

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫三：奈米壓印之印器與壓印系統

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2218-E-002-015-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學應用力學研究所

計畫主持人：黃榮山

共同主持人：張建六，施文彬

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 11 月 1 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 國科會專題研究計畫成果報告撰寫格式說明

### Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 93-2218-E-002-015-934593

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：黃榮山教授 台灣大學應用力學研究所

共同主持人：

計畫參與人員：施繼正 台灣大學生物機電所

#### 一、中文摘要

奈米壓印 (Nanoimprint lithography, NIL) 是一種低成本且具有高生產力的非傳統微影技術。奈米印器 (即母模) 之製造上，將採用電子束微影技術及電感式耦合電漿乾蝕刻的製程進行，製造出高深寬比之母模結構。壓印設備系統上，將採用熱壓印技術，進行奈米結構之圖形轉移。

**關鍵詞：**奈米壓印、微機電、奈米機電、光阻材料

#### Abstract

The project is aimed at developing the mold fabrication and the imprinting recipe for nano-imprint (NIL). For fabrication of a nano-imprinting mold, the electron beam lithography and ICP (Inductively Coupled Plasma) dry etching will be mainly employed to structure the mold of high aspect ratio.

As for the nano-imprinting process, the hot-embossing will be employed, and the molds will be tested to form the nanopatterns, and then replicate the pattern to the polymer on the substrate.

**Keywords:** Nanoimprint, Hot-embossing, Electron beam, Mold

#### 二、緣由與目的

在日新月異的二十一世紀，為因應現代人對生活品質高要求 (便宜、美觀和小型化等) 的時代潮流，科技廠商於是投入大量的資金研究如何將產品做的更精緻、美觀，也就是說除了要使產品具有更好的功能外，更需要將產品微小化。

半導體製程的線寬要求已進入 100nm

以下，到了 2016 年將會進一步接近 10nm，由於傳統的紫外光微影在製程線寬要求邁入奈米等級後已面臨瓶頸，於是有所謂的次世代微影方法 (next generation lithography)，如 Extreme UV、Electron-beam、Ion-beam、X-ray sources 等則陸續被開發出來，以期能突破傳統紫外光微影所面臨的製程線寬瓶頸。由於使用次世代微影方法的機台造價相當高貴，不僅在推廣使用上難以普及，也使得奈米級產品的售價居高不下。

近幾年來，有研究者發展出數種相對便宜且又能使製程達到奈米線寬等級的新技術，如 Microcontact printing、Nanoimprint technology、AFM lithography、Dip-pen lithography 等，這些新技術中要能兼具高產量、低成本的目標要求，則以 1990 年代發表的奈米壓印微影技術 (Nanoimprint Lithography, NIL) 最有機會，然因奈米壓印微影技術仍停留在實驗室階段，很多製程相關的細節都需要進一步的探討。

奈米壓印微影技術是一種熱壓印技術 (Hot Embossing)，與習用的印章刻製十分類似，其先以微蝕刻 (光罩、電子束、聚焦離子束等) 技術，將所要轉印的圖案製作於某種模版材料上 (稱為母模，通常採用矽晶圓為材料)，然後以一種高分子熱固性或熱塑性的材料當作「印泥」，塗佈在基材 (Substrate) 上，再利用熱壓成型機，施以精確控制的壓力及溫度，將母模壓印在塗佈了印泥的基材上，使得母模上的圖案轉印到印泥上，再利用乾蝕刻對印泥進行蝕刻，將被壓印後所造成的殘餘印

泥給蝕刻掉，再接著對基材進行蝕刻，使得圖案得以轉移到基材上，完成一次的壓印流程。

這種採用 NIL 的半導體製程，用以壓製圖案的母模一旦完成，即可重複使用至少達數十次以上，無須逐件歷經光罩製程。

本研究利用電子束微影設備 (Electro-beam Lithography System, EBL) 跟電感耦合電漿反應性離子蝕刻機 (Inductive Coupled Plasma Reactive Ion Etching, ICP RIE) 進行奈米壓印模版 (母模) 的製作，再以製作出的母模對塗佈有高分子材料的基材進行壓印，並探討各種壓印參數對壓印結果的影響，期望透過圖案轉移方法，製作出高深寬比的奈米結構。

奈米壓印技術是一種熱壓印技術 (Hot Embossing)，為射出成形技術的延伸，常應用於光碟及塑膠零件的製造，是一種將具有凹凸圖形的印模，壓在基材上塗佈的高分子材料上，以達到圖形轉寫目的技術。此技術已被嘗試應用於半導體元件、光電元件及奈米結構等的製作，因其可以得到大約 10nm 左右的奈米結構，具有低價、高產量及高精度化的特色，近年來十分受到注目。

### 熱壓型奈米壓印技術

熱壓型奈米壓印技術是將母模、基材與塗佈在基材上的高分子材料一起昇溫至高分子材料的玻璃轉移溫度 (Glass transition point) 以上，趁著高分子材料於軟化狀態，將母模施壓到基材上，並於保持加壓狀態下，冷卻到玻璃轉移溫度以下，等到高分子材料固化後再將母模分離，即完成圖形的轉印，採用此種技術者，以 Chou 團隊為主。

Chou 等人 (Chou et al., 1996) 用二氧化矽作為母模的材料，利用電子束微影系統和反應性離子蝕刻方法，在母模上繪出最小尺寸為 25 nm 的點與線，並選用低熱膨脹係數 ( $5 \times 10^{-5} \text{p}/^\circ\text{C}$ ) 與壓縮係數 ( $3.8 \times 10^{-7} / \text{psi}$ ) 的 PMMA，經與脫膜劑混合後，塗佈在基材上，以減少 PMMA 對母模的附著力，方便後續的脫膜動作。壓印過程中，除了必須保持真空狀態，以避免空

氣造成圖案的不完整外，也必須將 PMMA 加熱到玻璃轉移溫度以上，使其呈現熱塑性後，再將母模壓印到 PMMA 上進行圖案轉移，而後逐漸降溫，直到溫度低於玻璃轉移溫度後才可以進行脫膜(如圖 2-1)。研究結果發現：奈米壓印不僅可以得到一個與母模幾乎相似的圖案且側壁的垂直度或表面的平滑度都相當令人滿意；該研究更進一步發現：母模的重複使用性可以高達 30 餘次，且壓印結果都沒有明顯的變化。

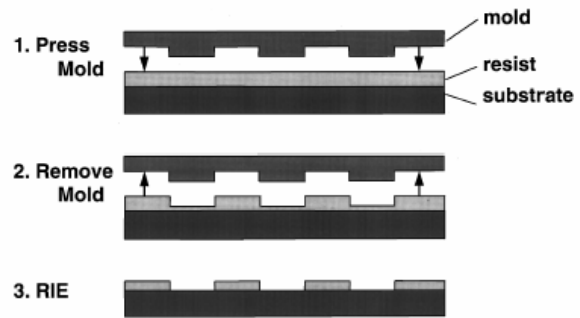


圖 2-1 奈米壓印之流程

Chou 等人在提出奈米壓印技術後，即將該技術應用到各種領域上，包括：將原本有機薄膜電晶體 (OTFT)  $1 \mu\text{m}$  的通道縮短為 70 nm；製作出截面積  $10 \text{ nm} \times 50 \text{ nm}$  的微流道來捕捉生物分子；利用多重對位的技巧在四吋晶圓上製作出 60 nm 的電晶體；做出抗反射結構使其反射率低於光滑矽晶圓表面的 1% 等應用，如表 2-1 所示。

表 2-1 奈米壓印技術之應用

年度	應用領域
2002	70 nm Channel Length Polymer Organic Thin Film Transistors
2002	10 nm Enclosed Nano-fluidic Channel
2003	60 nm Transistors on 4-in Wafer
2003	Subwavelength Antireflection Structures

Lebib 等人 (Lebib et al., 2000) 在基材上塗佈了三層的高分子材料，其中，最上層係選用易加熱變形的材料，以利母模的壓印，而中間層則作為圖案轉移用途，最下層則選用加熱後仍能保持穩定的材料，以避免因加熱而產生變化。該技術所使用每一層高分子材料都有合理的相對厚度，

藉由不同的圖案轉移方式 (Lift-off、RIE、Electro-plating) 可以得到具有高深寬比和高解析度的圖案，適用於超高密度的磁碟片和非平面的表面結構 (圖 2-2)。

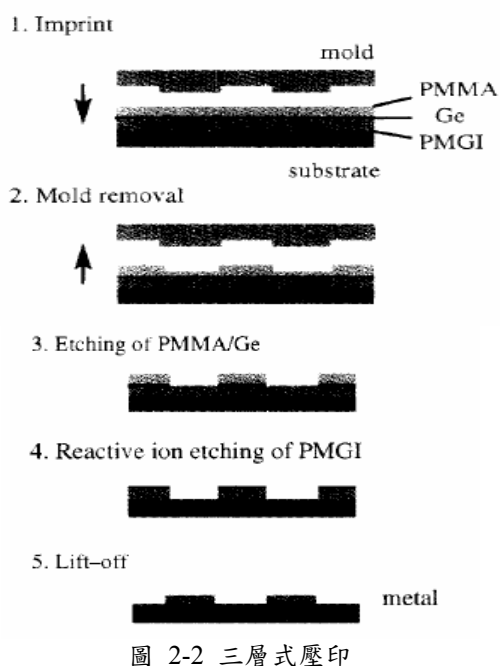


圖 2-2 三層式壓印

Hiroshima 等人 (Hiroshima et al., 2003) 為了減少壓印時母模與高分子材料間的附着力，在母模的表面塗佈了一層對玻璃表面具有斥水性的分子薄膜，不僅降低高分子材料與母模間的附着力，也可降低壓印所需的壓力 (1.4MPa $\rightarrow$ 0.4MPa)；該研究更進一步提出：若在蝕刻時，希望線寬的變化不要超過 10 nm 的話，則高分子材料的蝕刻厚度就不能超過 80 nm，一旦高分子材料的厚度超過 100 nm，則在 O<sub>2</sub> RIE 蝕刻過程中，高分子材料的表面就會產生細粒，由於這些細粒具有高強度的抗蝕刻性，會造成明顯的表面粗糙度 (圖 2-3)。

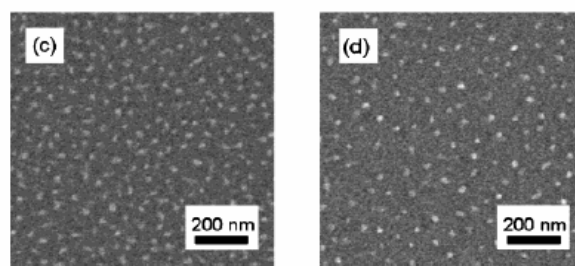
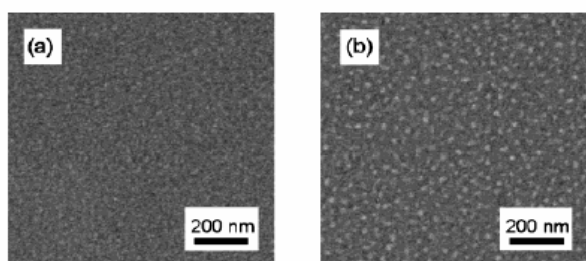


圖 2-3 RIE 蝕刻時間對表面之影響

Matsui 等人 (Matsui et al., 2003) 鑑於先前研究所使用的 SOG (Spin-On Glass) 在室溫下會與空氣中的水氣反應而漸次硬化，改以 HSQ (Hydrogen SilseQuioxane) 改良 SOG 的缺點，取代習用的 PMMA，並利用 HSQ 的附著特性發展出 NPT 技術 (Nanotransfer Printing Technology)，製作出 50nm 線寬和 90nm 直徑的孔洞；由於 HSQ 的附著力特性，可以在壓印過程將母模上的光阻圖案轉移到塗佈 HSQ 的基材上，加上 NPT 技術不受限光阻材料的選用，對於奈米級元件製造有很大幫助，如圖 2-4。

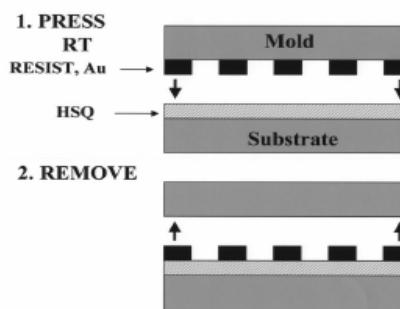


圖 2-4 HSQ 之壓印流程

### 三、研究報告應含的內容

#### 實驗設備

1. 電子束微影系統 (EBLS)：由日本 ELIONIX Inc. 所製造，裝備有 ZrO/W 熱場發射式電子槍 (thermal field emission electron gun) 及型號為 ELS-7500EX 之電子束直寫儀 (electron beam writer)。用以對光阻進行圖案描繪及曝光，其曝光源為電子束，不需要製作光罩且使用專用的光阻 (圖 3-1)。

2. 高精度雙 (向) 面對位真空熱壓成型機：此熱壓機器座落於台灣大學奈米科技研究中心，由台灣廠商自行組裝，該機台可同時將上下板進行加熱及冷卻；可設定加熱

溫度、冷卻溫度、加壓時間、加壓大小及真空功能，相關設定說明可參考台灣大學奈米科技中心所提供的操作說明書（圖 3-2）。



圖 3-1 電子束微影系統



圖 3-2 高精度雙（向）面對位真空熱壓成型機

## 實驗材料

### 母模材料

在奈米壓印技術中，由於壓印後脫膜的能量需求相當大，若使用的母模硬度(hardness)與耐用度(durability)不足，容易造成母模結構的崩壞，因此母模材料的選擇攸關製程的難易與商業量產的可行性。

常用於基板材料為矽晶圓，若使用二氧化矽和石英作為母模材料，則在降溫過程中，可能會造成某區域應力集中出現，進而影響到整個結果的完整性，因此，本研究選擇以矽晶圓當作母模的材料(L J Guo, 2004)，其厚度約為 500  $\mu\text{m}$ 、結晶面為<100>單面拋光，進行實驗時已先將其切割為 2 cm  $\times$  2 cm 之破片。

### 光阻材料

本研究於電子束微影曝光部分，使用之正型光阻為日本公司 ZEON 生產專門用於電子束微影曝光的 ZEP-520A，其搭配顯影液為 ZEP-N50，潤絲液為 ZMD-D 或異丙醇，光阻去除液為 ZDMAC。

### 高分子材料

本研究參考 Pfeiffer 等人之研究(Pfeiffer et al., 2003)，採用德國 Micro Resist Technology 所生產的熱固性高分子材料 mr-I 9020。

### 電子束微影

本研究在矽母模上刻畫微結構過程，以 ELS-7500EX 可輸出之最高加速電壓(50kV)進行曝光，在微調電子束之焦距(focus)與光點(stigma)後，使電子束直寫儀可以穩定地輸出最小直徑 2 nm 的電子束，刻寫最小線寬為 10nm 的直線，再搭配電子束直寫儀大尺寸的物鏡，可以有效地控制球面像差造成的影響(王湧鋒, 2004)。

利用電子束直寫儀刻畫圖形時，必須先利用 ELIONIX Inc. 隨機器提供之套裝軟體 ECA 來設計所欲刻畫之圖形。在電子束微影系統下，要獲得最小的幾何圖形，不僅電子束的束徑要儘可能的達到最小，電子的能量、光阻材料與光阻下層的材料層也有密切關係。

## 四、製程步驟及結果

本研究之製程步驟可以主要分為兩階段，一為母模之製作，二為以母模進行熱固化型奈米壓印。

### 母模製作

選用<100>晶格結晶面的矽晶圓作為母模，以電子束微影系統對光阻進行圖案描繪及曝光後，利用光阻為蝕刻擋罩使用電感耦合電漿反映離子蝕刻將圖形轉移至晶圓，其流程如下(圖 4-1)：

1. 晶圓清洗：常用的清洗方式是採用丙酮(Acetone)清除表面的有機殘留物，接著利用甲醇(methane)將表面殘存的丙酮去除，最後再以去離子水完成清洗。
2. 光阻塗佈：將正光阻 ZEP-520A 以滴管滴

在試片上，將光阻均勻平坦地塗佈在試片。可得到的光阻厚度約為 300 nm。

3. 光阻軟烤：將光阻放在加熱板以 180°C 的溫度烘烤 2 分鐘。
4. 電子束曝光：利用電子束微影系統專用軟體完成定義圖形後，即可進行曝光。其中，相關的曝光時間 (dose time) 及電流大小 (beam current) 等參數都需要根據圖形設計加以調整。
5. 光阻之顯影：將曝光後的試片浸泡於專用之顯影液 ZEP-N50 中，其中盛裝顯影液的恆溫水浴槽宜保持在 23°C 的溫度。
6. 微影結果觀察：完成微影後，以電子束微影系統或掃描式電子顯微鏡 (scanning electron microscope, SEM) 進行結果觀察。

### 設計圖形與實際圖形關係

設計與製作母模圖形時須先了解特定曝光與顯影參數下設計圖案與實際顯影後所得到之圖案間的誤差，以便根據其關係設計所要的圖形。本研究於選用曝光電流為 100 pA，曝光時間為 0.8 μm 下，設計 100 nm~900 nm 等不同線寬的圖形，經曝光後將其置於顯影液 5 分鐘後，以 SEM 觀察實際線寬與設計線寬間的關係，經整理後如圖 4-2 所示。設計圖形 (x) 與實際圖形 (y) 間的關係經曲線嵌合 (curve fitting) 得：

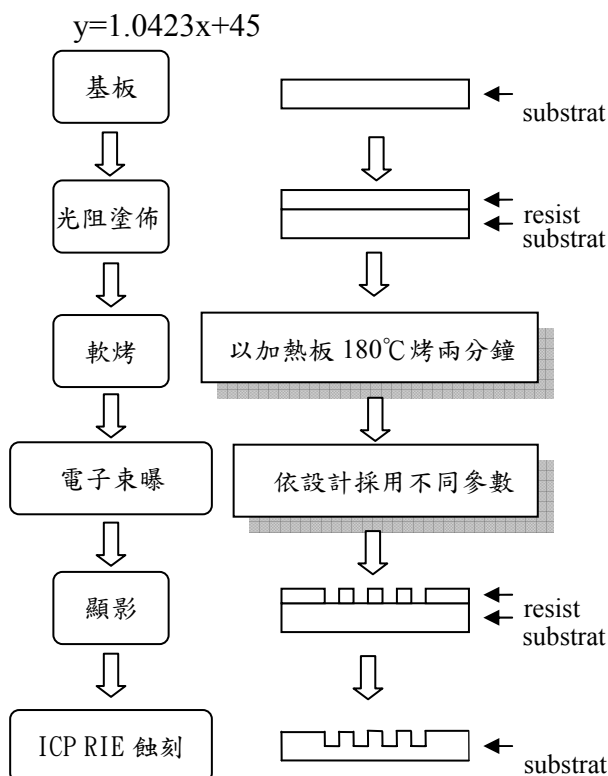


圖 4-3 砂母模製作流程圖

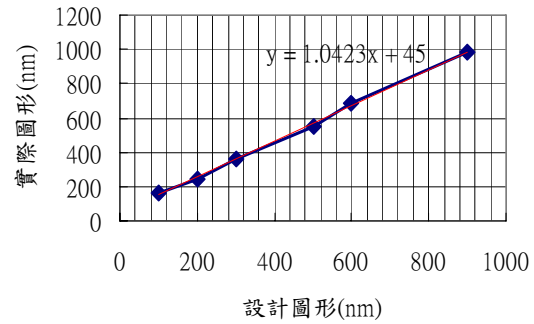


圖 4-2 電流 (100pA) 時，設計圖形跟實際圖形線寬之比較

### 氧氣流量對蝕刻的影響

以 ICP RIE 蝕刻 Si 的過程，通入的氣體包括為了蝕刻 Si 的 SF<sub>6</sub>、加速蝕刻速率的 O<sub>2</sub>，以及為產生高分子保護層的 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>。其中，通入的氧氣流量多寡不但對蝕刻速度有影響且對腔體的潔淨度也有相當大的影響 (氧氣流量較大時腔體潔淨度較佳)，因此本研究亦先就氧氣流量的改變對於蝕刻效果的影響予以探討，作為後續母模製作的參考。

首先，利用圖 4-3 所示的實際線寬與設計線寬關係，設計 330 nm 和 200 nm 線寬的圖形，並以 ZEP-520A 當作蝕刻擋罩，採用表 4-1 所列的參數進行蝕刻。

表 4-1 ICP RIE 蝕刻參數

Cycle step	Etching	Passivation
Gas flowrate (sccm)	SF <sub>6</sub> :20 O <sub>2</sub> :X (變數)	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> :20
Active time (s)	4.4	4
Coil RF power (W)	600	600
Platen RF power (W)	30	0
APC (%)	70	
Total time	5 min 2 s	

### 母模結構配置

本研究將母模規劃為正方形 (600 μm × 80 μm) 相連而成的長條結構，正方形 (單位) 內的圖形配置如圖 4-3 所示。

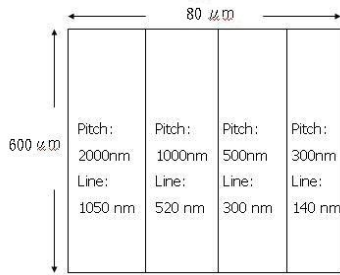


圖 4-3 母模結構設計圖

### 蝕刻參數設定與蝕刻結果

本研究發現，光阻 ZEP-520A 在不通入氧氣下進行蝕刻，約經過五分鐘就被蝕光，失去作為蝕刻擋罩的功用，而母模上也出現側向蝕刻的現象，因此蝕刻時間的選定必須與光阻厚度與蝕刻速率相配合。

在接下來的奈米壓印流程中，需要讓母模的結構跟塗佈在基材上的高分子材料 (mr-I 9020) 相互接觸，而依據廠商所提供 mr-I 9020 的轉速與厚度參數，厚度分佈約從 180~300 nm，因此，在作母模溝槽蝕刻時，深度以 300 nm 作為一個依據，避免蝕刻過深造成母模的結構超過光阻厚度太多而跟基材接觸，如此在施加壓力時，若一旦有施力不均的現象發生，很容易造成母模結構碎裂。當氧氣通入流量為 5 sccm 時，蝕刻之速率約為 250~300 nm/min，跟光阻的厚度相差不大，因此，決定以通入氧氣 5 sccm、蝕刻時間一分鐘為之後母模蝕刻之參數，整理如表 4-2 所示。

本研究利用電子束微影製作了兩種不同線寬的母模，並以表 4-2 所列之參數進行蝕刻，其蝕刻前後之結果如下：

1. 490nm 線寬及蝕刻後結果 (寬 510 nm、深 360 nm)，如圖 4-4(a)。
2. 150nm 線寬及蝕刻後結果 (寬 150nm、深 290 nm)，如圖 4-4(b)。

表 4-1 壓印母模之 ICP RIE 蝕刻參數

Cycle step	Etching	Passivation
Gas flowrate (sccm)	SF6:20 O2:5	C4F8:20
Active time (s)	3	3
Coil RF power (W)	600	600
Platen RF power (W)	30	0
APC (%)	70	

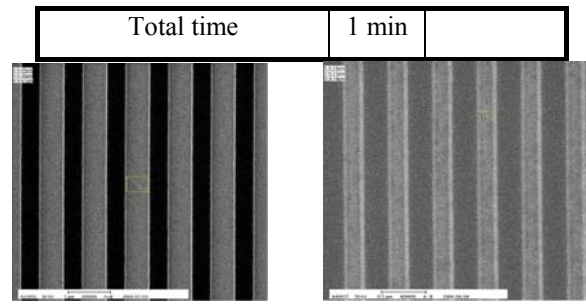
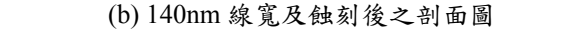


圖 4-4(a) 490nm 線寬及蝕刻後之剖面圖



(b) 140nm 線寬及蝕刻後之剖面圖

### 離形層之附著

為了改善母模的表面附著力，壓印前可先將母模浸泡在硫酸+雙氧水 (體積比 3:1) 的溶液中，經過 15 分鐘後，再以去離子水浸泡 15 分鐘，而後洗淨殘餘溶液，以去除表面雜質。然後將清潔後的母模在氮氣環境下浸泡於 dodecyltrichlorosilane 與甲苯以 1:100 的混合的脫膜劑 (release agent)，泡一段時間取出後，再以甲苯對母模表面做清洗 (潤濕)，使得母模表面形成一層離形層 (release layer) 來降低母模的表面能，其中，該離形層形成過程一旦接觸到水氣將導致白色固狀物的產生，影響後續壓印精確度，如圖 4-5(a)所示。若能保持不與水氣接觸，則結果圖如 4-5(b)。

至於浸泡後形成離形層的矽晶圓表面與未浸泡者之親疏水性比較，將如圖 4-6 所示，顯示浸泡脫膜劑後的接觸角為 105.60°，未浸泡者的接觸角為 46.20°，顯然浸泡脫膜劑形成離形層後，將明顯改變母模表面的親疏水性。

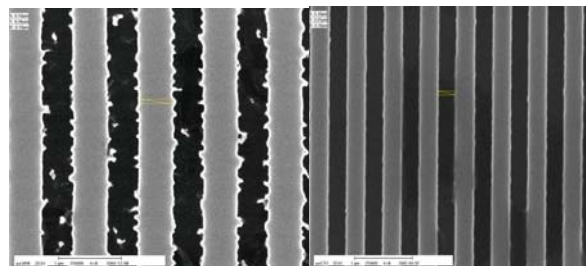


圖 4-5 (a) 附著離形層時接觸水氣之結果，(b) 附著離形層時未接觸水氣之結果

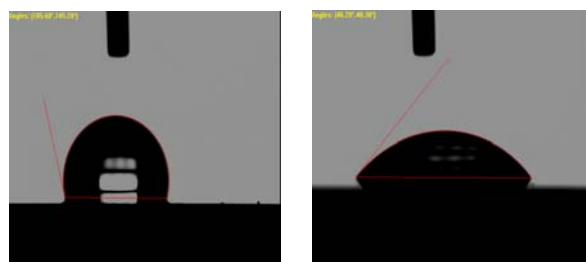


圖 4-4有無浸泡脫膜劑之親疏水性比較

## 熱固化型奈米壓印

### 高分子材料塗佈

在將高分子材料塗佈到基材前將基材浸泡在硫酸+雙氧水（體積比 3：1）的溶液中，再以去離子水浸泡，而後洗淨殘餘溶液以去除表面雜質。然後將熱固型高分子材料 mr-I 9020 以滴管滴在基材上，以 spin coater 將 mr-I 9020 均勻地塗佈在基材上。

### 壓印配置與流程

本研究使用的熱壓機器為高精度雙(向)面對位真空熱壓成型機。熱壓前必須先在最底層放置一片鏡面鋼板以增加平台表面的平整度，然後將被壓印的基材擺置於鋼板上，其中塗佈有 mr-I 9020 的表面朝上，而後覆蓋上母模（其具有結構的一面與 mr-I 9020 接觸）並擺上一層耐熱橡膠模使受力均勻分散各個部位，如圖 4-7 所示。

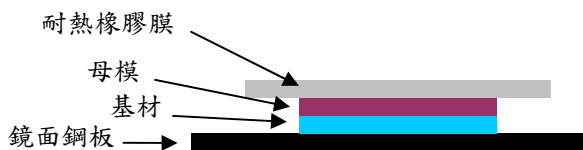


圖 4-7 壓印時各層配置圖

至於熱固型奈米壓印之流程概述如下（圖 4-8）：

1. 將壓印成形機之上下板加溫至 40°C；
2. 加熱至 mr-I 9020 的玻璃轉移溫度以上，並同時施加壓力；
3. 降溫至 40°C 後，進行脫膜；
4. 利用 RIE 蝕刻殘餘的高分子材料；
5. 利用 ICP RIE 進行圖形轉移。

其中壓印成形機之上下板加溫至 40°C 後同時將母模與基材施加壓力並將上下板溫度提高至 130°C 持續五分鐘後冷卻至 40°C。

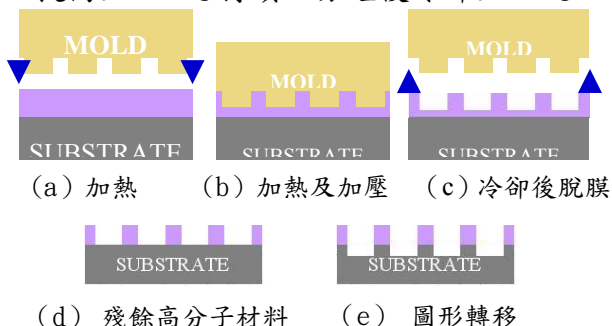


圖 4-8 奈米壓印流程圖

## 壓印試驗

### 母模浸泡脫膜劑 120 分鐘

將其浸泡在脫膜劑 2 小時觀察其壓印結果：壓印壓力 140kg/cm<sup>2</sup>，其結果如圖 4-9 所示。由圖發現：壓力 140 kg/cm<sup>2</sup> 下可以壓印出較理想的圖形，因此本研究採此壓力當作後續壓印的基準，此外由結果也可發現壓印後不同線寬的殘餘厚度都約為 250 nm。

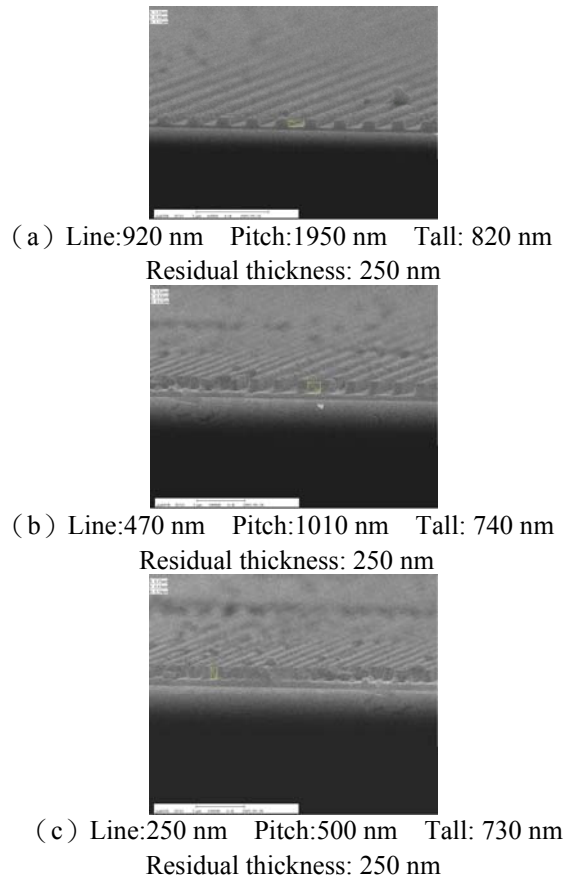


圖 4-5 壓力 140 kg/cm<sup>2</sup> 之壓印結果

### 基材高分子材料層之移除

為了探討基材上塗佈的高分子材料之移除，本研究先採用表 4-3 所示之 RIE 參數，於不同蝕刻時間下，測試高分子材料層的移除效果：

表 4-2 蝕刻高分子材料層參數

O <sub>2</sub>	Pressure	RF power
30sccm	4Pa	90W

將經過壓印後但不具有結構的高分子材料層（厚度約為 250 nm），以表 4-3 所列 RIE 參數進行蝕刻，經過兩分鐘蝕刻，厚度 250 nm 的高分子材料層已大致被蝕刻乾淨。

依據前述，本研究以表 4-3 所列 RIE



參數針對具有高分子材料殘餘厚度 250 nm 基材進行 2 分鐘蝕刻，結果如圖 4-10 所示。

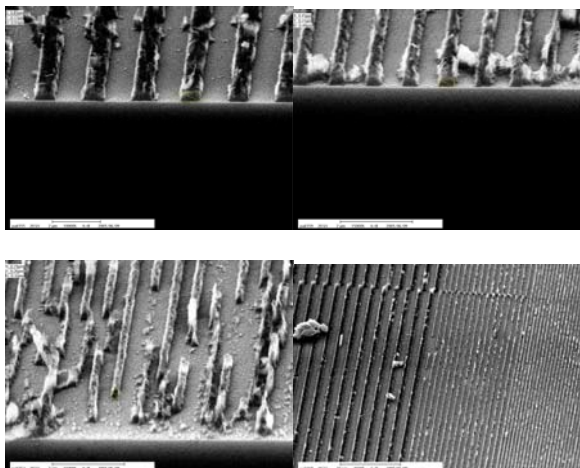


圖 4-10 (a) Line:850 nm Pitch:1990 nm Tall: 390 nm (b) Line:450 nm Pitch:1010 nm Tall: 230 nm (c) Line:190 nm Pitch:550 nm Tall: 260 nm (d) 全貌圖 (由左至右: 850、450、190 nm) 對結構進行 2 分鐘 RIE 蝕刻之結果

由蝕刻後的 SEM 圖 (4-10) 可以發現殘餘的高分子材料層已經蝕刻。

### 基材圖案移轉

基材加熱至 130°C 時基材表面發生熱氧化關係，並形成的二氧化矽 (SiO<sub>2</sub>) 薄層成了蝕刻擋罩，因此解決之道在於將基材表面的二氧化矽先行蝕刻，再進行 ICP RIE 蝕刻。去除二氧化矽的方法則採用濕蝕刻，將基材浸泡到二氧化矽蝕刻液 (BOE)；由於基材表面的二氧化矽是因熱氧化而產生，其晶格排列並不是很整齊也不會太厚，所以只要將基材浸泡於 BOE 一分鐘即可拿去進行 ICP RIE 蝕刻，歷時一分鐘後，其結果如圖 4-11 所示。

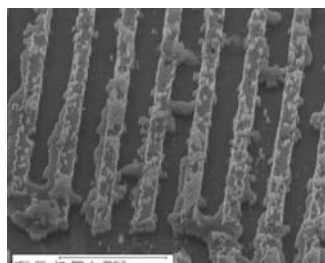


圖 4-11 蝕刻至矽基底之結果

由圖 4-11 發現已經成功的將結構轉移到矽晶圓基底，表示浸泡 BOE 一分鐘後可成功地將基材表面的二氧化矽蝕刻乾淨。

### 奈米壓印流程整理

綜合本研究之實驗過程，提供熱壓參

數以供後續研究者參考，如圖 4-13 所示。

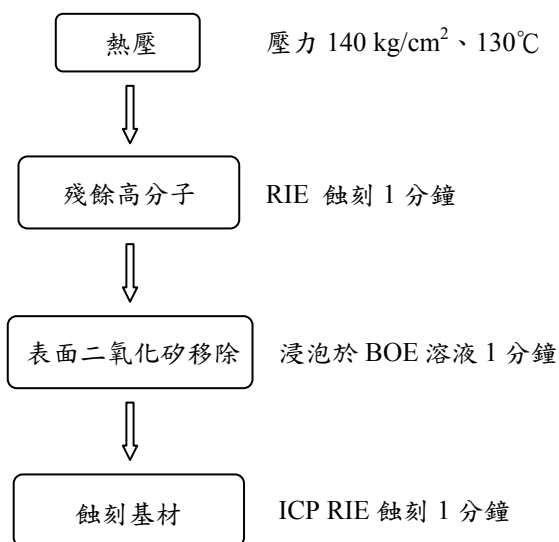


圖 4-13 奈米壓印之參數流程圖

### 結論與展望

本研究利用電子束微影技術，成功在矽晶圓母模上做出最小線寬 140 nm、週期 300 nm 之結構，並提供整個壓印流程各個步驟的最佳參數，且從其壓印結果可以發現，在同次壓印中，母模上不同線寬能夠呈現在高分子材料層上的範圍 300~1000 nm。本研究除了希望更進一步製作出 100 nm 以下線寬的母模，並同時能夠改善機台的結構設計。由多次的實驗結果發現，熱壓後的脫模步驟可以說是整個實驗流程的最大關鍵變數，本研究使用的機台並無可分別吸附母模與基材的裝置使其自動脫膜的功能，而是母模與基材的分離動作必須徒手進行，施力的不當是造成高分子材料層結構剝落的原因。因此若能改善吸附功能，預期能使失敗的機率降低。

### 五、參考文獻

- [01] 王湧鋒。2004。奈米直寫儀光學頭之奈米壓印製作方法的先導性研究。碩士論文。台北：台灣大學應用力學研究所
- [02] Austin M.D. and Chou S.Y., 2002. Fabrication of 70 nm channel length polymer organic thin-film transistors using nanoimprint lithography. Apply. Phys. Lett. Vol.81, No.23, pp.4431-4433
- [03] Beck M., M. Graczyk, I. Maximox, E.-L. Sarwe, T.G.I. Ling, M. Keil, and L.

- Montelius,2002.Improving stamps for 10 nm level wafer scale nanoimprint lithography, *Microelectronic Engineering* 61-62,pp.441-448
- [04] Bhardwaj J.,H. Asharf ,J. Hopkins,I. Johnston,S.McAuley,S. Hall,G. Nicholls,L. Atabo,A. Hynes,C. Welcj,A. Barker,B. Gunn,L. Lea,E. Guibarra, and S. Watcham,1999.Advanced in High Rate Silicon and Oxide Etching using ICP.SEMIMEMS99.
- [05] Chou S. Y. , P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, 1996.Nanoimprint lithography, *J. Vac. Sci. Technol. B* 14(6), pp. 4129-4133
- [06] Chou S.Y.,Krauss P.R.,and Renstrom P.J.,1996. Imprint Lithography with 25-nanometer Resolution. *Science, New Series, Vol. 272*,No. 5258,pp.85-57
- [07] Chou S.Y.,KraussP.R.,Wei Zhang,Lingjie Guo,and Lei Zhuang,1997. Sub-10 nm imprint lithography and applications ,*J. Vac. Sci. Technol.B* 15(6),pp. 2897-2904
- [08] Chou S.Y., and Krauss P.R.,1997.Imprint Lithography with sub-10 nm Feature Size and High Throughput, *Microelectronic Engineering* 35pp.237-240
- [09] Han Cao, Zhaoning Yu, Jian Wang,Jonas O. Tegenfeldt, Robert H. Austin,Erli Chen,Wei Wu and Stephen Y. Chou.,2002. Fabrication of 10 nm enclosed nanofluidic channels. *Apply. Phys. Lett.* Vol.81 ,No.1,pp.174-176
- [10] Hirai Y., M. Fujiwara, T. Okuno, and Y. Tanaka, 2001. Study of the resist deformation in nanoimprint lithography, *J. Vac. Sci. Technol. B* 19(6), pp.2811-2815
- [11] Hirai Y., S. Yoshida, N. Takagi, Y. Tanaka, H. Yabe, K. Sasaki,H. Sumitan and K. Yamamoto, 2003.High Aspect Pattern Fabrication by Nano Imprint Lithography Using Fine Diamond Mold, *Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 Part 1, No. 6B* pp. 3863–3866
- [12] Hiroshima H., S. Inouce, N. Kasahala, J. Taniguchi,I. Miyamoto and M. Komuro, 2002. Uniformity in Patterns Imprinted Using Photo-Curable Liquid Polymer, *Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, Part 1, No. 6B* pp. 4173–4177
- [13] Hiroshima H., M. Komuro, N. Kasashara, Y. Kurashima and J.Taniguchi, 2003. Elimination of Pattern Defects of Nanoimprint under Atmospheric Conditions, *Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 Part 1, No. 6B*, pp. 3849–3853
- [14] Jaszewski R.W., H. Schiff, P. Groening, and G. Margaritondo,1997. Properties of thin anti-adhesive films used for replication of microstructures in polymers, *Microelectron. Eng.* 35,pp. 381–384.
- [15] Komuro M.,J. Taniguchi,S. Inoue,N. Kimura,Y. Tokano, H. Hiroshima , and S. Matsui, 2000.Imprint Characteristic by Photo-Induced Solidification of Liquid Polymer,*Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39*,pp.7075-7079
- [16] L J Guo, 2004.Recent progress in nanoimprint technology and its applications,*J. Phys. D: Apply. Phys.* 37,pp.123-141
- [17] Lebib A.,Y.Chen,F. Carcenac,E. Cambril,L,Manin,L.Couraud and H .Launois , 2000.Tri-layer for nanoimprinting lithography with an improved process latitude,*Microelectronic Engineering* 53,pp.175-178
- [18] Lingjie Guo,Krauss P.R., and Chou S.Y.,1997. Nanoscale silicon field effect transistors fabricated using imprint lithography, *Apply. Phys. Lett.* 71(13),pp.1881-1883
- [19] Martin C., L. Ressier,and J. P. Peyrade, 2003. Study of PMMA recoveries on micrometric patterns replicated by nano-imprint lithography, *Physica E* 17 ,pp523 – 525
- [20] Matsui S., Y. Igaku, and H. Ishigaki, J. Fujita, M. Ishida, and Y. Ochiai, H. Namatsu, M. Komuro, 2003.Room-temperature nanoimprint and nanotransfer printing using hydrogensilsequioxane, *J. Vac. Sci. Technol. B* 21(2),pp.688-692
- [21] Pfeiffer, K., F. Reuther, M. Fink, G. Gruetzner, P. Carlberg, I. Maximov, L. Montelius, J. Seekamp, S. Zankovych, C.M. Sotomayor-Torres, H. Schulz, and H.C. Scheer. 2003. A comparison of thermally and photochemically cross-linked polymers for nanoimprinting. *Microelectronic Engineering* 67-68, p266-273.
- [22] Taniguchi J., T. Kawasaki, Y. Tokano, Y. Kogo, I.MIYAMOTO,M. Komuro, H. Hiroshima, N. Sakai and K. Tada, 2002.Measurement of Adhesive Force Between Mold and Photocurable Resin in Imprint Technology, *Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41Part 1, No. 6B*, pp. 4194–4197
- [23] Wei Zhang and Stephen Y. Chou., 2003. Fabrication of 60-nm transistors on 4-in. wafer using nanoimprint at all lithography levels. *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, No. 8, pp.1632-1

