

# 新型模組化微光學讀寫頭之設計 與製造

## A Novel Micro Optical System for Monolithic Integration of Optical Disk Pickup Heads

胡恆蒼、曾繁根

Heng-Cang Hu, Fan-Gang Tseng

隨著資訊技術的進步，人類生活進入了網際網路與數位的多媒體時代，豐富的軟體、音樂、電影及資料庫等大量的資訊使得對於儲存系統的需求量及品質也日漸增加。更快速以及更高容量的光儲存系統不斷地被研發，因此，光儲存系統中的核心—光學讀寫頭的性能也必須不斷地提升，以符合次世代光儲存系統的需求。然而，傳統的光學讀寫頭由許多光學元件所組成，其元件間的相對位置均需要相當複雜且精密的組裝。本文提出了一全新微型光學讀寫頭的設計，其中包含了微機電系統中常被使用的費涅耳波帶片以及特殊製程製作的高分子斜四十五度面鏡三維結構。除了微型光學讀寫頭，本文亦提出了一製作高分子透鏡的方法，將此微透鏡作為聚焦物鏡，與所設計之微型光學讀寫頭整合，提供一整合度更高之微型光學讀寫頭。

As the progress of IT, the need for high speed and high-density data storage has become increasingly important. Denser and faster data storage methods have also been under developing for next generation need. As a result, the performance of optical storage units, such as an optical pickup head, need to be further improved to accommodate this new desire. However, commercial optical disk pickup head is mostly constructed with bulk micro-optics and many discrete components. The assembly needs intensive labors and poses large-size heads, greatly limiting operation speed and alignment accuracy. This study proposes a novel method to integrate precisely fabricated inclined-mirrors and on-chip Fresnel lens for optical pickup-head application. A new technology of glycerol-compensated incline-exposure has been adopted for the fabrication of 45° mirror pairs. This new integration approach provides an easy and low cost fabrication mean without the need of assembly. Furthermore, this study also proposes a novel method to fabricate the micro SU-8 lens. The novel SU-8 micro lens can be integrated with the micro optical pick-up head as a micro objective lens.

## 一、前言

隨著資訊技術的進步，人類生活進入了網際網路與數位的多媒體時代，豐富的軟體、音樂、電影及資料庫等資訊使得對於光學系統的需求量及品質也日漸增加。面對資訊技術以及數位科技的突飛猛進，資料量愈來愈龐大，早期的磁帶、磁碟的攜帶式資料儲存設備早已不敷使用，取而代之的是目前普遍使用的光儲存系統。而儲存媒介也由 CD 發展到容量為 CD 七倍以上的 DVD (digital versatile disc)，相對的光碟機的性能也更加要求。當中讀寫頭為光碟機關鍵元件之一。

現行的光學讀寫頭由許多光學元件所組成，其元件間的相對位置均需要相當複雜且精密的組裝，整體來說，光學讀寫頭微小化便成為光碟機性能改善的重要方向<sup>(1-3)</sup>，另外其元件製造及組裝成本亦可降低。1969 年米勒 (Miller) 提出了積體光學的概念，利用光波導連結一些主動的光學元件，但其應用層面有限，無法達到整體光學系統整合，因為眾多的光學主被動元件和光波導相比，體積仍嫌太大。本文以微機電製程技術來製作光學讀寫頭，希望藉由微機電技術的優點將光學讀寫頭微小化且積體化，而將光碟機的平均搜尋時間縮短且資料傳輸速度增加，同時也藉由將讀寫頭元件數目減少，簡化組裝步驟、減少製程誤差，降低成本並提高光碟機讀寫頭之整體性能，便成為近來熱門的研究。

## 二、光學讀寫頭

1980 年起的 CD 光記錄媒體到現今熱門的 DVD 光記錄媒體，容量、速度、穩定性及保存性一直是儲存產業發展的方向。為了成本及市場之考量，現階段之光碟機傾向 CD 與 DVD 光碟片可相容使用之光碟機發展。CD 與 DVD 明顯之差異為 DVD 為使得儲存容量可更大，使用了更短波長、縮小訊號軌等提升容量的方法來記錄資料。光學讀寫頭系統為光碟機中最關鍵之零件之一，如圖 1 所示，負責產生光點讀取資料，其性能好壞直接影響整個光碟機的品質。

光碟機讀寫頭執行存取動作時，雷射提供光

源，使光束通過分光鏡後部分反射至 45 度反射鏡，此與晶片表面呈 45 度之角度可將同平面入射之光束轉為出平面方向 (垂直於晶片表面)，反射到透鏡做聚焦的動作。利用此聚焦光點做為存取資料的主要工具，此光點會由光碟表面反射，因為反射面凹凸 (凹，pit：軌道上挖坑處，凸，land：軌道上不挖坑之處) 起伏的變化，使入射光及反射光呈建設性或破壞性干涉，進而判讀所得資料。綜合以上所述，並歸納已發表之文獻<sup>(4-6)</sup> 可發現，多數設計概念採用矽晶圓 (silicon-based) 之表面型微加工技術來製造微型光學讀寫頭，並需透過複雜的接合過程使各元件組裝，至於體型微加工則有自由度不高以及製程整合性的問題。本文將提出以 SU-8 材料作為結構主體之特殊製程，且在微透鏡的製作上亦採用 SU-8 微透鏡，以應用於光碟機讀寫頭。期能以創新且簡單的做法製造完成一微型光學讀寫頭元件。

## 三、原理與設計分析

本文所提出之微型光學讀寫頭其基本架構如圖 2 所示；主要包含三個設計要素：(1) 光學元件之光路設計及元件製造，(2) SU-8<sup>(7)</sup> 聚焦物鏡之設計

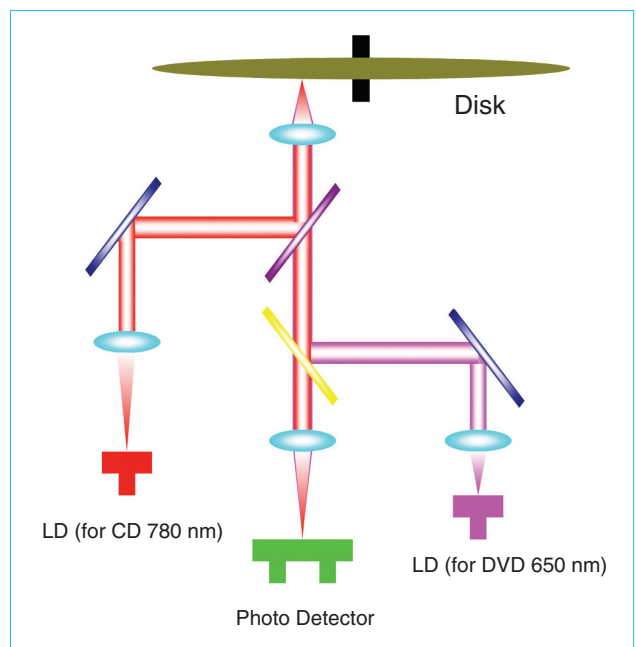


圖 1. 光學讀寫頭組件。

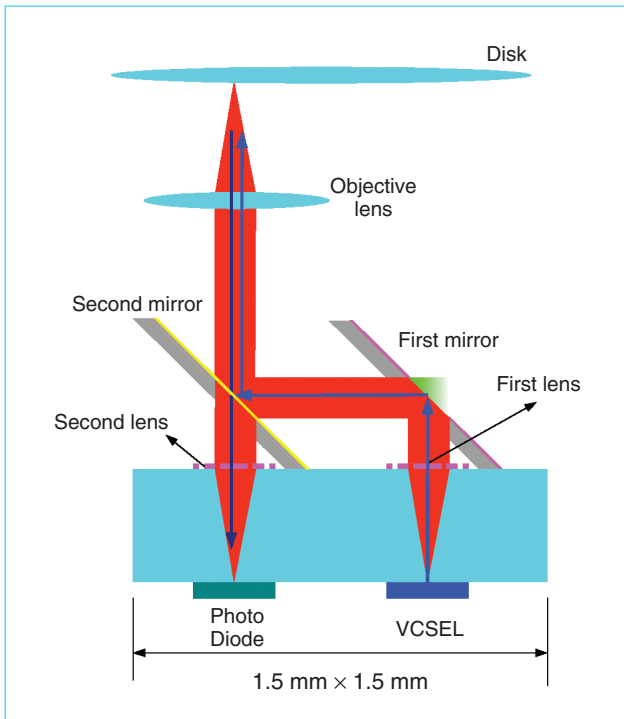


圖 2. 結構設計示意圖。

及製造，(3) 單分子層自我組裝 (SAMs) 整合技術。其基本工作原理為當雷射光由 LD 發送出去之後，經由第一個 Fresnel zone plate 準直光路後，由第一面 SU-8 全反射面鏡曲折光路與基板平行，再經由第二面 SU-8 半反射面鏡將部分光再曲折一次引導至聚焦物鏡上，經由聚焦至光儲存媒介讀取訊號，而反射的光訊號則循相同的光路由第二面半反射面鏡將其分光至第二面 Fresnel zone plate 上，聚焦至光偵測器 (PD) 上，如此即完成動作。

## 1. Fresnel Zone Plate

Fresnel zone plate<sup>(8-10)</sup> 是一種利用光繞射原理達到立體透鏡功能的光學元件。本文所製作的 Fresnel zone plate，所有的尺寸以及規格均根據適當的繞射公式。首先，Fresnel zone plate 的總直徑需配合半導體雷射的光發散角以及基板厚度才得以訂定出直徑，在此我們所使用的玻璃基板約 1.02 mm 厚，而半導體雷射的光發散角則約為 30 度，有了這兩個資料，我們可以利用簡單的幾何關係計算出 Fresnel zone plate 的直徑大小。本文所設計的 Fresnel zone plate 的直徑應為 550 微米。

Fresnel zone plate 是供 CD 以及 DVD 讀寫用，因此兩邊使用的雷射光波長並不一樣，在設計上要特別注意；在此吾人以 DVD 為例，使用 650 nm 波長的雷射光作計算，而焦距則是玻璃基板厚度，代入下式計算：

$$\rho = (N\lambda f)^{0.5} \quad (1)$$

其中  $\rho$  為各圓環半徑， $N$  為柵數， $\lambda$  為使用光波長， $f$  為焦距。經由參數代入，即可求得各環半徑之間的關係式。

## 2. SU-8 厚膜反射面鏡製作

在 SU-8 厚膜反射面鏡製作上，吾人秉持著微型加工製程的製程自由度高，利用 SU-8 負型光阻光鍵結 (photo cross-link) 強韌的結構，以及其厚膜的特性，搭配上特殊的斜曝製程，使我們可以利用 SU-8 來取代傳統的 3D 鏡組，做更多更有效的應用。由於是利用光阻本身當作結構，因此製程上的複雜度就大大的降低，而且製程的自由度也相當高，這是最大的優點。圖 3 為一組 SU-8 面鏡光路示意圖。

本文的微光學讀寫頭製程步驟如下。首先在玻璃基板上以光刻微影 (photo lithography) 技術製作 Fresnel zone plate，如圖 4(a) 所示，再慢速旋佈上 SU-8，厚度約 1000  $\mu\text{m}$  厚，靜置一段時間待其回流之後，再進行軟烤的動作，如圖 4(b)。將光罩與 SU-8 貼合之後，將光罩以及旋佈有 SU-8 光阻的玻璃基材黏貼在一起，並將其擺放在曝光光源底下，

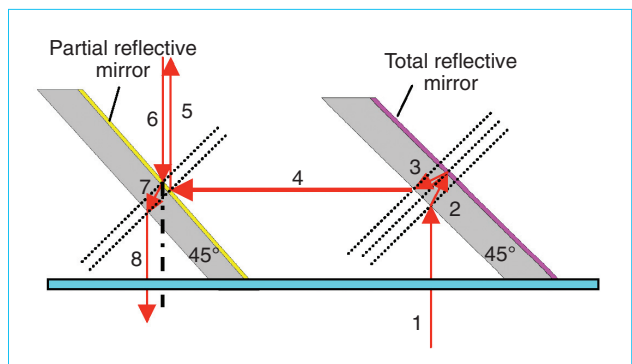
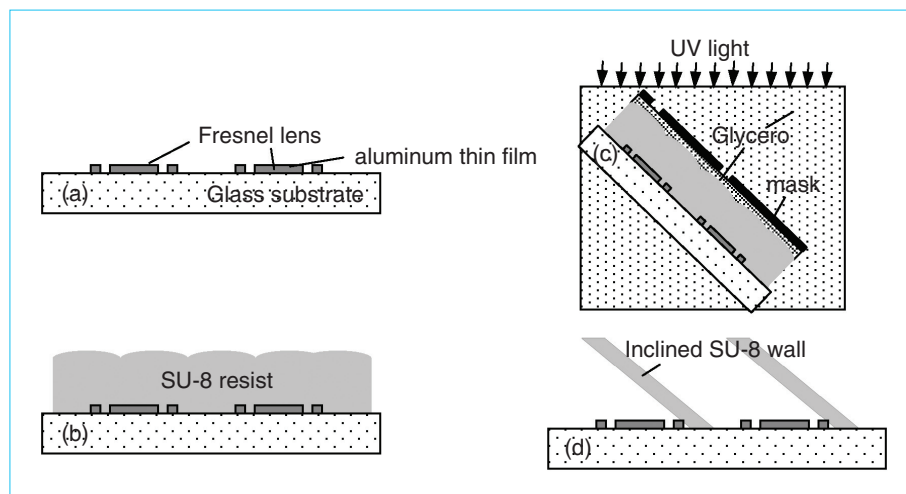


圖 3. SU-8 面鏡光路示意圖。

圖 4.  
製程示意圖。



與曝光光源成某個特定的角度，使入射光與光罩成某種角度入射，進行曝光並顯影之。放置於甘油槽中曝光，是因為折射係數搭配的考量，如圖 4(c)。曝後烤以及顯影即可得所需之斜 45 度 SU-8 結構，如圖 4(d)。

### 3. SU-8 微透鏡

經由對親疏水表面的研究，了解鐵弗龍 (Teflon) 為一疏水性物質，而玻璃基板則是親水，對兩種材質，SU-8 會選擇停留在親水性的玻璃上，而非疏水性的 Teflon。本文即利用此簡單的原理，設計 SU-8 微透鏡。利用黃光製程即可以做到的親疏水區域定義，旋佈上 SU-8，待其回流之

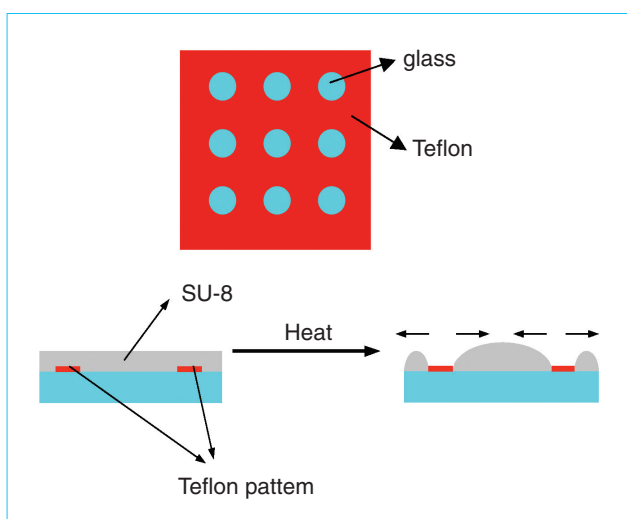


圖 5.SU-8 透鏡成型機制。

後，放至加熱板上加熱，由於加熱不僅使得 SU-8 與玻璃基板間的表面張力產生變化，並且也使 SU-8 的黏滯性降低，使其容易成形，如圖 5 所示。

### 四、製程結果與量測結果

由先前提及之繞射公式計算，光柵之間最小線寬約  $1.5 \mu\text{m}$ ，因此是利用 lift-off 製程而不使用蝕刻的方法，主要是為了避免小線寬被過蝕。圖 6(a)、

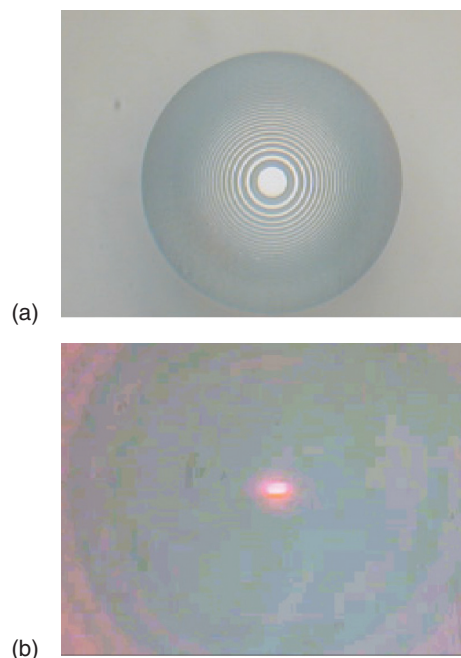


圖 6.(a) Fresnel zone plate 全貌，(b) 紅光雷射聚焦情形。

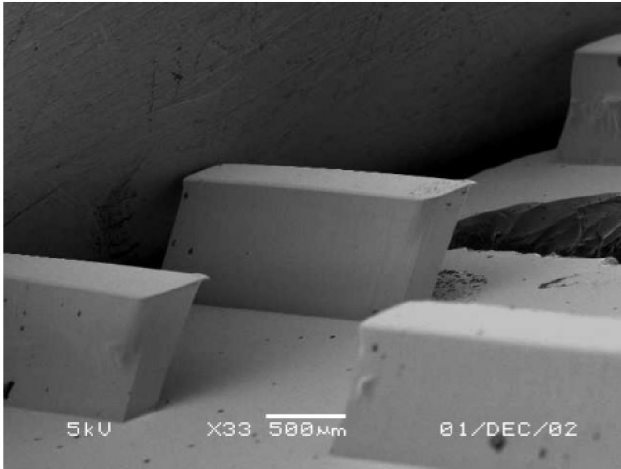


圖 7. SU-8 斜面結構。

(b) 分別顯示出經由 lift-off 製程所完成的半波帶片，以及其在顯微鏡下利用紅光雷射之聚焦情形。

在 SU-8 斜面結構部分，可以說是本文中最具有挑戰性的一項。由於本文所製作的是厚膜的 SU-8 斜面結構，需要長時間的曝光 (約 45 分鐘)，在製作過程中，也遭遇了相當多的問題。例如為了使能捕捉到全部的光束，我們想辦法增加 SU-8 的厚度，使斜面結構能有最大的有受光面積，減低因對準或其他因素造成的光損耗。但是如此厚度的 SU-8 在製程中會遇到不常見的困難點，有許多的參數如轉速、時間、曝光劑量、加熱程度都需要多次去嘗試以達到光學元件之需求，因此，對於斜面平坦度以及斜面角度的調校均需最佳製程參數配合。圖 7

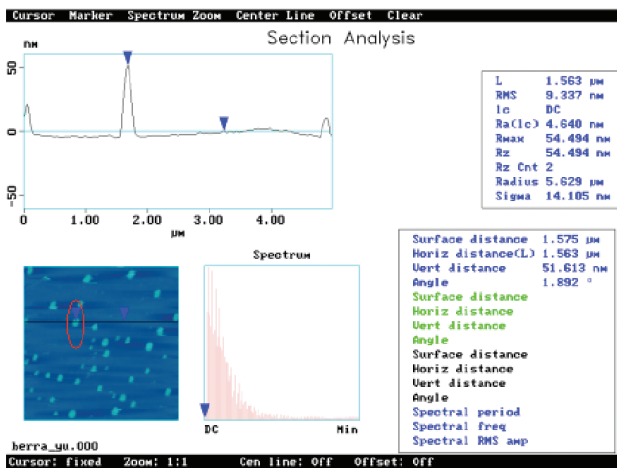


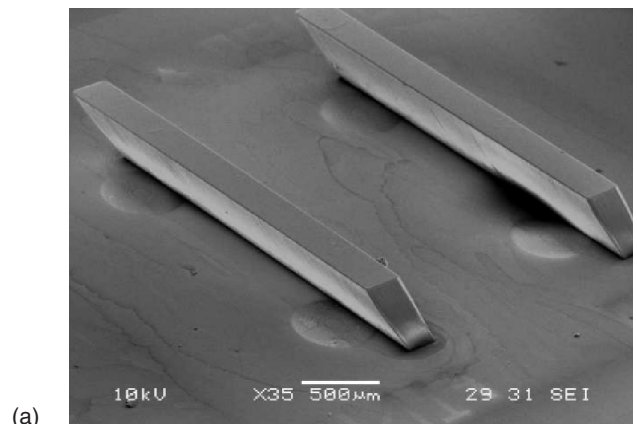
圖 8. SU-8 斜面平坦度。

即為製作於玻璃基板上之 SU-8 斜面結構。

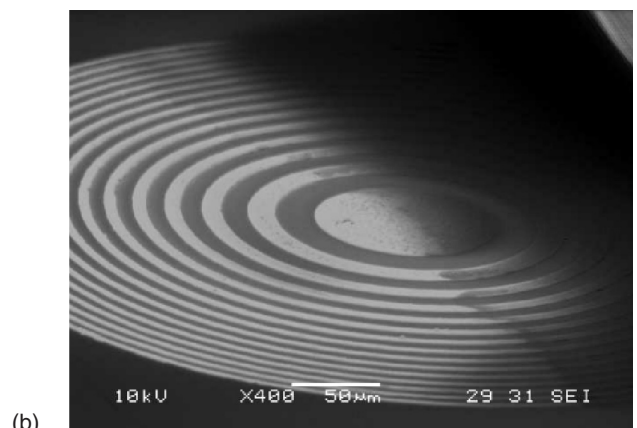
接下來最重要的就是有關斜面平整度的問題，圖 8 為利用 AFM 量測 SU-8 斜面平整度的量測結果圖。根據量測結果，其表面平整度約可控制在 10 nm 左右，圖中的一個高峰是雜質所導致，如紅色圓圈所標示。由量測實驗證明，經由上述種種實驗參數的調校，的確可以使 SU-8 斜面更平坦，符合光學鏡面之要求。

在前兩段分別敘述了 Fresnel zone plate 以及 SU-8 斜面結構的實驗結果。經由精確地對準以及先前提到的製程參數的最佳化，目前已成功地將元件整合在一起，圖 9(a)、(b) 為製作成果之 SEM 圖。

圖 10 則是使用數位相機拍攝切割下來的原件實體圖。需注意的是，此時還未蒸鍍上金屬，因此斜面均是 SU-8 結構，由比例尺可以看出，切割下的元件大小約為 5 mm。如先前所提過的，將蒸鍍金屬於 SU-8 斜面之上，作為面鏡使用。蒸鍍金屬之後，



(a)



(b)

圖 9.(a) 元件整合 SEM 圖，(b) 元件整合 SEM 圖。

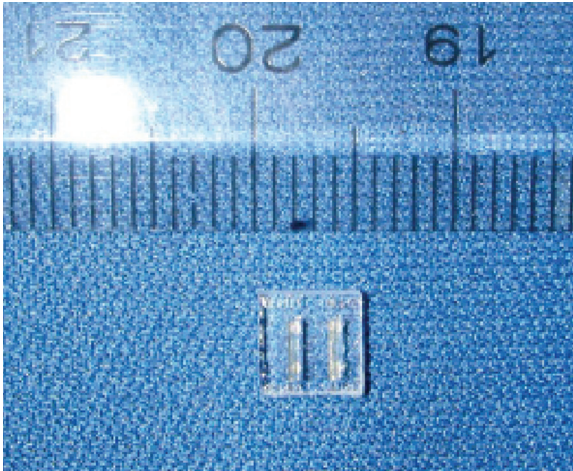


圖 10. 元件實體圖。

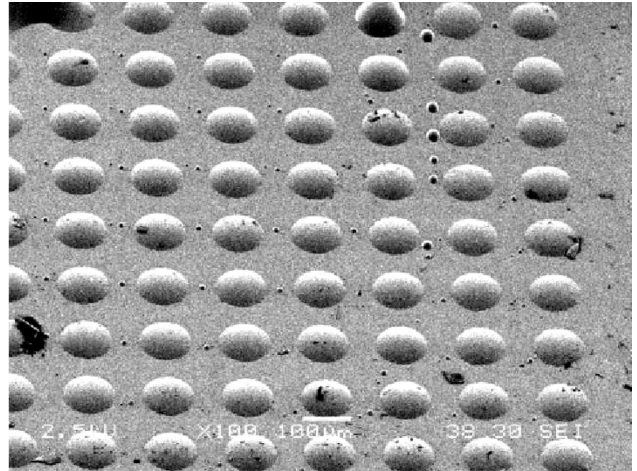


圖 12. SU-8 微透鏡陣列。

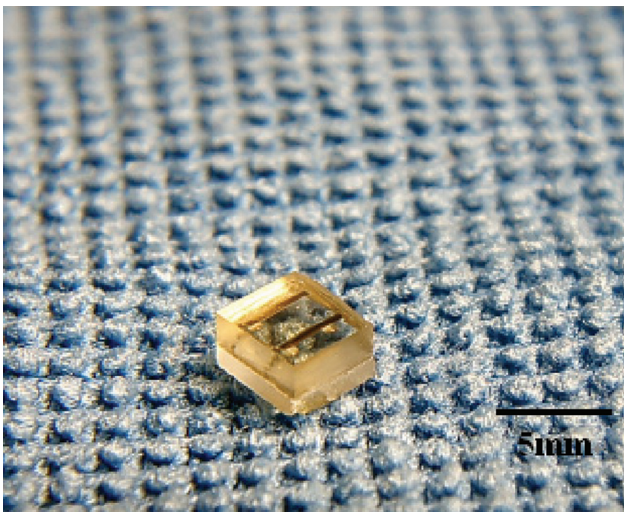


圖 11. SU-8 包覆單一元件。

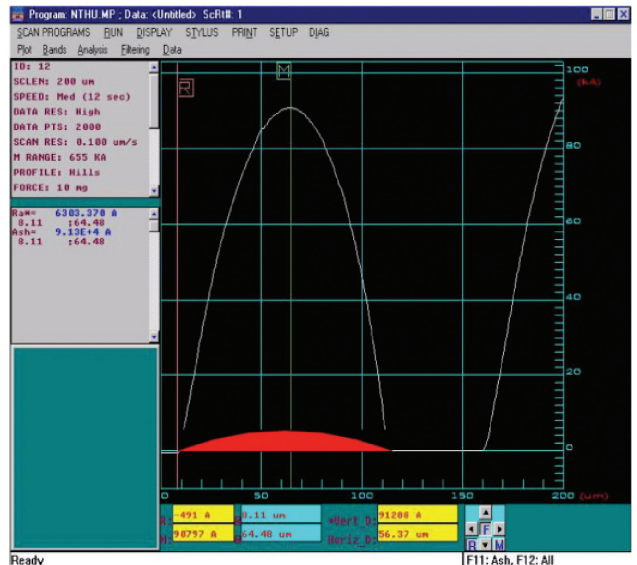


圖 13. 微透鏡陣列表面輪廓。

為增加鏡面的強度以及利於後續相關透鏡製作，吾人將利用 SU-8 將元件包覆其中。圖 11 即為 SU-8 斜面蒸鍍金屬之後再利用 SU-8 包覆的實體圖，我們可以看到斜面蒸鍍金屬後，位於鏡面底下的 Fresnel zone plate 在蒸鍍過程中完全沒有被金屬遮蓋。

本文中以 SU-8 微透鏡作為微光學讀寫頭之接物鏡，圖 12 即為先前提及利用親疏水特性製作之 SU-8 微透鏡。需特別說明的是，依據不同的需求，如大曲率或尺寸上的要求，需使用不同黏稠度的 SU-8，本文所使用的是黏稠性較低的 SU-8 2005，用此光阻可較快成形，不過較不易堆疊出較厚之結

構，且由於較稀薄，加熱時表面亦快速乾固。

除了利用電子顯微鏡檢視之外，亦利用表面輪廓儀 (surface profiler) 掃描微透鏡之表面輪廓，其分析數據結果如圖 13 所示。可以看到，每一顆微透鏡的直徑約為  $100 \mu\text{m}$ ，而其中中心最高點的厚度約為  $9 \mu\text{m}$ 。經由多次的量測，發現每一顆的尺寸均相當地接近，差異並不大，並且有良好之對稱性，也就是其最高點約位於透鏡的中心點，這與製程有相當大的關係，如軟烤時加熱板的水平調校。

## 五、結論

本研究提出了一模組化整合微型光學讀寫頭之設計以及製造方法，經由新製程將微光學元件，如 Fresnel zone plate、高分子微 45 度面鏡、光感測器以及光源，整合於玻璃基板上，並經由後續製程更可輕易地進行封裝且增加元件結構強度。除此之外，新型的 SU-8 高分子微透鏡製程也於本研究之中提出，將可於本研究之中與微型光學讀寫頭結合，擔任微聚焦物鏡的角色，使本研究之微型光學讀寫頭整合度更高。經由幾何光學計算光路，可驗證此光路設計確實可行，按照研究中所依循的分析方法及製作流程，確實可以將傳統之光學讀寫頭體積大大地降低，更可達到批次化且更有效率地製造。

此元件的設計主要特色為利用兩面 SU-8 高分子斜 45 度面鏡蒸鍍上不同的金屬，分別作為全反射以及半反射鏡以調變光路，最重要的斜面鏡表面平整度也經由製程參數的調校可以控制的相當好，在後續的實驗測試上均展現相當良好的特性。除此之外，在微聚焦物鏡的製作上也提出了全新的製作方式，不僅製程簡易，可涵蓋相當大的尺寸範圍，且在光學特性的量測上也顯示出良好的光學性質。

總結來說，本研究所設計製作的微光學讀寫頭在製作方面已有一定之成果，量測部分也有初步測試結果，未來需著力於元件與聚焦物鏡不同方式的搭配，以期求得最佳的效能，以及自我組裝技術的再研發。本研究所發展之各項新技術，相信不僅能運用於微光學元件的製造，將來也必定能更廣泛地運用於微系統技術之中。

## 參考文獻

1. S. Ura, T. Suhara, H. Nishihara, and J. Koyama, *IEEE, Journal of Lightwave Technology*, **4**, 913 (1986).
2. T. Shiono and H. Ogawa, *Applied Optics*, **33**, 7350 (1994).
3. L. Y. Lin, J. L. Shen, S. S. Lee, and M. C. Wu, *IEEE Photonics Technology Letters*, **9**, 345 (1997).
4. M. C. Wu, L. Y. Lin, S.-S. Lee, and K. S. J. Pister, *Sensors and Actuators*, **50**, 127 (1995).
5. L. Y. Lin, J. L. Shen, S. S. Lee, and M. C. Wu, *Optics Letters*, **21**, 155 (1996).
6. A. Yoshikawa, H. Nakanishi, K. Itoh, T. Yamazaki, T. Komino, and T. Musha, *Proceedings of the 44th Electronic Components and Technology Conference*, 346 (1994).
7. R. Ruhmann, K. Pfeiffer, M. Falenski, F. Reuther, R. Engelke and G. Grutzner, *Polymers in MEMS*, 45 (2000).
8. M. Tanigami, S. Ogata, S. Aoyama, T. Yamashita, and K. Imanaka, *IEEE Photonics Technology Letters*, **1**, 384 (1999).
9. S. S. Lee, L. Y. Lin, K. S. J. Pister, M. C. Wu, H. C. Lee, and P. Grodzinski, *IEEE Photonics Technology Letters*, **7**, 1031 (1995).
10. C. Pu, Z. Zhu, and Y.-H. Lo, *IEEE Photonics Technology Letters*, **10**, 988 (1998).

- 
- 胡恆蒼先生為國立清華大學工程與系統科學碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。
  - 曾繁根先生為美國加州大學洛杉磯分校機械博士，現任國立清華大學工程與系統科學系副教授。
  - Heng-Cang Hu received his M.S. in engineering and system science from National Tsing Hua University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.
  - Fan-Gang Tseng received his Ph.D. in mechanical engineering from the University of California, Los Angeles, USA. He is currently an associate professor in the Department of Engineering and System Science at National Tsing Hua University.