

第一章 序論

1.1 顯示技術的發展

自從 1927 年第一台以陰極射線管 (CRT, Cathode Ray Tube) 的黑白電視發明以來顯示技術便不斷的演進，傳統的 CRT 顯示技術經長期改良後，由於技術成熟、色彩飽和度佳、應答速率快、無視角依存性、價格便宜等因素，所以在顯示器市場佔有一席之地，但是 CRT 顯示器其同時擁具有體積大、重量重及輻射量高等缺點，為了改善以上的缺點，因此各種顯示器技術如雨後春筍般的被開發出來，例如液晶顯示器 (LCDs, Liquid Crystal Displays)、電漿電視 (PDPs, Plasma displays)、有機電激發光顯示器 (OLEDs, Organic Light-Emitting Displays) 及場發射顯示器 (FEDs, Field Emission Displays) 等。在這些顯示器中以液晶顯示器的技術發展最純熟，也是最普及的，例如飛機上的座位都配有液晶顯示器，連高速公路的遊覽車也不例外，市場上的需求往往是驅動技術進步的原動力。這可由液晶顯示器的應用領域急劇變化看得出來，從早期的筆記型電腦，擴充到桌上型監視器，並進一步進入大尺寸高畫質電視看出。人類在視覺上所能接收到的資訊，大部分將經由顯示器介面而來，視覺的頻寬將會限制人對資訊的接收速率[1],[2]。目前所有顯示器的高矩陣顯示頻寬，均遠低於人類視覺的頻寬，所以為了配合人類視覺的頻寬，具有高解析度和高顯示內容的顯示器，將成為未來發展的主軸。而新型的液晶顯示器具有重量輕、體積薄小、低耗電、低輻射等優點，未來繼續朝提高應答速率、增加視角廣度努力，進一步再提升解析度和降低生產成本，其應用之普遍性將無可限量。接下來簡單的介紹一下液晶顯示器。

1.2 液晶顯示器

何謂液晶顯示器呢?簡單的說就是利用液晶晶體的光學特性來達到顯示的效果，結構很簡單就是將液晶灌入兩片抽完真空的玻璃間，再加上電壓，並適當的控制玻璃的間距，便能改變入射光的偏轉特性[1]。一般的液晶顯示器依驅動模式來分可分為單純矩陣式(Passive Matrix)與主動矩陣式 (Active Matrix)，而單純矩陣式又包括 TN 與 STN 等，此型的液晶顯示器由於電容串因(Capacitor Coupling)嚴重[1]，而導致會有殘影及對比差及反應速度慢等缺點，再加上又是採用多工方式驅動，驅動方式較為複雜，因此此類型的顯示器要達到高解析度、高畫質與全彩的目標便十分困難，但由於製造成本低廉因此部分低階的顯示器如手機上的面板便常用此技術。而目前被廣泛研究的薄膜電晶體(TFT, Thin Film Transistor)是屬於主動矩陣式，此種技術由於利用薄膜電晶體作為控制液晶旋轉的開關元件，使得每個畫素相互間的影響變小，改善了上述單純矩陣式驅動液晶式

液晶顯示器的缺點，且驅動方式較為簡單，因此顯示器的畫質與解析度能夠進一步提升。然而利用薄膜電晶體方式驅動的液晶顯示器，其成像品質的好壞與電晶體的特性好壞有很大的關係，如漏電流、驅動電流、寄生電容與開關速率等，因此如何製造出品質好，特性佳的薄膜電晶體相當的重要的。目前市面上常見的顯示器的開關元件大多為非晶矽薄膜電晶體，接下來介紹一下非晶矽薄膜電晶體的技術。

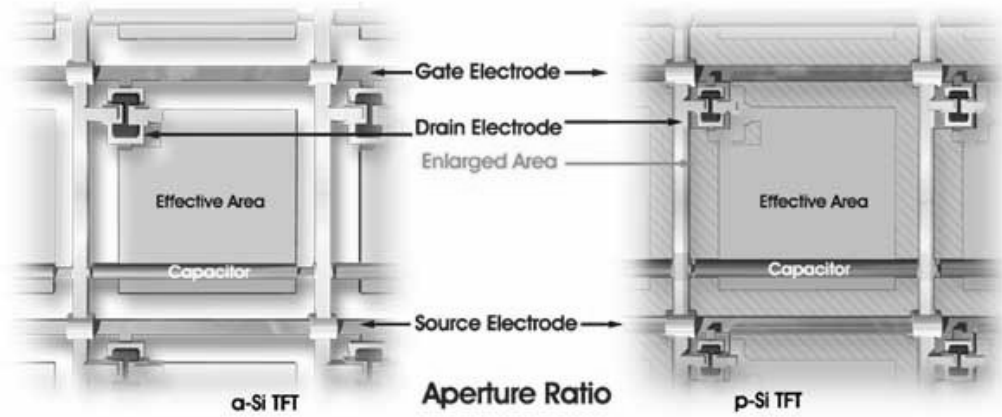
1.3 非晶矽薄膜電晶體

主動矩陣式液晶顯示器是現今市場的主流，非晶矽 a-Si:H TFT-LCD 即藉由電漿輔助化學氣相沉積技術(PECVD)鍍製大面積且高度均勻的含氫非晶矽薄膜。半導體製程中，矽烷在高溫真空下經電漿激發分解可沉積矽薄膜。一般而言，當溫度高於 700 以上時會生成磊晶矽，當溫度介於 575-650 將形成多晶矽，而當溫度低於 500 時只能生成非晶矽[3]。導入氫的目的在降低矽薄膜材料內部的缺陷密度，以空隙異原子的方式捕捉懸空的矽鍵，減小帶隙狀態密度，以改善其光電特性。由於玻璃基板不耐高溫，液晶顯示器面板無法像半導體製程中矽基板以高溫直接形成結晶型的矽，所以非晶矽薄膜電晶體的製程與玻璃基板較容易整合，且均勻性較佳，但是仍然有些缺點，由於非晶矽的電子遷移率較低，不到 $1\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ ，而為了提高電子遷移率，元件尺寸必須做大，相對的就會造成亮度降低且會減少面板的開口率。因而為了改善非晶矽薄膜電晶體的缺點，且節省成本為考量，因此開發出低溫多晶矽薄膜電晶體 (Low Temperature Poly-Si Thin Film Transistor, LTPS TFT) 的技術。

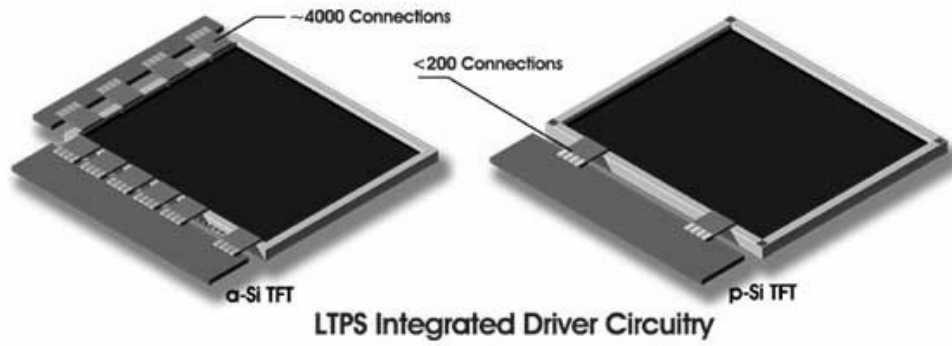
1.4 低溫多晶矽薄膜電晶體(LTPS TFT)

低溫多晶矽(LTPS)薄膜電晶體的場效電子移動率可達 $100\text{-}200\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ ，大大提升製作 n 和 p 通道設計的能力，除了可降低薄膜電晶體的大小（如圖 1.1(a)）、增加面板開口率及亮度，尚可設計將積體電路同時製作在玻璃基板上，減少驅動 IC 的需求和模組貼附成本，如圖 1.1(b)所示，因此可以朝 System on Glass (SOG)的發展方向邁進。

近來顯示器技術的發展快速及對高解析度、高畫質面板的市場要求，低溫多晶矽薄膜電晶體已被廣泛的應用於主動式的面板中。與非晶矽相比多晶矽擁有較高的載子遷移率，及具有將驅動電路整合至同一玻璃基板上的能力，因此低溫多晶矽無疑的成為下一代最具潛力的平面顯示器技術，目前製作低溫多晶矽最主要的方法有固相結晶法、準分子雷射結晶法及金屬誘發結晶法及以及一些為了改善結晶品質而提出的方法如：NILC 結合雷射結晶的方法和金屬壓印的方法以下就上面所提到的主要的結晶方法作個說明：



(a)



(b)

圖 1.1 (a) 非晶矽和多晶矽面板開口率的比較(b) 非晶矽和多晶矽的液晶面板 driver ICs 的比較[4]

1.4.1 固相結晶法(Solid Phase crystallization)

固相結晶技術是成本最低，也是最容易使用的結晶技術。一般的作法是將非晶矽薄膜放到爐管中進行 600°C 12~48 小時的退火。為了得到較大的晶粒，可以改變非晶矽的沈積參數及退火條件，從一些研究中發現，改變非晶矽沈積時的壓力，可以改善多晶矽的結晶品質[5],[6]，但是利用固相結晶法所得到的多晶矽晶粒品質和另兩種結晶法相比仍然是較差的，且晶粒中的缺陷(defect)多[7],[8]，另外，退火溫度過高並不適用於一般的玻璃基板(一般的玻璃基板軟化溫度約為 600°C 左右)，可能會造成玻璃的變形，會影響到後續的微影製程。固相結晶包括二個步驟，分別為成核和成長。成核又可分為均質成核和異質成核，以固相結晶法來說，由於非晶矽裡含有缺陷，缺陷自由能較高，較容易吸附溶質原子造成原子聚集，形成異質成核，進而成長，所以大部分的 SPC 晶粒是從雙晶 (twin) 處成核而成長；也有部分的成核是以均質成核進行，然後再進行成長。但是一般的固相結晶法退火時間太長，且最後所得到的晶粒缺陷多，因此最後所做出的薄膜電晶體特性並不好。

1.4.2 準分子雷射退火結晶法 (excimer laser annealing)

準分子雷射主要是在紫外光範圍的高輸出脈衝雷射 (high-output pulsed lasers) 振盪。光束相當大，脈衝的時間非常短，約 10ns。準分子雷射退火是將準分子雷射照射在矽薄膜上，使其熔融固化後產生結晶。使用準分子雷射退火結晶方法的優點是不會傷害玻璃基板，因為加熱的時間是很短暫的，而且結晶的晶粒缺陷較少，品質較佳；但是缺點是雷射設備成本過高，而且結晶的均勻性不佳，故對大面積的玻璃基板來說在製程上仍然有很多需改進的地方。另外，雷射將非晶矽層熔融結晶後，在兩晶粒的交界處會隆起產生晶界。此現象會導致表面粗糙，將會影響元件的製作。而且晶粒尺寸還不夠大，另一方面因為一片玻璃基板通常需要雷射掃描 20 次左右才能形成良好的結晶。為了提高生產效率，現在有採用多路雷射同時掃描的方式。也可以採用矩形光束的方法，使雷射能量均勻集中形成一個矩形光束，對基板進行有選擇性的掃描。

為了要產生準分子雷射光束，一個瞬間的高電壓電漿在包含雷射氣體的腔體內產生，依據雷射氣體的不同，而會產生不同波長的雷射光，氣體和所產生的雷射光波長的關係列於表 1.1。因為 XeCl 準分子雷射器具有較好的氣體穩定性和在波長 308nm 處 a-Si 薄膜具有高吸收係數($\sim 10^6 \text{ cm}^{-1}$)的優點。所以很多廠家採用 XeCl 準分子雷射器進行生產。

表 1.1 不同的準分子雷射氣體及其波長

LASER GAS	F ₂	ARF	KRCL	KRF	XECL	XEF
λ(nm)	157	193	222	248	308	351

一般雷射退火以所施加的能量密度大小分成部分熔融、接近完全熔融和完全熔融三個部分[9],[10]，來了解一下一般雷射退火結晶的成長機制，以下就這三個部分做個說明：

1. 部分熔融:

由於雷射能量密度太小，只能讓較表層的非晶矽熔融固化，而底層的非晶矽層仍然存在，當冷卻時，會以下層的非晶矽為核往上方成長，此時得到的晶粒為垂直薄膜的長條型晶粒，所以會造成結晶較小及結晶品質較差的結果。部分熔融過程示意圖如圖 1.2 所示。



2. 接近完全熔融:

將非晶矽層熔融至只剩一些非晶矽留下當作異質結晶成長的核，晶粒會從這些核向外側面成長，由於非晶矽的核跟核之間距離較遠，所以成長的空間較大，所形成的晶粒會較大，若大於膜的厚度一般稱此種結晶成長為 super lateral growth(SLG) [10]。接近完全熔融過程示意圖如圖 1.3 所示。

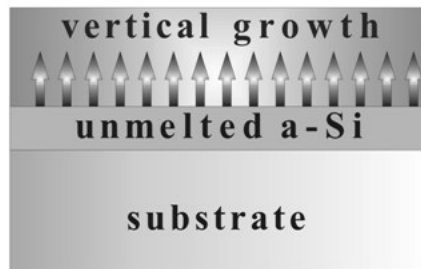
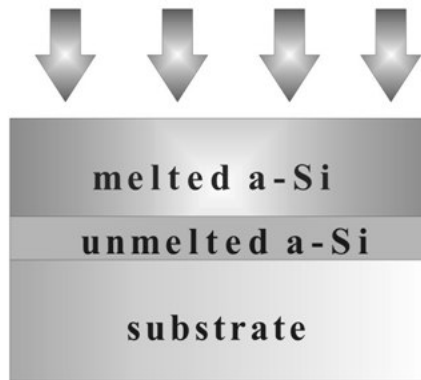
3. 完全熔融:

雷射能量大到能將非晶矽層完全熔融，此時結晶藉由均質成核來結晶，因此成核點很多，冷卻後會形成不規則的多邊型的小晶粒，這時所形成的晶粒最小。完全熔融過程示意圖如圖 1.4 所示。

從 TFT 的製作觀點來說，為了提高電子遷移率就要減少晶界的數目，換句話說便是需要有大晶粒產生，因此多想以”接近完全熔融”的方式製作，但是實際上是具有困難的，因為接近完全熔融的雷射操作工作區間 (window) 是非常小的，很難去控制，所以會造成結晶品質上的不均勻，因此一般會選擇使用在接近完全熔融之前的能量密度來進

行結晶的工作。

excimer laser irradiation



small poly-Si grain

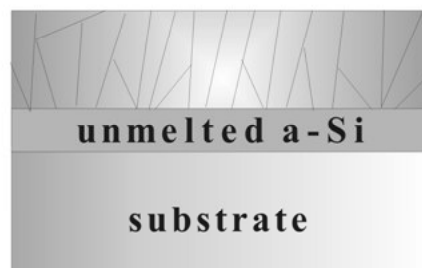


圖 1.2 部分熔融過程

excimer laser irradiation

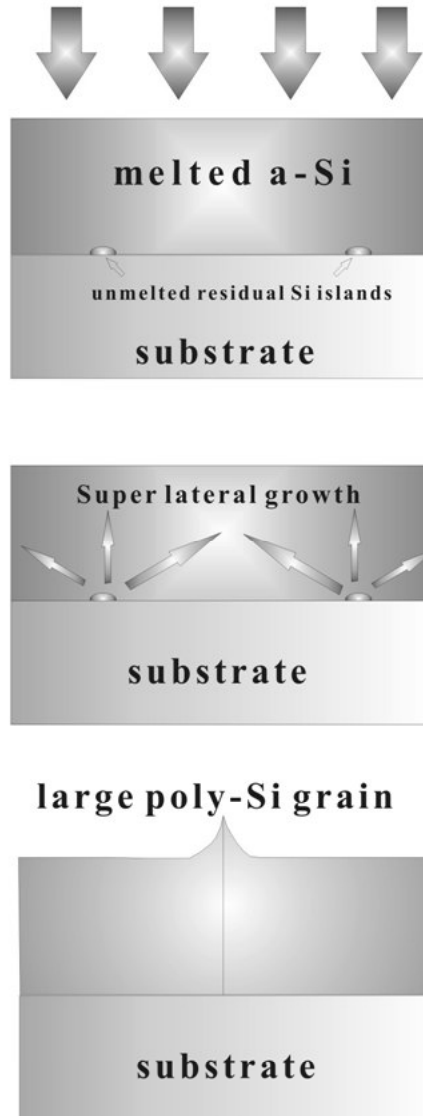


圖 1.3 接近完全熔融過程

excimer laser irradiation

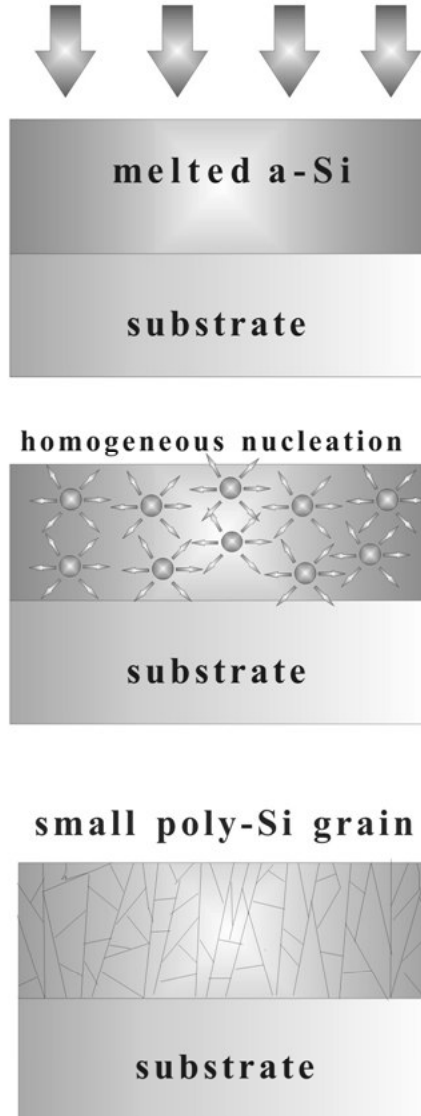


圖 1.4 完全熔融過程

1.4.3 金屬誘發結晶/金屬誘發側向結晶法

Wagner 和 Ellis 在 1963 年發現少量的特定金屬可以幫助矽結晶[11]。依照不同誘發結晶的方式可以分成兩類：一種是與矽產生共晶反應(例如：Al[12]、Au[13]等)，由於共晶點的溫度通常比一般單相結晶的溫度低，所以可以在低溫下產生結晶。以 Al 為例，M. S. Haque[12]在研究中指出 Al 與 Si 的共晶溫度在 577°C，但在 200°C 左右便開始與 a-Si 層反應產生結晶，金屬向內擴散時不僅使 a-Si 結晶，同時因為金屬摻雜的關係導致 Si 層轉變成 p 型。

另一種低溫結晶的方式是利用金屬與矽反應成介穩定的矽化物(例如：Ni[13]~[16]、Pd[17],[18]等)，在矽化物移動的過程中，金屬原子的自由電子與 Si-Si 共價鍵發生反應，降低 a-Si 結晶所需的能障，使得結晶溫度降低。一般較常用的金屬為 Ni，而且機制也最清楚，因此以 Ni 來說明此類金屬誘發結晶的過程，Ni 會先與 Si 反應成多種矽化物[19]，在靠近 a-Si 區域的地方會產生富 Si 的 NiSi₂。由圖 1-5 的 Ni-Si 反應自由能圖[20]中可知，在 NiSi₂ 中的 Ni 原子在 NiSi₂ 與 a-Si 介面的自由能比在 NiSi₂ 與 poly-Si 介面處低，這個自由能差會使 Ni 原子往 a-Si 層移動；反之，在 NiSi₂ 中的 Si 原子在 NiSi₂ 與 poly-Si 介面的自由能比在 NiSi₂ 與 a-Si 介面處低，所以有個驅動力驅使 Si 原子往 poly-Si 的方向擴散。這結果會使得 NiSi₂ 持續的往 a-Si 延伸，而所經之處產生 Si 結晶。1993 年由 Hayzelden 提出的分裂機制[20]，首先會在 NiSi₂ 上形成 c-Si 結晶核，然後 Si 會往 c-Si/NiSi₂ 的介面移動，而誘發結晶，如圖 1.6(a)所示，接著，又在 NiSi₂ 的領導端(leading edge)處形成結晶 (c-Si) 核，而為了降低 Ni 在 NiSi₂/c-Si 介面處的化學勢 (chemical potential)，因此 Ni 會往 NiSi₂/a-Si 介面處跑，而造成 NiSi₂ 的遷移，同時也形成一個新的 NiSi₂/c-Si 介面，如圖 1.5(b)，而此過程一直重複，因而得到針狀的誘發結晶，1.5(c)。

Ni 誘發結晶由於結晶品質較好已經被廣泛的研究。一般 Ni 誘發結晶可分成 NIC 及 NILC。所謂的 NIC 是在 Ni 金屬鍍覆的區域底部的結晶區域，此區域的晶粒較小，結晶品質較差且金屬污染較嚴重。而 NILC 的區域即是由 NIC 區域側向成長出去的區域，晶粒較大，結晶品質較好且金屬污染較不嚴重。

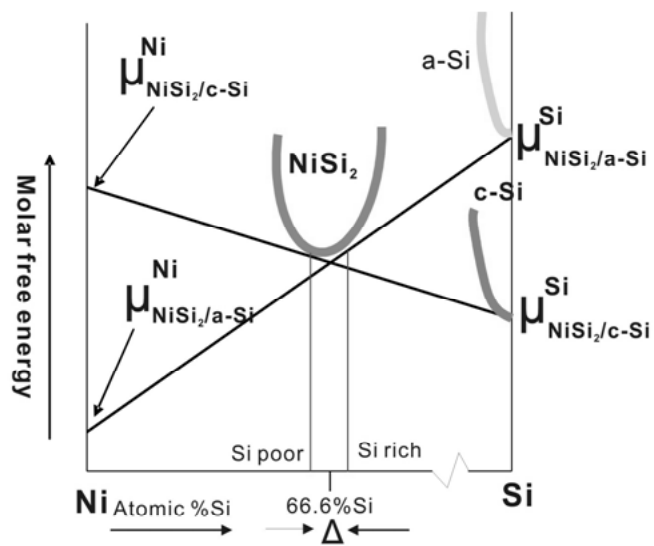


圖 1.5 Ni-Si 反應自由能圖



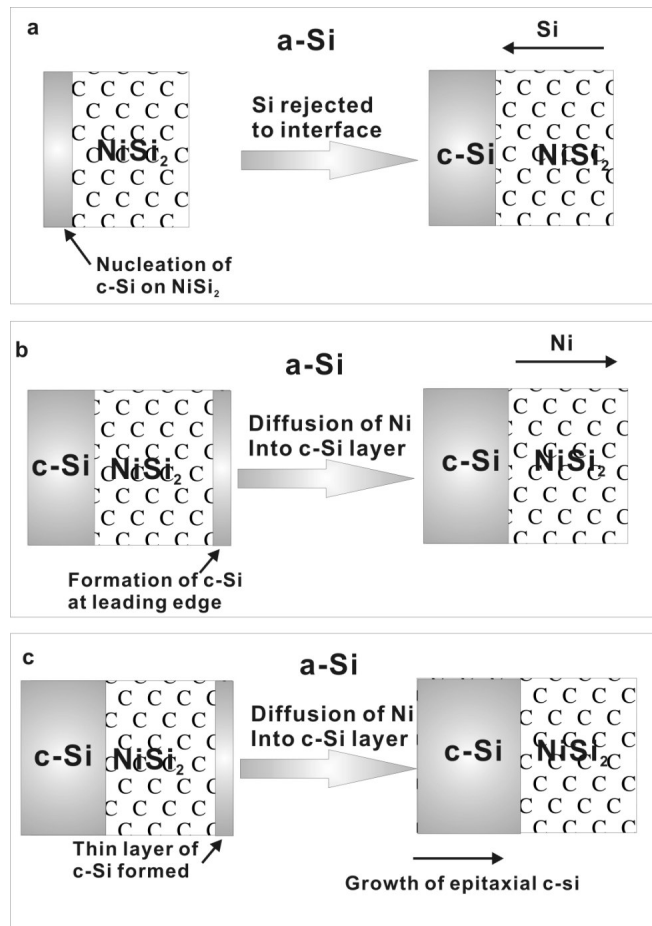


圖 1.6 NiSi₂ 誘發結晶機制示意圖[20]

從以上的討論我們知道利用傳統的結晶方法得到的低溫多晶矽也有一些需改進的地方，所以為了改善結晶品質，而發展出一些新的結晶技術，例如：NILC+後退火方法（post-annealing）[21]-[23]、壓印（imprint）方法[24],[25]及MICC[26]方法。所謂的NILC+後退火方法就是先進行鎳誘發結晶後，再進行準分子退火或者高溫退火，藉由兩次的退火來改善結晶的品質及得到較大的晶粒尺寸。而壓印方法是在2000年由Sanghoon Bae [24]等人所提出來的。即在玻璃基板上製作非晶矽薄膜，然後再準備另外一片準備壓印的板子，上面再鍍覆一層圖形化的鎳，接著將兩片基板進行加壓退火結晶的動作，此方法的優點是可提升結晶速率，一般NILC過程所得到的結晶速率約2~4 $\mu\text{m/hr}$ ，但此一壓印方法可提升結晶速率至8 $\mu\text{m/hr}$ 。在之後的章節會更詳細介紹這些新方法。

1.5 影響電性的因素

1.5.1 雜質原子

阻值的控制是非常重要的，多晶矽的阻值都比相同雜質原子濃度的單晶矽或磊晶矽大，如圖 1.7 所示。由圖 1.7 中可看出在低雜質濃度($10^{15}/\text{cm}^3$)時，多晶矽的阻值隨著雜質濃度增加改變不大，阻值維持在 $10^5\Omega\text{-cm}$ 中間，而單晶矽在相同雜質濃度時，阻值小於多晶矽的阻值 6 個等級。在中等雜質濃度時多晶矽阻值驟降，而且快接近單晶矽的阻值。但是雖然中等濃度的雜質原子能有效的降低多晶矽的阻值，但由於變動性太大，不易控制，會造成元件特性不均勻，所以一般製作 TFT 元件還是會控制在低雜質濃度處來製作。但雜質濃度也不可太低，會需要較長的活化時間及阻值過高的影響。

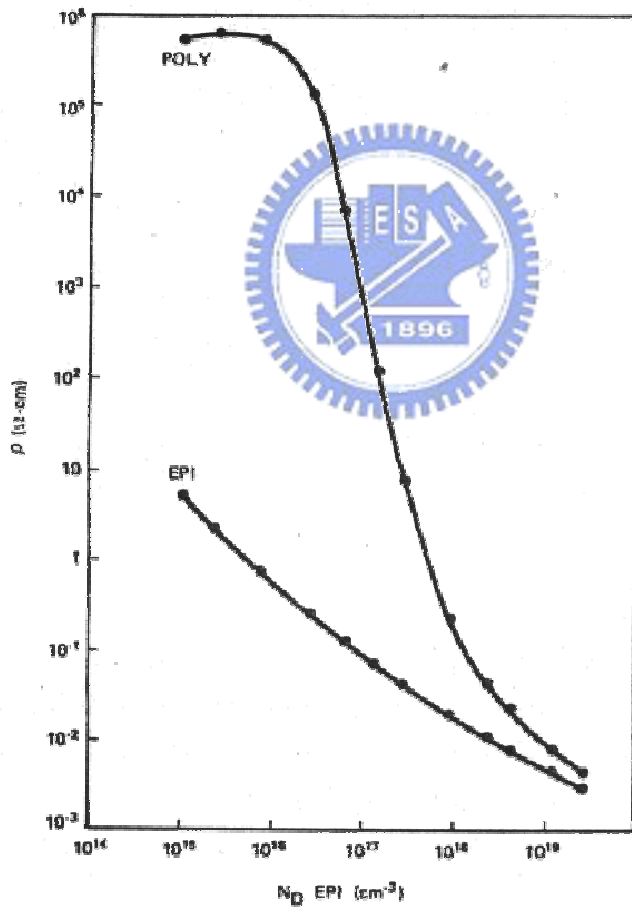


圖 1.7 複晶矽與磊晶矽阻值與雜質濃度關係圖[27]

1.5.2 晶界處的載子捕陷(carrier traps at grain boundary)

電子的傳導行為由載子的數目多寡所決定，要決定自由載子在多晶矽中的數目，必須先考慮置換型的雜質濃度，雜質原子會偏析在晶界中造成損失，而且在電性上不發生作用；但即使將此損失考慮進去，多晶矽的電導度仍然比具有相同摻雜濃度的單晶矽低，因為單晶矽中自由載子直接由在晶粒中的置換型摻雜原子所貢獻至價帶及導電帶，而多晶矽因為有晶界的關係，大部分的自由載子會被捕陷(trap)在低能量的晶界位置，因而無法貢獻到傳導帶[28],[29]，示意圖如圖 1.8 所示。

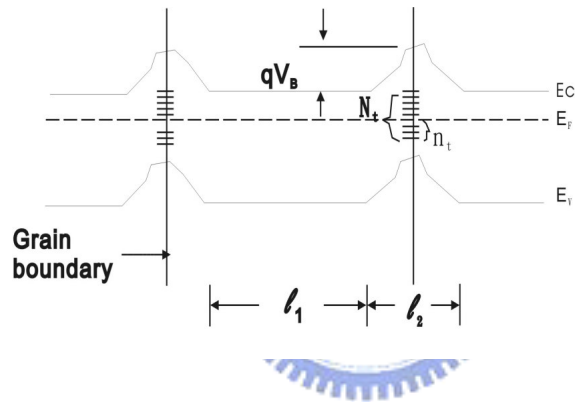


圖 1.8 很多在晶粒中的置換型摻雜原子所貢獻的自由載子很快速的就被固定在晶界處的捕陷位置 N_t (每單位面積的能量不超過能隙 (bandgap)) [30]

在晶界處的懸鍵 (dangling bonds) 及晶粒中的缺陷兩者都會引出一個在多晶矽中的允許的態位 (allowed state) 如圖 1.9 所示。其中和懸鍵有關的深態位 (deep state) 擁有大約禁止能隙 (forbidden energy gap) 一半的能量 [31]，此深態位對載子傳輸的最大影響就是允許載子產生 (generation) 與再結合 (recombination)。除了在中間能隙 (mid-gap) 附近的態位是由斷鍵 (broken bonds) 造成之外，應變鍵 (strained bonds) 也會產生的一個高密度的在能帶邊的淺拖曳態位 (shallow tail state) 這些態位都會捕捉載子而造成載子傳導率下降。

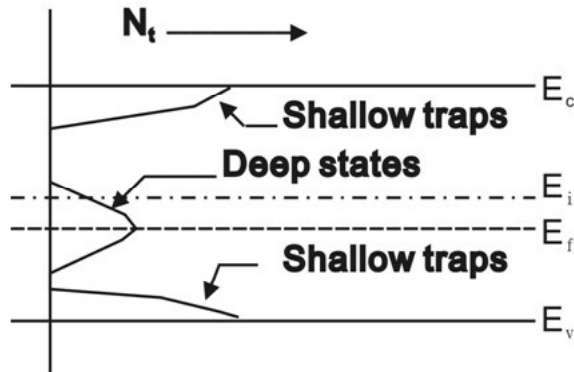


圖 1.9 捕陷(traps)主要集中在晶界處，然而在晶粒中的缺陷也有建立起一些態位。淺拖曳態位(shallow tail state)與應變鍵(strained bonds)有關，而在中間能隙的深態位(deep state)是由斷鍵(broken bonds)造成的 [30]

1.5.3 晶界能障(boundary barrier)

在基本的載子捕陷的模式中假設晶界本身是非常窄的（與晶粒相比）他們唯一的效應是去改變有效的摻雜物原子及在晶粒中的自由載子數目。晶界本身即當作摻雜物偏折及載子捕陷的位置，因此晶界的存在會影響載子移動進而影響元件的特性。如圖 1.10 所示，當電荷被晶界所捕陷時，為了去補償被晶界所捕陷的電荷，所以在晶界周圍形成一個空乏區域，根據 Poisson's equation，在空乏區的電荷造成能帶彎曲，而且會形成能障而阻礙剩下的主要載子在晶粒間移動[30]。能障高度 (\$V_B\$) 能用摻雜濃度 \$N\$ 及空乏區寬度 \$x_d\$ 以 Poisson's equation 表示：

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{qN}{\epsilon} \dots\dots\dots(1-1)$$

\$q\$: 一個電子的電荷大小

\$\epsilon\$: 矽的介電常數

只考慮一維的空間，解方程式得到 \$V_B\$

$$V_B = \frac{qN}{2\epsilon} x_d^2$$

由 \$V_B\$ 的解可以看到能障大小和置換型雜質濃度、捕陷密度及能量有很大的關係。

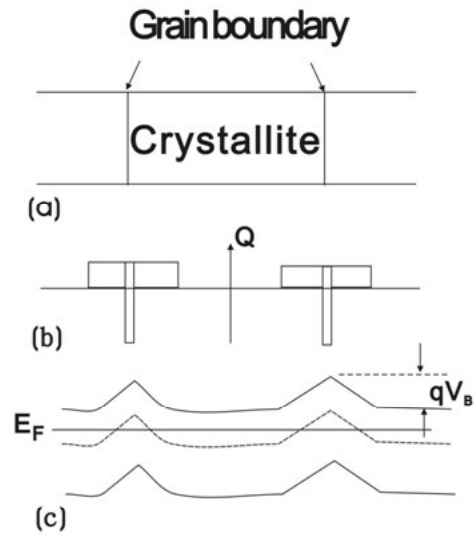


圖 1.10 (a) 電荷傳輸時遇到晶界存在，(b) 為了去補償被晶界所捕陷的電荷在晶粒周圍的晶界處形成空乏區域，(c) 電荷空乏區造成能帶彎曲，而且形成能障[32]



1.6 改善電性的方法

在之前有提到晶界中的捕陷位置的存在會大大的減損多晶矽元件的電性，所以減少晶界中有效的捕陷密度，將可提升多晶矽元件的電性。所以試著減少晶界中的有效的捕陷位置或著減少晶界的數量，將對提升電性有所幫助。以下描述提升電性的方式：

1.6.1 晶界鈍化 (Grain-boundary passivation)

由於缺陷被鈍化所以禁止能隙的態位不會被活化，因此不會再捕陷載子。晶界中的懸鍵的形成是由於不同指向的晶粒的接和點的晶格排列不連續所引起的，因而這些懸鍵形成了很多的捕陷位置。在 Si/SiO₂ 界面的懸鍵一般常用 H 原子將懸鍵中斷，所以利用 H 原子可以將晶界中的懸鍵鈍化以減少晶界中的有效捕陷數目。當捕陷載子的數目減少晶界的能障也跟著減少[33]。一般可利用電漿(plasma)來進行晶界鈍化改善元件的執行效果，常用來進行晶界鈍化的電漿有 H₂、N₂O 及 H₂/N₂ 混和型電漿[34]-[36]，根據文獻中[36]報導 H₂/N₂ 混和型電漿會比 H₂ 電漿有更好的鈍化效果，這是由於 H₂/N₂ 混和型電漿除了有氮離子 (N⁺) 的鈍化作用外，同時提高原子間的撞擊機會，因而提高鈍化的離子數目，可以加強鈍化的效果，另外 NH₃ 電漿也有不錯的鈍化效果，跟 H₂ 電漿相比可以讓熱載子(hot carrier)有更好的穩定性，同時可以讓匣極氧化層有更低的漏電流及更高的崩潰電壓[37],[38]。

1.6.2 後退火(post-annealing)

前面有提到晶界本身是個能障，晶界的存在將會阻礙載子移動，因而減少電子移動率，而減損 TFT 元件的效能，因此如何減少晶界的數量對改善 TFT 元件特性來說也是一個很重要的課題。另外，晶粒內缺陷的消除對提升元件特性也有很大的幫助。因此很多研究相繼的提出如何減少晶界及消除晶粒缺陷，其中最有效的方式就是利用後退火的方式[21]-[23]，即在非晶矽膜結晶完後，再利用高溫退火的方式或準分子雷射退火的方式進行結晶，通常可以得到尺寸較大，缺陷較少的晶粒，因而改善多晶矽膜的品質。

1.7 薄膜電晶體製作於塑膠基板之演進

薄膜電晶體液晶顯示器(TFT-LCD)近年來由於筆記型電腦、手機、PDA 等個人數位化產品的需求量大增，使得液晶顯示器更受到矚目。

追溯塑膠基板的發展歷程，早在 1983 年 Casio 公司就已經推出使用 TN 型塑膠 LCD 計算機，之後於 1993 年 Ricoh 發表 STN 型塑膠基材 LCD，1998 年 Sharp 開始量產 0.2mm 厚度的標準型塑膠基板 STN 型液晶面板，2000 年 Sharp 與 Nippon Paint 為了電著塗裝之彩色濾光片而合作開發彩色 LCD。

傳統的 TFT 液晶顯示器是在玻璃基板上製作 TFT，而近年來由於可撓式顯示器的發展，有越來越多的研究投入於將 TFT 製作於塑膠基板上[39],[40]。由於塑膠基板比起傳統的玻璃基板擁有質量輕、厚度薄、不易碎、可撓曲和容易製作複雜形狀..等優點。使得塑膠基板比起傳統的玻璃基板具有更高的競爭力。從表 1-2 的比較，可以很明顯的看的出來塑膠基板是最有利於顯示器發展的基板，但是由於塑膠基板的耐熱溫度不高，因此對不管是非晶矽 TFT 或是低溫多晶矽的 TFT 的製作上都是一大挑戰。尤其對於多晶矽薄膜電晶體來說，多晶矽本身的結晶性越好，晶粒越大，其電子遷移速率 (electron mobility) 就能越快，但所需的溫度就越高，所以要做在塑膠基板上的困難度也就越高。

而基於液晶顯示器製程上（需要能承受高溫、酸鹼溶劑等處理）的需求及輕量化、薄型化與低成本化的技術演進，SHARP 公司推出 STN 型 LCD 用之 PES 塑膠基板，其耐熱溫度約 230°C，是被比較廣泛使用的塑膠基板。而截至目前為止，常用的塑膠基板的種類及特性大約如表 1-3 所示。

表 1.2 顯示器各類基板比較[41]

(○:好, △:普通、×:差)

基板種類	矽晶圓	石英基板	玻璃基板	塑膠基板
面積	△	×	○	○
可撓曲性	×	×	×	○
耐衝擊性	×	×	×	○
重量	×	×	×	○
光穿透度	×	○	○	○
耐熱性	○	○	○	×

表 1.3 塑膠基板性質[41]

基板種類	比重 (g/cm ³)	光穿透 度	最高使用 溫度	介電常 數	使用公司/單 位
Glass (Corning 1737)	2.54	○	500°C	5.7	Toshiba,Sanyo
PI(polyimide)	1.42	△	275°C	3.4	Philips
PES (Polyethersulphone)	1.37	○	230°C	3.7	Sharp,Sony, Philips,Seico Epson
PC(Polycarbonate)	1.2	○	145°C	2.9	Korea Electronics Technology Institute
PET(Polyethylene Terephthalate)	1.3~1.4	○	120°C	3	FlexICs, Lawrencece,

1.8 在塑膠基板上製作薄膜電晶體的方式

目前將薄膜電晶體製作於塑膠基板的方式主要有二種。第一，直接在塑膠基板上製作薄膜電晶體元件。此種方法由於直接在塑膠基板上製作薄膜電晶體元件，整個元件的製程溫度將受限於塑膠基板，使得最後得到的多晶矽品質較差。第二，利用轉移的方式，將已經製作完成的薄膜電晶體元件轉移至塑膠基板上。此種方法最大的特色就是不須在塑膠上進行微影蝕刻的動作，也不須考慮塑膠基板的製程溫度的問題。

如前面所提到，將 TFT 元件製作於塑膠基板的方法主要可分為二種，以下為其詳細介紹：

1.8.1 直接在塑膠基板上製作薄膜電晶體

1.8.1.1 非晶矽薄膜電晶體

目前直接將元件製作於塑膠基板上的技術大部分應用於非晶矽薄膜電晶體上。主要是因為塑膠基板的耐熱性差，所以較難在塑膠基板上製作特性較好的多晶矽薄膜電晶體。且又由於塑膠基板的尺寸穩定性差和抗化學性質差，所以很難在塑膠基板上進行微影蝕刻的製程，所以就算要直接製作薄膜電晶體元件於塑膠基板上，還是有一定的困難度。圖1.11即說明了利用PES當塑膠基板之薄膜電晶體元件製程與塑膠變形的關係圖。而為了減少塑膠的變形量，Sharp利用蒸鍍機將塑膠二面都鍍上氮化矽以減少因為溫度所產生的變形。當鍍上氮化矽後，製程和變形量如圖1.12，由圖看得出來塑膠變形的程度已獲得改善。

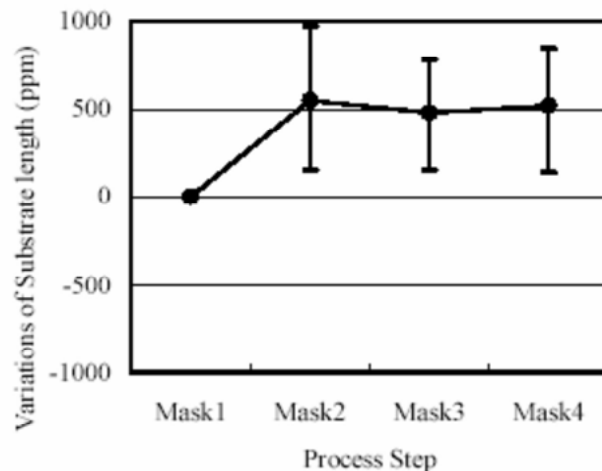


圖 1.11 傳統的塑膠基板製程光罩和尺寸大小變化的關係圖[42]

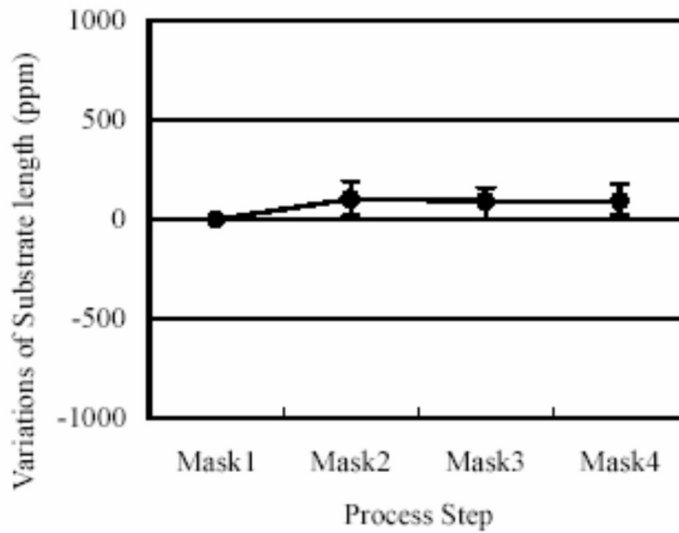


圖 1.12 傳統塑膠基板鍍上氮化矽後光罩數和尺寸大小關係變化圖[42]

截至目前為止，非晶矽應用於塑膠基板之代表作有 SHARP 於2002年所製作的 4-inch 塑膠面板顯示器，其詳細規格於表1.4，而其製作完成的塑膠基板顯示器外型圖如圖1.13所示，而其可撓曲顯示器如圖1.14所示。

表 1.4 SHARP plastic TFT-LCD 的詳細規格[42]

Panel size	4-inch diagonal (72mm×72mm)
Resolution	240×RGB×240 (85PPI)
Number of Pixels	172800 pixels
Pixel size	100μm×300μm
Display type	Reflective Color
Aperture ratio	92%

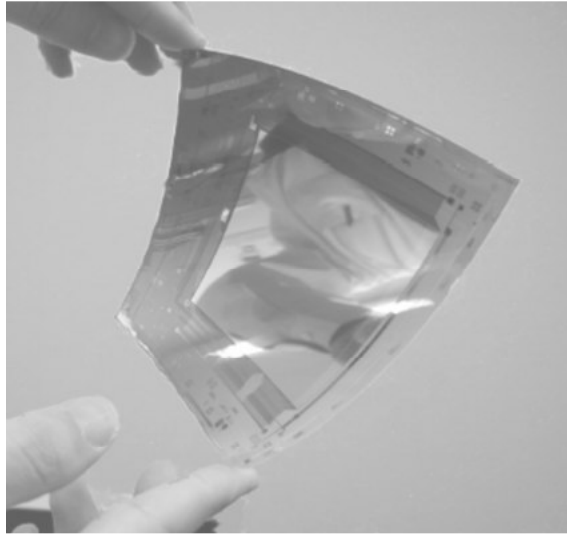


圖 1.13 SHARP plastic TFT-LCD 之外形圖[42]



圖 1.14 SHARP 反射型薄膜電晶體液晶顯示器

1.8.1.2 多晶矽薄膜電晶體

目前直接在塑膠基板上製作複晶矽薄膜電晶體的技術，主要是以雷射退火為主。首先在塑膠基板上沈積阻熱層(如 SiO_x or SiN_x)，再沈積 a-Si，之後再進行雷射退火，適當的控制雷射的能量，使其最上層的非晶矽可以進行結晶化動作，且其熱源經阻熱層的阻絕後，傳至塑膠基板時，溫度已低於塑膠基板的軟化溫度了，因此能把對塑膠基板造成的傷害減到最低。根據 Sony Corporation 於 2002 年四月 23 號發表於美國的專利[43]，由雷射所產生的高溫會隨著氧化矽層的厚度增加而使得傳至塑膠基板的溫度減少。其氧化矽層厚度與塑膠基板溫度的關係如圖 1-15 所示。但是氧化矽層厚度也不能一直增加，厚度太厚時，會增加不必要的元件厚度，且也會影響後來塑膠基板的撓曲度。所以在氧化矽層厚度約 $1\mu\text{m}$ 時，其對降低塑膠基板的溫度能有大幅的提升，而超過 $1\mu\text{m}$ 時，其厚度對溫度的影響將降低。而再利用不同的雷射能量其結果如圖 1-16。不管用多少能量的雷射，當氧化矽層厚度約 $1\mu\text{m}$ 時，將能大幅降低高溫傳至塑膠基板。

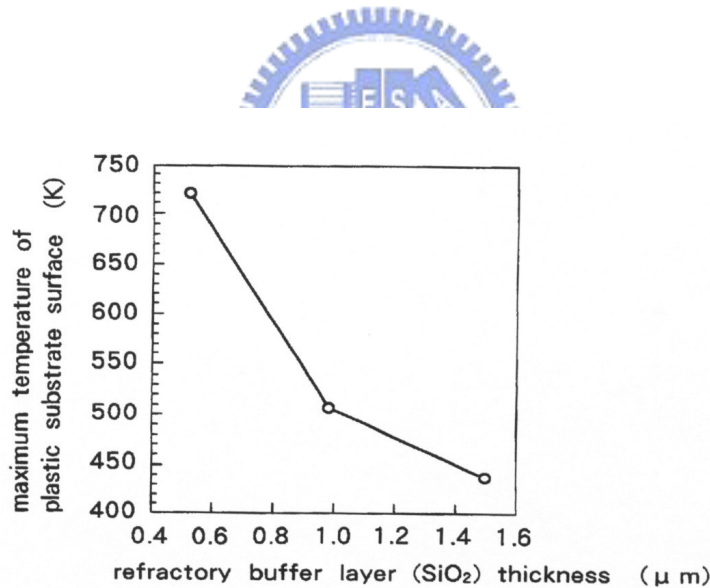


圖 1-15 氧化矽厚度和塑膠基板溫度之關係曲線[43]

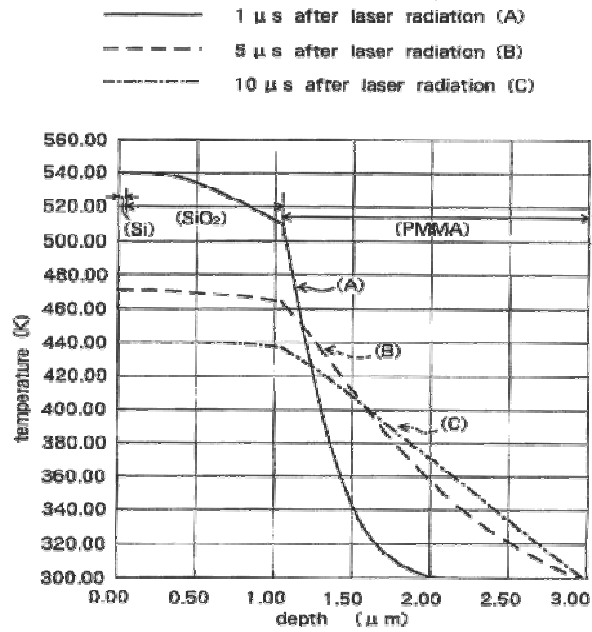


圖 1.15 不同雷射能量對於氧化矽層厚度和基板溫度之關係圖[43]



利用此直接在塑膠基板上製作多晶矽薄膜電晶體的方法，雖然能得到結晶性不錯的多晶矽，但是由於雷射能量的穩定性差，使得最後得到的多晶矽均勻性差，最後做成的元件特性差異大，且利用此方法依然需面臨到之後在塑膠基板上進行微影蝕刻的問題。

1.8.2 轉移方式在塑膠基板上製作薄膜電晶體

即利用轉移的方式將已經完成的薄膜電晶體元件轉移至塑膠基板上。由於轉移技術是將已經製作完成的薄膜電晶體元件進行轉移，所以可以避免在塑膠基板上進行微影蝕刻的製程。截至目前，轉移的方式大約可分為二種：第一是 SONY 所提出的二次轉移方式[44]。首先先將已做好的元件上面黏上一層處理基板(handle substrate)，再將原來的玻璃基板利用溶液吃掉，然後底下再黏上塑膠基板，再將處理基板(handle substrate)移除，得到最後於塑膠基板上的薄膜電晶體元件。圖 1.17 為其整個實驗流程。圖 1.18 為 SONY 利用此轉移技術所做出之 300mm ×350mm 的可撓曲式的低溫多晶矽薄膜電晶體，而圖 1.19 則為最後所做出 1.5 吋之的可撓曲顯示器。

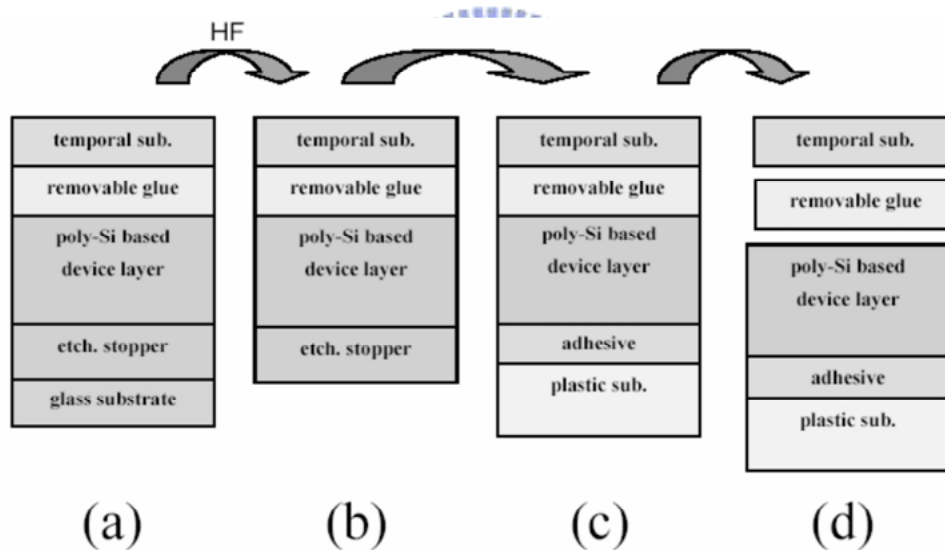


圖 1.17 SONY 二次轉移之實驗流程圖[44]

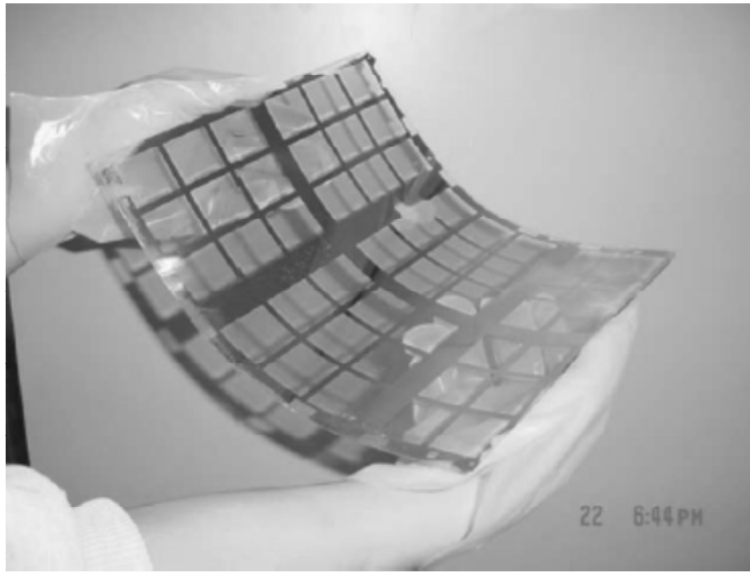


圖 1.18 SONY 製作的 LTPS TFT on plastic[44]



圖 1.19 SONY 利用二次轉移技術所做 1.5 吋之可撓式顯示器[44]

另外的轉移方法是由 SEIKO EPSON 所提出的 Surface Free Technology by Laser Ablation/Annealing (SUFTLA) 方法[45]。此方法的流程示意圖如圖 1.20 所示，首先是在玻璃基板上沈積一層 a-Si，再沈積一層 oxide，然後再沈積上一層 a-Si，然後才開始元件的製作。首先，利用高能量的準分子雷射熔化 a-Si，使得元件和原本的玻璃基板分離。而這個方法也是同樣利用二次轉移的方式，進行二次的黏合動作。首先在做好的元件黏上一層處理基板(handle substrate) (圖 1.20(b))，再利用雷射使第一層非晶矽熔化，使得玻璃基板能夠順利移除(圖 1.20(c))，然後底下再黏上塑膠基板(圖 1.20(d))，再將處理基板(handle substrate)移除(圖 1.20(e))。也得到最後於塑膠基板之元件。圖 1-21 為利用此 SUFTLA 技術所得到成功將薄膜電晶體轉移塑膠基板的照片。

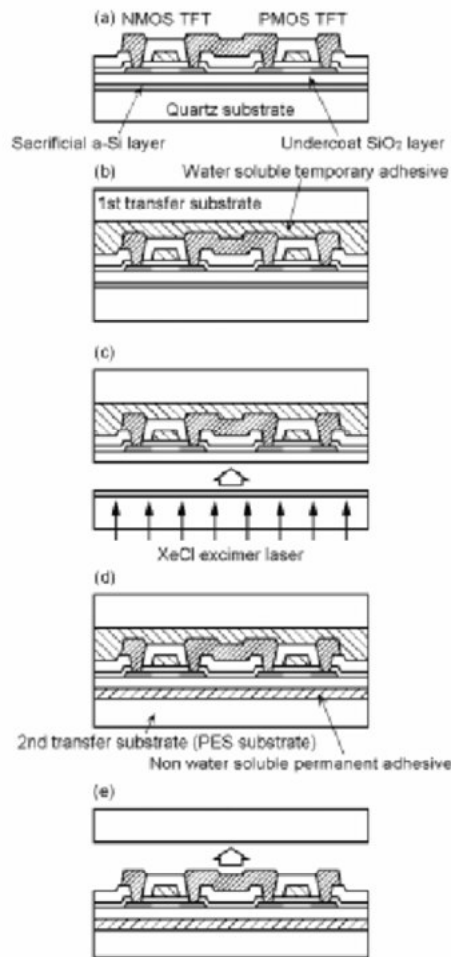


圖 1.20 SEIKO EPSON 元件製作與轉移技術 SUFTLA 詳細流程圖[45]

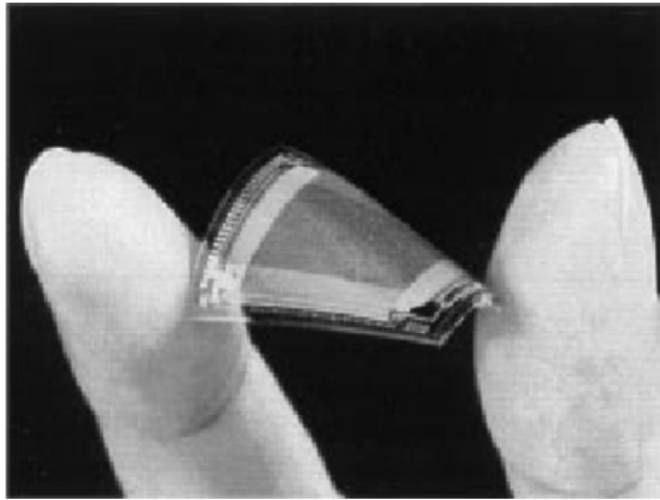


圖 1.21 利用 SUFTLA 技術轉移到塑膠基板的照片[45]



1.9 論文的研究動機與架構分段

1.9.1 論文的研究動機

由於金屬誘發結晶技術是主要用來製作低溫多晶矽薄膜電晶體的技術之一，然而金屬的鍍覆都需要高真空設備，而高真空設備昂貴，且抽真空時間耗時許久，因此提出利用無電鍍的方式鍍覆金屬，由於無電鍍方式既簡單又方便，只要準備無電鍍液及鍍槽即可進行鍍覆，是節省成本及時間的方式，因此論文中針對無電鍍鈮誘發結晶進行研究，並探討其結晶品質與電晶體的製作。另外，也利用較差的真空設備鍍覆NiO膜進行誘發結晶的研究，以瞭解鍍金屬膜的品質對NILC結晶速率的影響。

鍍金屬誘發結晶的多晶矽膜是金屬誘發結晶中品質最佳的，但是其針狀結晶中仍有些未結晶的區域，因而影響元件的效能，因此為了改善鍍誘發結晶的結晶品質，所以利用準分子雷射進行缺陷修補與再結晶，以得到結晶品質較佳的多晶矽膜，並進一步瞭解其結晶機制。另外，也提出新的結晶方式即利用矽過濾基板來進行誘發結晶以得到高品質的多晶矽薄膜。

由於塑膠基板具有重量輕，便於攜帶且價格便宜的優點，因此已漸漸的被用來做顯示器的基板，然而受限於塑膠基板的溫度的限制，要在塑膠基板上製作高品質的多晶矽薄膜電晶體是非常困難的，因此想利用轉移技術以能夠在塑膠基板上得到高品質的多晶矽薄膜電晶體。

1.9.2 論文架構與分段

此論文共分為六個章節，第一章是導論，主要介紹顯示器的發展沿革與結晶技術的介紹；第二章主要是無電鍍鈮結晶技術的應用與結晶品質的改善的探討；第三章探討的是影響鍍誘發結晶技術的因素及NiO誘發結晶的研究；第四章是鍍誘發結晶搭配準分子雷射退火的結晶的機制研究與電晶體的製作；第五章是利用轉移技術在塑膠基板上製作高品質的多晶矽薄膜電晶體；第六章提出新的結晶技術即在利用矽過濾基板進行金屬誘發結晶的研究。