

# 薄膜式微結構之金屬轉印模具開發

## Development of Membrane-Typed Metal Mould with Microstructures for Imprinting

湯喻翔、楊智仲、林郁欣、胡一君

Yu-Hsiang Tang, Jr-Jung Yang, Yu-Hsin Lin, Yi-Chiuen Hu

本文主要介紹薄膜式微結構之金屬轉印模具開發，其具有可重複使用、更換模仁容易、成本低等優點，可協助廠商進行微結構批量生產，以提升產業利用價值。本研究結合黃光微影、電鑄及研磨等三項製程技術，成功開發出薄膜式微圓柱結構之金屬模仁。本金屬模仁利用精密電鑄技術，由鎳鈷合金沉積於光阻模板中，經脫模後黏貼於平板所構成，其具有良好之硬度、強度與韌度特性，足以承受重複使用所需之結構強度，可大幅提升薄膜式金屬模具之耐用性。此外，本研究也藉由滾輪輔助的貼片機制，使模座與薄膜式鎳鈷模仁兩者界面間具有較佳之緊密性與平整性。

In this paper, we focus on the development of membrane-typed metal mould with microstructures for imprinting. This mould has several benefits including reusable, easy replaceable core, and low cost that strongly improves industrial values in microstructure mass production. Photolithography, electroforming, and grinding techniques have been integrated in order to develop the membrane-typed metal mould in this research. It has been proven that the metal mould of micro pillars could be successfully fabricated. This metal mould was fabricated by precision electroforming technology that Ni-Co alloy was deposited on a photoresist mould, and further peeled off to attach onto a level mould. The hardness, stiffness and toughness of the Ni-Co alloy material core structure were sufficient and strong enough for reusable duration. The durability of this membrane-typed metal mould has been greatly enhanced. Furthermore, by applying roller assisted attaching mechanism, the interface between the mould and Ni-Co alloy core became more inseparable and flat.

### 一、前言

隨著科技的進步，產品不斷往輕、薄、短、小發展，故應用於大量生產各種微小零組件之精密模具，其需求亦日益增加。產品應用範圍更由光電、生醫及光通訊等高科技產品，延伸到需求量極大之 3C 消費性電子產品。由於製造技術必須朝向精密

化、細微化及高密度化發展，因而衍生出次世代產業需求之微機電系統 (micro electro-mechanical systems, MEMS) 技術。此技術可整合光、機、電、控制及化學等多重跨領域科技，將微感測器 ( $\mu$ -sensor)、微致動器 ( $\mu$ -actuator) 及微處理器 ( $\mu$ -processor) 等元件模組化於單一晶片 (chip) 上，提高微機電系統的應用性與附加價值。隨著 MEMS

元件的需求增加，製作精細零件的微加工技術亦蓬勃發展。欲大量生產各式微型零組件或微機電產品就必須仰賴微模具的開發，才能實現提高生產效率，並降低生產成本。

所謂微模具是為了量產微型結構或元件所開發之複製成形工具。依微型結構或元件的尺寸大小及加工精度，對微模具的精度要求將有所不同。微模具之規格可定義為<sup>(1)</sup>：(1) 體積小於 1 cm<sup>3</sup> 或外形尺寸 10 mm 以下者；(2) 特徵尺寸為數 μm 等級；(3) 尺寸精度為 ±1 μm - 10 μm。根據微模具的定義尺寸與精度，若以微機電 LIGA 製程為模具製作技術，則模具所複製之零組件特徵尺寸可從次微米至數百微米等級。若以超精密機械加工方式製作模具，則會採用較廣義之標準，其特徵尺寸可從數十微米到數個毫米等級，而微模具的精度要求則為次微米至數微米等級。隨著製造技術的精進，特徵尺寸將會隨著市場需求持續地向下修正，甚至是進入奈米等級，這個發展趨勢將令人無庸置疑<sup>(2)</sup>。

有別於傳統模具均以機械加工方式完成，微模具的製造方法則可利用半導體製程技術來實現，包括整合蝕刻加工及薄膜沉積的矽基微細加工技術、微光刻電鑄模造技術 (LIGA) 及微機械加工等三類技術，其加工技術比較如表 1 所示<sup>(3)</sup>。至於微模具之分類，若以微小元件之複製成形方式來區分，微模具大致可分成：(1) 熱壓成形 (hot embossing/pressing)<sup>(4)</sup>、(2) 微射出成形 (micro-injection)<sup>(5)</sup>、(3) 滾壓成形 (roller hot embossing)<sup>(6)</sup> 及 (4) 光聚合法成形 (UV-curing imprinting)<sup>(7)</sup> 等種類。

表 1. 各種微模具加工技術之比較。

	蝕刻技術	薄膜技術	LIGA 技術	微機械加工術
加工深度	500 μm	10 μm	500 μm	1 mm
材料	固定	固定	有限	廣泛
成本	低	中等	很高	低
IC 相容性	尚可	極佳	佳	差
工件大小	0.2 mm - μm	μm	0.2 mm - μm	mm - μm
深寬比	20 - 40	2 - 6	380	25
少量生產	尚可	差	差	佳
大量生產	極佳	極佳	佳	可能
組裝能力	低	尚可	低	佳
加工幾何形狀	2.5 D	2.5 D	3 D	3 D

本研究之目的為利用類 LIGA 製程技術，應用於薄膜式微結構之金屬模具開發。由於類 LIGA 製程技術可得到高精度的金屬模仁，對於高精密之微結構及微模具的成形，提供一個有效的解決方式。如此將使模具的製作方式，逐漸地從傳統機械加工進入微米 (μm) 及奈米 (nm) 精度之微加工製程，進而廣泛地應用於資訊、電子、生物、醫療、光電及通訊等產業，對於產業升級與日常生活品質的提升，均產生相當程度的影響。

在微模具製作的技術考量方面，主要目標為如何快速製作出厚度均勻且符合尺寸規格的模仁。本研究的重點在於提供一種利於量產的薄膜式微結構之轉印金屬模具，並使其具有硬度高、使用壽命長、相對低成本、可重複使用及可輕易更換模仁等優點。此薄膜式金屬模仁可同時適用於平板壓印或滾輪壓印，並且利用滾輪輔助黏貼方式，將薄膜式金屬模仁平整地結合於平板或滾輪模座上，製成微結構轉印用之金屬模具，其適用於大量生產，具提升產業利用價值之功效。

## 二、微模具加工方式

製造微模具所需之加工技術，目前大多以非傳統加工方式進行，如表 2 所示<sup>(8)</sup>，以下做簡單說明。

### 1. 類 LIGA 製程

LIGA 為德文中 Lithographie、Galvanoformung、

微 模 具 加 工 方 式	LIGA 技術	X 光深光刻術	精密電鑄技術	微成形技術	
	LIGA-like 技術	紫外光厚膜光阻微影 準分子雷射微加工 感應耦合電漿離子蝕刻 電子束光刻術	· 純金屬電鑄 · 合金電鑄 · 複合電鑄	· 塑膠微結構成形 熱壓成形 射出成形 滾壓成形 紫外線硬化法 · 陶瓷微結構成形 粉末射出成形 帶板鑄造	
	微機械加工	切削加工	微切削加工 微鑽孔加工 微銑削加工 微輪磨加工		
		非切削加工	微電鍍成形 微壓模成形 微射出成形 微沖壓成形		
		特殊加工	微放電加工 雷射、離子束及電子束微加工 超音波微加工 原子力顯微加工術		
	高分子微加工技術	微雷射光合高分子成形 (microstereolithography, $\mu$ SL) 軟式微影技術 (soft lithography) 微接觸印刷術 (microcontact printing, $\mu$ CP) 毛細管微成形 (micromolding in capillaries, MIMIC) 微轉印成形 (microtransfer molding, $\mu$ TM) 複製成形 (replica molding, REM)			
其他低溫製程 技術與材料	聚對二甲苯 (parylene) 明膠 (gelatin) 蛋白質 鐵氟龍 (Teflon) 矽膠 (silicone)				

表 2.  
微模具製造技術分類表。

Abformung 等三字的字首縮寫，分別代表光刻 (lithography)、電鑄 (electroforming) 和模造 (molding) 技術，其製程流程如圖 1 所示<sup>(9)</sup>。標準 LIGA 製程使用波長 0.2–0.6 nm 之同步輻射 X 光 (synchrotron radiation X-ray)<sup>(10)</sup>，進行深光刻微影 (deep lithography)。此種光源波長短、功率大、穿透力佳，且繞射現象小，其光刻之結構尺寸、深度、精度、表面粗糙度乃至於深寬比，皆可達到過去微機械加工所無法達到的境界。經過 X 光深光刻所形成的高深寬比光阻母模，進行後續純金屬、合金或複合電鑄 (electroforming) 製程，將可製造出金屬結構或微型模具，最後再利用此金屬微模具進行高分子、樹脂或陶瓷材料之複製成形。

電鑄技術乃利用傳統電鍍 (electroplating) 原

理，將陽極所欲鍍之金屬沉積於陰極母模內，經去除母模材料後，即可得到與母模圖案互補之金屬微結構或模仁。經由電鑄所產生的微結構，主要是強調其實用性與機能性，因此微結構的硬度、拉伸強度、粗糙度、導電性或導熱性等機械特性特別受到重視。但由於電鑄層較厚，故容易有內應力、變形、針孔及厚度均勻性等問題產生，所以必須克服這些問題及缺陷。模造技術是以電鑄後之金屬模仁為模具，進行模仁複製之量產程序，包括射出成形與熱壓印成形等，以達到大量生產、節省時間與成本的目的。

由於同步輻射光源為一龐大且昂貴的設備，且 X 光光刻所需的光罩 (photomask) 製程較為複雜，故以同步輻射 X 光為光源之微影製程，價格極為

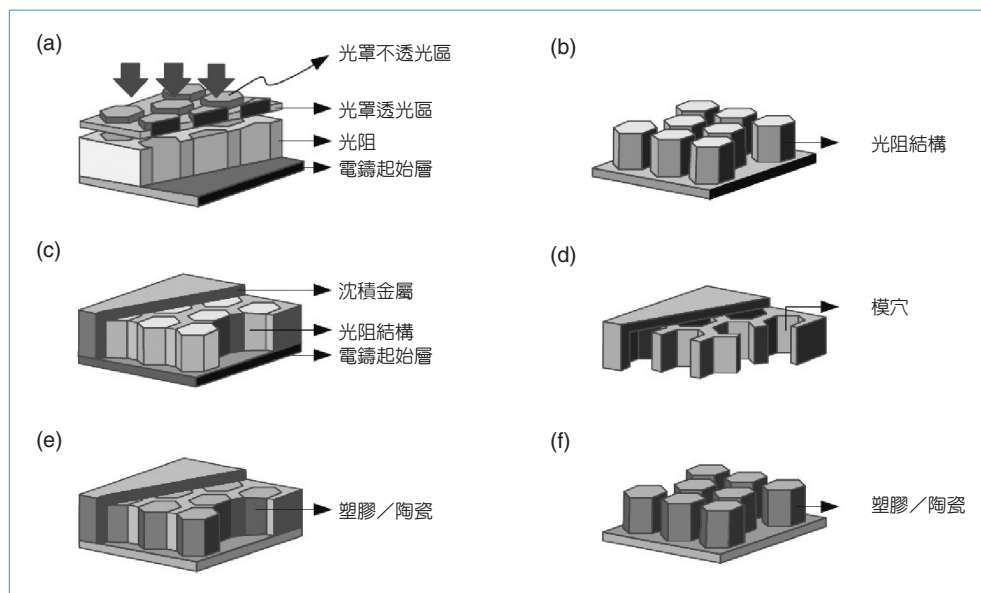


圖 1. LIGA 製程示意圖。(a) 光刻，(b) 顯影，(c) 電鑄，(d) 金屬模仁，(e) 模造及 (f) 脫模。

昂貴，且需要較長之製程時間，因此利用替代性光源進行類 LIGA (LIGA like) 製程已是不可避免的趨勢。主要的替代性光刻法有配合厚膜光阻之紫外光微影 (UV lithography)<sup>(11-12)</sup>、準分子雷射微加工 (excimer laser micromachining)<sup>(13-15)</sup> 及感應耦合電漿離子蝕刻 (inductively coupled plasma-reactive ion etching, ICP-RIE)<sup>(16-18)</sup> 等。這些替代性光源的成本雖遠低於同步輻射光源，但是精密度也由 X 光深光刻術的次微米精度降至微米左右，同時光刻深度及深寬比也相對降低。然而，這些類 LIGA 製程的光源設備所占空間小，價格便宜許多，且在光源設備的改良與新型光阻材料的開發下，亦可獲得令人滿意的加工品質，故仍具有競爭優勢。

## 2. 微機械加工

微機械加工是利用微切削<sup>(19)</sup>、微銑削<sup>(20)</sup>、微輪磨<sup>(21)</sup>、微放電<sup>(22)</sup>、雷射<sup>(23)</sup>及超音波<sup>(24)</sup>等特殊加工方式，再結合微電鑄<sup>(25)</sup>、微成形<sup>(26)</sup>及電解研磨<sup>(27)</sup>等製程技術，製作並組裝數十微米至數毫米尺寸之三維微機械元件。因微加工技術的精度為微米等級，所以可以克服傳統機械加工在小尺寸製造上的缺點。微機械加工技術可針對金屬、玻璃、陶瓷或高分子材料來進行加工，製作複雜且精密的零組件。微機械加工在組裝上的可能性，無論固定件或可動件，都比 LIGA 技術來得佳，但其與半導體製

程相容性較差，零組件必須個別加工，且製造速度慢，故不利於大量生產。然而此加工方式極適合應用於三維微型模具之開發，如此便可克服量產問題。

## 3. 超精密加工技術

超精密加工技術 (ultra-precision machining technology) 是追求形狀精度 (form accuracy)、表面粗糙度 (surface roughness) 與尺寸精度的技術。隨著加工機具的開發與電腦控制技術的進步，加工精度也隨之精進。所謂「超精密加工技術」是利用當時最好機具與技藝所能達到之最佳精度技術<sup>(28)</sup>，其最大功能就是產生高光度的鏡面，而其在材料多樣化、複雜形狀加工及大量生產也具有相當優勢，不但可產生高深寬比的三維結構，且製程相對單純。近幾年來超精密加工技術已具有高加工精度能力，目前利用超精密鑽石車削與輪磨技術，形狀精度與表面粗糙度分別可以達到  $0.1 \mu\text{m}$  與  $5 \text{ nm}$  以內，可逐漸取代以往的加工技術<sup>(29)</sup>，擴大其在微結構元件之應用範圍，如高精度光學元件、高精密射出或模造用模具等。此外，由於光電、光通訊、半導體及精密機械等工業之快速發展，對此類高精度之特殊形狀工件的需求量也日益增加。近來由於市場上對各式光電元件之需求量大增，更帶動了以超精密鑽石車削製造大尺寸 V 溝滾筒模具 (roller)，

及製造各式微透鏡陣列結構 (micro-lens array) 所用之微模具<sup>(2)</sup>。

#### 4. 其他加工方式

最後，由於微機電製程技術中的複雜性及成本考量，或因應低溫製程與一些特殊材料的要求，遂發展出一些特有的加工技術，其中應用於高分子材料加工的技術，包括微雷射光合高分子成形 (microstereolithography,  $\mu$ SL)<sup>(30)</sup>，以及微接觸印刷 (microcontact printing,  $\mu$ CP)、毛細管微成形 (micromolding in capillaries, MIMIC)、微轉印成形 (microtransfer molding,  $\mu$ TM)、複製成形 (replica molding, REM) 等四種軟式微影技術 (soft lithography)<sup>(31-34)</sup>。非矽低溫製程技術之目的，是為了因應聚對二甲苯 (parylene)、明膠 (gelatin) 蛋白質、鐵氟龍 (teflon) 及矽膠等材料<sup>(35-38)</sup>，應用於微型生物檢測元件的製造所發展出之低溫製程技術。

### 三、微模具複製成形方式

微成形 (micro molding) 技術泛指利用模具 (mold) 進行創形或複製，來進行微結構的量產。實際上，必須依據成形對象的材料種類、尺寸與形狀上的特徵，採用適當的成形方法，才能以最經濟的成本，獲得品質符合要求的微成形產品。

目前的成形技術大致可分成：(1) 熱壓成形 (hot embossing/pressing)、(2) 微射出成形 (micro-injection)、(3) 滾壓成形 (roller hot embossing)，以及 (4) 光聚合法成形 (UV-curing imprinting)。圖 2 顯示滾壓成形示意圖，表面金屬微結構模仁與滾輪模座貼合，而成為具量產性之模具成形方法，其必須先製作一厚度均勻的薄層 ( $< 100 \mu\text{m}$ ) 金屬微結構模仁，再將其環繞並固定至滾輪模座，以完成模具。塑膠薄片在穿過相對旋轉的平行滾軸間之隙時，受到高溫滾軸的瞬間加熱而使表面軟化，利用滾壓施力的方式，將金屬模仁的微結構轉印至塑膠薄片。相較於其他複製成形技術，滾壓成形具有可進行大面積之快速連續生產，進而實現批量生產之目的。

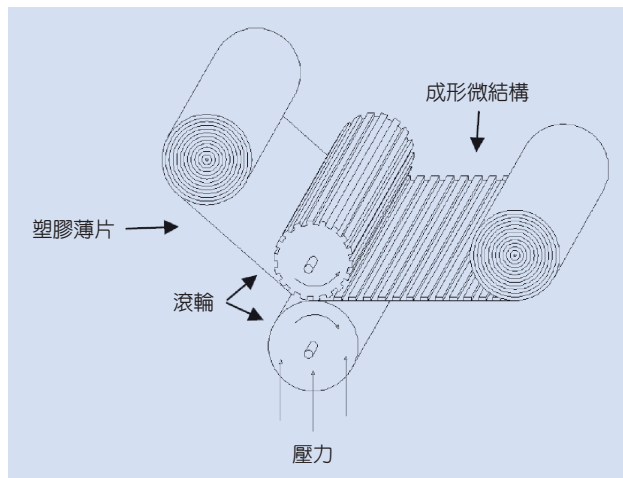


圖 2. 滾壓成形示意圖。

### 四、薄膜式金屬模具之製程技術

#### 1. 薄膜式金屬模具之製作流程

本研究利用類 LIGA 製程技術，開發薄膜式微結構之金屬轉印模具。首先在矽晶圓基板上，電鑄一層厚度  $10 \mu\text{m}$  之鎳鈷薄膜作為模仁起始層 (即為模仁基板)，後續之鎳鈷微結構即由此起始層開始成長，可提升微結構與起始層間的結合性。這層金屬薄膜需考量厚度均勻性，必須控制在  $10 \pm 1 \mu\text{m}$  以內，接著用光阻製作厚度為  $55-60 \mu\text{m}$ 、直徑為  $100 \mu\text{m}$  及間距  $500 \mu\text{m}$  的圓柱結構，再電鑄厚度為  $50-55 \mu\text{m}$  的鎳鈷金屬結構。電鑄完成後，因電流密度不均勻的影響，造成晶片中間與邊緣會有厚度高低差，所以須進行模仁的平整度研磨。研磨參數包括研磨料 (SiC) 粒徑、濃度、轉速及速率等，使模仁整體厚度的均勻性達到最佳化。接著，再將該薄膜微結構金屬模仁與雙面膠膜黏貼，並固定至平板或滾輪模座上以完成模具製作，然後進行微結構表面均勻度量測，並且做初步實驗的觀察與缺陷探討，詳細之實驗流程如圖 3 所示。

#### 2. 實驗製程規劃

本實驗以製作薄膜式微結構之金屬轉印模具為主要目的，可作為手機導光板模具之應用，金屬模仁圖形為圓柱狀結構。製程所需規格為金屬模仁起始層厚度  $10 \mu\text{m}$ 、圓柱直徑  $100 \mu\text{m}$ 、高度  $50 \mu\text{m}$

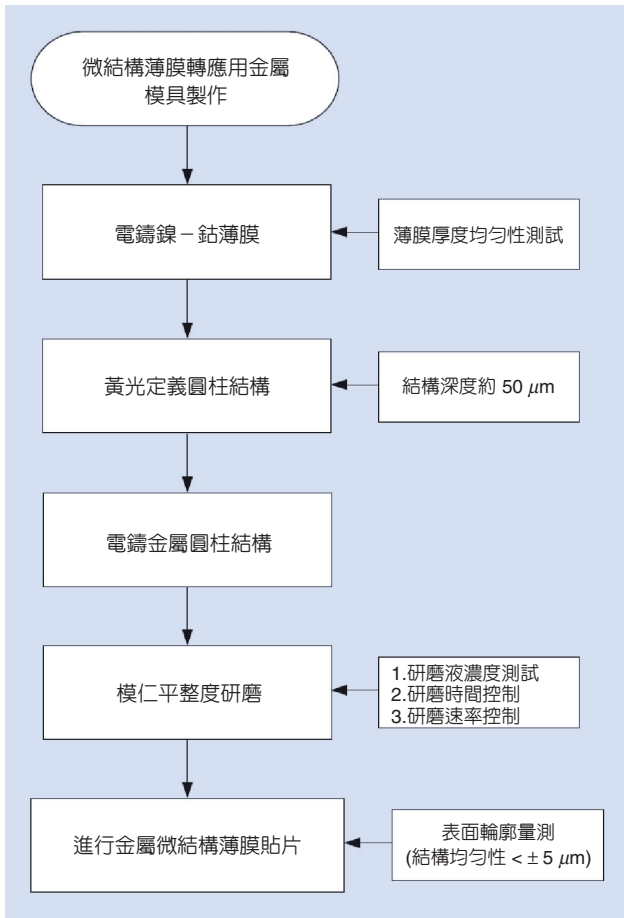
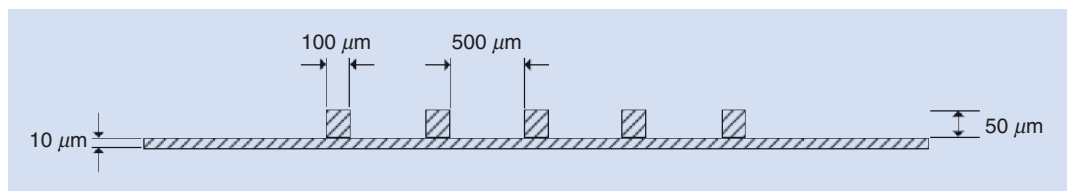


圖 3. 本研究規劃之實驗流程圖。

及圓柱間距 500  $\mu\text{m}$ 。本研究的製程規劃分為兩種不同的製程方式，第一種製程規劃以乾式及濕式蝕刻方式製作矽母模，再電鑄翻製成鎳鈷金屬模仁；第二種製程規劃先電鑄一層模仁起始層，在其上方以微影方式形成光阻母模，再電鑄翻製成鎳鈷金屬模仁。本研究將針對兩種製程方式，進行實驗結果比較與問題探討。

為了完成薄膜式金屬模具製作，製作流程包括以下實驗規劃。黃光製程相關參數測試，必須將結構高度控制在 55—60  $\mu\text{m}$ 。鎳鈷薄膜蝕刻測試是

圖 4. 圓柱結構之製程規格。



為了增加金屬圓柱結構與 10 mm 模仁起始層之結合性，故使用電化學蝕刻方式，以增加兩者界面間之附著強度。另外，須考量蝕刻後產生之氧化層是否會造成電鑄製程導電性不佳，而必須進行後續之氧化層去除程序。鎳鈷圓柱結構電鑄，其電鑄層厚度之均勻性必須控制在  $\pm 5 \mu\text{m}$  內。為了提升金屬模仁結構平整性，必須進行研磨拋光測試，影響研磨因素包括：研磨料粒徑、濃度、轉速及時間等。最後完成之薄膜式鎳鈷金屬模仁再與模座貼合，如圖 5 所示，此薄膜式微結構之金屬模具可同時適用於平壓及滾壓製程。

### 3. 薄膜式微結構之金屬模具製作技術

本研究的電鑄母模製作分為圖 6 與圖 7 兩種不同的製程方式，其中圖 6 是先以乾式及濕式蝕刻製程製作矽母模，再以電鑄技術形成金屬模仁；圖 7 則是以 10  $\mu\text{m}$  之薄膜金屬作為基板，在其上方以微影方式形成光阻母模，再電鑄翻製成鎳鈷金屬模仁。以乾式及濕式蝕刻製程製作金屬模具 (圖 6)，其步驟是在矽基板上以 PECVD 成長 200 nm 之氮化矽，然後以 AZ 4620 光阻進行黃光微影製程，以定義結構圖案。接著使用乾蝕刻去除沒有受到光阻保護之氮化矽層，去除光阻後之氮化矽層即作為後續溼式蝕刻之保護遮罩 (etching mask)。利用濃度 30 wt.% 之 KOH 溶液，在 90  $^{\circ}\text{C}$  控溫下進行矽蝕刻加工，蝕刻深度為 50  $\mu\text{m}$ 。後續再將矽母模濺鍍 Ti (25 nm)/Au (100 nm) 金屬膜，以作為電鑄起始層 (seed layer)，在適當的條件控制下進行電鑄，以獲得鎳鈷金屬模仁。

在結合黃光微影、電鑄及研磨等三項製程技術製作薄膜式微圓柱結構之金屬模仁方面 (圖 7)，其技術要點包括：(a) 光罩設計及繪製，(b) 試片準備，(c) 薄膜式鎳鈷起始層電鑄，(d) KMPR 厚膜光阻微影，(e) 鎳鈷薄膜層蝕刻，(f) 鎳鈷合金電鑄，(g) 平

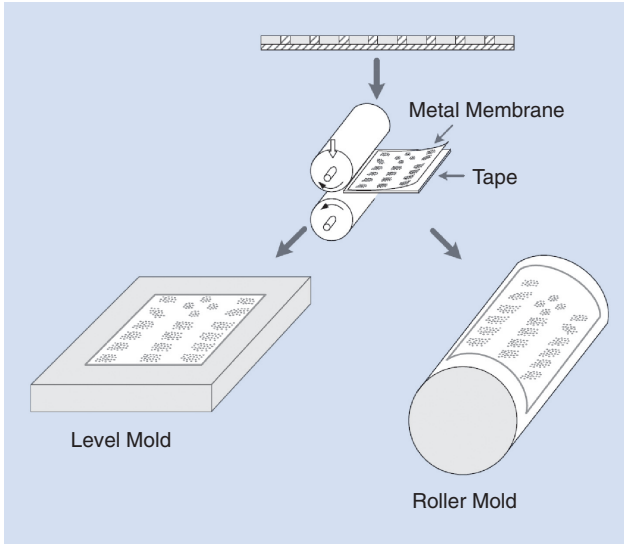


圖 5. 模具貼合方式。

坦化研磨拋光，以及 (h) 模仁貼片等。茲將各製程目的及相關細節說明如下。

圖 8 表示圓柱結構之光罩圖形，其長寬尺寸為  $60\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ ，圓柱直徑為  $100\text{ }\mu\text{m}$ 。矽晶片的選擇須使用超平整 (ultra flat) 的雙面拋光晶片，其厚度均勻性 (TTV) 為  $\leq 2\text{ }\mu\text{m}$ ，如此才能確保最終金屬微模仁厚度均勻性  $\leq 3\text{ }\mu\text{m}$ 。矽晶片表面需先成長一層厚度  $1\text{ }\mu\text{m}$  的熱氧化層，以作為附著層及應力匹配層，之後再濺鍍電鑄起始層 Ti/Au，其厚度分別為  $25\text{ nm}$  和  $100\text{ nm}$ 。選擇 Ti/Au 作為電鑄起始層，是考量鎳鈷薄膜在 Ti/Au 上的附著性。在濺鍍電鑄起始層後，進行薄膜式鎳鈷金屬模仁之起始層電鑄，其厚度為  $10\text{ }\mu\text{m}$ 。選擇金屬模仁起始層厚度為  $10\text{ }\mu\text{m}$  之原因是薄片具有可撓性且同時適用

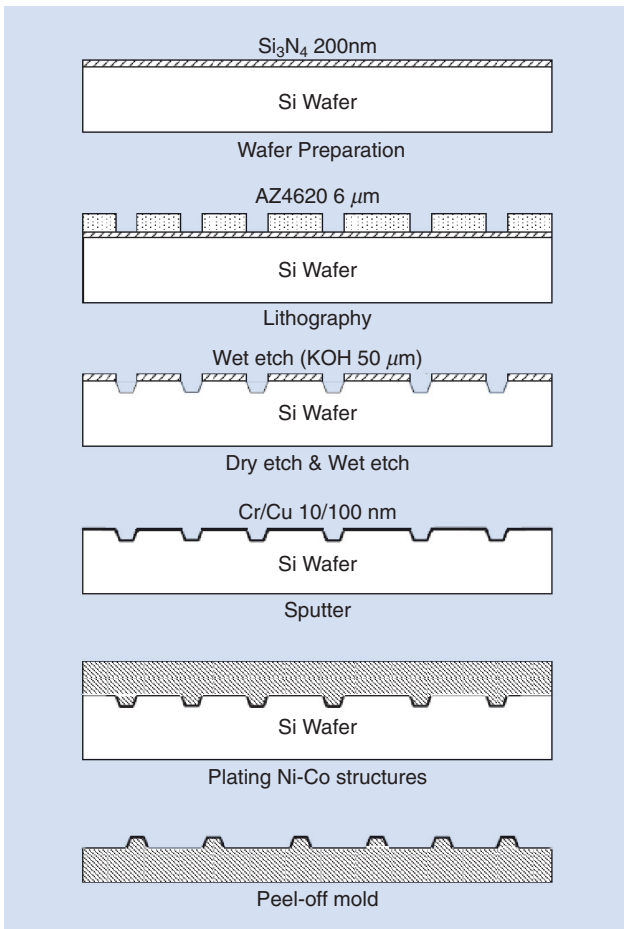


圖 6. 乾式及濕式蝕刻製程製作金屬模具之實驗製程圖。

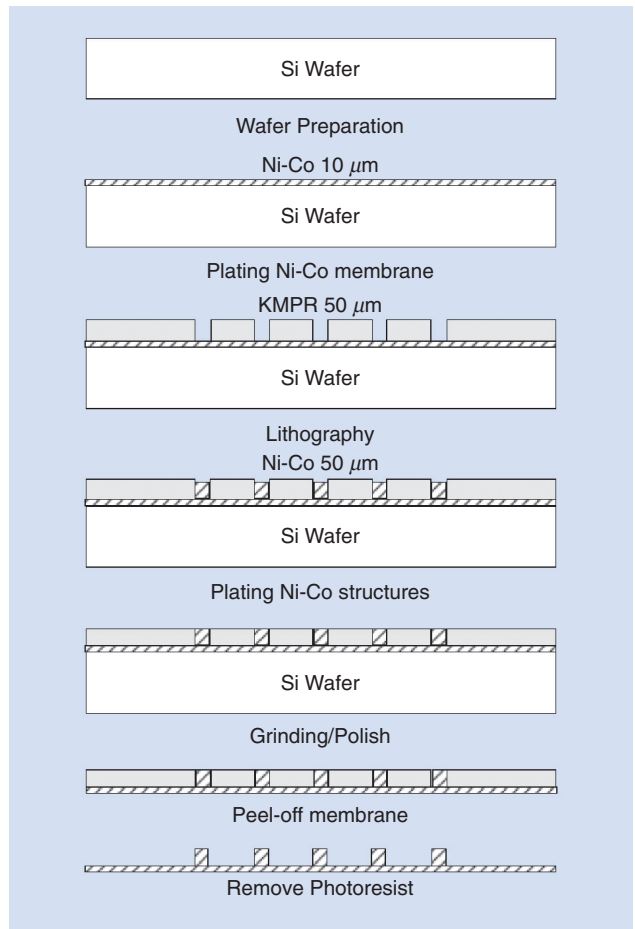


圖 7. 薄膜式金屬模具之實驗製程圖。

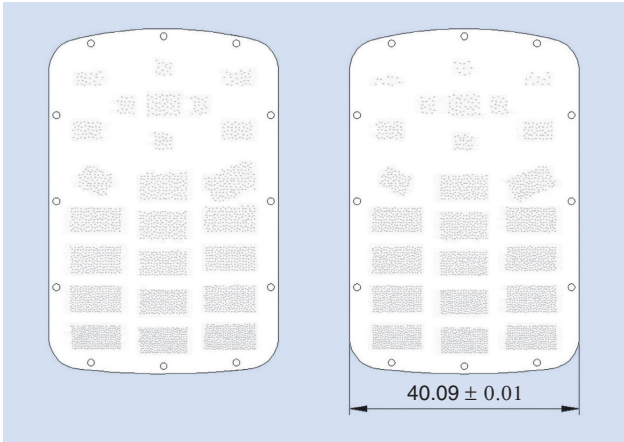


圖 8. 圓柱結構光罩圖形。

於平壓與滾壓製程。在電鑄過程中為了優化電鑄層均勻性，採隔板輔助法來提升電鑄過程中陰、陽極間電力線的均勻分布。

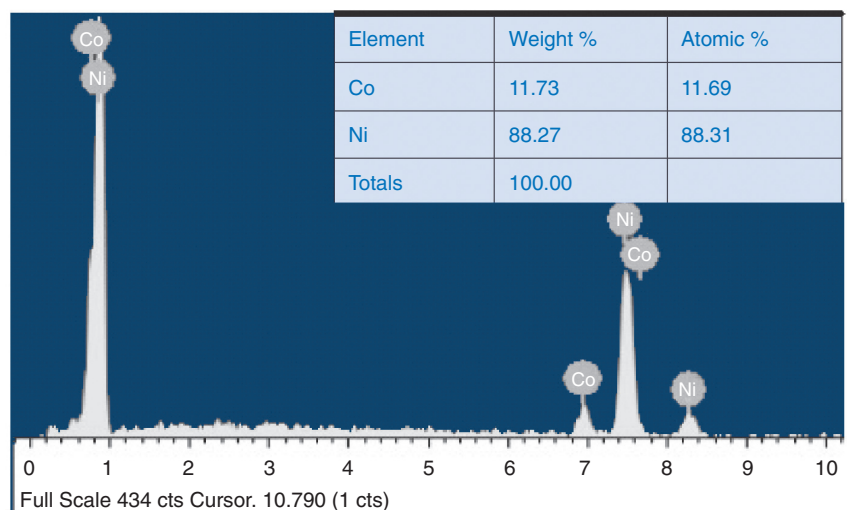
經由黃光微影製程，在鎳鈷合金薄膜上定義 55–60 mm 之圓柱結構。本製程選擇與金屬層附著性較佳的 KMPR 光阻進行微影，並作為後續電鑄之光阻母模。以 KMPR 光阻進行微影製程時，因 KMPR 光阻容易內含氣泡，因此需格外注意氣泡去除問題。可在光阻滴入試片上未旋塗前，先以抽真空或靜置方式去除氣泡。光阻旋塗轉速為 2000 rpm，加速度為 300 rpm/s，時間持續 40 秒。旋塗完畢後，為降低邊緣厚度過高的不均勻性問題，以提升曝光解析度，一般會利用丙酮將邊緣光阻去除。曝光時採分段曝光，曝光總劑量為 1100

mJ/cm<sup>2</sup>，分段劑量為 100 (mJ/cm<sup>2</sup>)/cycle，其目的為避免熱集中效應、改善側壁垂直度，以提升圖案解析度。

為了增加鎳鈷圓柱結構與金屬模仁起始層之界面結合性，故製作完成具有微結構之光阻母模，使用電化學蝕刻方式，進行沒有受到光阻保護之鎳鈷薄膜層的向下回蝕，蝕刻深度約 5 μm。蝕刻液是以 10：1 比例之純水與胺基磺酸溶液調配而成，在陽極端放置欲蝕刻試片，陰端接上鈦網，以定電流方式通以 1 A/dm<sup>2</sup> (ASD) 電流密度，蝕刻時間 10 分鐘。完成回蝕之具有微結構之光阻母模，藉由鎳鈷電鑄技術，將光阻模板上的微結構翻製成與光阻圖案互補 (complementary) 的金屬模仁。在電鑄材料選擇上，由於模具需具有抗磨耗、高硬度及高強度等特性，綜觀類 LIGA 電鑄製程中現有鍍液配方已商品化產品，銅 (copper) 和鎳 (nickel) 由於易氧化且硬度低，因此合金電鑄便成為較佳之選項。為符合上述之材料需求，因此本研究選定鎳–鈷合金 (nickel-cobalt alloy) 作為模仁材料，其藉由調整電鑄液中鎳及鈷離子之比例，可獲得鎳及鈷原子百分率約 88：12 比例之電鑄層，其電鑄層之 EDS 成分分析如圖 9 所示，此時可達到維氏硬度 600 Hv 的高硬度需求。

在進行電鑄製程前，光阻模板試片需進行適當的脫脂與酸洗活化前處理程序，其中脫脂步驟是為了去除電鑄起始層表面的有機污染，酸洗步驟則為了去除電鑄起始層表面的氧化膜，以活化電鑄起始

圖 9. 電鑄鎳鈷合金 EDS 成分分析。



層。前處理完成之待鑄件應立即置入電鑄槽中，以免因與空氣接觸而產生氧化作用，並且須在最短時間內啟動電流進行電鑄，否則會發生陰極金屬溶解的現象，進而污染電鑄槽體。若不克馬上進行電鑄，應將鑄件拿出，並浸泡於純水中，必要時必須重新經過酸洗活化步驟。為避免電鑄之鎳鈷合金應力過大，除了在電鑄液中添加必要的應力降低劑 (stress reducer) 外，在整個電鑄過程中，初期必須先以較小的電流密度 ( $0.25 \text{ A/dm}^2$  (ASD))，低沉積速率成長較緻密的鎳鈷層後，再分段增加電流密度 ( $0.5 \text{ ASD} \rightarrow 1 \text{ ASD} \rightarrow 3 \text{ ASD}$ )，使其沉積厚度至圓柱設計 ( $50-55 \mu\text{m}$ )，總電鑄時間為 150 分鐘。

利用研磨拋光技術，將鎳鈷金屬模仁進行厚度平整性研磨，研磨拋光之目的在於將多餘之鎳鈷結構移除至所需結構厚度，並且將結構表面拋光，去除結構缺陷。研磨參數為 SiC 研磨料粒徑為  $1.2 \mu\text{m}$ 、濃度為 30 %、轉速為 60 rpm 及研磨速率為  $0.5 \mu\text{m}/\text{min}$ 。研磨初期以較高轉速及較長設定時間，將試片厚度移除至略高於設定值  $2-3 \mu\text{m}$ ，而後再切分較細的加工時間 ( $\sim 30 \text{ min}$ ) 至研磨最終厚度。研磨後以晶片切割機切割成  $60 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  尺寸之手機導光板模仁，而後再進行金屬模仁貼片。

最後利用滾輪輔助貼片機制，將金屬模仁與雙面膠膜貼合，然後將貼合後的兩層結構再共同貼覆於平面或滾輪模座上。雙面膠膜規格為厚度 100  $\mu\text{m}$ 、耐溫性為  $90^\circ\text{C}-200^\circ\text{C}$ ，具抗化學性及具耐衝擊性質。而後再去除光阻，以完成薄膜式微結構金屬模具製作，但必須注意光阻去除液是否會傷害模具表面及溶解膠膜。

## 五、實驗結果與討論

為因應手機導光板之模具開發，須製作出結構側壁具有  $45^\circ-60^\circ$  之圓柱結構，此結構在壓模成形後具有較佳之導光效率。為得到此特殊結構，利用濕式蝕刻製程，以氫氧化鉀 (KOH) 在 (100) 矽晶片蝕刻出  $54.74^\circ$  之倒四角錐狀結構。蝕刻條件為 KOH 濃度 30 wt.%、溫度  $90^\circ\text{C}$  及蝕刻時間 15 分鐘。接著經由電鑄製程，將矽母模翻製成鎳鈷金屬

模仁。

經由光學顯微鏡與表面輪廓儀量測後，發現下列三項問題：(1) 在 KOH 蝕刻矽結構後，由於蝕刻時溫度及時間不易控制，量測後發現有蝕刻深度不均勻的現象。(2) 由於電鑄層有內應力及電鑄時的電場分布不均勻問題，造成鎳鈷模仁有彎曲 (bowl-warp) 變形與鑄層厚度均勻性不佳的現象。(3) 電鑄後矽基板因鑄層應力而導致彎曲，使得研磨時真空吸附不佳，故不易研磨。

綜合上述實驗結果發現，此矽蝕刻再結合電鑄的製程方法，其蝕刻均勻性較差，易造成深度不一，若需製作類似四角錐柱狀結構，則建議從製程方式來改善，例如使用超音波震盪方式來輔助蝕刻，並且添加界面活性劑，以驅離蝕刻過程中產生之氫氣泡，可提升蝕刻表面粗糙度與蝕刻速率。而電鑄均勻性問題之改善，須調整電鑄操作參數，如鑄液成分比例、pH 值、溫度及添加劑等，在電鑄程序中控制管理，以避免鑄層內應力問題。

本研究另規劃整合黃光微影、鎳鈷電鑄及研磨之製程技術，以改善模具之均勻性問題。首先，在矽基板上電鑄厚度約為  $10 \mu\text{m}$  的鎳鈷薄膜，作為模仁的起始層，並且以隔板輔助法來提升電鑄過程中電場的均勻分布，使膜厚均勻性可控制在  $3 \mu\text{m}$  以內。在黃光微影後，得到的光阻結構深度為  $55-60 \mu\text{m}$ ，此光阻模板即作為後續電鑄之母模。為了增加模仁壓印結構強度，故在鎳鈷金屬模仁起始層上，以電化學蝕刻方式回蝕無光阻覆蓋區之鎳鈷層，其蝕刻深度約為  $5 \mu\text{m}$ 。蝕刻前形貌以光學顯微鏡觀測，如圖 10(a) 所示，蝕刻後的表面形貌則如圖 10(b) 所示，發現蝕刻後表面產生黑色氧化層，這層氧化物會造成後續電鑄時導電性不佳，所以在超音波震盪器中以稀釋的磷酸去除氧化層，去除氧化層後之鎳鈷層表面形貌，如圖 10(c) 所示。接著對光阻母模進行鎳鈷電鑄，以 1 ASD 的電流密度、時間 2.5 小時為參數條件，電鑄後結構厚度約為  $52 \mu\text{m}$ ，表面形貌如圖 10(d) 所示。電鑄完成後去除光阻，即可形成與光阻圖案互補之鎳鈷金屬結構。由於此電鑄結構即是生長在回蝕區域之上，故此鎳鈷結構與模仁起始層間之鑲埋強度可以大幅增加。

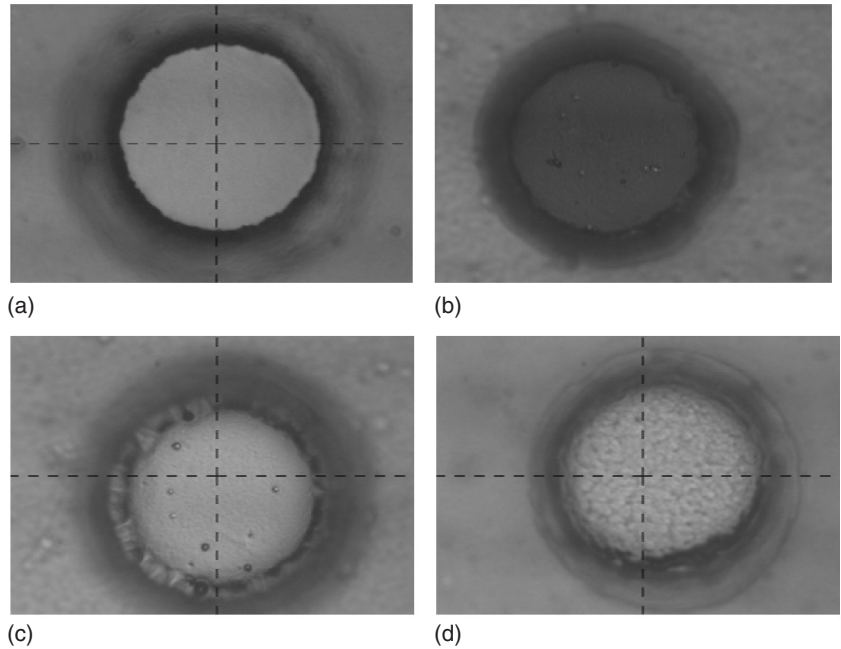


圖 10.

光學顯微鏡觀測之表面形貌，(a) 蝕刻前，(b) 蝕刻 Ni-Co 薄膜層後，(c) 去除氧化層後，(d) 電鑄後之表面形貌。

電鑄完成的鎳鈷金屬模仁，面積尺寸為 60 mm × 40 mm，模仁起始層厚度約為 10 μm，其上具有直徑 100 μm、高度 50 μm 之圓柱形微結構。此鎳鈷金屬模仁必須與平板或滾輪的模座貼合，才能進行後續之應用。在模具貼片製程中，首先將鎳鈷模仁與雙面膠膜貼合，並以滾輪機制輔助貼片，增加兩者間貼合的密合度，如圖 11 所示。接著將鎳鈷模仁以膠膜方式黏貼至模座上，亦是藉由滾輪機制輔助貼片，完成平板或滾輪壓印之微結構薄膜金屬模具，可應用於大量的微結構轉印製作。圖 12 為微結構薄膜金屬模仁與模座貼合之示意圖，圖 12(a) 與 (b) 所示為金屬圓柱結構外觀示意圖。圖 12(c) 則可看到模仁邊緣與模座界面之雙面膠膜，因為滾輪輔助施力而被擠壓出來，表示此貼片方式可達到較佳貼合緊密度。圖 12(d) 為模仁與模座貼合橫截面之示意圖，從圖中可看到橫截面沒有縫隙存在。此薄膜微結構金屬模仁貼覆在模座上，具有極佳的緊密性，因此在壓印時可避免模具位移、翹曲等問題，大幅提升微結構模具之精密度與耐用性。

完成薄膜式金屬模具製作後，須評估模具之尺寸精度，尺寸精度是指相對微結構之間的位置精度或結構高低差的均勻性。量測是利用表面輪廓儀與千分錶進行觀察，並量測成形深度及表面形狀之均

勻性。量測後金屬模仁起始層厚度均勻性在 ±2 μm 內，符合所要求之規格。接續量測微結構金屬模具之厚度均勻性，以千分錶量測後結果如圖 13 所示，均勻性在 ±2 μm 內，再以表面輪廓儀量測後其結果如圖 14 所示，均勻性則在 ±5 μm 內。

## 六、結論

本研究成功地結合黃光微影、鎳鈷電鑄及研磨等三項製程技術，開發一種利於量產之薄膜式微結

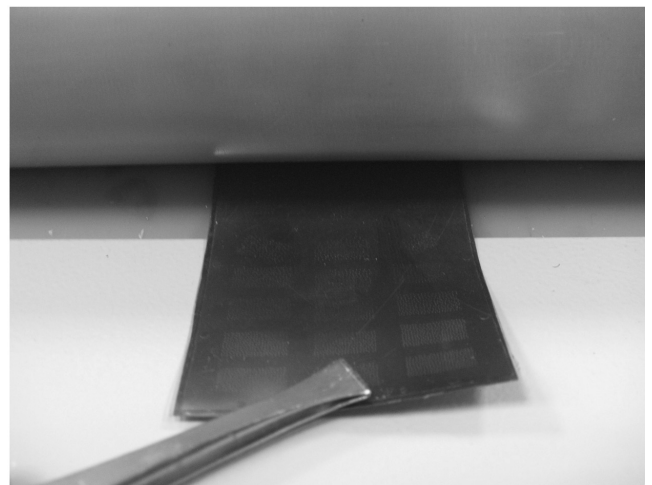


圖 11. 金屬模仁與雙面膠膜貼合後之示意圖。

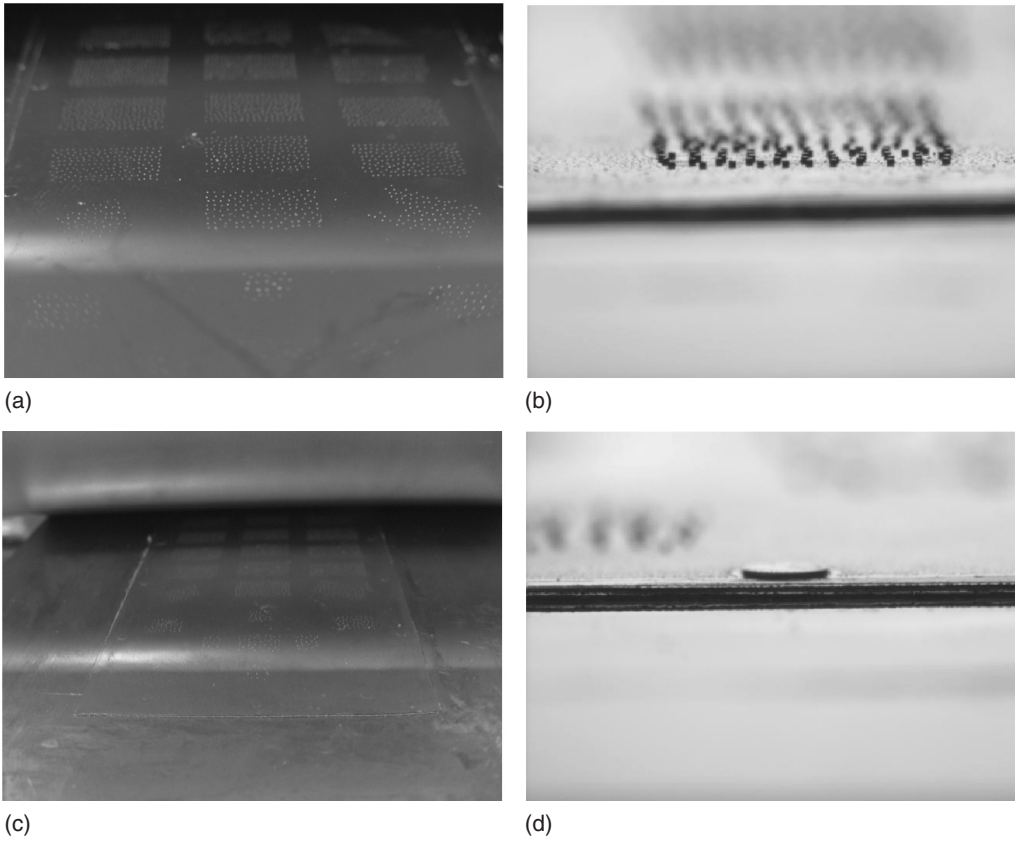


圖 12. 金屬模具與模座貼合之示意圖。

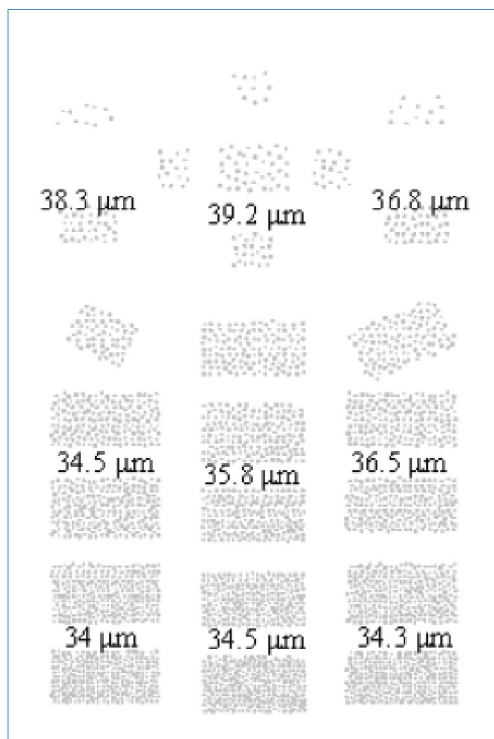


圖 13. 以千分錶量測之微結構均勻性示意圖。

構轉印用金屬模具，此模具可同時適用於平板壓印與滾輪壓印。平板壓印具有快速評估模具可行性之優點，而滾輪壓印則具有可重複使用及成本低廉之優點。利用黏貼方式將薄膜式金屬模仁結合至平面或滾輪模座，製成微結構轉印用之金屬模具，適用於大量翻製生產。

在模具製作的技術考量方面，主要目標為如何快速製作厚度均勻且符合尺寸規格之模仁。利用本研究所開發之薄膜式金屬模具製程技術，可成功地製作符合規格要求之微圓柱金屬結構，此 Ni-Co 模仁結構具有較佳硬度及強度，足以承受重複使用所需之結構強度。利用電化學蝕刻方式，以胺基磺酸作為蝕刻液，回蝕厚度 10 mm 之模具起始薄膜層，經由光學顯微鏡觀測後發現，有效蝕刻深度可達 5 mm，使微圓柱金屬結構與模具起始層兩者間之界面鑲埋的強度增加，大幅提升薄膜式金屬模具之耐用性。

本研究也確認藉由滾輪輔助貼片機制，可使鍍鈷模仁結構與平面或滾輪模座界面間具有較佳之緊

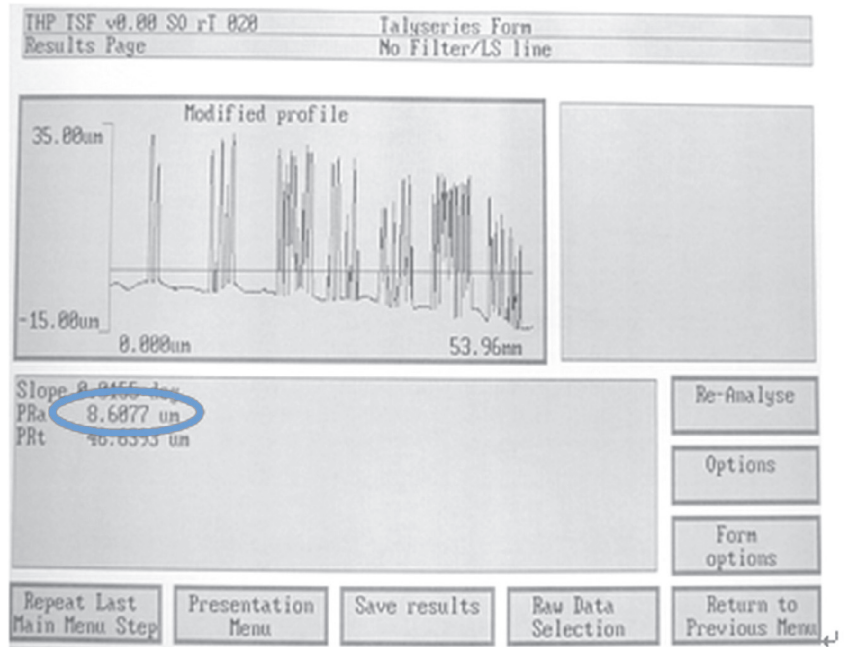


圖 14.  
以表面輪廓儀量測之微結構均勻性示意圖。

密性，因此在壓印時可避免模具位移、翹曲等問題。根據實驗量測結果，模具的厚度均勻性在  $\pm 5 \mu\text{m}$  內，可符合模具平整度的要求，且確保緊密貼覆於模座上之模仁結構具有較佳之均一性及模具表面形狀之平滑性。

## 參考文獻

1. 陳仲宜, 機械工業雜誌, **286**, 71 (2006).
2. 趙崇禮, 馬廣仁, 林宏彝, 機械工業雜誌, **297**, 43 (2006).
3. R. Warrington, Louisiana Tech University, Institute for Micro-manufacturing.
4. H. Becker and U. Heim, *Sensors and Actuators A*, **83**, 130 (2002).
5. R. Ruprecht, W. Bacher, J. H. Haubelt, and V. Piottter, *SPIE*, **2639**, 146 (1995).
6. H. Tana, A. Gilbertson, and S. Y. Chou, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **16**, 3926 (1998).
7. H. Hosokawa, et al., *SPIE*, **1559**, 229 (1991).
8. R. Warrington, Louisiana Tech University, Institute for Micro-Manufacturing.
9. *The Technical Report of Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM)*, Mainz Germany.
10. W. Ehrfeld, W. Glashauser, D. Münchmeyer, and W. Schelb, *Microelectronic Engineering*, **5**, 463 (1986).
11. H. Miyajima and M. Mehregany, *J. Microelectromechanical Systems*, **4**, 220 (1995).
12. G. Engelmann, O. Ehrmann, and J. Simon, *Proc. of Micro Electro Mechanical Systems Workshop*, 93 (1992).
13. R. A. Lawes, A. S. Holmes, and F. N. Goodall, *Microsystem Technologies*, **3**, 17 (1996).
14. C. R. Yang, C. S. Chou, H. Y. Chou, H. S. Lin, W. K. Kuo, G. S. Luo, and J. W. Chang, *Proc. of SPIE*, **3511**, 342 (1998).
15. E. C. Harvey, P. T. Rumsby, M. C. Gower, and J. L. Remnant, *Proc. of SPIE*, **2639**, 266 (1995).
16. N. C. MacDonald, *Micro- Electronic Engineering*, **32**, 49 (1996).
17. N. Rajan, M. Mehregany, C. A. Zorman, S. Stefanescu, and T. P. Kicher, *J. Microelectromechanical Systems*, **8**, 251 (1999).
18. C. K. Chung, H. C. Liu, and T. H. Jaw, *HARMST99*, 22 (1999).
19. 和井, 日本精密工學會誌, **61** (10), 1369 (1995).
20. C. R. Friedrich and M. J. Vasile, *Journal of Microelectromechanical Systems*, **5**, 33 (1996).
21. S. Malkin and T. W. Hwang, *Annals of the CIRP*, **45**, 569 (1996).
22. 佐藤, 日本精密工學會誌, **61** (10), 1365 (1995).
23. P. T. Rumsby, E. C. Harvey, and D. W. Thomas, *Proceedings of the SPIE on Experimental Mechanics: Advances and Applications*, **2921**, 684 (1996).
24. Zhixin, Z. Jianhua, and A. Xing, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, **37**, 193 (1997).
25. M. Mullenborn, et al., *Sensors and Actuators A*, **92**, 23 (2001).
26. M. Geiger, M. Kleiner, R. Eckstein, N. Tiesler, and U. Engel, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, **50**, 445 (2001).
27. W. C. Elmore, *Journal of Applied Physics*, **10**, 724 (1939).
28. 許巍耀, 郭慶祥, 陳峰志, 科儀新知, **27** (4), 72 (2006).
29. 賴志良, 林或甫, 邱泓翔, 楊忠義, 機械工業雜誌, **297**, 40 (2007).

30. T. Takagi and N. Nakajima, *Proc. of the 4th International Symposium on Micro Machine and Human Science (MHS '93)*, 173 (1993).
31. A. Kumar and G. M. Whitesides, *Applied Physics Letters*, **63** (14), 2002 (1993).
32. Y. Xia and G. M. Whitesides, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **37**, 550 (1998).
33. X. M. Zhao, Y. N. Xia, and G. M. Whitesides, *Advanced Materials*, **8** (10), 837 (1996).
34. X. M. Zhao, Y. Xia, O. J. A. Schueller, D. Qin, and G. M. Whitesides, *Sensors and Actuators A*, **65**, 209 (1998).
35. K. Walsh, *et al.*, *Proc. of IEEE MEMS-2001*, 114 (2001).
36. L.-J. Yang, *et al.*, *Proc. of IEEE MEMS-2002*, 471 (2002).
37. W. Hsieh, *et al.*, *Proc. of Transducer '97*, Chicago, **1**, 425 (1997).
38. C. M. Ho, X. Yang, C. Grosjean, and Y. C. Tai, *A MEMS Thermo-Pneumatic Silicone Rubber Membrane Valve*, **64** (1), 101 (1998).

- 
- 湯喻翔先生為國立台灣師範大學機電科技所碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。
  - 楊智仲先生為國立台灣師範大學機電科技所碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。
  - 林郁欣先生為國立交通大學機械工程研究所碩士，現

任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

- 胡一君畢業於中國文化大學物理系，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副研究員。
- Yu-Hsiang Tang received his M.S. in mechatronics engineering from National Taiwan Normal University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.
- Jr-Jung Yang received his M.S. in mechatronics engineering from National Taiwan Normal University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.
- Yu-Hsin Lin received his M.S. in mechanical engineering from National Chiao Tung University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.
- Yi-Chiuen Hu received his B.S. in physics from Chinese Culture University. He is currently an associate researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.