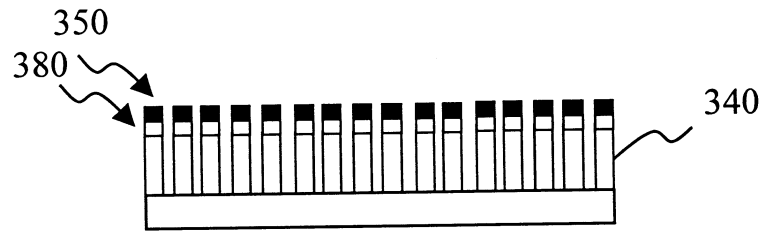
第17D圖



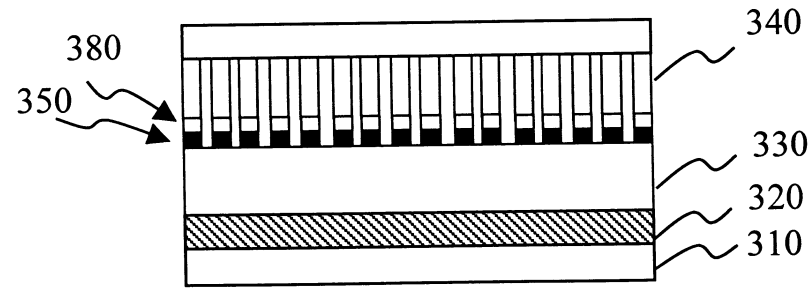
第18A圖



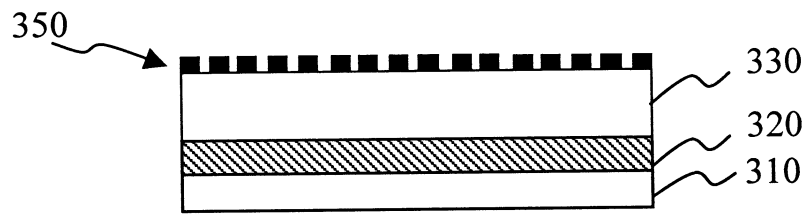
第18B圖



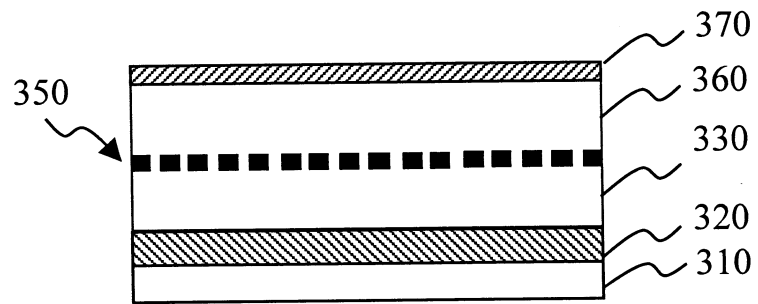
第18C圖



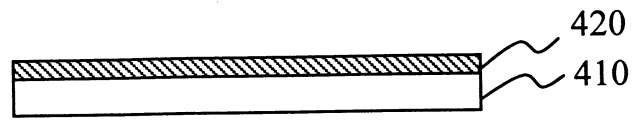
第18D圖



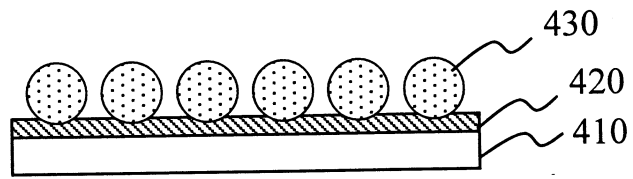
第18E圖



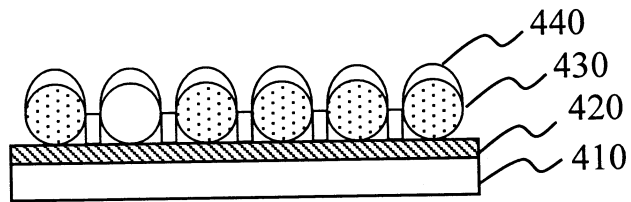
第18F圖



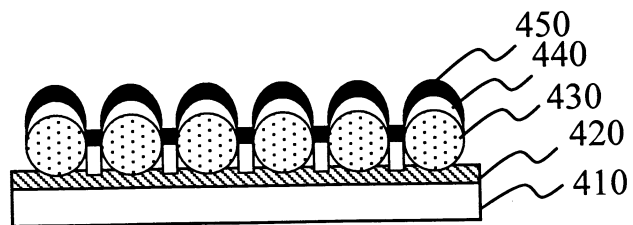
第19A圖



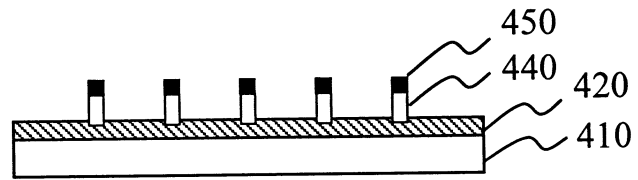
第19B圖



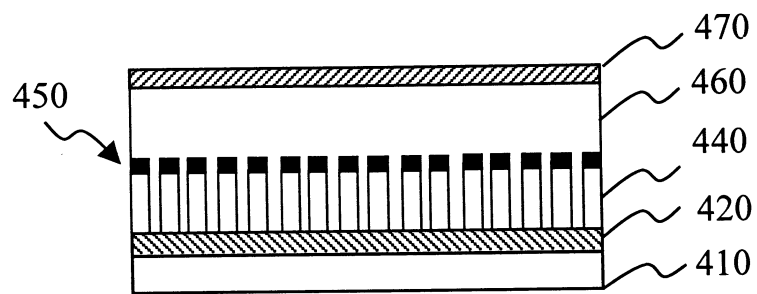
第19C圖



第19D圖



第19E圖



第19F圖