

## 第五章 TFT 轉移至塑膠基板的技術開發

### 5.1 簡述

可撓式顯示器(Flexible Display)是平面顯示器(FPD)技術發展之後，最令人期待也最有趣的次世代顯示器發展方向之一[105]。有人稱為顯示器的第三次革命，從 CRT 顯示器、到薄型化 LCD 顯示器(便於攜帶)的演變，人類最終希望顯示器不僅可以隨身攜帶，最好像筆一樣，不用時可以捲起來，要用時再把顯示器抽出來看，而且可以反覆多次不易壞，如圖 5.1 所示。

為了讓螢幕可以多次撓曲而不會損壞，目前全球知名廠商及研究機構已開發出多種新型的顯示器科技原型產品，以符合上述的基本要求；如電子紙、電子書等。從簡單的黑白顯示到彩色顯示，甚至於是動畫展示，每年在這個領域都可看到許多創新的技術與發明，也正是目前國外大廠積極投入研發的市場。



圖 5.1 OLED 可撓式顯示器[106]

由於欲利用的轉移技術主要分為兩個部分，一個是研磨的部分，而另一部份是蝕刻部分，因此如何選擇適當的蝕刻液是很重要的，接下來對蝕刻矽的溶液做個介紹：

## 5.2 蝕刻矽

在進行元件轉移時，雖然成功的利用研磨的方式來減少原本矽基材的厚度(約只剩原來的 1/5)，但是剩下的部分仍需利用蝕刻技術來進行完成最後的元件轉移。而目前為止，矽基材的溼式蝕刻溶液最常用的大約有三種：KOH，TMAH，和  $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{CH}_3\text{COOH}$ [107]。而我們再將上述的三種溶液分成等向性蝕刻和非等向性蝕刻來進行說明。

### 5.2.1 非等向性蝕刻

非等向性蝕刻的溶液佔上述三種中的其中二種，分別為 KOH 和 TMAH。以蝕刻矽的溶液來說，最常使用的應該就是 KOH。而 KOH 和 TMAH 對矽基材所進行的蝕刻都是一種非等向性蝕刻。不同的濃度，不同的溫度，對不同的方向具有不同的蝕刻速率。由於 KOH 和 TMAH 為非等向性蝕刻，所以蝕刻到最後會呈現尖狀結構。下列表 2-4 即為不同濃度的 KOH 在不同溫度下，對於矽基材的不同方向的蝕刻速率。而表 2-5 為 TMAH 在不同溫度下，對於矽基材的不同方向的蝕刻速率。

表 5.1 不同濃度 KOH 在不同溫度對不同平面的蝕刻速率表[108]

Etchant	Temperature (°C)	Direction (plane)	Etch rate ( $\mu\text{m min}^{-1}$ )	Remarks
20% KOH: 80% H <sub>2</sub> O	20	(100)	0.025	Near Peak etch rate at the conc. across temperature
	40	(100)	0.188	
	60	(100)	0.45	
	80	(100)	1.4	
	100	(100)	4.1	
30% KOH: 70% H <sub>2</sub> O	20	(100)	0.024	Smoother surfaces than at lower concentration
	40	(100)	0.108	
	60	(100)	0.41	
	80	(100)	1.3	
	100	(100)	3.8	
	20	(110)	0.035	Faster etch rate for (110) than for (100)
	40	(110)	0.16	
	60	(110)	0.62	
	80	(110)	2.0	
	100	(110)	5.8	
40% KOH: 60% H <sub>2</sub> O	20	(100)	0.020	
	40	(100)	0.088	
	60	(100)	0.33	
	80	(100)	1.1	
	100	(100)	3.1	

表 5.2 不同濃度 TMAH 在不同溫度下對於不同的矽平面的蝕刻速率  
[108]

Etchant	Temperature (°C)	Direction (plane)	Etch rate ( $\mu\text{m min}^{-1}$ )	Remarks
5% TMAH: 95% H <sub>2</sub> O	60	(100)	0.33	
	70		0.48	
	80		0.87	
	90		1.4	
	60	(110)	0.64	
	70		0.74	
	80		1.4	
	90		1.8	
	60	(111)	0.026	
	90		0.034	
10% TMAH: 90% H <sub>2</sub> O	60	(100)	0.28	
	70		0.41	
	80		0.72	
	90		1.2	
2% TMAH: 98% H <sub>2</sub> O	80	(100)	0.65	
		(111)	0.41	
5% TMAH: 95% H <sub>2</sub> O	80	(100)	0.63	
		(111)	0.013	
10% TMAH: 90% H <sub>2</sub> O	80	(100)	0.57	
		(111)	0.014	
22% TMAH in H <sub>2</sub> O	90	(100)	0.9	(110) is fastest without surfactant
		(110)	1.8	
		(111)	0.018	

### 5.2.2 等向性蝕刻

HNA(HF+HNO<sub>3</sub>+CH<sub>3</sub>COOH)的蝕刻是一種等向性蝕刻。即在相同溫度，相同濃度下，對不同方向的矽基材具有相同的蝕刻速率。HNA 蝕刻矽的反應是一氧化還原反應，其反應的總式子如下：



更加詳細的反應流程可從圖 5.2 得知。

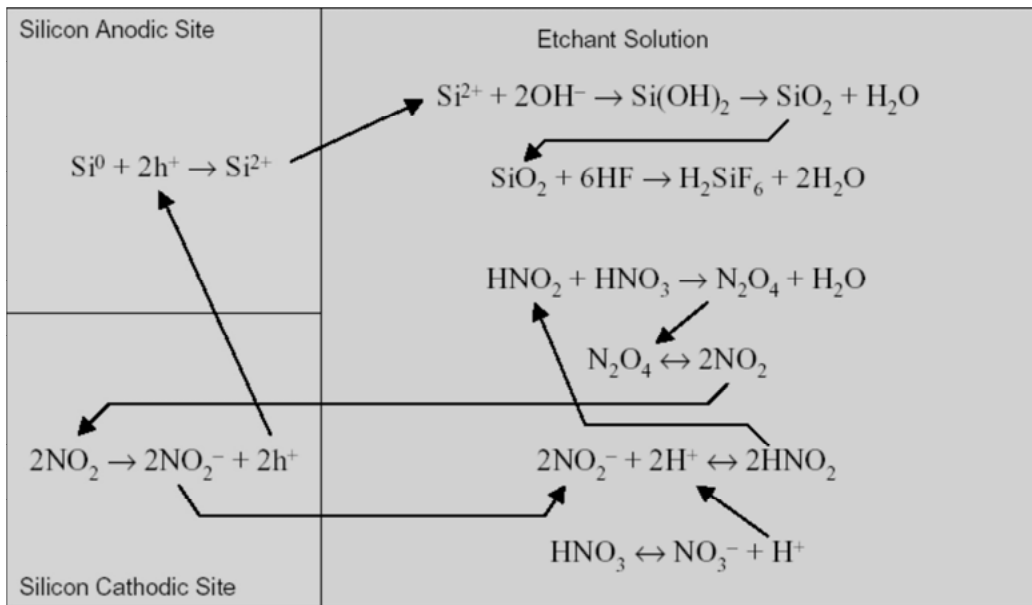


圖 5.2 HNA 的蝕刻關係圖[109]

在上述三種蝕刻矽溶液當中，本實驗採用 TMAH 和 HNA 二種溶液，分別用於一次轉移和二次轉移當中。在一次轉移中，由於 TMAH 對於 Si 和 SiO<sub>2</sub> 的蝕刻比非常大，因此採用 TMAH 當做一次轉移的蝕刻液。而在二次轉移中，由於受到中間介質層的限制，使得只能選用 HNA 來當做蝕刻液。但是 HNA 對於 Si 和 SiO<sub>2</sub> 的蝕刻比非常小，所以要吃出大面積的轉移元件，有技術上的困難。

### 5.3 研究動機

1.由於塑膠基板本身具有耐熱性差、抗化學性質差、熱膨脹係數大、尺寸穩定性差、容易受溫濕度影響..等缺點。使得直接在塑膠基板上製作薄膜電晶體元件具有一定的困難度。因此利用轉移技術，可以避免在塑膠基板上直接進行元件製程。

2.由於是利用轉移技術，所以可以將元件製作於高溫基板上(如 Si or Mo)，再進行轉移。利用高溫製程所得到的多晶矽結晶性質將比傳統製程 (SPC,NILC,ELA)所得到的多晶矽品質還要好。

所以本實驗將利用金屬誘發側向結晶+後高溫退火的方法來製做高品質元件。而在轉移方面則會利用 NILC-ELA 的 TFT 元件來進行一次轉移和二次轉移。



## 5.4 研究步驟

首先是元件的製作，本研究是以二個方向同時進行，一方面是金屬誘發結晶+準分子雷射退火所製作的薄膜電晶體元件來進行轉移；另一方面製作高溫製程元件，以下就對其詳細說明。

### 5.4.1 金屬誘發結晶+準分子雷射退火(第四章)

首先先在(100)的矽基板上利用高溫爐管長上 5000Å 的氧化矽層。然後再利用低壓化學沈積系統(LPCVD)，長 1000Å 的非晶矽。再在非晶矽上利用 PECVD 成長低溫氧化矽層，用微影蝕刻開出圖案，然後再用濺鍍機(sputter)鍍覆鎳，利用鎳來進行誘發結晶(NIC)和誘發側向結晶(NILC)，最後再利用準分子雷射對於晶粒間未結晶區域進行結晶及缺陷修補動作，而提升多晶矽薄膜的結晶性。

### 5.4.2 金屬誘發結晶+後高溫退火

首先先在(100)的矽基板上利用高溫爐管長上 5000Å 的矽氧化層。然後再利用低壓化學沈積系統(LPCVD)，長 1000Å 的非晶矽。再在非晶矽上利用 PECVD 成長低溫氧化矽層，用微影蝕刻開出圖案，然後再用濺鍍機(sputter)鍍覆鎳，利用鎳來進行誘發結晶(NIC)和誘發側向結晶(NILC)，最後再利用爐管做高溫退火，退火參數為 1000°C，1 小時。

### 5.4.3 一次轉移

一次轉移方面，由於黏合劑和塑膠基板的附著性不好，因此我們先利用 E-beam 在塑膠基板上長上一層低溫矽氧化層，然後再進行接合。利用旋轉塗佈機將黏合劑(BCB)平整塗佈在塑膠基板和元件上，再將塑膠基板和元件接合。而旋轉塗佈的參數則為表 5.3。然後再利用研磨的方式，將原本的矽基板磨薄，大約剩下 50μm 後，利用 TMAH 進行溼式蝕刻，完全清除矽基板，利用蝕刻停止層，使其蝕刻停止。最後成功的薄膜電晶體元件轉移至塑膠基板上。其轉移流程圖如圖 5.3 所示。

表 5.3 旋轉塗佈黏合劑參數

	Step1	Step2
秒數(SEC)	5	30
轉數(rpm)	1000	4500





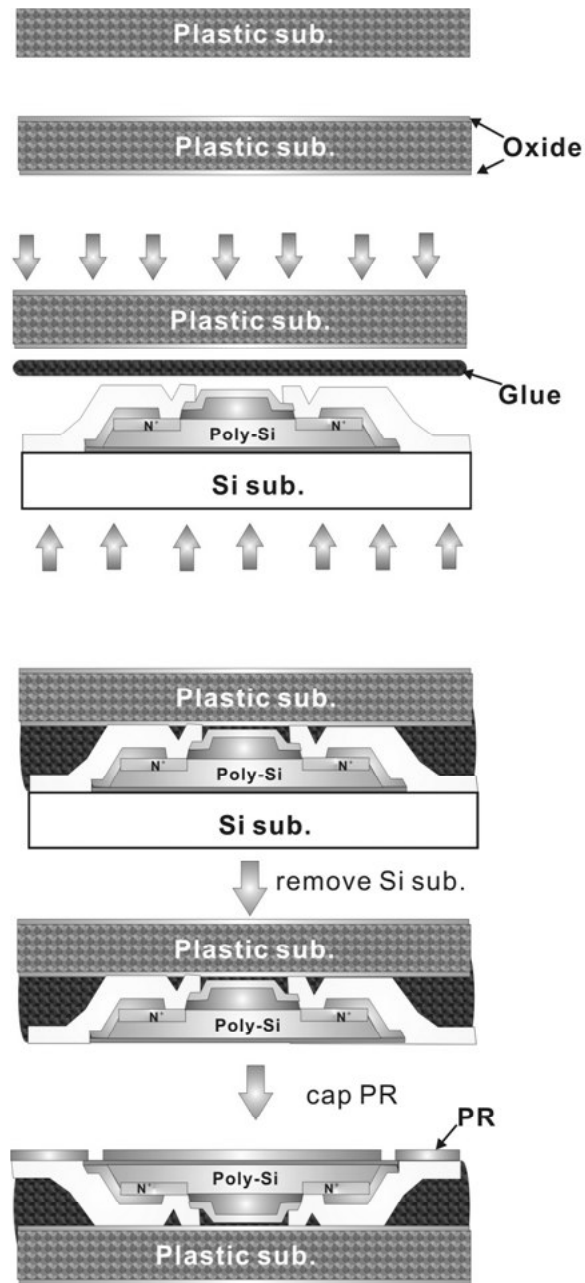


圖 5.3 薄膜電晶體元件一次轉移流程圖

#### 5.4.4 二次轉移

在二次轉移的步驟跟在第一章序論所提到的 SONY 所做的轉移技術非常類似。SONY 是將原本的元件和處理基材(handle substrate)接合後，將原本元件底下的玻璃基板完全利用溼式蝕刻的方式將玻璃基板溶解，藉此造成元件與玻璃基板分離。而在本實驗的二次轉移則是利用先研磨後蝕刻，分二段式的方式來移除原本的矽基板。而二次轉移的第一次膠是利用熱熔膠(Glue 1)；第二次膠則是利用 AB 膠(Glue 2)。而蝕刻矽的溶液是利用 HNA 溶液，濃度比為  $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH}=6:20:7$ 。其二次轉移的詳細流程圖如圖 5.4。

如圖 5.4 所示，在製作完高品質的多晶矽薄膜電晶體後，利用熱融膠將其黏貼至玻璃基板上，之後進行研磨矽基材的動作，研磨至剩  $10\sim 20\mu\text{m}$  時，將剩餘未移除的 Si 基材，再利用矽蝕刻液將其完全移除。之後將塑膠基板利用 AB 膠黏貼至元件上，再利用加熱器將熱融膠加熱以移除玻璃基板，之後再利用甲苯將熱融膠去除乾淨。



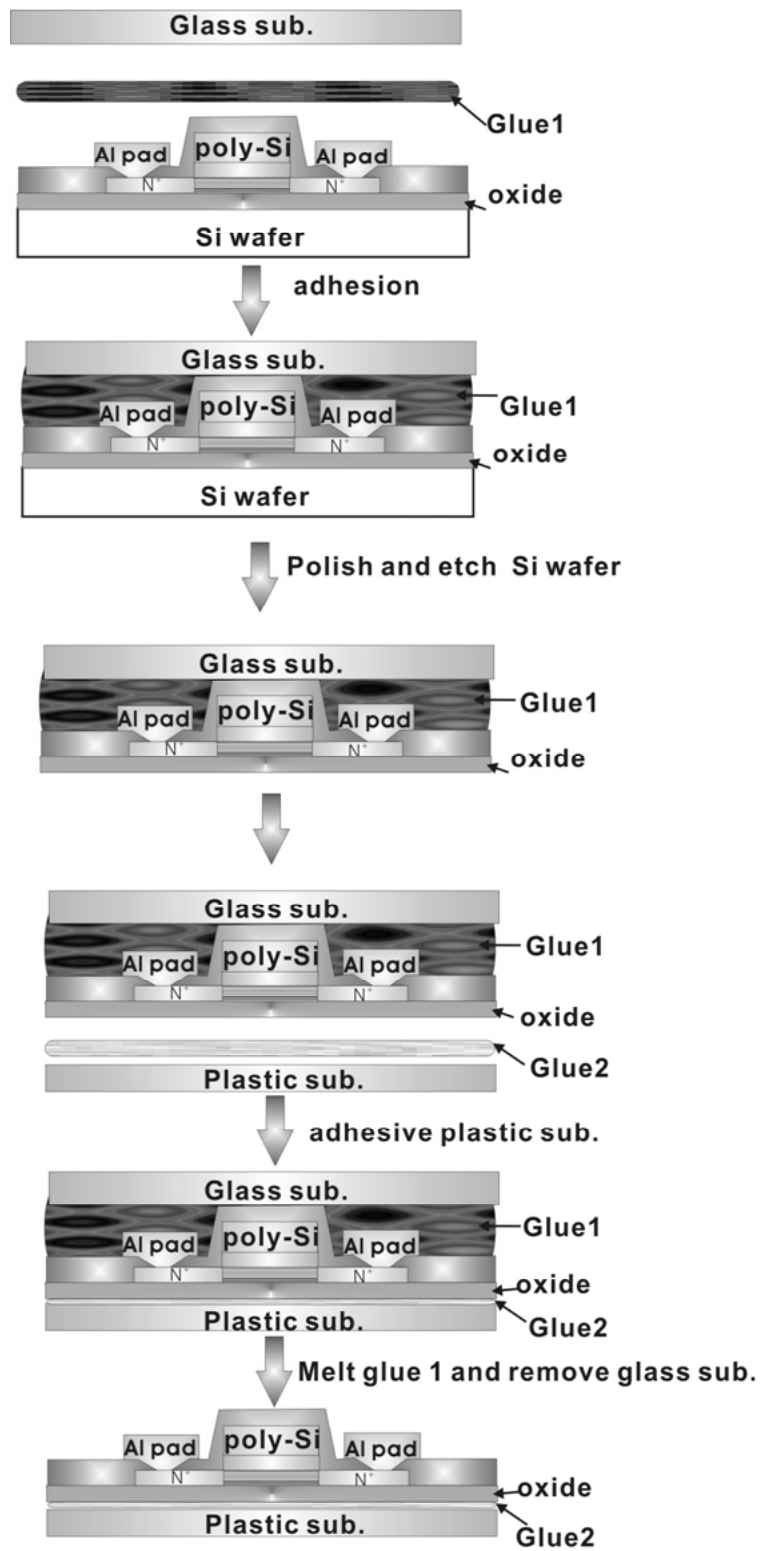


圖 5.4 薄膜電晶體二次轉移的詳細流程圖

## 5.5 結果與討論

### 5.5.1 鎳金屬結晶+後退火 (post-annealing)

在本實驗中，由於想要在塑膠基板上製作高品質的多晶矽薄膜電晶體，但受限於塑膠基板溫度的限制，故我們將薄膜電晶體先製作於矽基板上，因為矽基板的熔點為  $1687\text{k}(1414^\circ\text{C})$ ，所以我們進行完全金屬誘發結晶完後，再進行高溫退火或者雷射退火，以將晶粒中的缺陷修補進而改善結晶品質，欲利用此後續退火製程來得到高執行效果的元件。我們將溫度升到  $1000^\circ\text{C}$  左右，提高薄膜的品質，修補薄膜缺陷，使得電子在移動時，較不容易受到晶界和晶粒缺陷的影響，進而有較快的電子遷移率，較低的臨界電壓和較小的次臨界斜率。而矽基板的價錢也相對較傳統的高溫基板(石英基板)要便宜許多。最後我們再利用轉移的方式，將在矽基板上的薄膜電晶體轉移至塑膠基板上，得到最後在塑膠基板上高特性的薄膜電晶體。

而在本實驗中是利用二種不同的高溫製程來比較其結晶性質的差異。第一是利用鎳金屬誘發結晶+後高溫退火的方式，另一種是利用本論文第四章的鎳金屬誘發結晶+雷射修補技術所製作的 NILC-ELA TFT 元件來進行轉移製程。以下就鎳金屬誘發結晶+後高溫退火的結晶行為進行討論。

### 5.5.2 金屬誘發結晶+後高溫退火之薄膜電晶體

利用後高溫退火的原因主要有二個。第一，在高溫退火下，晶粒能夠進行晶粒成長的動作，而晶粒變大，晶界自然減少。由於在晶界處有非常多的斷鍵，有較高的自由能，形成不穩定狀態，因此電子移動經過此處時，較容易被捉住，影響到原本電子的移動速率。而且在前面介紹過鎳誘發結晶的針狀晶粒間會有未結晶的非晶矽區域，也可藉著在高溫退火下使其轉變為結晶。另外，在高溫退火的情況下，也可修補影響電性甚具的點缺陷。因此在晶界、缺陷、非晶矽同時減少的情況下，電子被捕陷(trap)的機率減小，結晶品質提升，元件特性也獲得改善。

利用金屬誘發側向結晶所得到的晶粒為沿著  $[110]$  方向的  $\text{NiSi}_2$  的八個  $\{111\}$  面垂直方向生成長，其為針狀結構(needle structure)[20]。以  $550^\circ\text{C}$  來說，退火一個小時 NILC 長度大約  $4\sim 5\mu\text{m}$ ，因此依照不同的退火時間能得到不同長度的針狀結構。在本實驗中，我們利用鎳來製作金屬誘發結晶和金屬誘發側向結晶，然後再利用後高溫退火方式，得到較大的晶粒和較好的結晶性。

而為了分辨不同的晶粒方向對於電子移動速率的影響，我們做了二種不同方向的鎳

種(Ni pad)，如圖 5.5。圖 5.5(a)為金屬側向誘發結晶和通道方向垂直；5.5(b)為金屬側向誘發結晶和通道方向平行。接下來製作元件比較其電性上的差異。退火結晶參數為 550°C 48hr，活化溫度為 600°C 24hr，其最後所做出的薄膜電晶體元件，利用 HP4156B 機台所量得的電性分別如圖 5.6(a)和 5.6(b)。其詳細值如表 5.4。

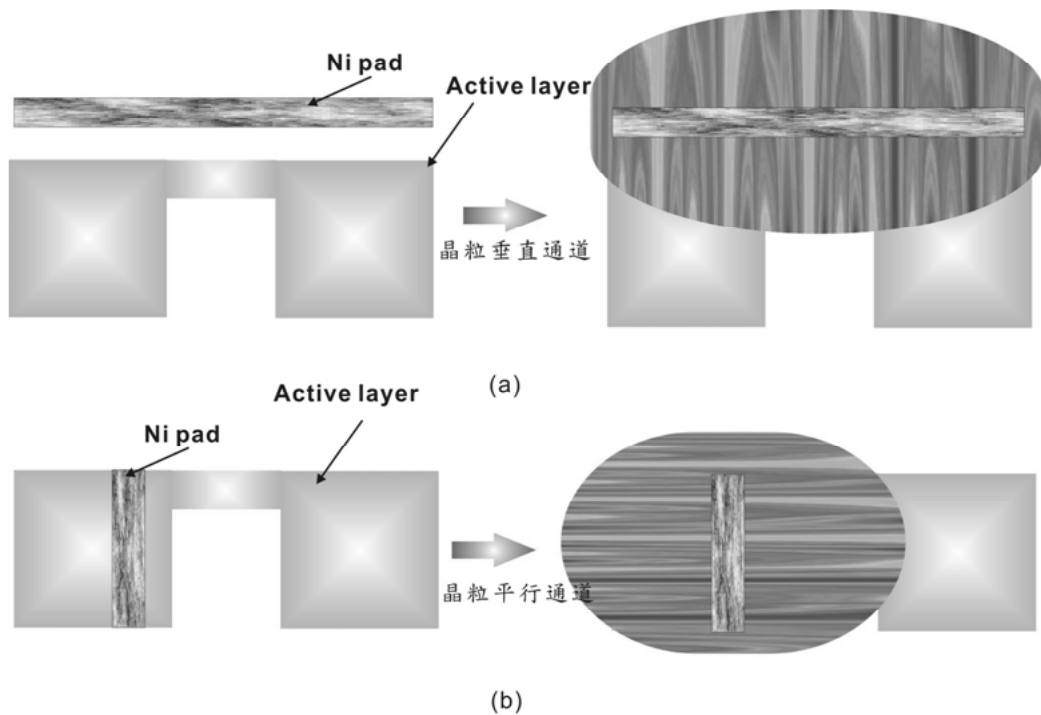
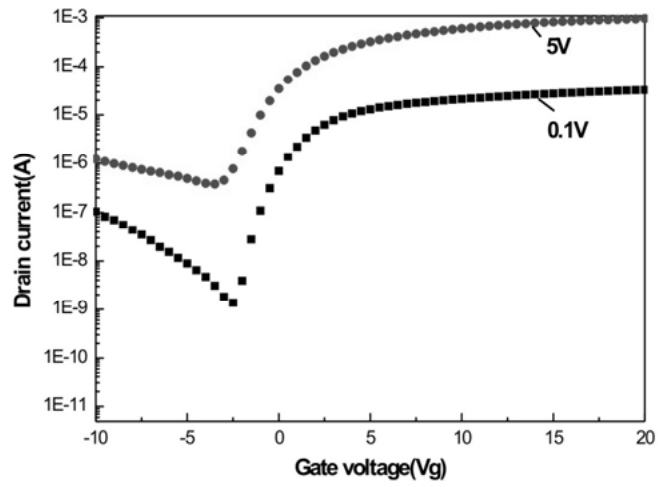
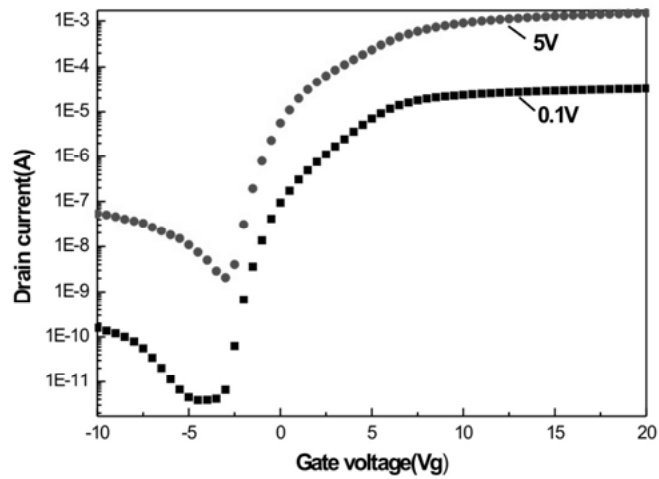


圖 5.5 (a)金屬側向誘發結晶和通道方向垂直;(b)金屬側向誘發結晶和通道方向平行



(a)



(b)

圖 5.6 (a)金屬側向誘發結晶和通道方向垂直；(b)金屬側向誘發結晶和通道方向平行

表 5.4 W=10(channel width) , L=2(channel length)之薄膜電晶體特性

特性	晶粒方向垂直通道方向	晶粒方向平行通道方向
電子遷移率( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	<b>178</b>	<b>277.8</b>
次臨界斜率( $\text{V}/\text{dec}$ )	<b>3.0474</b>	<b>0.604</b>
臨界電壓( $\text{V}$ )	<b>-4</b>	<b>-0.5</b>
開/關電流比( $\times 10^5$ )	<b>0.025</b>	<b>7.16</b>
最小電流/通道寬度( $\text{pA}/\mu\text{m}$ )	<b><math>3.8 \times 10^4</math></b>	<b>208</b>

由圖 5.6 及表 5.4 的結果發現當結晶方向和通道平行之薄膜電晶體特性比結晶方向和通道垂直的薄膜電晶體好。這主要原因是由於晶界存在的多寡，而影響到電子的移動速率。由於金屬側向誘發結晶所產生的晶粒為針狀，所以當鍍種(Ni pad)垂直通道方向時，表示其所產生的晶粒為平行通道方向，如圖 5.5(b)，所以當電子從源極欲流向汲極時，中間有較少的晶界阻礙，因此能以較快的速率通過，而有較高的電子遷移率。而相反的，當晶粒成長方向和通道垂直時，在電子傳輸時，因為會通過比晶粒平行通道時更多的晶界，而造成電性上的減損。

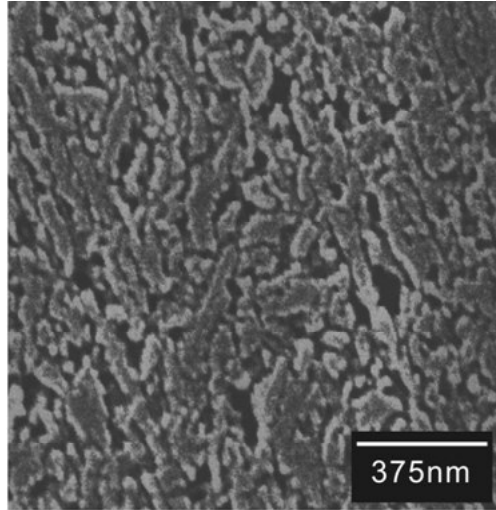
我們可以利用選擇性蝕刻溶液(secco etching)，選擇性的蝕刻掉非晶矽和缺陷的部分再利用掃描式電子影微鏡(SEM)觀察結晶的微結構，從圖 5.7 的 SEM 照片中可以發現，原本的金屬側向誘發結晶，經過後高溫退火後，使得原本針狀結構的寬度大約只有 50nm 成長至大約有 125nm 寬，由此可知，經過後高溫退火後，晶粒確實有所成長。

而在金屬誘發結晶的過程中，由於所產生的晶粒為垂直鍍圖案之針狀結構，而所生長的方向也都是往 $\langle 111 \rangle$ 方向生長，所以在經過後高溫退火時，由於晶粒和晶粒間互相有從優取向(preferred orientation)的關係，因此小晶粒和小晶粒之間非常容易結合而形成一個較大的晶粒，此種接合在物理冶金裡，我們稱之為『幾何合併』[110]。幾何合併能發生在退火過程中的任一個步驟(包括回復(recovery)、再結晶(recrystallization)、和晶粒成長(grain growth)中)。而利用幾何合併來進行晶粒成長是非常快的，甚至常常會發生二次再結晶(second recrystallization)之異常成長。

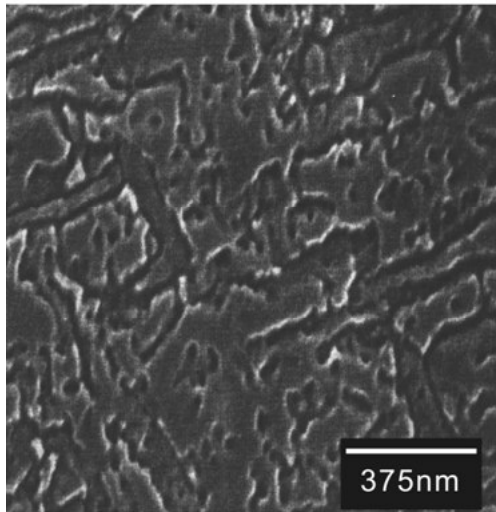
而至於點缺陷修補部分，因為在高溫退火下，讓原本來不及擴到晶界的點缺陷(不平衡空位或是格隙原子)能夠擴散到晶界，使點缺陷濃度降低。點缺陷容易抓住移動中電子，晶界容易造成能障，所以經過後高溫退火後，電子被抓住的機率降低，能障減少，所以就能有較快的電子遷移率。

接著我們更以穿透式電子顯微鏡來觀察高溫退火後晶粒成長的狀況。從圖 5.8(a)和 5.8(b)中可以明顯的發現在經過高溫退火後，晶粒有非常明顯的成長，而再分別從其繞射圖形觀察，也可以很明顯的發現結晶性有明顯的提升。在圖 5.8(a)和(b)中所看到的黑色條紋即為金屬誘發結晶所產生的針狀結構，在經過金屬誘發結晶+後高溫退火後，我們所得到的元件電性如圖 5.9，而其詳細電性列在表 5.5 中。



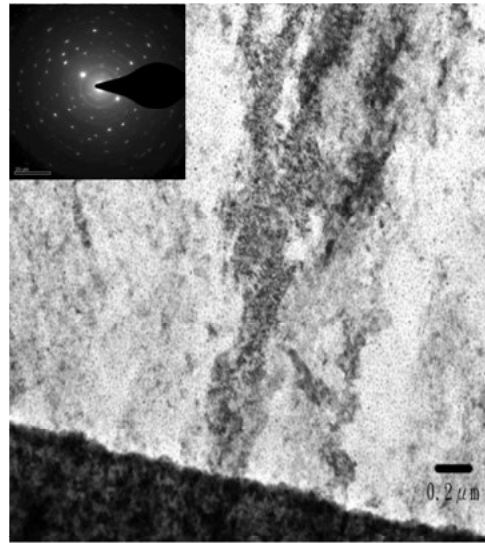


(a)

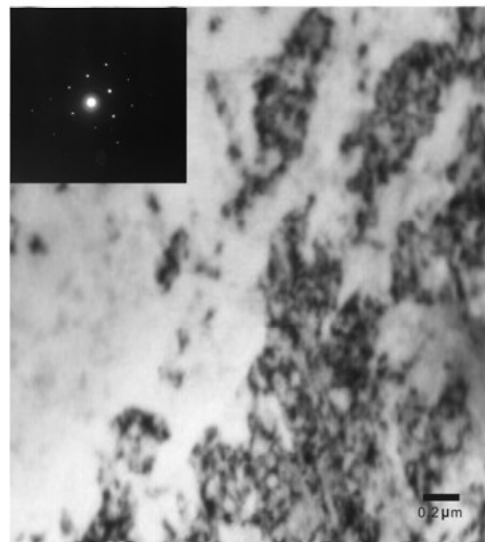


(b)

圖 5.7 (a)金屬誘發結晶；(b)金屬誘發結晶+後高溫退火的 SEM 照片



(a)



(b)

圖 5.8 (a)NILC 及(b)NILC + post annealing 的 TEM 影像

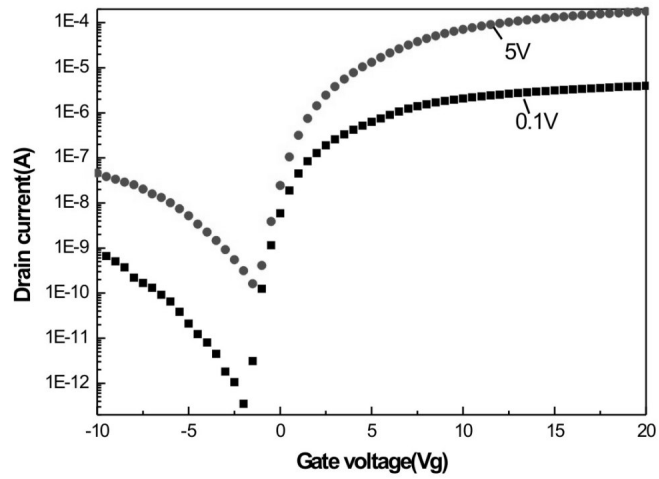


圖 5.9 金屬誘發結晶+後高溫退火所得之電性(W=10 $\mu$ m, L=25 $\mu$ m)



表 5.5 金屬誘發結晶+後高溫退火之詳細電性(W=10 $\mu$ m, L=25 $\mu$ m)

元件特性	NILC+post annealing
電子遷移率(cm <sup>2</sup> /Vs)	246.71
次臨界斜率(V/dec)	0.578
臨界電壓(V)	-0.5
開/關電流比(x10 <sup>5</sup> )	10.9
最小電流/通道寬度(pA/ $\mu$ m)	16.348

從表 5.5 的 NILC+post annealing 的元件特性中，可以明顯發現不管是電子遷移率或著是次臨界斜率比一般的 NILC 的元件特性好很多。但雖然電性獲得了提升，但是相較於第四章所做的 NILC-ELA TFT 而言，電性還是差了一點，這是因為利用後高溫退火修補缺陷的效果不像雷射退火那麼好，仍然有部分缺陷存在，另外，因為 ELA 後退火可將晶粒熔融再結晶，所以可較有效的消除缺陷，而且因為幾何合併的關係，晶粒會形成更大的晶粒，晶粒尺寸變大，因而晶界減少，所以在元件特性的提升上會比後高溫退火來的有效。接下來，進行一次轉移及二次轉移的實驗。



### 5.5.3 薄膜電晶體元件轉移

在本實驗中，一共用了二種方式進行轉移。以接合次數來分，可分為一次轉移和二次轉移。而轉移所用的元件都是金屬誘發側向結晶+準分子雷射退火所做成的元件。

而在塑膠方面，一般常被用來當作薄膜電晶體基板的塑膠有 kapton(polyimide)、PEEK(polyetheretherktone)、PEI(polyetherimide)、PES(Polyethersulphone)、PEN(polyethylenenaphthalate)、PET(polyester)。我們所選用的塑膠基板為 PES。主要是因為 PES 的熱穩定性高，光穿透性佳、抗化學性質佳等因素，所以我們選用 PES 來當作「一次轉移」和「二次轉移」薄膜電晶體之基板。

#### 5.5.3.1 一次轉移

在一次轉移方面，由於只需要一次接合，不須再有第二次移除的動作，因此在一次轉移方面所選用的膠則是利用強度高的 benzocyclobutane (BCB)。由於此種膠的光穿透性高、黏滯係數低、接合强度高、耐腐蝕性高和比一般膠能耐更高溫..等優點，所以在一次轉移方面，我們選擇使用 benzocyclobutane 當作接合劑。

一開始在接合前，我們首先必須在塑膠基板的上下二面都用 E-beam 長氧化矽層。其原因有二：

第一：由於塑膠基板表面容易吸附水氣，且在高溫時，容易從內部放出一些氣體 (out gas)，影響後來接合的界面。因此如果在表面先鍍上一層氧化矽，就能有效的減少以上的情形發生。

第二：能增加塑膠基板的抗腐蝕性。在本實驗中所選的塑膠基板 PES 有不錯的耐腐蝕性，但是對於酮類、酯類、碳氫化合物、硫酸和硝酸等，其抗蝕性都非常差。如先在塑膠的上下二面鍍上氧化矽，就能有效的增加其抗化學性質。

一次轉移時，其步驟如圖 5.3。而根據文獻上的報導[110]，利用 BCB 膠接合的最低溫度為 180°C。但是由於塑膠基板和矽基板的熱膨脹係數大，且又由於塑膠基板是軟的，所以在接合時最低必須將溫度升至 200°C 才能將元件和塑膠接合。而由於 PES 的熔點為 230°C，其能長時間承受負載的工作溫度為 200°C，故溫度的控制需要非常準確。成功將元件轉移至塑膠基板上的圖，如圖 5.10 所示。而圖 5.11 轉移前後 TFT 元件的 OM 照片，可以看得出來在轉移過程中元件沒有被破壞。圖 5.12 是轉移前後元件的 Id-Vg 圖，由圖中看得出來元件特性上沒有差別，其主要的元件特性整理在表 5.6。元件的 mobility 在轉移前後都是 268 cm<sup>2</sup>/Vs，而其他的特性也都差不多，所以表示一次轉移過程並不會損害元件的特性。然而，由於塑膠基板與 Si 的熱膨脹係數差異很大，所以在升溫接合後容易造成塑膠基板扭曲，如圖 5.13(b)所示。而且 BCB 膠需加熱到 200°C 而塑膠基板為 230°C，因此加熱結合時在溫度控制上要很準確，但因為此操作範圍太小造成失敗率頗高，因此為了避免此問題，我們進行二次轉移技術。

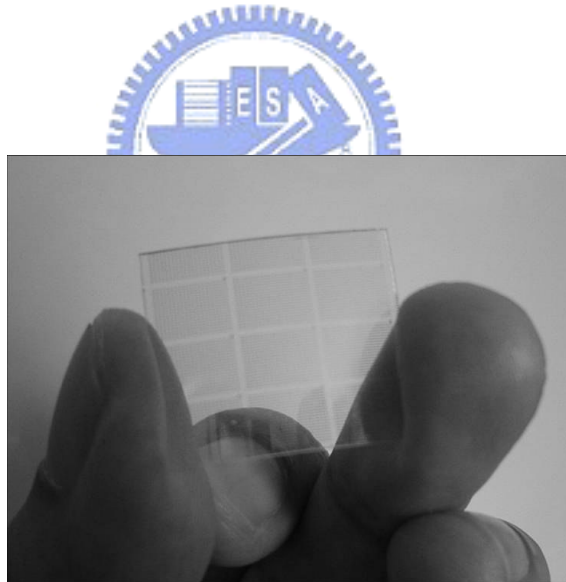
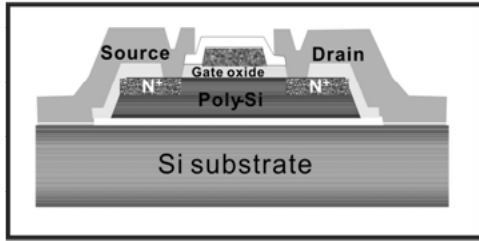
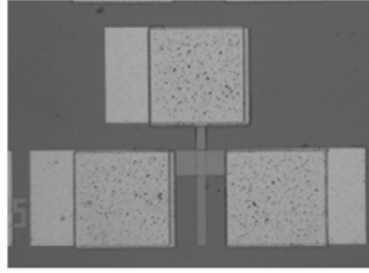


圖 5.10 一次轉移將元件轉移至塑膠基板上

(a) Before transfer  
TFT on Si substrate



(b) After transfer  
TFT on plastic substrate

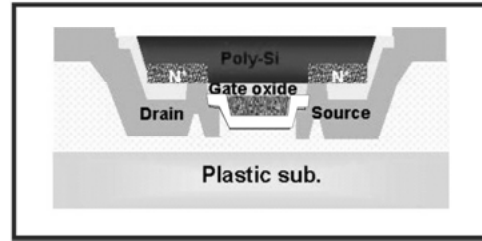
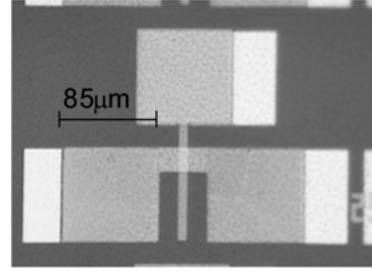
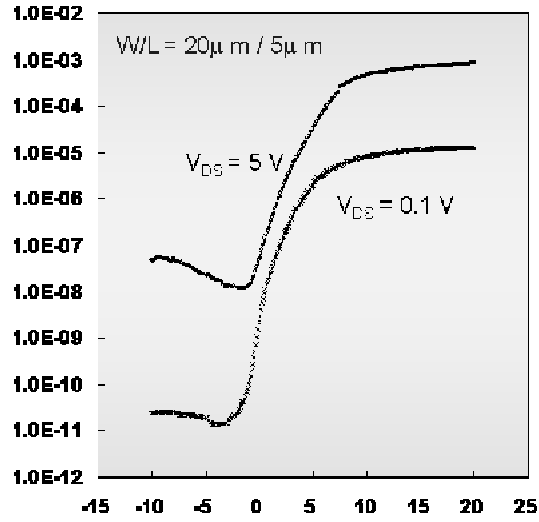
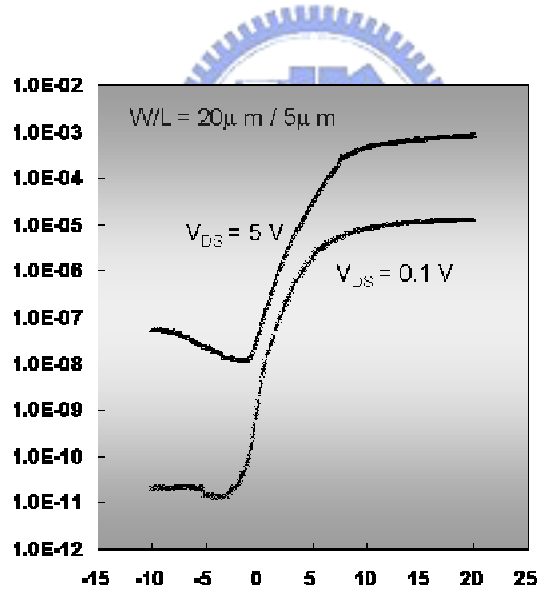


圖 5.11 一次轉移將元件轉移至塑膠基板上





(a)



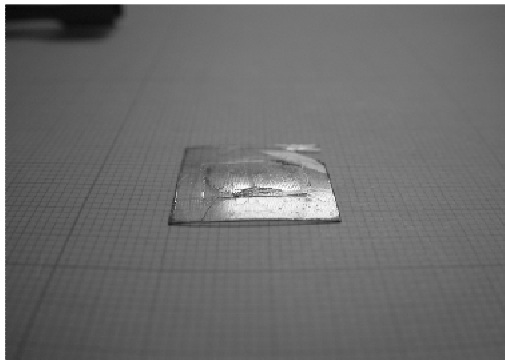
(b)

圖 5.12 (a)為一次轉移前；(b)一次轉移後  $W=20$ ， $L=5$  之電性圖



表 5.6 一次轉移前後電性比較表(W=20，L=5)

元件特性	轉移前	轉移後
電子遷移率( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	268	268
次臨界斜率(V/dec)	0.31	0.3
臨界電壓(V)	1.3	1.4
開/關電流比( $\times 10^5$ )	2.16	2.24



(a)



(b)

圖 5.13 (a)成功的將元件轉移至塑膠基板上，(b)因熱膨脹係數不同造成塑膠基板變形

### 5.5.3.2 二次轉移

接下來我們進行二次轉移技術的研究。二次轉移的步驟如第二章實驗步驟中的圖 2-6。要完成二次轉移有幾點困難是首先要克服的。

第一：「第一次接合膠」必須要容易去除。因為「第一次接合膠」只是為了方便處理薄膜的轉移，而後來元件轉移至塑膠基板後是必須去除的，因此「第一次接合膠」必須要容易去除。

第二：「第一次接合膠」必須具有抗化學性腐蝕的特性。由於第一次膠在接合易處理基板後，必須要先將原本的矽基板磨薄，再經過化學溼式蝕刻來完全除去矽基板。因此「第一次接合膠」必須要耐得住化學溼式蝕刻。

而基於以上二點的考量，我們所選用的膠為熱熔膠。其主要是因為熱熔膠非常方便就能夠去除。而蝕刻液方面則是選用 HNA(硝酸：氫氟酸：醋酸=20：6：7)而蝕刻速率大約每分鐘 2 $\mu\text{m}$  左右。選用此種蝕刻液最大的好處就是不會蝕刻熱熔膠；而最大的壞處就是對矽和二氧化矽的蝕刻比非常低，因此如果要利用此種溶液來進行蝕刻，則一開始的研磨要能將矽材研磨的非常平整，否則蝕刻時很難得到完整的元件轉移，若研磨的不平整，則因為是等向性蝕刻，較薄的區域會先被蝕刻，而厚的區域則蝕刻的較慢，因此蝕刻後其結果如圖 5.14，有部分已經吃完了，可是有一部分的矽還留在基材上。再蝕刻的話，將造成元件被破壞。因此需藉著較好的研磨工具來改善研磨時的不平整，例如 CMP。圖 5.15 即利用二次轉移技術成功的將元件轉移至塑膠基板上。圖 5.16 為同一顆元件轉移前後的電性圖，而電性的主要特性如表 5.7 所示。

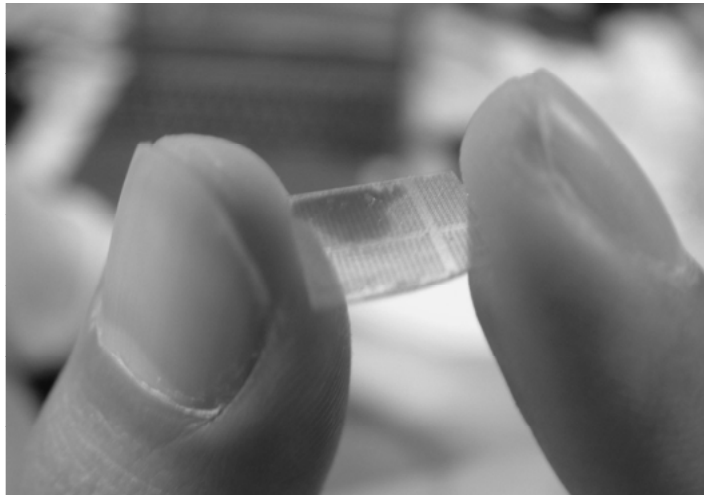


圖 5.14 元件經二次轉移至塑膠基板，表面厚度不均勻

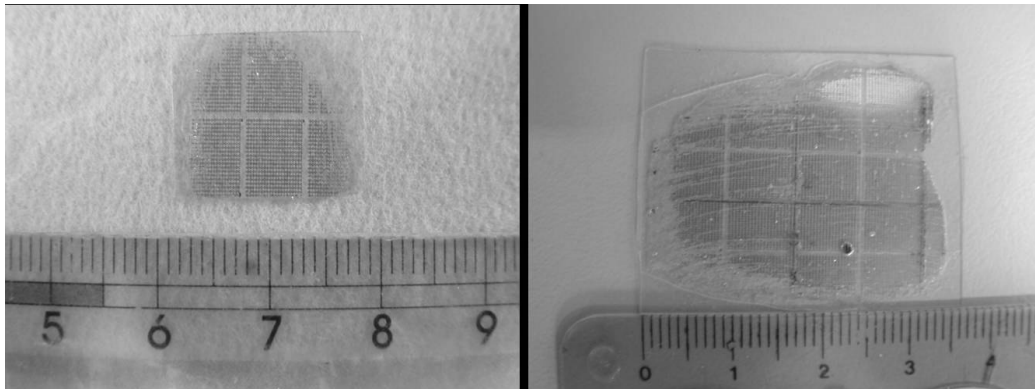


圖 5.15 元件經二次轉移成功轉移至塑膠基板上

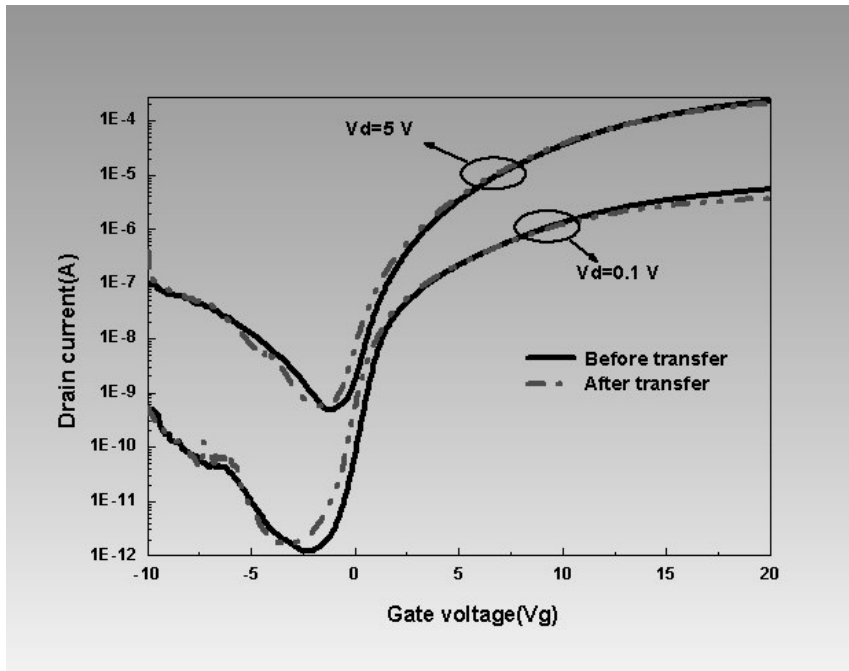


圖 5.16 二次轉移電性圖



表 5.7 二次轉移前後電性比較表

W/L=7/7	Before transfer	After transfer
電子遷移率( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	131.08	112.8
次臨界斜率(V/dec)	0.252	0.269
臨界電壓(V)	1	1
開/關電流比( $\times 10^5$ )	4.9	3.6

圖 5.16 和表 5.7 中可以發現，二次轉移前後電性雖然沒有完全一樣，但是二者特性已非常接近。而造成其電性的少許改變有可能是因為在在轉移過程中，蝕刻液對元件攻擊的結果，因為轉移前進行量測，下探針會讓 Al 電極處產生孔洞，而在轉移過程中蝕刻液會藉由此孔洞攻擊元件造成元件的特性下降。然而，特性減損的情況並不嚴重，這表示二次轉移的方式是可行的

但是利用二次轉移步驟仍有一個缺失，就是無法較大面積的轉移。其主要原因是當做完第二次接合後，元件轉移至塑膠時，此時要去除第一次膠(熱熔膠)卻無法去除乾淨。一般的熱熔膠只要加熱然後利用丙酮就可以去除，但是熱熔膠在經過 HNA 的浸泡後，雖然沒有剝落，且完整保護元件，但是熱熔膠原本的性質已有所改變，使得即使利用丙酮來清洗，也無法將其元件表面的熱熔膠清除乾淨。其結果如圖 5.17。在圖 5.17(a)中的陰影部分即為熱熔膠很厚的部分，而再放大來看的話，就像圖 5.17(b)中的部分，那些裂痕即為熱熔膠因丙酮震太久而產生的裂痕。

以二次轉移的方式所得到的元件還維持在一定的高效能狀態，但是須要再重新尋找新的第一次膠和蝕刻液溶液。使得最後能得到大面積的塑膠基板-薄膜電晶體。

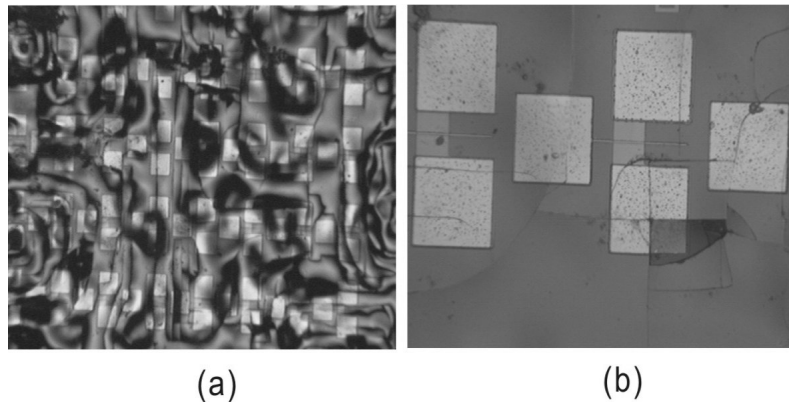


圖 5.17 從光學顯微鏡下觀察膠的分佈(a)50 倍；(b)200 倍

## 5.6 結論

在本實驗中，配合轉移技術，將薄膜電晶體製作在 4 吋矽基板上，利用高溫製程來得到高執行效果的薄膜電晶體。而在高溫製程方面，本實驗利用金屬誘發結晶+後高溫退火及金屬誘發結晶+準分子雷射退火來製作轉移時所需的高品質元件。在金屬誘發結晶+後高溫退火方面，由於在金屬誘發結晶後再加上高溫退火，使得原本的<111>方向的針狀結構，因為優選取向的關係，使得晶粒能夠很容易的成長；且又由於在高溫下，所以點缺陷更容易擴散到晶界的位置，降低點缺陷濃度，提升導電度。

轉移方面，已成功的利用一次轉移和二次轉移技術將高品質的薄膜電晶體轉移至塑膠基板上。首先，在一次轉移方面，也是成功的將元件轉移至塑膠基板上，而轉移前後特性也幾乎沒有改變，另外，在二次轉移方面，我們發現，當元件經過二次轉移後，其電性有少許的改變，這是由於轉移前量測所造成的孔洞被蝕刻液所攻擊，而造成電性上的減損，但是其變化量可以說是非常的少。但是以目前來說，不管是一次轉移還是二次轉移，其良率都非常的差。在一次轉移方面，由於塑膠基板與矽基板的熱膨脹係數差異大，使得非常不容易讓二者接合，而接合後塑膠受熱會有少許的彎曲，使得在量測電性時非常不容易量測。在二次轉移方面，由於二次轉移所使用的第一次膠無法去除乾淨，使得最後可以量到的元件非常的少。

