

## 以微流道為例探討不同製程方式之研究

沈永康<sup>1</sup>

<sup>1</sup>龍華科技大學  
機械工程系

洪榮宏<sup>2</sup>

<sup>2</sup>龍華科技大學  
工程技術研究所

### 摘要

本文以微流道為例，針對不同材質模仁於微熱壓成形以及微細磨料噴射加工進行研究。在金屬模仁製作部分，首先在矽晶圓塗佈上 SU-8 負光阻，經由 UV 光將光罩的圖形轉移在 SU-8 光阻上，接著熱蒸鍍上一層種子層，再結合微電鑄技術，製作出鎳、銅、鎳-鈷三種材質模仁及經由曝光顯影再配合 ICP 深蝕刻技術得到矽材質模仁。最後使用微熱壓成形機進行微熱壓成形在 COP 薄膜上之研究，並利用 AFM 探討不同製程參數與不同材質模仁對於微流體晶片表面粗糙度的影響對成品品質影響。此外本研究以於蘇打玻璃基材(soda glass)上製作微流道，寬度為 100 $\mu\text{m}$ ，深度為 60-140 $\mu\text{m}$  微流道。本研究以直徑 30 $\mu\text{m}$  之氧化鋁( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )為微細磨料粒子，對於不同因子(磨料噴射壓力、噴嘴/基材距離、屏罩材料等)之製程參數，使用單一變數法尋找製作微流道之最佳化製程參數。

實驗結果顯示，在微熱壓實驗中，影響粗糙度最重要的製程參數為脫模溫度；於微細磨料噴射加工中微流道之深度隨著磨料噴射壓力增大而增加，而微流道之深度隨著噴嘴/基材距離增加而減少。本研究以微細磨料噴射加工所製作之微流道僅需 50 秒左右，而傳統以半導體蝕刻約需幾天，在時效上較為快速。

**關鍵詞：**微熱壓成形，微細磨料噴射加工，表面粗糙度，微流道，單一變數法。

### 1. 前言

近年來精密製造技術的蓬勃發展，微機電技術應用在製作奈微米尺寸之奈微機電元件技術亦不斷推陳出新，其基礎及應用更涵蓋了工程、科學和生物醫學等領域。

微機電元件技術，與傳統的積體電路結構相比，微機電元件結構特徵有下列幾種形式(1)：(a)三維微結構 (b)高深寬比 (c)可動性結構 (d)多元性材料。

微結構(microstructure)被定義為一精密元件，如：微鏡片、微噴嘴、微探針和微流道等，需與其他元件配合而具功能性者。微成形(Micro Molding)是屬於微系統技術之一支，因為目前產品尺寸及精度接近奈米，所以一般將微成形又分為微射

出成形(Micro Injection Molding)、微射出壓縮成形(Micro Injection-Compression Molding)和熱壓成形(Hot Embossing Molding)。近年來，配合著相關產業的提昇發展，如 3C 產品 (Computer, Consumer, Communication) 等，已深受重視，相對於產品輕、薄、短、小的發展趨勢，預估微成形技術亦將蓬勃發展。然而相關的產品設計、機台設計、模具設計、成形參數的控制及其對產品精度影響之技術尚未有深入的研究，各國研究仍屬於萌芽時期。Yu et. al.(2)使用不同製程製作模仁(CNC，環氧樹脂光阻，光顯影，電鑄鎳模)，不同塑膠材料(PMMA, PC)，利用微成形技術來探討 5 $\mu\text{m}$  至數百  $\mu\text{m}$

之微結構之應用；結果顯示使用鎳模仁有較佳之轉寫性及成形時易脫模。Yu Chuan(3)利用濕蝕刻在矽晶圓上蝕刻出金字塔形微結構，且利用微射出成形製程探討不同模具溫度對於微結構轉寫高度的影響。

而微細磨料噴射加工是利用混有微細磨料或粉末的高壓氣體，使之形成高速噴射流，通過專門設計的噴嘴射向工件，依靠磨粒的高速衝擊而實現對工件表面的清理，材料去除或修飾性加工的一種方法。它不屬於大量去除材料的加工方法，屬於精細、微細加工方法，主要用於去毛刺、清理表面、刻蝕等。也適用於解決一些結構特殊、形狀複雜和尺寸微小零件的加工問題。20世紀90年代中期，噴砂工藝被用來加工大面積平板顯示器。Solignac 等人(4)運用微細磨料噴射加工於玻璃微晶片之製造。其用蘇打玻璃和pyrex玻璃為基材製作寬度為 $100\mu\text{m}$ 深度為 $30\mu\text{m}$ 之微流道，且其表面粗糙度為 $8-10\mu\text{m}$ 。Yagy 等人(5)以不同的屏罩材料來探討微細磨料噴射加工於玻璃微流體晶片微流道之製造。其使用粒子材料為SiC，直徑為 $20\mu\text{m}$ ，並且變化不同屏罩溫度。結果顯示在相同屏罩材料下，屏罩溫度增加，所製作之微流道寬度減少，但微流道之寬度比增加。

本研究主要為微溝槽成形實驗研究及探討，圖一為本研究結構設計圖；在模仁部分，首先針對微溝槽，利用LIGA-LIKE製程，如圖3所示，使用UV光微影，得到所需的微溝槽，再將此矽基材母模經由電鑄技術鍍上鎳、銅、鎳-鈷之不同金屬層，成形金屬模仁最後使用本實驗室擁有的微熱壓成形機(Jenoptik hex01)進行微熱壓成形的研究，並利用AFM探討不同製程參數與不同材質的模仁對於微流體晶片表面粗糙度的影響。並

另行以磨料噴射加工以蘇打玻璃為基材，於其表面塗佈一層屏罩，接著使用微細磨料噴射加工製作微流體晶片之微流道，針對不同製程參數來探討微流道之寬度，深度及表面粗糙度，並尋求製程最佳化。討論於不同模仁及不同製程之關係及比較。

## 2. 實驗方法

### 2.1 金屬模仁製作

微熱壓成形模仁製作方式，分為兩大部分，矽基模仁製程方面首先是將矽晶圓經過清洗後，經由曝光顯影定義微結構圖形，接著利用ICP感應耦合電漿反應離子蝕刻，蝕刻至所需深度，最後去除光阻，即可得到母模板。

電鑄模仁部分則利用UV-LIGA製程進行，首先在矽晶圓上利用光阻塗佈機在矽晶圓上塗佈一層SU-8負光阻，接著進行曝光動作，而曝光顯影的基本製程是由光阻劑塗佈、曝光及顯影三大步驟所構成的，曝光顯影的方法是將微流道結構的圖形製作在光罩上，然後將光罩上的圖形利用UV光照射與顯影過程，使塗佈SU-8負光阻，呈現與光罩上相同圖形之結構，經由顯影後，可以得到完整的圖形，最後利用熱蒸鍍方法鍍上一層電鑄導電層金，利用微電鑄技術，製作出不同材質的模仁如：鎳、銅等，實驗中基材所使用為P形 $\langle 100 \rangle$  4吋矽晶圓，厚度約為 $525\mu\text{m} \sim 550\mu\text{m}$ 。

在微奈米尺度裡，微光學元件與微生醫元件其表面粗糙度將會影響其應用性，光學元件產品可能會因其表面粗糙度之差異，而造成其光學性質有所不同，然而在微生醫產品，微流道進行相關流動時，檢測樣品必須在微流道中流動，表面粗糙度的差異性，會造成檢測樣品流動的難易，所以好的表面粗糙度在微機電元件中是非常重要的。

為了探討不同製程參數與不同材質

模仁對微流體晶片表面粗糙度的影響，本實驗使用單一參數法來探討製程參數的變動對於微流體晶片表面粗糙度的影響程度，如表 1 所示，表中灰色部份為固定的參數，每次僅變動一個參數來探討製程參數變動對微流體晶片表面粗糙度的影響。

## 2.2 磨料噴射微流道製作

實驗以經過曝光顯影之蘇打玻璃做為基材，在蘇打玻璃上留有厚度  $50\mu\text{m}$  的 SU-8 負光阻，再在工件表面塗覆一層高分子彈性材料(PDMS)作為遮蔽，以高速氣流中微細的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  磨料粒子(粒子大小約為  $30\mu\text{m}$ )，如圖 3 所示，噴撞工件表面(工件材質需為硬、脆性材料，例如玻璃)，用以切除工件材料做出微流道，本文所製作之微流道之流程如圖 4。而磨料噴射加工示意圖如圖 5。本研究實驗最主要考慮的參數為磨料射出壓力及時間、噴嘴/基材間距，為了了解所有參數對成品之影響，參數設定組合及數值，數值如表 2 所示。而本實驗之所以選用此方法，是因為不會產生熱應力，加工速度又比傳統曝光顯影快，可節省加工時間，又不會產生熱變形，又在常溫下加工，加工製程是精密的，也可避免因振動和熱而損害到精密材料。

## 3. 結果與討論

### 3.1 金屬模仁量測

在矽模仁幾何形狀量測則包括利用表面輪廓儀量測微流道的高度和利用原子力顯微鏡量測模仁的表面粗糙度，在外形輪廓部分則光學顯微鏡進行微結構的表面形貌觀察。在微結構高度量測，利用 Alpha-Step 500 表面輪廓儀量測矽模仁之微流道高度，以便在微熱壓成形之進行轉寫性實驗，矽模仁之微流道平均高度為  $20.55\mu\text{m}$ ，外型輪廓及高度如圖 6、7 所

示。在微流道表面粗糙度量測，圖 8 為矽模仁之表面粗糙度值，粗糙度平均值約為  $49.52\text{nm}$ 。

電鑄模仁之微流道高度量測結果，平均高度鎳模仁為  $50.92\mu\text{m}$ 、銅模仁為  $64.93\mu\text{m}$ 、鎳-鈷合金模仁為  $47.05\mu\text{m}$ 。其外型輪廓與高度如圖 9、圖 12、圖 15 所示。而微結構表面形貌觀察，圖 10、圖 13、圖 16 則為鎳、銅、鎳-鈷模仁微流道之表面形貌圖。微流道表面粗糙度量測，圖 11 圖 14、圖 17 則為微電鑄模仁(鎳、銅、鎳-鈷)之表面粗糙度值，其粗糙度平均值約為  $6.124\text{nm}$ 、 $1.358\text{nm}$ 、 $0.526\text{nm}$  等，由此可得知，電鑄出來的微流道其表面粗糙度良好。

圖 18 為矽模仁之微熱壓成形成品利用 AFM 量測所的 3D 表面形貌與表面粗糙度 Ra 值，而表 3 為矽模仁之微熱壓成形成品之表面粗糙度於單一參數法的量測結果，由表中可以得知隨著壓印溫度、壓印壓力和壓印時間的提高，微流道表面的粗糙度 Ra 值跟著升高，而冷卻溫度的降低有助於減小成品的表面粗糙度。在製程參數中影響微流體晶片表面粗糙度最重要的參數依次為脫模溫度、壓印壓力、壓印溫度，最後是壓印時間。

圖 19 為鎳模仁之微熱壓成形成品利用 AFM 量測所的 3D 表面形貌與表面粗糙度 Ra 值，而表 4 為鎳模仁之微熱壓成形成品之表面粗糙度於單一參數法的量測結果，由表中可以得知脫模溫度的變化，對於微流體晶片表面粗糙度影響最大，其次依序為壓印壓力、壓印溫度，影響最小則為壓印時間。

圖 20 為銅模仁之微熱壓成形成品利用 AFM 量測所的 3D 表面形貌與表面粗糙度 Ra 值，而表 5 為銅模仁之微熱壓成形成品之表面粗糙度於單一參數法的量測結果，由表中可以得知隨著溫度、壓力

和時間的提高，微流道表面的粗糙度 Ra 值跟著些許升高，而冷卻溫度的降低有助於減小成品的表面粗糙度。在製程參數中影響微流體晶片表面粗糙度最重要的參數依次為脫模溫度、壓印壓力、壓印溫度，影響最小為壓印時間。

圖 21 為鎳-鈷模仁之微熱壓成形成品利用 AFM 量測所的 3D 表面形貌與表面粗糙度 Ra 值，而表 6 為鎳-鈷模仁之微熱壓成形成品之表面粗糙度於單一參數法的量測結果，由表中可以得知與矽、鎳、銅模仁的結果趨勢一樣，隨著各個製程參數值加大，其表面粗糙度值也跟著升高，而以脫模溫度為影響表面粗糙度最重要的製程參數，原因可能為在脫模時候，較高的脫模溫度，其材料還屬較軟的特性，脫模時候與模仁微結構容易造成損傷。其次依序為壓印壓力、壓印溫度，影響最小為壓印時間。

### 3.2 磨料噴射製作

圖 22 為磨料噴射壓力 0.4bar、空氣射出壓力 1bar、噴嘴與基材夾角 90 度、噴嘴與基材距離 1cm、磨料噴射時間 50 秒之下所得微流道圖。結果顯示所得深度為 71.58 $\mu\text{m}$ ，寬度為 400 $\mu\text{m}$ ，表面粗糙度為 5.8537 $\mu\text{m}$ ；從 OM 圖可得微流道之輪廓不錯。

圖 23 為磨料噴射壓力 0.6 bar、空氣射出壓力 1bar、噴嘴與基材夾角 90 度、噴嘴與基材距離 1cm、磨料噴射時間 50 秒之下所得微流道圖。所得結果為深度為 85.54 $\mu\text{m}$ ，寬度為 350 $\mu\text{m}$ ，表面粗糙度為 5.0434 $\mu\text{m}$ ；OM 圖顯示微流道之輪廓尚佳。

表 7 為不同製程參數下所得微流道之深度。結果顯示在噴嘴與基材夾角、距離、時間等參數不變下，微流道之深度隨著磨料噴射壓力越大而越深。而在磨料噴射壓力、噴嘴與基材夾角、時間等參數不

變下，微流道之深度隨著距離變長而減少。

### 4. 結論

本研究以單一參數法針對微熱壓成形之微流體晶片表面粗糙度做研究，在不同材質模仁中，影響表面粗糙度最重要的製程參數皆為脫模溫度，其次才為壓印壓力、壓印溫度與壓印時間，脫模溫度的高低影響粗糙度最鉅，較高的脫模溫度會造成成品的表面粗糙度不佳，然而較低的脫模溫度則會使冷卻時間增長，影響整個製程時間的長短，不符合成本。

微細磨料噴射加工來製作玻璃微流體晶片之微流道，並以屏罩方式來確保製作精度。本研究所得之微流道表面粗糙度約為 5-6 $\mu\text{m}$ ，比較之下曝光顯影製程表面粗糙度較佳。微流道之深度隨著磨料噴射壓力增大而增加，而微流道之深度隨著噴嘴/基材距離增加而減少。本研究製成之微流道僅需 50 秒左右，而傳統以半導體蝕刻約需幾天，在時效上較為快速。

### 參考文獻

1. 丁志明、方維倫等，*微機電系統技術與應用*，行政院國家科學委員會精密儀器發展中心出版 (2004)。
2. L. Yu, C. G. Koh, L. J. Lee, K. W. Koelling and M. J. Madou, "Experimental Investigation and Numerical Simulation of Injection Molding With Micro-Features", *Polymer Engineering and Science*, Vol.42, No.5, pp.871-888 (2002).
3. Y. C. Su, J. Shah and L. Lin, "Implementation and Analysis of Polymeric Microstructure Replication by Micro Injection Molding", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.14, pp.415-422 (2004).
4. D. Solignac, A. Sayah, S. Constantin, R. Freitag, M. A. M. Gijs, "powder blasting for the realization of microchips for bio-analytic applications", *Sensors and*

- Actuators.A*, Vol.92, pp.388-393, (2001).
5. H. Yagyu, S. Hayashi and O. Tabata,  
“Application of nanoparticles dispersed  
polymer to micropowder blasting mask”,  
*J. Microelectromechanical Systems*,  
Vol.13, NO.1, pp.1-6, (2004).

表 1 微熱壓成形單一參數因子水準表

因子 實驗	壓印溫度 (°C)	壓印壓力 (MPa)	壓印時間 (Sec)	脫模溫度 (°C)
1	170	1.875	60	40
2	180	2.5	90	60
3	190	3.125	120	80

表 2 製程參數表

物 理 參 數	原理	高速氣體—磨料噴射流
	介質	空氣
	空氣壓力	1bar
	磨料噴射壓力	0.35~0.6bar
	磨粒	30µm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	噴嘴材質	碳化鎢
	噴嘴/基材距離	0.5~2.5cm

表 3 矽模仁於微熱壓成形影響微流體晶片粗糙度反應表

製程參數	壓印溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)	壓印壓力 (MPa)	表面粗糙度 (nm)	壓印時間 (s)	表面粗糙度 (nm)	脫模溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)
1	170	59.23	1.875	58.33	60	60.28	40	56.25
2	180	61.19	2.5	60.45	90	61.69	60	61.24
3	190	63.28	3.125	64.89	120	62.12	80	66.31
差值		4.05		6.56		1.84		10.06
Rank		3		2		4		1

表 4 鎳模仁於微熱壓成形影響微流體晶片粗糙度反應表

製程參數	壓印溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)	壓印壓力 (MPa)	表面粗糙度 (nm)	壓印時間 (s)	表面粗糙度 (nm)	脫模溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)
1	170	6.583	1.875	6.758	60	7.437	40	6.322
2	180	7.832	2.5	7.831	90	7.869	60	7.834
3	190	8.337	3.125	8.937	120	8.298	80	9.236
差值		1.754		2.179		0.861		2.914
Rank		3		2		4		1

表 5 銅模仁於微熱壓成形影響微流體晶片粗糙度反應表

製程參數	壓印溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)	壓印壓力 (MPa)	表面粗糙度 (nm)	壓印時間 (s)	表面粗糙度 (nm)	脫模溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)
1	170	2.896	1.875	2.536	60	3.456	40	2.315
2	180	3.538	2.5	3.548	90	3.641	60	3.657
3	190	3.936	3.125	4.135	120	3.865	80	4.857
差值		1.04		1.599		0.409		2.542
Rank		3		2		4		1

表 6 鎳-鈷模仁於微熱壓成形影響微流體晶片粗糙度反應表

製程參數	壓印溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)	壓印壓力 (MPa)	表面粗糙度 (nm)	壓印時間 (s)	表面粗糙度 (nm)	脫模溫度 (°C)	表面粗糙度 (nm)
1	170	1.231	1.875	1.036	60	1.569	40	0.858
2	180	1.896	2.5	1.824	90	1.796	60	1.831
3	190	1.964	3.125	2.126	120	1.832	80	2.316
差值		0.733		1.09		0.263		1.458
Rank		3		2		4		1

表 7 微流道深度表

項目 組別	磨料噴射壓力 (bar)	噴嘴與基材夾角 (deg)	噴嘴與基材距離 (cm)	時間 (sec)	深度 (µm)
1.	0.5	90	1	50	85.54
2.	0.35	90	1	50	71.58
3.	0.4	90	1.5	50	49.62
4.	0.4	90	2	50	43.97
5.	0.4	90	2.5	50	216.9
6.	0.6	90	2.5	50	68.35
7.	0.6	90	2	50	139.4
8.	0.6	90	0.5	50	109.8
9.	0.6	90	1	50	146.8
10.	0.6	90	1.5	50	146.8
11.	0.4	90	1	50	123.5
12.	0.6	90	1	50	137.0

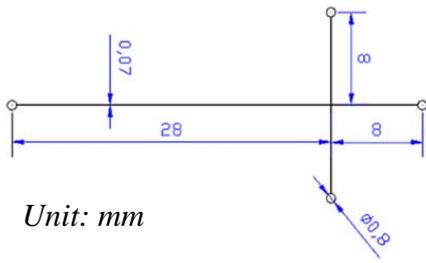


圖 1 微流道結構設計圖

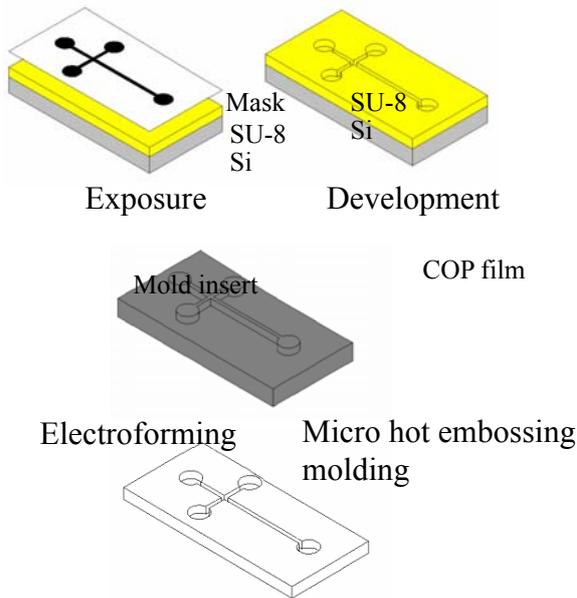


圖 2 電鑄模仁製作及微熱壓流程圖

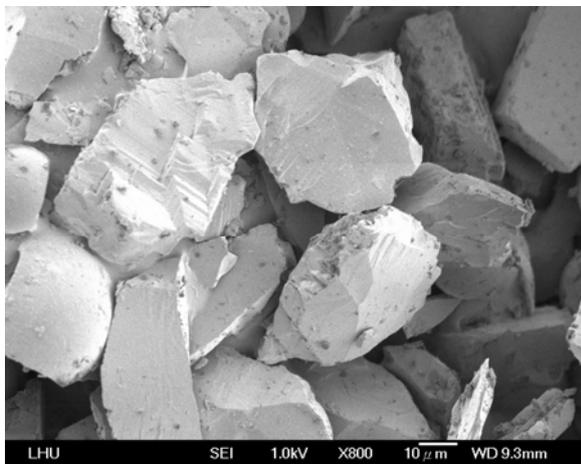


圖 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 磨料(直徑 30μm)

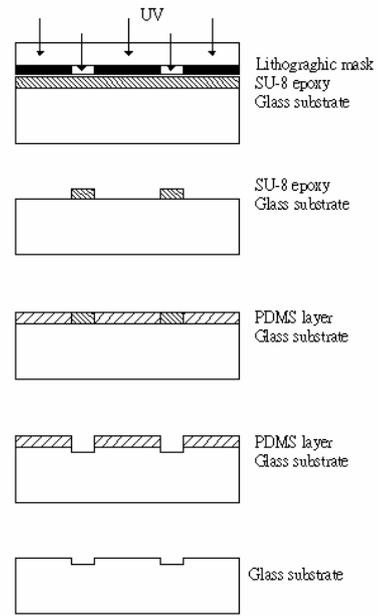


圖 4 微流道製作之流程

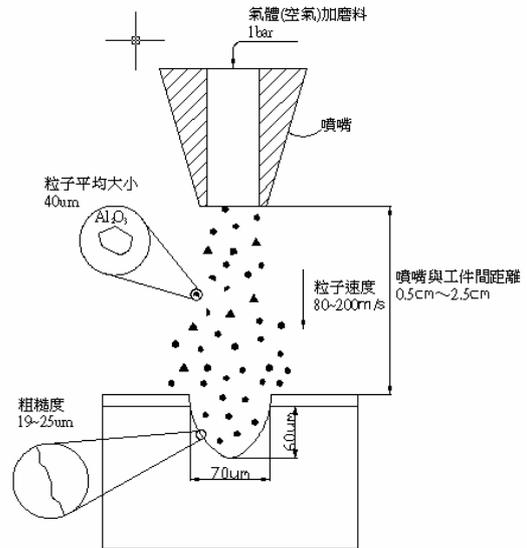


圖 5 微細磨料噴射加工示意圖

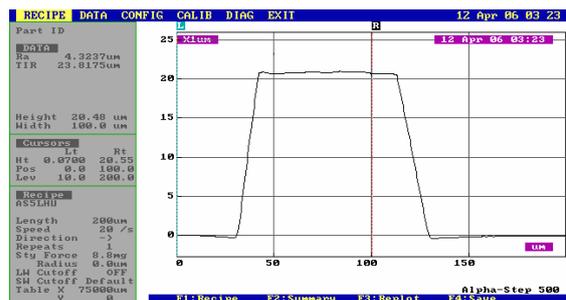


圖 6 砂模仁高度量測

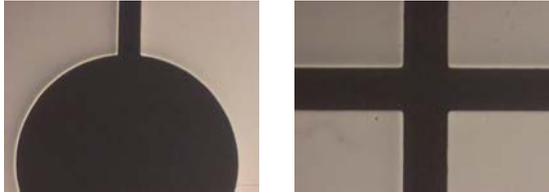


圖 7 砂模仁之表面形貌

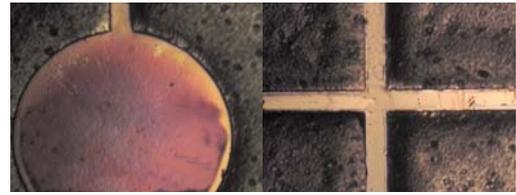


圖 13 銅模仁之表面形貌

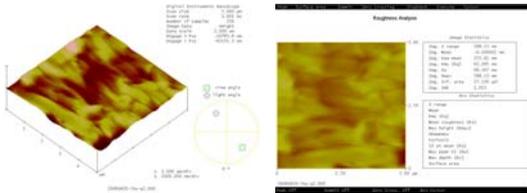


圖 8 砂模仁表面粗糙度

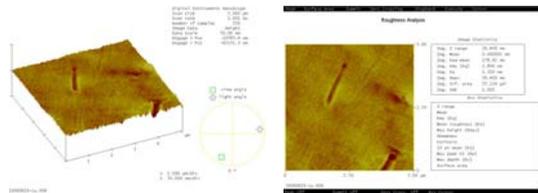


圖 14 銅模仁表面粗糙度

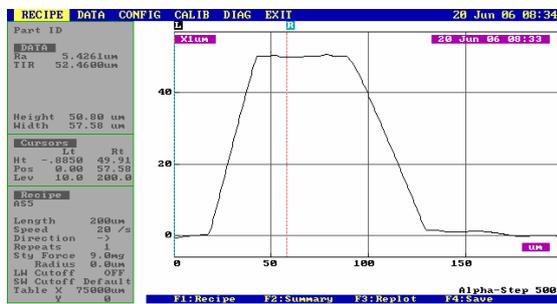


圖 9 鎳模仁高度量測



圖 15 鎳-鈷模仁高度量測



圖 10 鎳模仁之表面形貌



圖 16 鎳-鈷模仁之表面形貌

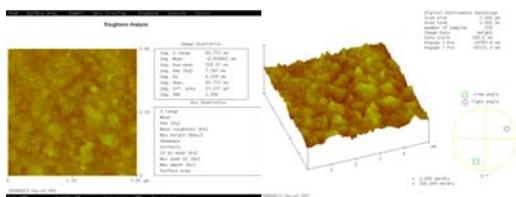


圖 11 鎳模仁表面粗糙度

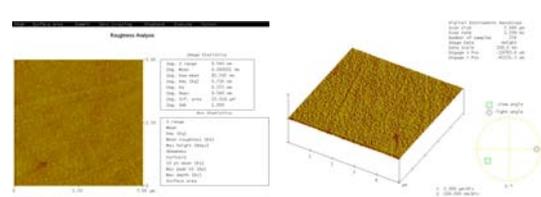


圖 17 鎳-鈷模仁表面粗糙度

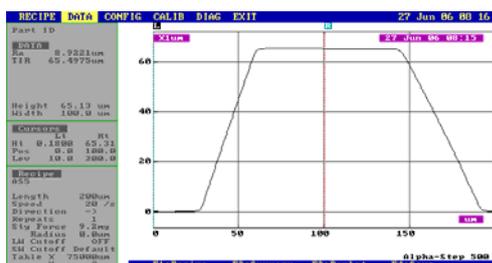


圖 12 銅模仁高度量測

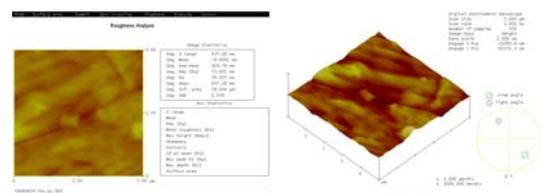


圖 18 砂模仁微熱壓成品表面粗糙度

以微流道為例探討不同製程方式之研究

噴嘴與基材夾角 90 度,磨料噴射時間 50s)

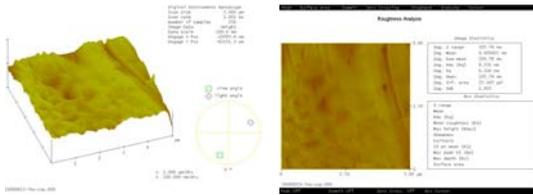


圖 19 鎳模仁微熱壓成品表面粗糙度

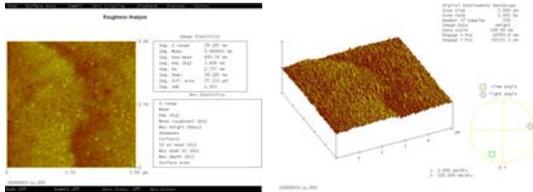


圖 20 銅模仁微熱壓成品表面粗糙度

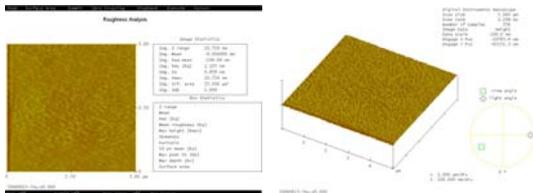
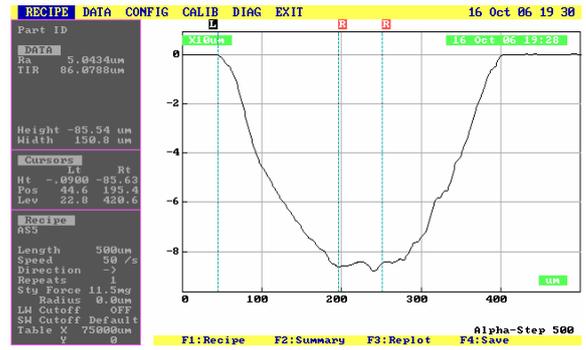
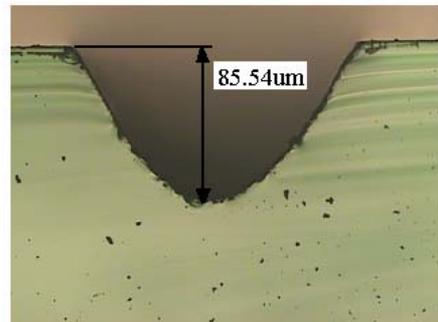


圖 21 鎳-鈷模仁微熱壓成品表面粗糙度

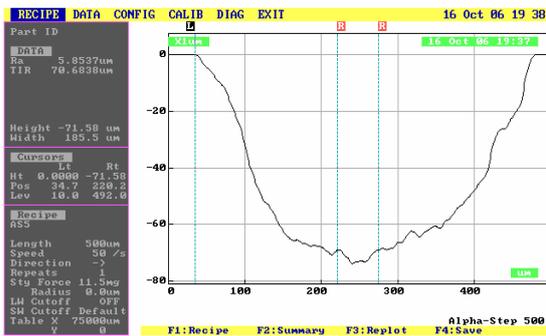


(A) 表面輪廓儀圖

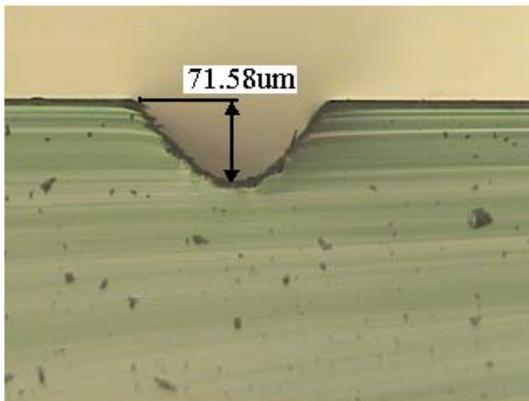


(B) OM 圖

圖 23 微流道剖面圖  
(磨料噴射壓力 0.6bar,噴嘴與基材距離 1cm, 噴嘴與基材夾角 90 度,磨料噴射時間 50s)



(A) 表面輪廓儀圖



(B) OM 圖

圖 22 微流道剖面圖

(磨料噴射壓力 0.4bar,噴嘴與基材距離 1cm,

## Study on Different Processing Methods for Microchannel Case

Yung-Kang Shen

Rong-Hong Hong

Department of Mechanical Engineering, LungHwa University of  
Science and Technology

### Abstract

This study uses the micro channel as example to discuss the different materials of mold insert by hot embossing molding and uses the powder blasting to fabrication. For the mold insert, firstly, this study uses the SU-8 photoresist to coat on the silicon wafer, then uses the UV light to expose the pattern on the surface of SU-8 photoresist, and uses the thermal evaporation to coat the seed layer on SU-8 structure. This study combines the micro electroforming technology to fabricate the mold inserts (Ni, Cu, Ni-Co). Finally, this study uses the micro-hot embossing molding to replicate the micro structure from the metal mold insert. This study uses AFM to measure the surface roughness of micro channel. The de-molding temperature is most important parameter for surface roughness. In addition, the contribution is based on soda glass, and fabricating micro channel by powder blasting. The micro channel width is 100 $\mu$ m, the depth is 60-140 $\mu$ m. We using 30 $\mu$ m diameter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle on powder blasting. The paper uses the singular method to discuss different processing parameters (injection pressure, nozzle/base distance, mask material) for the properties of micro channel.

The paper use to discuss the properties of the de-molding temperature is most important parameter for surface roughness. In the powder blasting, the channel depth increases as injection pressure increases, and follow on nozzle/ base distance increase to cut down. It only waste approximately 50seconds by using the powder blasting fabrication micro channel faster than using by traditional microelectromechanical systems.

**Keywords:** Micro hot embossing, micro powder blasting, surface roughness, micro channel, singular method.