

國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

整合奈米孔、固態浸沒透鏡及支撐結構於近場光
學系統之應用



Integrated Nano-Aperture , Solid Immersion Lens , and Support

Structure for Near-field Optical Systems

研究生：黃元德

指導老師：徐文祥 教授

中華民國九十五年六月

整合奈米孔、固態浸沒透鏡及支撐結構於近場光學系統之應用

Integrated Nano-Aperture , Solid Immersion Lens , and Support Structure
for Near-field Optical Systems

研究生：黃元德

Student : Yuan-De Huang

指導老師：徐文祥 教授

Advisor : Wensyang Hsu



A Thesis

Submitted to Institute of Mechanical Engineer
College of Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Mechanical Engineering

June 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

整合奈米孔、固態浸沒透鏡及支撐結構於近場光學系統之應用

研究生：黃元德

指導教授：徐文祥

國立交通大學機械工程學系

摘要

奈米孔與固態浸沒透鏡是在近場光學系統中，常用來克服繞射極限和縮小光記錄點的兩項技術。根據以往研究指出，若將奈米孔與固態浸沒透鏡結合，可使入射於奈米孔的光功率密度增加，因此光出射效率相對得以提升，且光記錄點可達奈米等級。而奈米孔與固態浸沒透鏡兩者的大小相差百倍以上，所以將兩者精確的對準是一大問題。之前學者利用背向曝光的方式克服此問題，卻在最後的結果發現無法實際運用在近場光學系統中。因此本論文之研究重點是利用奈/微米機電技術製作出一支撐結構，能結合奈米孔與固態浸沒透鏡且可實際的運用在光學系統中，其中支撐結構與奈米孔是利用聚焦離子束蝕刻製作，而固態浸沒透鏡則是利用熱回流製程方式製作。

在製作結果方面，能精確的製作 $1\mu\text{m}$ 的連接臂， 100nm 、 200nm 和 300nm 的奈米孔其尺寸誤差在 5% 之內，而直徑 $15\mu\text{m}$ 的固態浸沒透鏡也能成功的製作出。在遠場量測結果方面，證實固態浸沒透鏡可縮小光點，且在奈米孔上增加固態浸沒透鏡可增加 1.216 倍的光穿透率。

由製作與量測結果可以得知增加支撐結構不會影響奈米孔與固態浸沒透鏡的製作，且能使奈米孔與固態浸沒透鏡實際運用在光學系統中。

Integrated Nano-Aperture , Solid Immersion Lens , and Support Structure for Near-field Optical Systems

Student : Yuan-De Huang

Advisor : Wensyang Hsu

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

For near-field optical systems, Aperture and Solid Immersion Lens (SIL) that are popular techniques can overcome light diffraction limit and reduce spot size. According to previous researches, nano-aperture combined with SIL can improve the throughput owing to greater power densities at the aperture and reduce spot size to nano grade. However, the misalignment between the SIL and nano-aperture always occurred in assembling or bonding step. Earlier academic advanced a self-alignment technique to overcome the misalignment. But the method lack practical application in optical systems. In this thesis, the supporting structure can solve the problem.

In fabrication results, the supporting structure can be made accurately. About nano-aperture ,100nm 、200nm and 300 nm aperture are fabricated and the maximum error is less than 5% in comparison with the designed values. The SIL also can be made successfully. From the measurement results of far-field system, manifest that SIL can reduce spot and the 15 μ m-diameter SIL/300nm-diameter circular aperture component has 1.216 times enhancement of transmission compared with 329nm-diameter aperture alone.

Basing on the measurement results, the supporting structure make the SIL and nano-Aperture more feasible.

誌謝

在交通大學碩士生的這兩年生活中，讓我成長與獲得了許多，首先，要感謝的是我的指導教授徐文祥老師，給予明確地指導與良好的實驗室，使我能專心且具有充足的設備作實驗，而在製程方面上要感謝交通大學奈米中心提供一個好的實驗室環境，讓同學們便利的使用，還有國科會精密儀器發展中心裡的林郁欣與鄭紹章學長，教導我使用 FIB 儀器，使實驗完成；還有關於光學量測方面，要感謝顯示所田仲豪老師給予幫助，和尹世璋同學的量測幫助，使得量測成功。

而在我們微機電實驗室中，也感謝鍾君煒、楊涵評、張駿偉、黃家聖、李毅家學長們，在實驗與經驗的傳承與指導，讓我獲益良多，也感謝葉昌旗、金彥宏同學，張家維、張耕碩、魏仁宏學弟的陪伴，跟我一起度過這兩年的生活；最後也要感謝我的家人，在我心情低落時，給予關心與支持，其實要感謝的人還有太多了，那就謝天吧。



目錄

| | |
|---------------------------|------|
| 摘要..... | i |
| Abstract..... | ii |
| 誌謝..... | iii |
| 目錄..... | iv |
| 圖目錄..... | vi |
| 表目錄..... | viii |
| 第 1 章 緒論..... | 1-1 |
| 1.1 研究動機..... | 1-1 |
| 1.2 文獻回顧..... | 1-4 |
| 1.2.1 固態浸沒式透鏡的製程..... | 1-4 |
| 1.2.2 微奈米孔的製程..... | 1-6 |
| 1.2.3 整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔..... | 1-8 |
| 1.3 研究目標..... | 1-10 |
| 第 2 章 原理與設計..... | 2-11 |
| 2.1 光學儲存原理..... | 2-11 |
| 2.1.1 傳統光學儲存方法..... | 2-11 |
| 2.2 固態浸沒式透鏡..... | 2-12 |
| 2.2.2 微奈米孔..... | 2-13 |
| 2.2.3 整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔..... | 2-14 |
| 2.3 結構設計與製程設計..... | 2-17 |
| 2.3.1 概念設計..... | 2-17 |
| 2.3.2 自我對準設計..... | 2-17 |
| 2.3.3 奈米孔的設計..... | 2-18 |

| | | |
|-------|----------------|------|
| 2.3.4 | 固態浸沒透鏡的設計..... | 2-19 |
| 2.3.5 | 支撐結構設計..... | 2-22 |
| 2.4 | 製程流程..... | 2-24 |
| 第 3 章 | 實驗結果與量測..... | 3-26 |
| 3.1 | 奈米孔與支撐結構..... | 3-26 |
| 3.2 | 固態浸沒透鏡..... | 3-30 |
| 3.3 | 光學量測..... | 3-32 |
| 3.3.1 | 量測原理..... | 3-32 |
| 3.3.2 | 量測設置..... | 3-33 |
| 3.3.3 | 量測結果..... | 3-35 |
| 第 4 章 | 總結..... | 4-39 |
| 4.1 | 結論..... | 4-39 |
| 4.2 | 未來工作..... | 4-39 |
| 參考文獻 | | 4-40 |



圖目錄

| | |
|---------------------------|------|
| 圖 1.1 資料儲存密度及相關技術之趨勢..... | 1-3 |
| 圖 1.2 以微模鑄製造 SIL..... | 1-4 |
| 圖 1.3 微球狀透鏡的製程方法..... | 1-5 |
| 圖 1.4 製作氮化矽 SIL 的流程圖..... | 1-5 |
| 圖 1.5 利用 FIB 製作奈米孔..... | 1-6 |
| 圖 1.6 化學蝕刻方式製作光纖探針頭..... | 1-7 |
| 圖 1.7 固體間的擴散方式..... | 1-7 |
| 圖 1.8 整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔..... | 1-8 |
| 圖 1.9 微孔與固態浸沒式透鏡整合製程..... | 1-9 |
| 圖 1.10 自我對準機制外型圖..... | 1-9 |
| 圖 1.11 之前學者設計製程的最後部份..... | 1-10 |
| 圖 2.1 傳統光學紀錄示意圖..... | 2-11 |
| 圖 2.2 固態浸沒式透鏡儲存方式..... | 2-12 |
| 圖 2.3 SIL 與 SSIL 的原理..... | 2-13 |
| 圖 2.4 微奈米孔儲存方式..... | 2-14 |
| 圖 2.5 奈米孔與光穿透率關係圖..... | 2-14 |
| 圖 2.6 整合固態浸沒透鏡與微奈米孔..... | 2-15 |
| 圖 2.7 整合兩者的光密度分佈比較圖..... | 2-15 |
| 圖 2.8 整合兩者的光穿透率比較圖..... | 2-16 |
| 圖 2.9 光學儲存系統..... | 2-17 |
| 圖 2.10 自我對準設計方式..... | 2-18 |
| 圖 2.11 奈米孔的設計圖..... | 2-19 |
| 圖 2.12..... | 2-19 |

| | |
|--------------------------------|------|
| 圖 2.13 固態浸沒透鏡結構圖..... | 2-21 |
| 圖 2.14 熱回流的示意圖..... | 2-21 |
| 圖 2.15 固態浸沒透鏡的設計參數..... | 2-21 |
| 圖 2.16 支撐結構外型圖..... | 2-22 |
| 圖 2.17 支撐結構尺寸圖..... | 2-23 |
| 圖 2.18 製程流程圖 (a)..... | 2-24 |
| 圖 2.19 製程流程圖 (b)..... | 2-24 |
| 圖 2.20 製程流程圖 (c)..... | 2-24 |
| 圖 2.21 製程流程圖 (d)..... | 2-25 |
| 圖 2.22 製程流程圖 (e)..... | 2-25 |
| 圖 3.1 奈米孔與支撐結構的 SEM 圖..... | 3-27 |
| 圖 3.2 不同尺寸的奈米孔 SEM 圖..... | 3-29 |
| 圖 3.3 在 SIL 基底上的光阻圖..... | 3-30 |
| 圖 3.4 經過熱回流後的固態浸沒透鏡..... | 3-31 |
| 圖 3.5 量測架構圖..... | 3-33 |
| 圖 3.6 光記錄點量測原理..... | 3-33 |
| 圖 3.7 光路配置圖..... | 3-34 |
| 圖 3.8 光纖鏡頭所產生的光點..... | 3-36 |
| 圖 3.9 加上 SIL 後所產生的光點..... | 3-36 |
| 圖 3.10 加上奈米孔後所產生的光點..... | 3-37 |
| 圖 3.11 加上奈米孔與 SIL 後所產生的光點..... | 3-37 |

表目錄

| | |
|-----------------------------|------|
| 表 1.1 光電產業 2004 年回顧與展望..... | 1-1 |
| 表 3.1 光穿透率比較表..... | 3-38 |



第 1 章 緒論

1.1 研究動機

在商業方面上，儲存向來是台灣的主力光電產業，與光顯示並列為台灣產值最大的兩個項目。根據 PIDA 統計，2002 年台灣光電產業總產值為 4,938 億元，在前五項排名中，除了第一名產值為 2,134 億元的 TFT-LCD 外，隸屬於光儲存產業的 CD-RW 光碟機、CD-R 光碟片，以及 CD-ROM 光碟機則分別佔了二、三、四名，三項產業的產值總和為 1,056 億元，是推動台灣光電產業成長的重要因素。

表 1.1 光電產業 2004 年回顧與展望

單位：百萬新台幣


| 年別 | 2003 | 2004 | 2003-04 成長率 | 2005(f) | 2004-05 成長率(f) |
|--------|---------|-----------|----------------|-----------|-------------------|
| 光電產業 | 794,129 | 1,128,180 | 42% | 1,512,162 | 34% |
| 光輸入產業 | 112,718 | 114,223 | 1% | 122,209 | 7% |
| 光儲存產業 | 183,344 | 227,349 | 24% | 282,678 | 24% |
| 光輸出產業 | 24,196 | 24,414 | 1% | 24,563 | 1% |
| 光顯示產業 | 422,955 | 706,021 | 67% | 1,017,147 | 44% |
| 光通訊產業 | 7,742 | 8,317 | 7% | 10,063 | 21% |
| 光電元件產業 | 39,253 | 47,831 | 22% | 55,558 | 16% |

(資料來源：工研院 IEK 電子組)

工研院 IEK(經濟部產業技術資訊服務計畫)統計，2004 年台灣光電產業中光顯示和光儲存的產值合計新台幣 9333 億，佔整體光電產值的 83%，預估今年這兩項產業拜全球需求所賜，產值將持續增長到 1.3 兆，較去年再成長 3600 餘億元。調查顯示，2004 年台灣光電產業產值合計 1.1 兆，較 2003 年的 7941 億成長 42%。其中，以光顯示產業產值 7060 億佔台灣光電產業產值 63%，比重最高；光儲存產業次之，產值為 2273 億，佔台灣光電產業產值 20%。2005 年在這兩項產業帶動下，預計台灣整體光電產業產值將成長 34%，達 1.5 兆元。

資料儲存技術的發展，在近乎半個世紀以來持續提升，從磁帶、光碟片 CD、DVD 藍光光碟 HD-DVD，到近場光碟等，技術的更迭與演進，除追求輕薄短小外，同時更要求儲存量的極大與讀取速度的極快，因為再大的儲存容量若無快速的讀取機制配合，就無法達到高速的資訊交流。

而光儲存的肇始主要是來自於光盤片及光驅的誕生，光驅是光學、機械、訊號處理系統與控制系統的整合。當激光束經過精密的光學系統，經由物鏡聚焦在光盤片上形成很小的光點，這個小光點稱為訊洞，以訊洞來記錄訊號 1，而平台則代表 0，當讀取訊號時，雷射光經過平台會反射回來，而經過訊洞時，反射光的強度減弱為原來的十分之一，這些不同強度的反射光經光檢知器轉出模擬訊號，再經數字化與譯碼轉換，而得到光盤上的信息。

傳統的光學儲存系統，因為侷限於光波波長及光學鏡組聚焦能力的限制，其儲存密度都有其限制，以目前現有商業產品 CD 光碟片，其儲存密度為 $108\text{bit}/\text{cm}^2$ ，每片光碟儲存容量約為 640MB，DVD 光碟片的儲存容量是一般光碟片的 8~16 倍，約 4.7GB~8.5GB。在資料儲存的演進中（圖 1.1)，資訊系統的儲存密度一直增加，約每 10 年增加 100 倍，在記錄密度愈來愈高時，將會面臨訊號寫入或讀出的問題，如「光學繞射極限」(optical diffraction limit) 的限制。

目前一般的光學儲存媒體，是將利用光波聚焦的特性，可以一次讀取碟片上的一個刻痕，而獲得所需的數位訊號，其儲存容量大約為碟片面積與聚焦光點面積（相當於波長的平方）之比，算是一種遠場光學的儲存技術，而其可辨識出之記錄點的大小，則會受到繞射極限的限制，若要有效地提升記錄密度需縮小記錄點大小，則必須（1）使用短波長的光源；（2）使用高折射係數的介質；或（3）提升透鏡的 NA 值。但無論如何，遠場的光學記錄方式仍會受到繞射極限的限制。

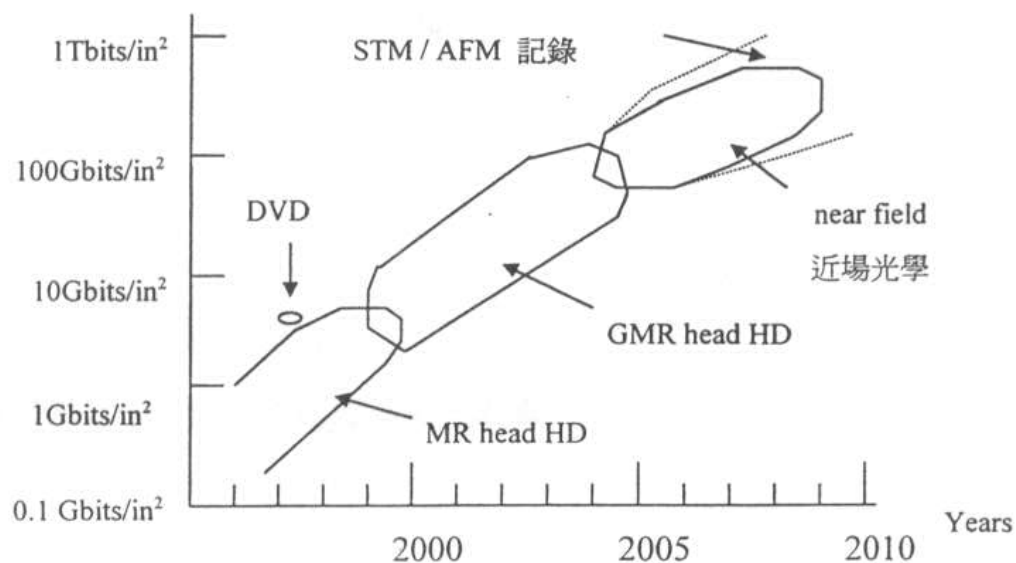


圖 1.1 資料儲存密度及相關技術之趨勢

(資料來源:林盈熙, 1999)

至於近場光學的記錄方式，主要在遠小於所使用的工作波長的距離內來作記錄，因為光的波動性質還未呈現出來，故近場光學記錄是不受繞射極限限制的一種新的光學記錄方法。近幾年來的一些近場光學記錄研發，有各式近場光學探針讀寫的技術、固體浸入式鏡頭 (SIL) 的近場光驅，和超解析結構 (Super-resolution optical near-field structure, Super-RENS) 近場光盤片。

在不改變碟片面積的情形下，聚焦點越小，儲存的容量就能向上提升，故近場光學記錄是具有機會突破繞射極限限制的一種新的光學記錄方法；因此如何製造新型讀取頭，使其可在近場光學儲存紀錄，已成為一重要研究議題。

1.2 文獻回顧

整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔的方式，不但能降低光點的大小到奈米等級，且光輸出率比只有單一微奈米孔強，可得到原先兩者的優點，因此我將找出固態浸沒式透鏡微奈米孔的製造方法，且能夠把兩者整合起來。

1.2.1 固態浸沒式透鏡的製程

學者 Yee 等人在 2000 年發表一篇有關利用微模鑄的方法來製作固態浸沒式透鏡（圖 1.2），其內容敘述在一單晶矽的基底上，等向性蝕刻出半球形的模具，然後在模具內放入粉末狀的高分子材料（PMMA），接著加熱到 PMMA 可轉變成玻璃狀的溫度，最後藉著適當的壓力與冷卻，就能生產出批次的固態浸沒式透鏡。

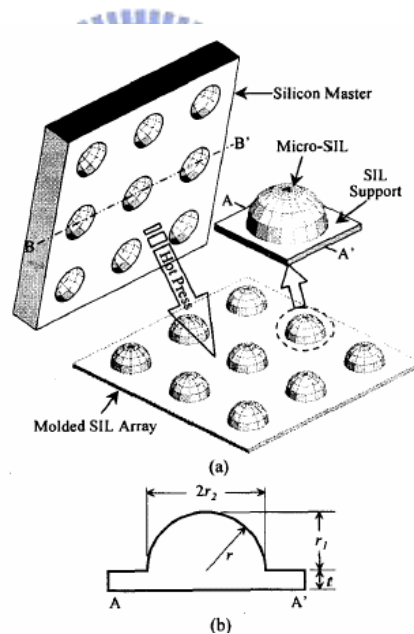


圖 1.2 以微模鑄製造 SIL

（資料來源:Yee 等人, 2000）

另外 Lin 等人在 2000 年發表一新的製程方法（圖 1.3），來製造微球狀透鏡，其製程概念就是首先在基底上，旋塗一層聚亞醯胺（polyimide）的薄膜，再旋塗一層光阻（AZ-4620），然後定義出所要的圖形大小，最後在以 190°C 12 hr 作熱處理，就可形成球狀的透鏡，而形成原因是當升溫到 190°C 時，光阻會變成類液體狀，

在因表面張力和圖形大小的關係，就能形成球狀的透鏡。

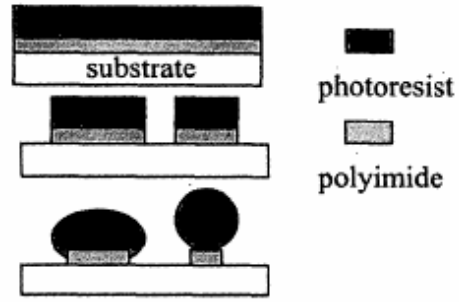


Fig. 2: Fabrication process.

圖 1.3 微球狀透鏡的製程方法

(資料來源: Lin 等人, 2001)

最後，Crozier 等人在 2002 年發表一篇以微加工方式來製作氮化矽的固態浸沒式透鏡（圖 1.4），其方法是，首先在氧化矽上沉積一層多晶矽，然後以等向性蝕刻方式，形成一半圓球的凹洞，接著沉積氮化矽並定義出所要的圖形大小且對光阻作熱回流，再用介電蝕刻方式把圖形轉印到氮化矽層上，最後在定義出懸臂樑大小，如此一來就可做出固態浸沒式透鏡與懸臂樑的整合。

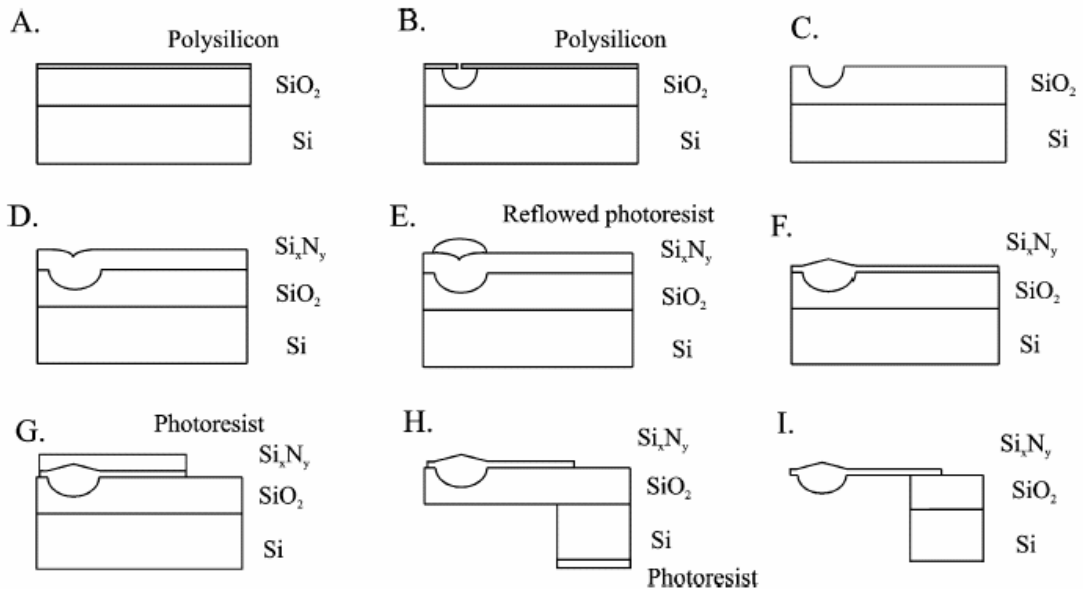


圖 1.4 製作氮化矽 SIL 的流程圖

(資料來源: Crozier 等人, 2002)

1.2.2 微奈米孔的製程

Pilevar 等人在 1998 年，提出使用 FIB 儀器製作微小孔徑的方法 (圖 1.5)，其原因是經離子束掃瞄後的範圍，可以精確地移除在玻璃纖維上 100-150nm 厚的鋁膜。

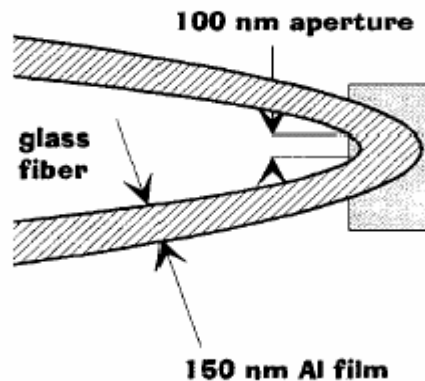


圖 1.5 利用 FIB 製作奈米孔

(資料來源: Saeed 等人, 1999)

Phan 等人在 1999 年，提出一新的製程方法來製作批次的微小孔徑 (圖 1.6)，首先，利用氧化微影蝕刻的方式，形成一尖狀的凹槽，然後在 1050°C 下，成長一層厚的氧化矽，而氧化層因熱應力的關係，在尖點會縮小其厚度，之後再蝕刻犧牲層，尖點就會形成一微小的孔徑。

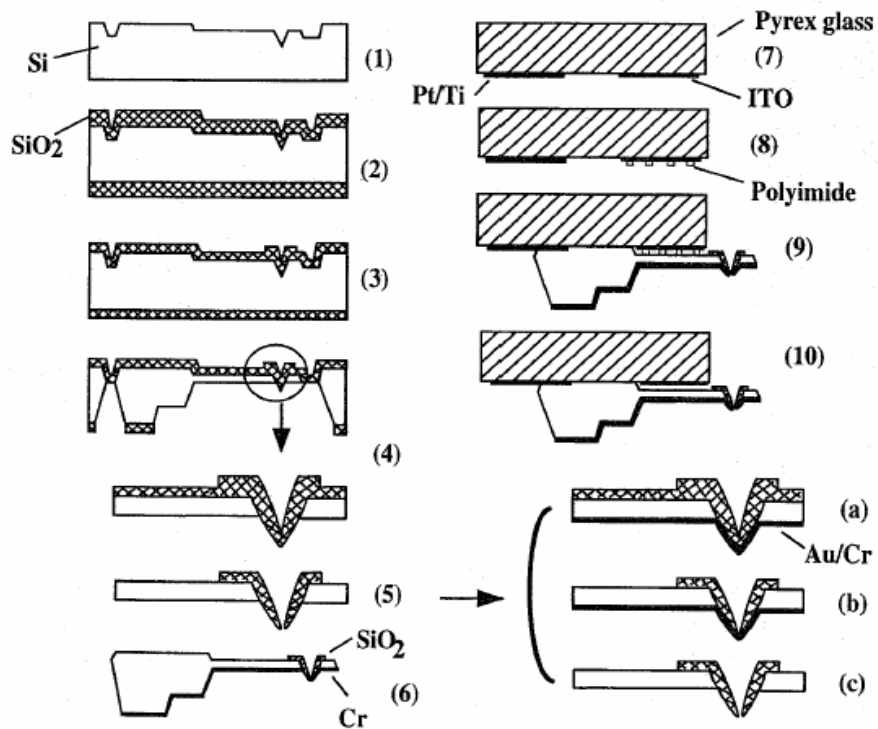


圖 1.6 化學蝕刻方式製作光纖探針頭

(資料來源: Phan 等人, 1999)

Suzuki 等人在 2000 年介紹一種名為固體間擴散的方法來製作近場光學的微孔 (圖 1.7)，首先在一探針表面濺鍍碲的薄膜，然後針尖與金物體做接觸，經過幾個小時後金會因擴散的原理，跟碲反應形成合金，由於合金的強度小於碲，所以在移除金物體時也一併把合金給移除，就在探針尖形成一微孔。

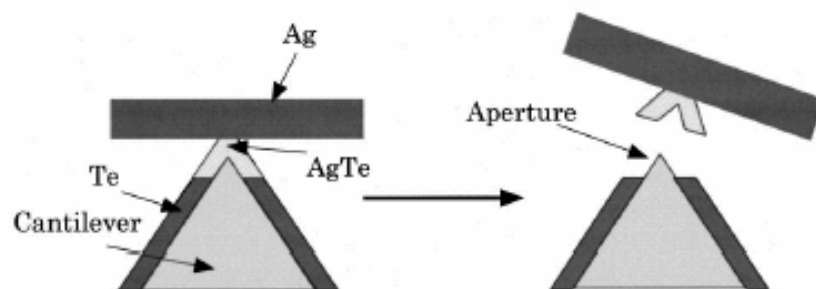


圖 1.7 固體間的擴散方式

(資料來源: Suzuki 等人, 2000)

1.2.3 整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔

運用固態浸沒式透鏡與微孔皆能縮小光點的大小，來提昇光學儲存密度，但兩者都有其缺點，以微孔而言，當輸入光源的波長小於微孔直徑，其輸出光的效率會急遽下滑，而固態浸沒式透鏡的解析度沒微孔方式高，因此，學者 Milster et al. 提出整合固態浸沒式透鏡與微孔的方法（圖 1.8），其內容是，首先製作一 $2\mu\text{m}$ 厚的氮化矽基板，接著在其上面沈積 100nm 厚的鋁，再用 FIB 打出 $200\text{nm}\times 350\text{nm}$ 的奈米孔，最後把固態浸沒式透鏡黏接到基板的背面，而以此方法，光源可以先由固態浸沒式透鏡具焦，而奈米孔可以縮小光點的大小，比原先只有單一的微孔，增加了光輸出率，且光點的大小的可以由奈米孔控制，兩者的長處都擁有了，但是有一點卻是很重要的，就是固態浸沒式透鏡與奈米孔的對準。

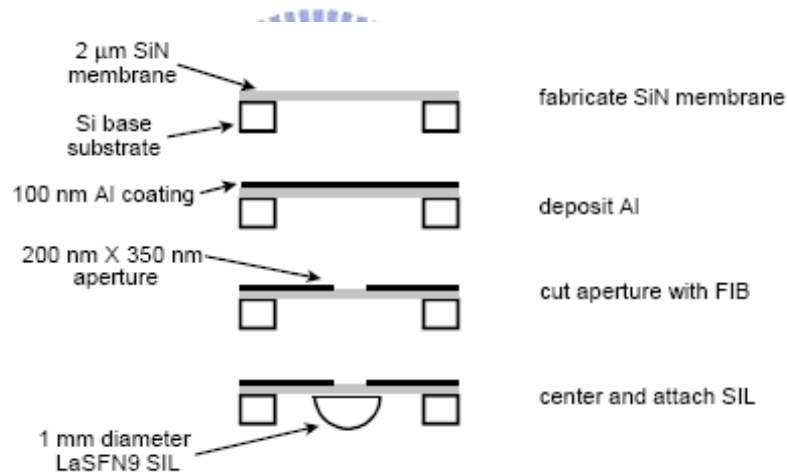


圖 1.8 整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔

（資料來源: Tom D. Milster 等人, 2001）

周學良等人在 2002 年也提出另一個新的方法來結合固態浸沒式透鏡與微奈米孔（圖 1.9），製程第一步是用微影定義出光阻（AZ-4620）範圍，接著熱回流成傾斜的形狀，其能使更多的光源進入，再電鍍出微孔的大小，最後在微孔上用微影方式定義出範圍，再以熱回流形成固態浸沒式透鏡，但是對準誤差還是存在。

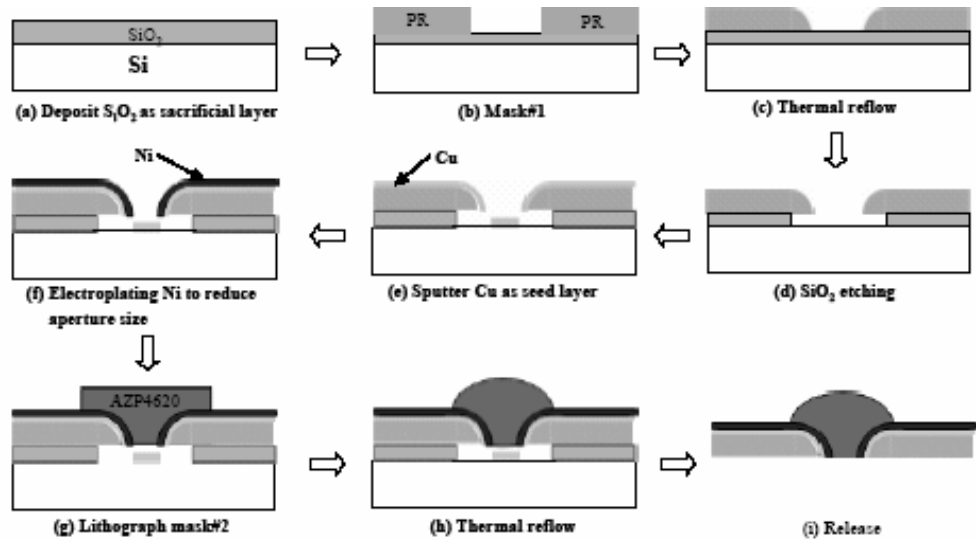


圖 1.9 微孔與固態浸沒式透鏡整合製程

(資料來源: 周學良, 2002)

為了克服對準誤差的問題，張育儒等人在 2004 年提出一自我對準的方法解決 (圖 1.10)，以整合微奈米孔與固態浸沒式透鏡，起初微孔、基座與外圍圓環以蝕刻的方式製成，而微孔與圓環是同一微影步驟形成，因此兩者是有著相同圓心，然後以背向曝光定義出所需光阻大小，最後以熱回流形成固態浸沒式透鏡，自然會與微孔對準，就能解決對準誤差的情況。

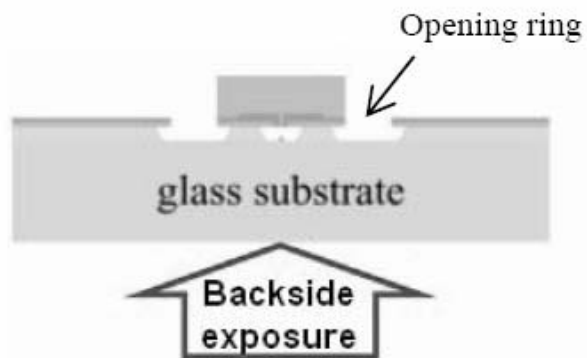


圖 1.10 自我對準機制外型圖

(資料來源: 張育儒, 2004)

1.3 研究目標

根據先前學者在光學儲存方面的研究，可以發現固態浸沒式透鏡與微奈米孔的方法各有其長處，以固態浸沒式透鏡來講，不僅能降低光點的大小，且光輸出效率也與原先傳統光學儲存方法差距不大，但缺點是光點大小只能縮小到微米等級，另一方面，奈微米孔可以縮小光點為奈米等級左右，但當其孔徑縮小到入射光波長的大小，光輸出率會大幅的減低，因此整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔的方式，不但能降低光點的大小到奈米等級，且光輸出率比只有單一微奈米孔強，得到原先兩者的優點，可是在製程上對準誤差的問題因而產生，而張育儒學者找到一背向曝光的方法來克服此問題，且許鴻隆學者應用此方法製作出奈米孔與固態浸沒式透鏡的整合結構，但兩者在研究中所欠缺的是無法實際應用於光學儲存讀取的系統，原因是在他們製程中的最後一步（圖 1.11），蝕刻掉其犧牲層後，奈米孔與固態浸沒式透鏡的結構，會與晶片基底脫離，變成無法使用的物件，因此我將設計一支撐結構，不僅能將原結構固定在基底上，也能做出奈米孔與固態浸沒式透鏡的整合結構。

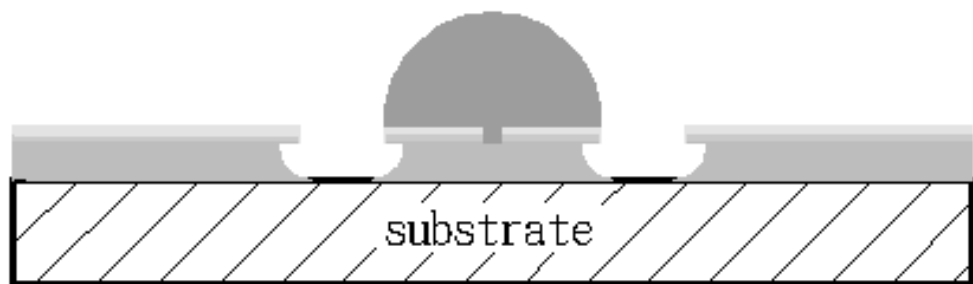


圖 1.11 之前學者設計製程的最後部份

（資料來源:許鴻隆，2005）

第 2 章 原理與設計

2.1 光學儲存原理

2.1.1 傳統光學儲存方法

在傳統的光學紀錄中（圖 2.1），光點的大小是由物鏡的聚焦的能力所限制，其公式如下：

$$D_{spot} \doteq \frac{\lambda}{N.A} \quad (1.1)$$

$$N.A = n \times \sin \theta \quad (1.2)$$

其中， λ 為入射光的波長，N.A 是物鏡的數值孔徑，n 是折射係數。

由公式 (1.1) 可知，使用短波長的光源或提升透鏡的 N.A 值，可使光點縮小，而提高記錄能力。

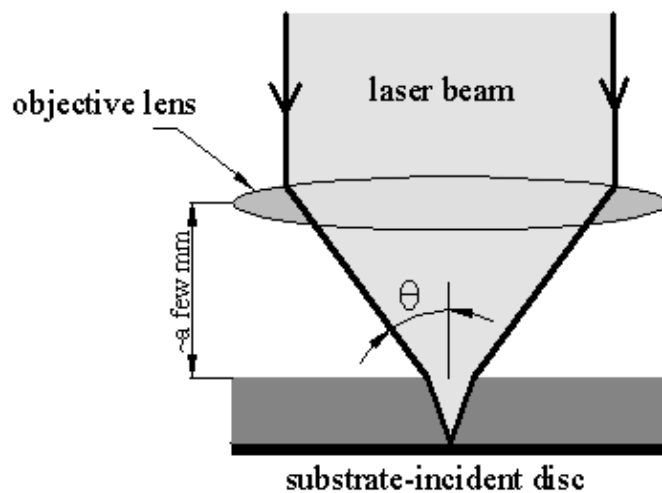


圖 2.1 傳統光學紀錄示意圖

2.2 固態浸沒式透鏡

固態浸沒式透鏡 (Solid Immersion Lens, SIL) 與傳統光學儲存方式的不同，是在於利用包含物鏡及固態浸沒透鏡之物鏡組 (圖 2.2)，縮小光碟上記錄光點，由於光線聚焦於固態浸沒透鏡圓心，使其有效波長縮短 n 倍 (n 為固態浸沒透鏡折射係數)，相當於有效的 NA 值提高 n 倍，透鏡的數值孔径變大，因此光點大小可以縮小 n 倍。而此時固態浸沒透鏡和碟片間的距離需遠小於入射波長的範圍內 (100nm)，才能使消散波 (evanescent wave) 有效耦合進入碟片，達到光點縮小的效應。

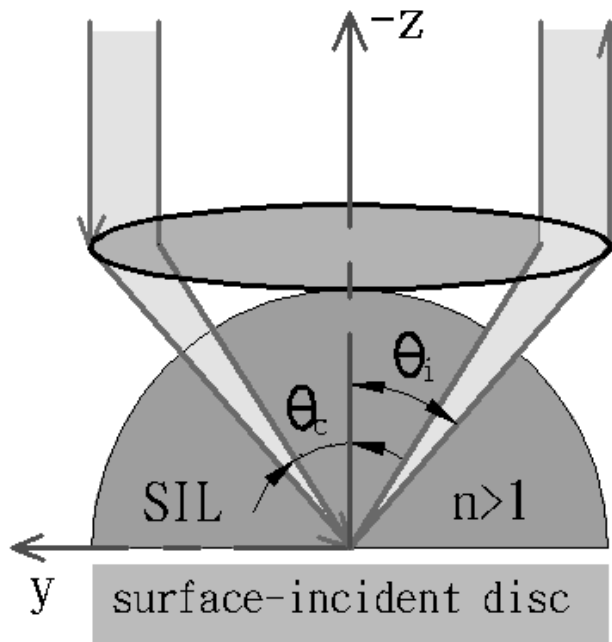
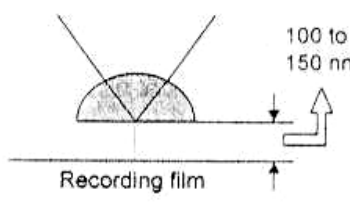
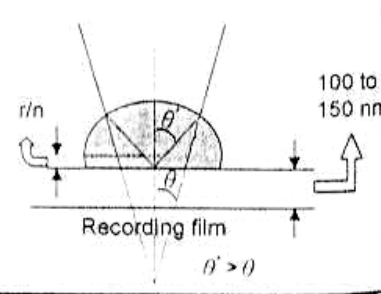


圖 2.2 固態浸沒式透鏡儲存方式

而另一種形式的固態浸沒式透鏡，叫做超半球固態浸沒式透鏡 (superhemispherical SIL, SSIL)，超半球固態浸沒式透鏡的中心放置在與原本的聚焦平面為固態浸沒式透鏡的地方 (圖 2.3)，且此物體之中心與平面之距離為曲率半徑與折射率之比值 r/n ，由於光除了波長減少的因數外，還有因為光過介面時還會再折一次 (Snell's law)，因此透鏡之 NA 將變為 $n^2 \sin \theta$ ，則光點可以縮小 n^2 倍。

| | (1) Hemispherical SIL | (2) Superhemispherical SIL |
|----------------------|---|---|
| Beam focus with lens |  |  |
| Beam spot diameter | $\approx \frac{1}{n} * \frac{\lambda}{NA}$ | $\approx \frac{\lambda}{n^2}$ |

λ : Source wavelength

n : Reflection Index of SIL

NA : Numerical aperture of object lens

圖 2.3 SIL 與 SSIL 的原理

(資料來源：蔡定平，1998)

2.2.2 微奈米孔

在光學儲存的改進上，另一種方式是在碟片上放置一微奈米孔（圖 2.4），當入射光經由透鏡聚焦在微奈米孔上，光記錄點的大小就由孔的大小所決定，但此方面雖然能很容易的把紀錄點縮小到奈米尺寸，但有幾點限制，一是孔的直徑要比入射波長小，二是碟片與微奈米孔的間距也要比入射波長小，如此才能縮小紀錄點到達奈米等級，但此方有一缺點，就是當微奈米孔急遽縮小時，光的輸出率也會急遽下降（圖 2.5），使得兩者間有矛盾現象的產生。

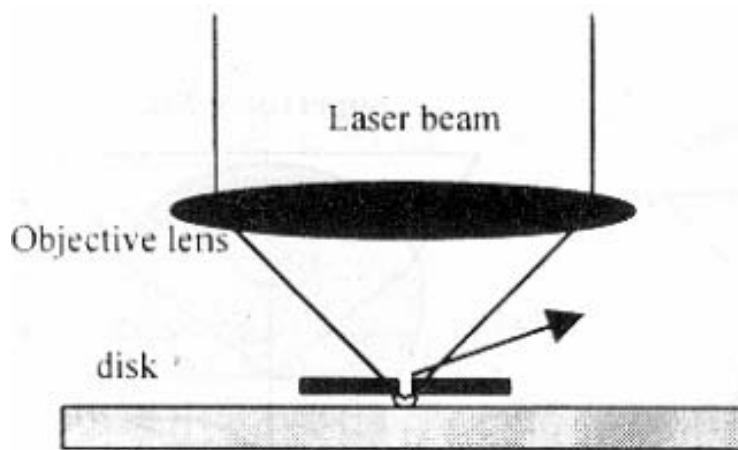


圖 2.4 微奈米孔儲存方式

(資料來源: Lin, 1999)

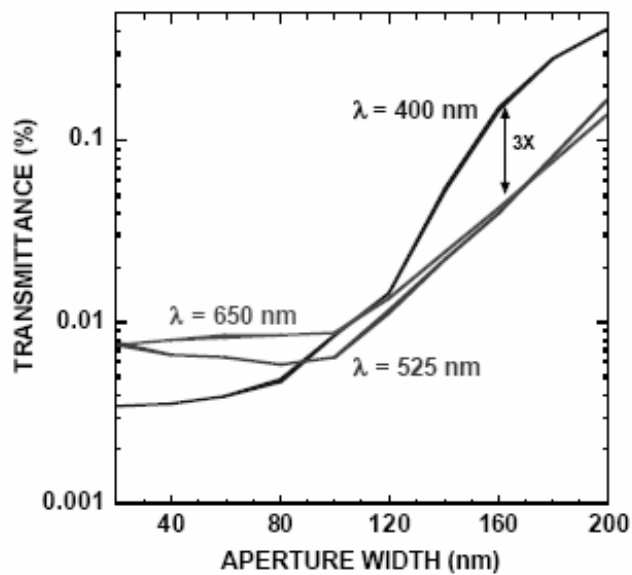


圖 2.5 奈米孔與光穿透率關係圖

(資料來源: Alan Kost and Nick Ericson)

2.2.3 整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔

運用固態浸沒式透鏡與微孔皆能縮小光點的大小 (圖 2.6), 以用來提昇光學儲存密度, 但兩者都有其缺點, 以微孔而言, 當輸入光源的波長小於微孔直徑, 其輸出光的效率會急遽下滑, 而固態浸沒式透鏡的解析度沒微孔方式高, 因此把兩者整合, 就有機會得到兩者的優點, 互補的作用產生, 如圖 2.7 中所示, 單純

只是固態浸沒透鏡的光點大小為 $4\mu\text{m}$ 左右，但整合兩者的光點大小為 $2\mu\text{m}$ 左右，縮小了一倍，至於在光穿透率上，有加上固態浸沒透鏡的微孔之穿透率，比單純微孔的穿透率大上一倍左右，因此整合固態浸沒式透鏡與微奈米孔的方式，不但降低光點的大小到奈米等級，且光輸出率比只有單一微奈米孔強，能得到原先兩者的優點。

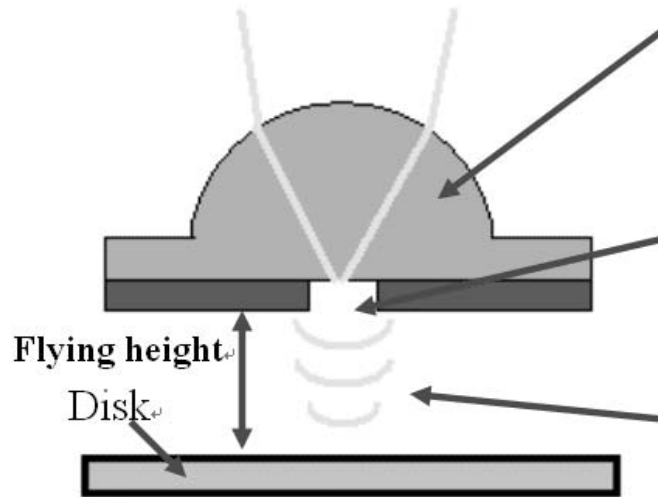


圖 2.6 整合固態浸沒透鏡與微奈米孔

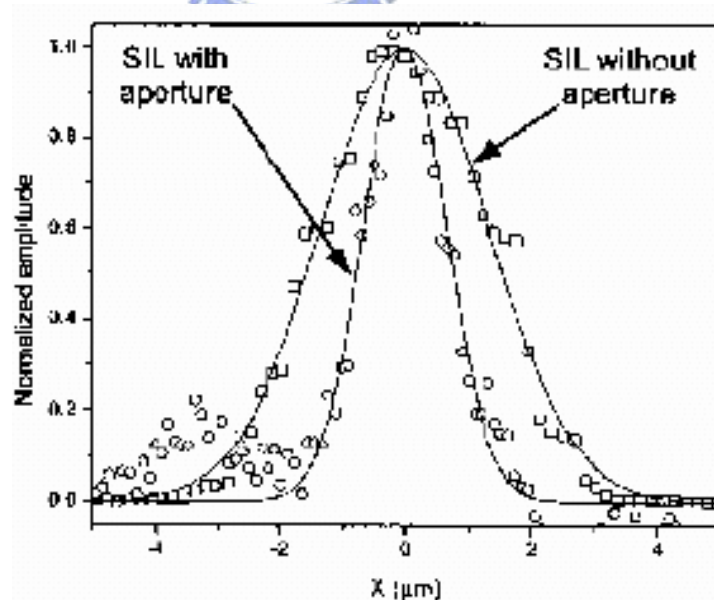


圖 2.7 整合兩者的光密度分佈比較圖

(資料來源: Fletcher 等人,2000)

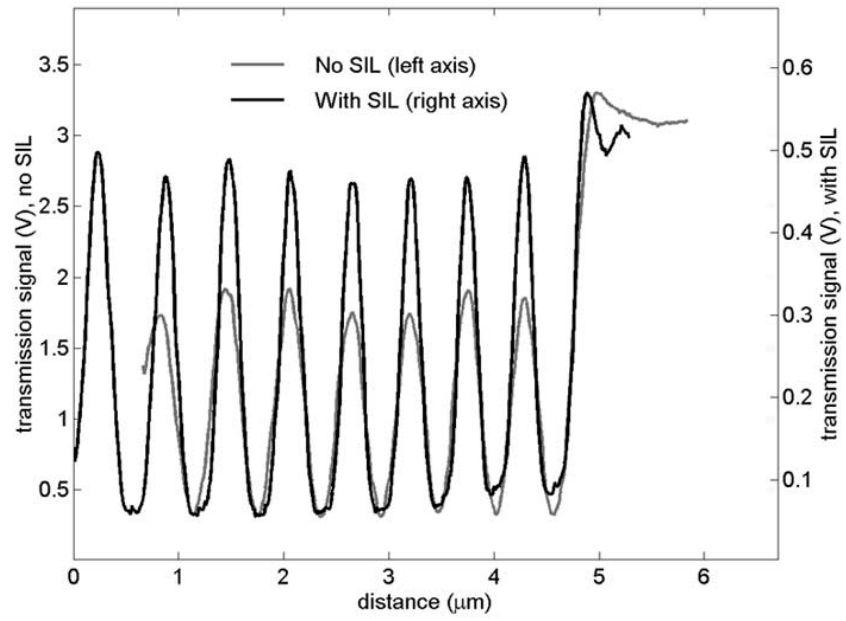


圖 2.8 整合兩者的光穿透率比較圖

(資料來源: Crozier 等人,2002)



2.3 結構設計與製程設計

2.3.1 概念設計

結合固態浸沒透鏡及微孔，可以提供較小的光記錄點與較好的光輸出率，這是我設計的基本原理。把此原理應用在光學儲存系統中（圖 2.9），光源經由光纖透鏡平行的射出，而 45 度的鏡面反射入射光，使入射光垂直入射固態浸沒透鏡，由於固態浸沒透鏡的折射率為 n ($n > 1$)，可將光縮小 n 倍且增加光輸出率，最後在由微孔決定聚焦在碟片上的光點大小。

而我研究的目標是整合固態浸沒透鏡、奈米孔及支撐結構，所以接著我將機構的設計分為三個部分。

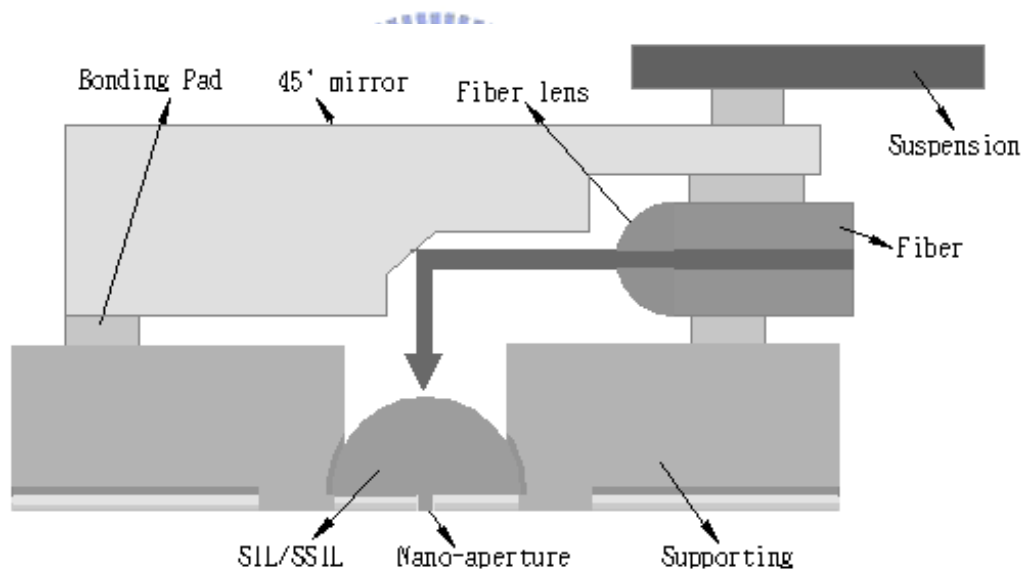


圖 2.9 光學儲存系統

2.3.2 自我對準設計

在光儲存系統中，入射光由固態浸沒透鏡進行第一次的聚焦，再由奈米孔控制光點大小，因此如何將固態浸沒透鏡與奈米孔對準，將會是一大問題，在此為了克服對準誤差的問題，參考張育儒學長的设计，運用背向曝光的方法達到固態

浸沒透鏡與奈米孔的自我對準。

其方式是(圖 2.10)，首先定義出圖案的大小，而原本有鍍金屬的部份，如同光罩，因此從另一方向曝光，可以把不需要的部分去除，顯影後將得到所要的光阻範圍與大小，最後光組熱回流後就會形成固態浸沒透鏡，因為奈米孔的位置為圖案的中心，所以固態浸沒透鏡自然而然會跟奈米孔對準，如此就能解決對準誤差的問題。

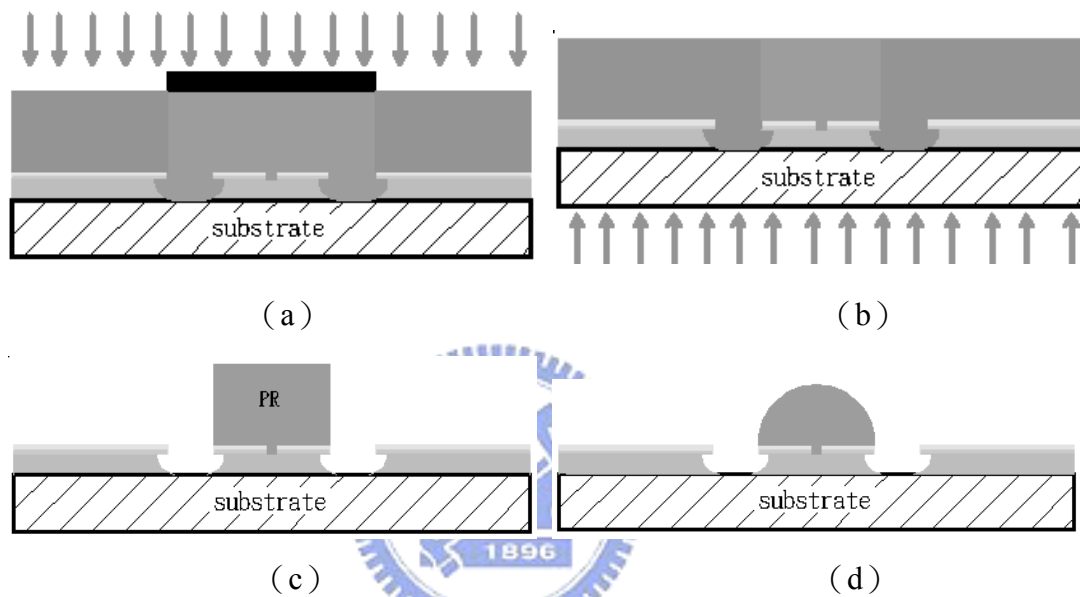


圖 2.10 自我對準設計方式

(資料來源:許鴻隆, 2005)

2.3.3 奈米孔的設計

奈米孔的基材有兩層(圖 2.11)，一種是鈦，其為黏著層，一種是金，其為結構層，目的是使得入射光只能從奈米孔通過，而奈米孔的形狀與大小將使用聚焦離子束定義，由於儀器的原因，孔徑的側壁成傾斜的形狀，底部較小上面較大，但此形狀可增加光輸出率，而實際的奈米孔尺寸為鈦層底部的孔。由於基材的厚度越厚，奈米孔的尺寸會越小，所以設計鈦層的厚度為 20nm，金層的厚度為 100nm，總厚度為 120nm，奈米孔可定義的較正確。

對於奈米孔尺寸的設計，其形狀是圓形，在理論上直徑是越小越好，但實際

上當奈米孔直徑 $<60\text{nm}$ 時，會跟 HE₁₁ 型態入射光的截直徑太接近，導致光輸出率極劇的下降，因此我設計的是 100nm,200nm 和 300nm 直徑的奈米孔。

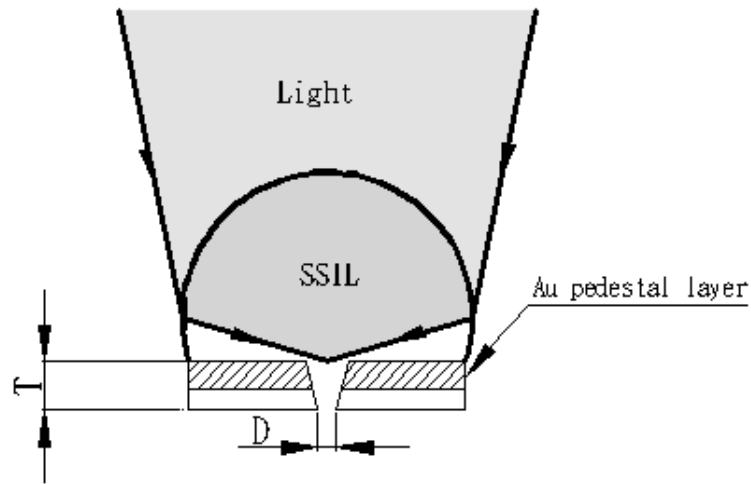


圖 2.11 奈米孔的設計圖

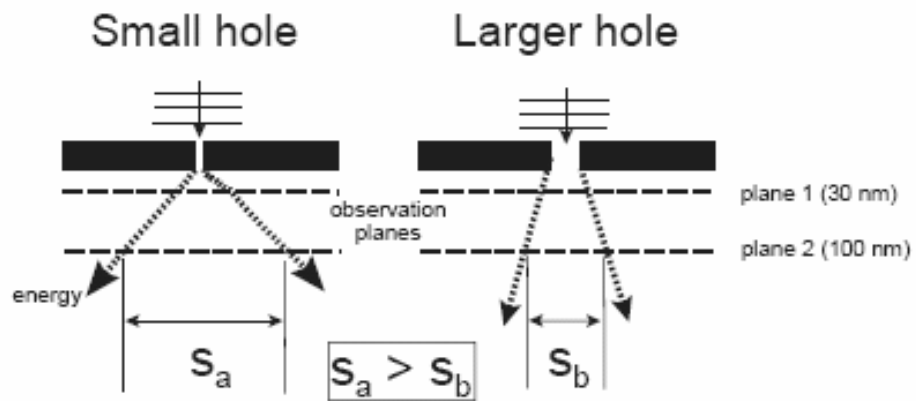


圖 2.12

(資料來源:Tom D. MILSTER 等人, 2000)

2.3.4 固態浸沒透鏡的設計

對於固態浸沒透鏡 (圖 2.13) 的設計，是先將光阻塗佈在基材上，然後加熱到超過光阻轉換成玻璃的臨界溫度，其狀態會如同液體般，而液體與固體間的接觸角 (圖 2.14)，會隨著表面能量改變直到穩定，根據靜平衡的原理，可得到下列公式：

$$\gamma_{LS} = \gamma_{AL} \cos \theta \quad \text{and} \quad \gamma_{SA} = \gamma_{AL} \sin \theta \quad (2.1)$$

其中， θ 是達到平衡的接觸角， γ_{AL} 是液體的表面張力， γ_{SA} 是固體的表面能量， γ_{LS} 是固體與液體間的表面能量。

在熱回流的過程中，表面張力與表面能量會逐漸的平衡，最後當表面能量最小時，就會形成半圓球的結構，因此控制光阻的厚度與範圍大小，就能得到所要的固態浸沒透鏡的尺寸。

在此假設光阻熱回流前後的體積不變（圖 2.15），原先光阻的體積可以表示為：

$$V_{cylinder} = \pi \left(\frac{C'}{2} \right)^2 \times t \quad (2.2)$$

其中 C' 代表光阻直徑， t 為光阻厚度

熱回流後的體積變為

$$V_{SIL} = \frac{1}{12} \pi d^3 \quad (2.3)$$

兩式相等可以得到光阻厚度 t 為

$$t = \frac{1}{3} \frac{d^3}{C'^2} \quad (2.4)$$

但在實際熱回流的情況裡，光阻會收縮，因此假設一參數 S 代表光阻收縮率，把公式（2.4）修正為

$$t_{SIL} = \frac{1}{3} \frac{d^3}{C'^2} (1 + S) \quad (2.5)$$

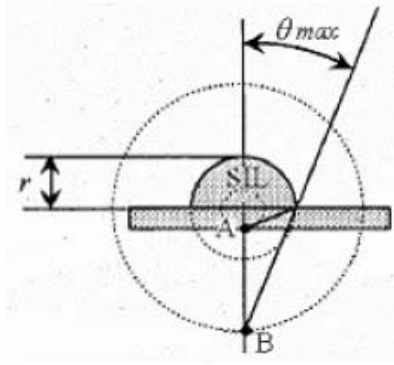


圖 2.13 固態浸沒透鏡結構圖

(資料來源: Takao Suzuki, 1998)

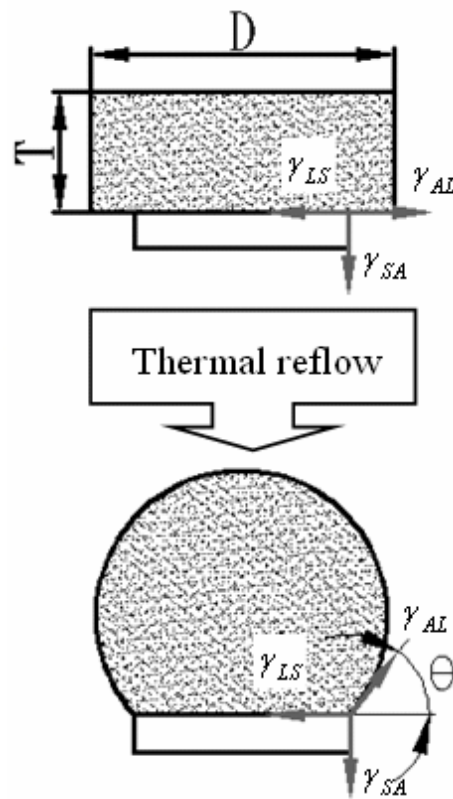


圖 2.14 熱回流的示意圖

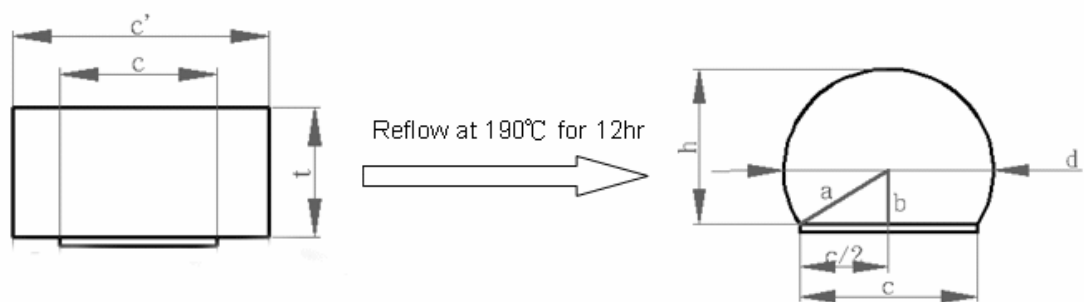


圖 2.15 固態浸沒透鏡的設計參數

2.3.5 支撐結構設計

設計支撐結構的目的是，把固態浸沒透鏡及奈米孔整合一起，且能與底部的機材連接，最後把犧牲層掏掉後，兩者還能固定在基材上，如此一來，才能實際應用於光學儲存系統中。

在之前設計奈米孔時，是使用聚焦離子束來定義圖形，而支撐結構也是在同一時間定義，這樣才能確保奈米孔與支撐結構的圓盤為同一原心，兩者間就沒有對準誤差的問題產生，而支撐結構的尺寸設計是(圖 2.17)，中間圓盤的直徑為 $15\mu\text{m}$ ，四根支撐結構寬 $2\mu\text{m}$ ，由於在進行背向曝光時，四根支撐結構會形成圖案的部分，因此設計其尺寸小於曝光機的極限，光源就會繞射過去，如同沒支撐結構，才可繼續下一步驟，固態浸沒透鏡的熱回流，而且支撐結構兩兩對稱，在最後犧牲層掏空時，較不會有表面應力的產生。

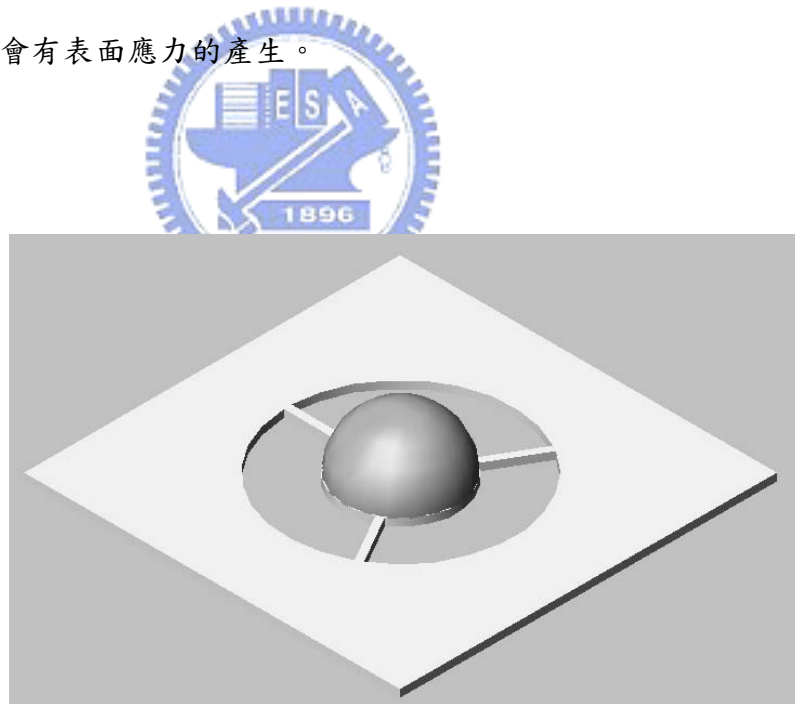


圖 2.16 支撐結構外型圖

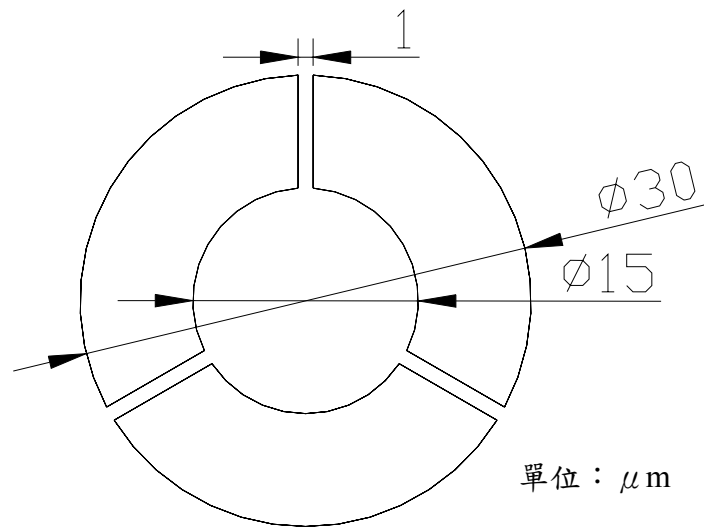


圖 2.17 支撐結構尺寸圖



2.4 製程流程

- 1、首先在玻璃基板上鍍上犧牲層鋁，再鍍上黏著層鈦，最後再鍍上結構層金。

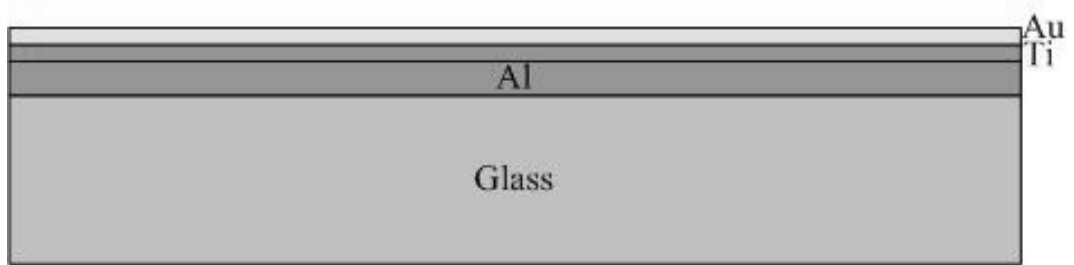


圖 2.18 製程流程圖 (a)

- 2、使用聚焦離子束定義出奈米孔與支撐結構

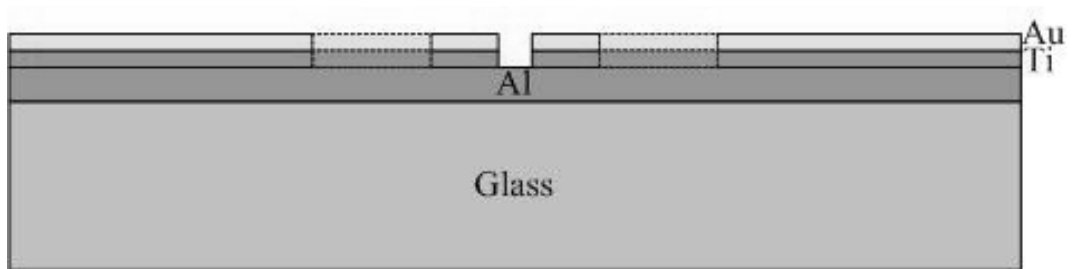


圖 2.19 製程流程圖 (b)

- 3、用蝕刻液蝕刻出一環狀的開孔，當作背向曝光的光罩

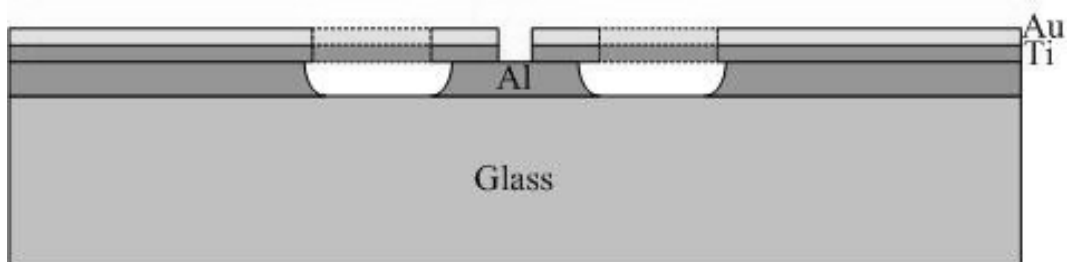


圖 2.20 製程流程圖 (c)

- 4、旋塗上光阻 AZ-4620，再用光罩與背向曝光的方法，定義所要的圖案

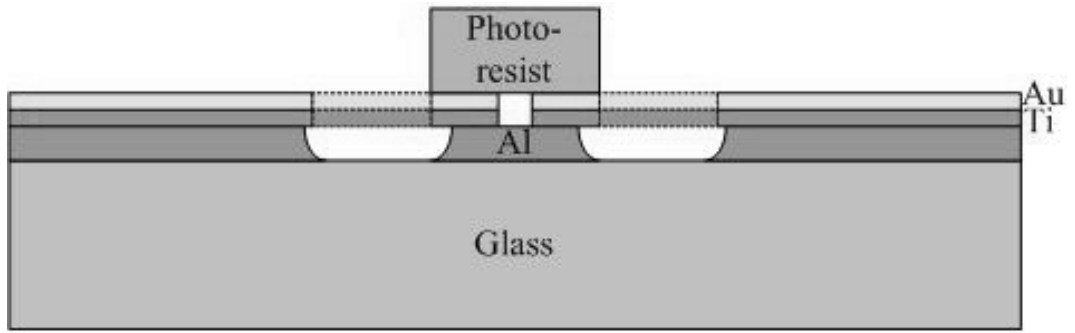


圖 2.21 製程流程圖 (d)

5、最後熱回流出半圓球的固態浸沒透鏡

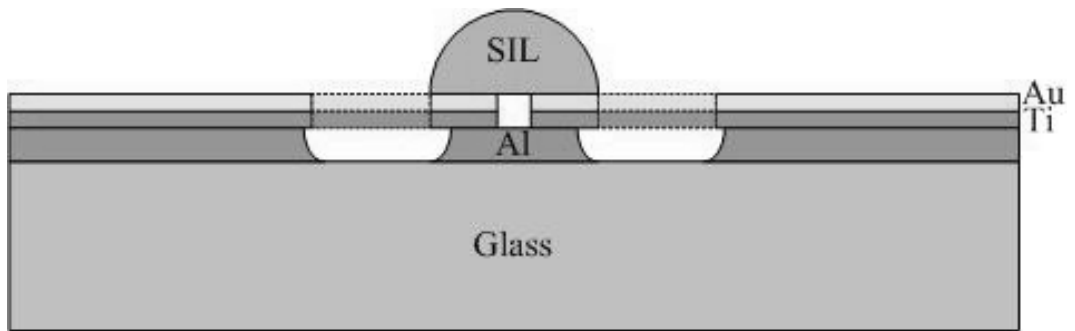


圖 2.22 製程流程圖 (e)

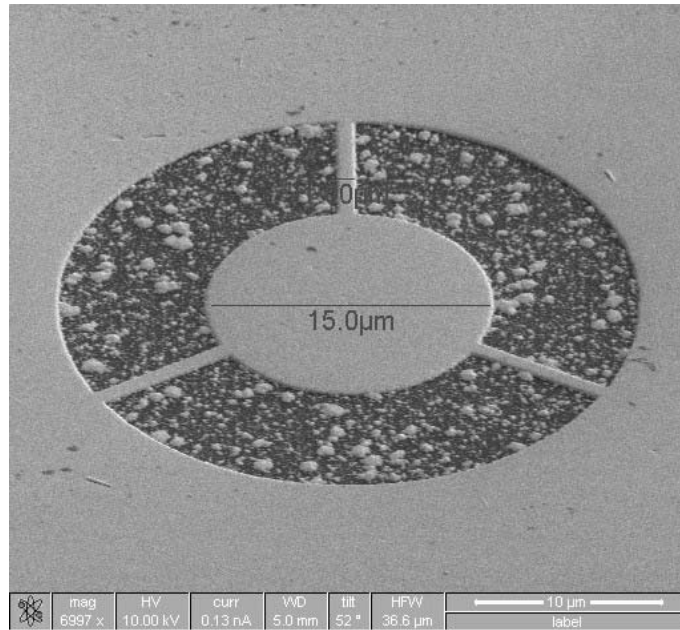


第 3 章 實驗結果與量測

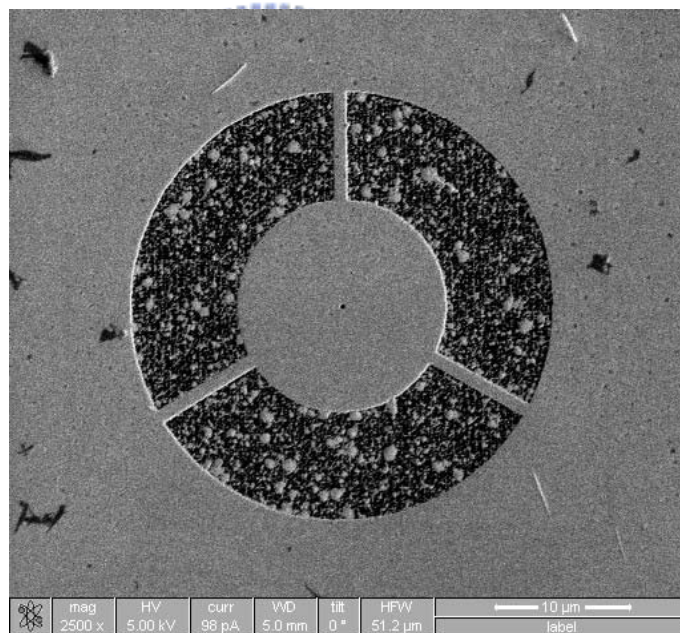
3.1 奈米孔與支撐結構

根據先前的設計，在支撐結構上，設計外圓的直徑為 $30\ \mu\text{m}$ ，內環基底的直徑為 $15\ \mu\text{m}$ ，連接外圓與基底的三根支撐樑之寬度為 $1\ \mu\text{m}$ ，在中間奈米孔的設計，尺寸大小有三種，分別為 100、200 和 300 nm 的奈米孔，而圖形的產生都是由 FIB 儀器在試片最上層的材料金，從上面往下蝕刻製作圖案，如圖 3.1，為 FIB 在試片上製作後的圖形，黑色凹陷的部份就是 FIB 所蝕刻掉的，所剩下的材料層為玻璃，在背向曝光時，就變成了另一道光罩，至於中間灰色的部分，就是所設計的支撐結構，圓形的部份要作為 SIL 的基底，旁邊的三根臂，就成為支撐樑，還有灰色部分的正中間有一小孔，為 FIB 所打出來的奈米孔，這樣兩者在同一製程下產生，才能確保奈米孔在基底的中心，因此在背向曝光後，SIL 的中心跟奈米孔兩者間就不會有對準誤差的問題。

至於奈米孔的實作情況，如圖 3.2，100、200 和 300 nm，總共有三種不同尺寸，由於 FIB 儀器的原因，所打出來的奈米孔有往外擴的情形產生，上面較寬下面較窄，變成錐狀的孔，但光的是由上到下打入，所以出射時，還是以原先設計尺寸的孔為準。

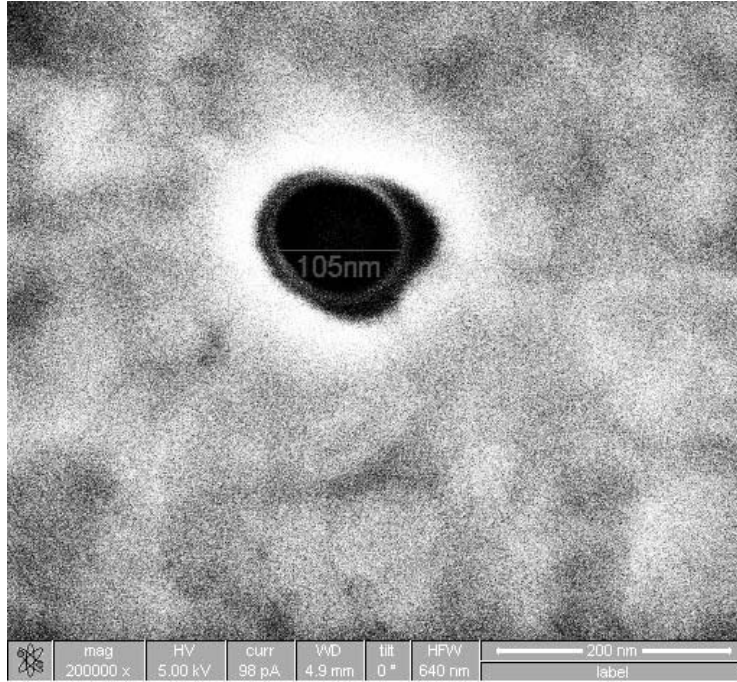


(a)

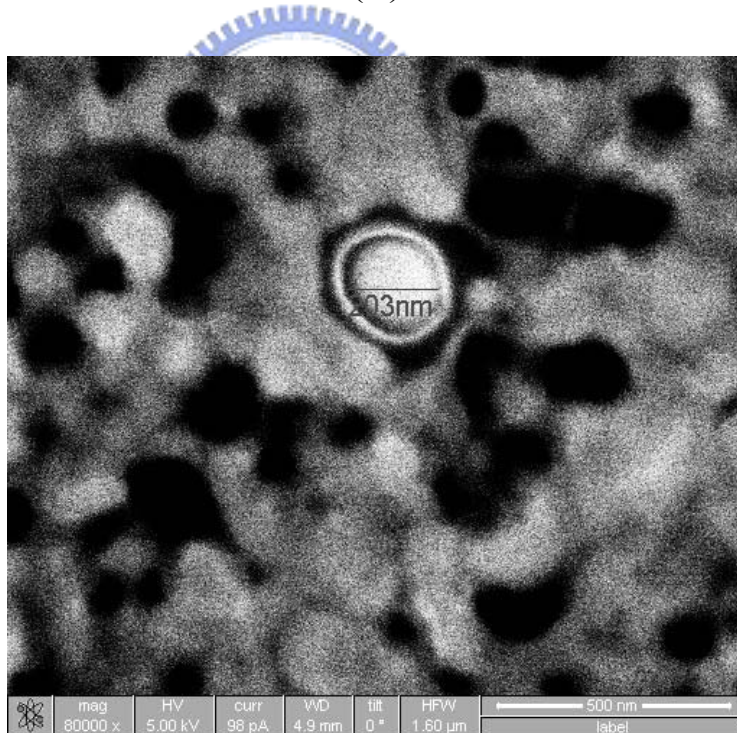


(b)

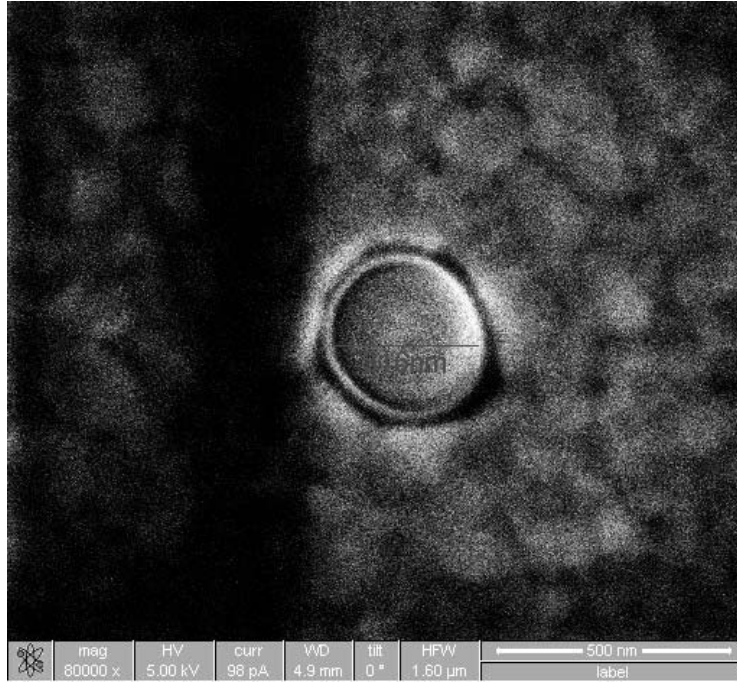
圖 3.1 奈米孔與支撐結構的 SEM 圖



(a)



(b)



(c)

圖 3.2 不同尺寸的奈米孔 SEM 圖



3.2 固態浸沒透鏡

根據先前的設計，在 $15\mu\text{m}$ 的 SIL 基底上，先用第一道光罩定義出略大於基底的光阻，再以 SIL 基底當作第二道光罩，進行背向曝光，就能得到與 SIL 基底大小相同的光阻，以此方式，SIL 與奈米孔就有相同的圓心，克服了兩者之間的對準誤差問題，如圖 3.3，為光阻在 SIL 的基底上。

在光阻旋塗在 SIL 的基底上之後，就以 190°C 的溫度熱回流 12 Hr，就可形成半圓球的固態浸沒透鏡，由於原先的光阻已與 SIL 的基底同圓心，且 SIL 基底的圓心也是奈米孔的圓心，所以經過熱回流的光阻形成之 SIL，自然也跟奈米孔擁有相同的圓心，當然 SIL 和奈米孔就沒有對準誤差的問題。

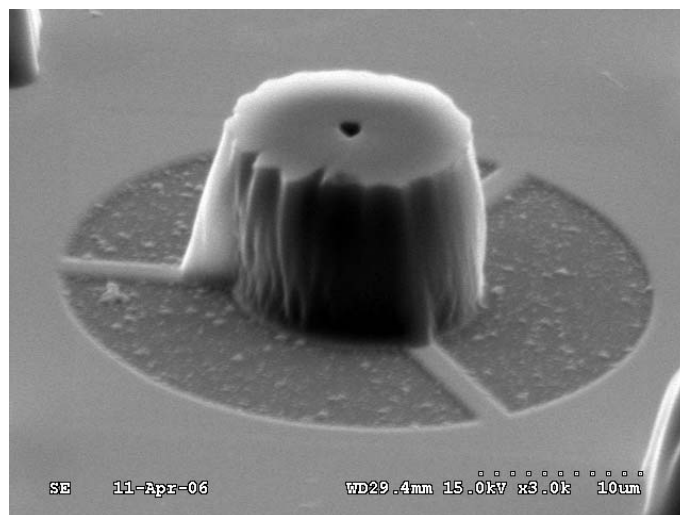
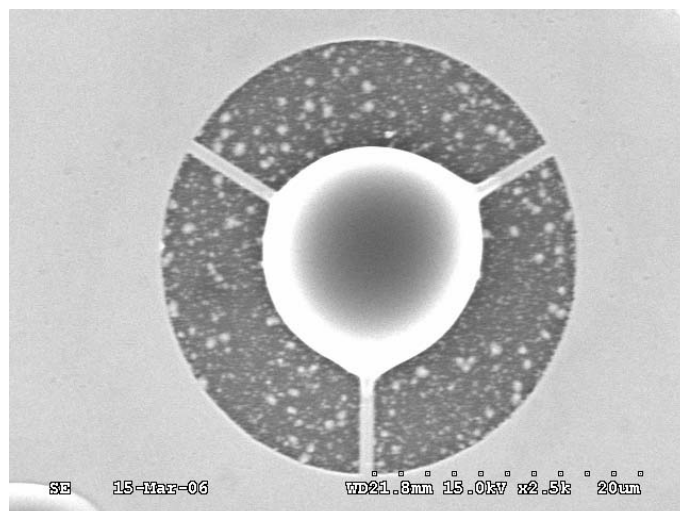


圖 3.3 在 SIL 基底上的光阻圖



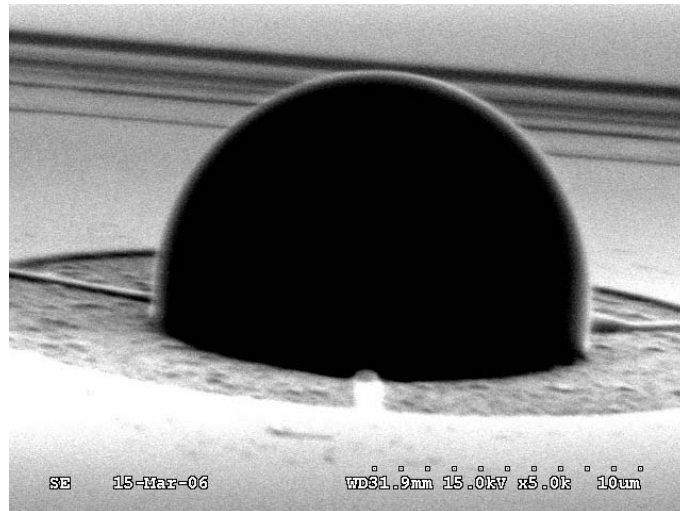


圖 3.4 經過熱回流後的固態浸沒透鏡



3.3 光學量測

實作出奈米孔、固態浸沒透鏡和支撐結構後，就要進行光學的量測，以驗證有無符合之前學者提出的看法，而所要量測的部份為光記錄點大小與光輸出率的變化。

3.3.1 量測原理

光學量測的基本架構如圖 3.5，光源從光纖鏡頭射出，聚焦於試片上，再經由物鏡投射在顯示器上，而量測的重點分成兩個，一為量測光記錄點的大小，另一為量測光輸出率的變化，而其中的試片，又可分成四種，首先量測沒有試片只有光纖鏡頭的光記錄點和光輸出率大小，然後量測加上試片 SIL 後的情形變化如何，接著量測只有奈米孔試片時，光記錄點和光輸出率為何，最後再量測 SIL 和奈米孔整合的試片，其光訊號有何變化，如此有四種量測結果，就可以分別比較出多加上 SIL 和奈米孔是否能縮小光記錄點與增進光輸出率。

由於最後光點是投射在顯示器上擷取，實際的光記錄點大小並不是顯示器上所表現出的，因此我們需要重新計算光記錄點大小，如圖 3.6，一平行光經由物鏡聚焦後，光記錄點大小為 $2W_0'$ ，其公式如下：

$$2W_0' = \frac{4}{\pi} \lambda \frac{f}{D} \quad (4.1)$$

其中 λ 為入射光波長， f 為焦距大小， D 為入射光的範圍。

但是對於試片為奈米孔的情況下，我們知道光記錄點的大小控制，是由奈米孔本身的尺寸所決定，而入射光經由奈米孔後，由於不在光波長的一半距離裡，去偵測光記錄點，因此會產生繞射的情況發生，而顯現在顯示器上的光記錄點就會較大，所以公式 (4.1) 只能運用在單一的光纖鏡頭與 SIL 情況中，而奈米孔與整合奈米孔與 SIL 的試片結果就無法適用。

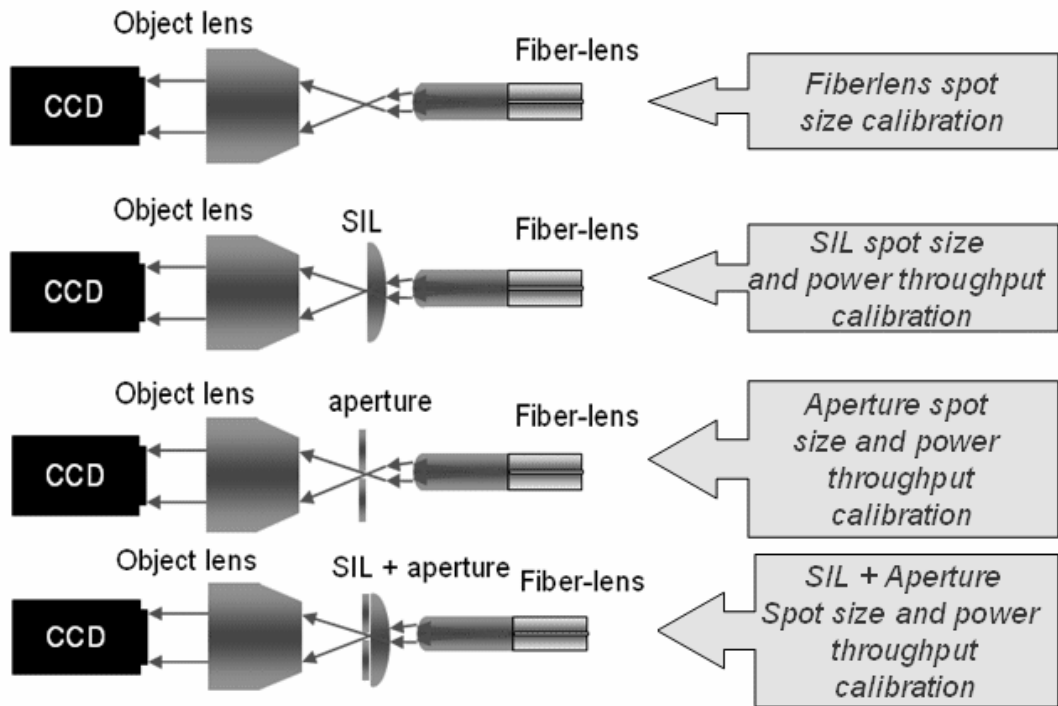


圖 3.5 量測架構圖

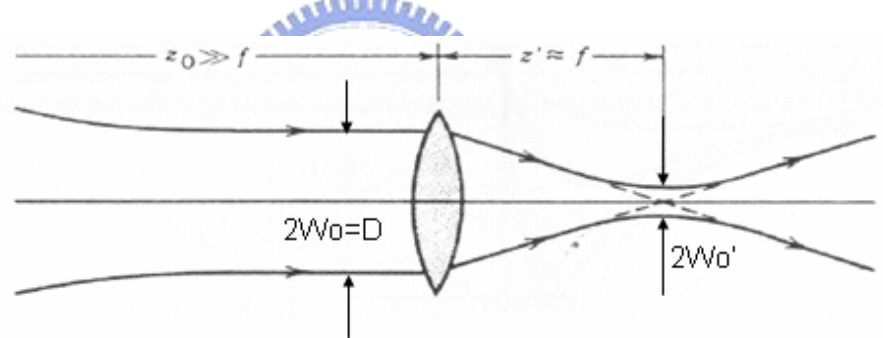


圖 3.6 光記錄點量測原理

3.3.2 量測設置

光學量測的設置方式，如圖 3.7，其中包括波長 633 nm 的雷射，460 μm 焦距的光纖鏡頭，可產生平行光的物鏡(10xN.A.0.4)，可看到光點打在試片上的光學顯微鏡，和偵測光訊號的電腦控制顯示器，還有可量測光強度的功率計量器。

至於光路的設計是，首先，入射光為波長 633 nm 的雷射，然後射入於光纖當中，再由光纖鏡頭出射聚焦，聚焦在試片上面，再由光學顯微鏡觀察，有無聚焦

在所測量測的 SIL 和奈米孔上，而光經由 SIL 和奈米孔後，也會使得光聚焦成光記錄點，和改變光的輸出率，因此再經由物鏡，讓光變成平行光輸出，最後透過功率計量器量測光的強弱變化，和出射光投射在電腦控制顯示器上，顯示出光的紀錄點大小為何，而在光路中間入射光、試片和物鏡三者的相對關係是很重要的，如果有對準上的誤差產生，就可能會使得 SIL 和奈米孔沒接受到最準確的入射光，而後產生的出射光也得不到較正確的數值。

由於光的紀錄點為一光訊號圖形，而光訊號有強弱之分，因此需要藉由軟體 Matlab，把光訊號轉換成數值表現，如此就能得到光記錄點的大小，至於光輸出率，能從功率計量器所得到的數值與原先入射光的功率兩者比較得知。

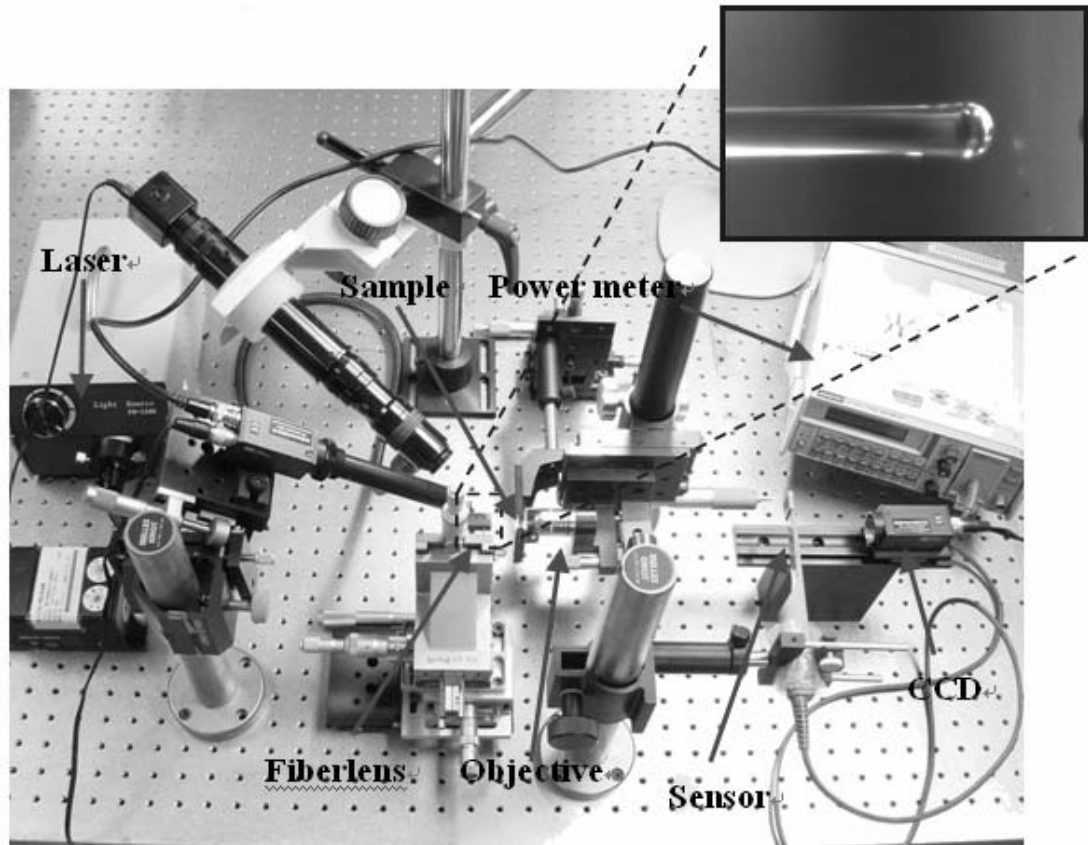


圖 3.7 光路配置圖

3.3.3 量測結果

首先，要先量測原先光纖透鏡的光點大小如何，把此光點當基準，才能判斷出 SIL 與奈米孔有無縮小光點的功能，而圖 3.8 就是光纖透鏡聚焦後打在 CCD 上面所顯現出的光點，而圖中有光繞射的情況產生，所以有漣漪的光圈，其中最小的部分就是光點的大小。

然後再量測光纖鏡頭加上 SIL 後其聚焦情形，由圖 3.9 所顯示出的圖形與原先圖 3.8 相互比較，就可以看出光點有明顯的縮小，因此可以印證先前文獻所提出的結果，SIL 確實有縮小光的功能。

接著再量測光纖鏡頭加上奈米孔後，是否也有縮小光點的功能，在這由圖 3.10 可以看出經由奈米孔後產生的光點比原先的光點還小，因此也印證了先前學者提出的看法。

最後的部份是量測光纖鏡頭加上奈米孔與 SIL 後，有所小光點與增加光強度的功能，由圖 3.11 可以看出其所產生的光點比原先的光點還小，而且與奈米孔所產生的光點強度相互比較，也明顯地增加，印證了學者的看法。

除了由 CCD 擷取光點外，也用光強度感測器，去測量強度的變化，由表 3.1 可以看出原先光纖鏡頭出射的光有 $1.07 \mu\text{W}$ ，經過 SIL 之後衰減到 $0.77 \mu\text{W}$ ，還有經過奈米孔衰減更多到 19.3 nW ，但是加上 SIL 的奈米孔缺紙衰減到 23.47 nW ，光強度增加了 1.216 倍，因此可以證明 SIL 確實有增加光輸出率的功用。

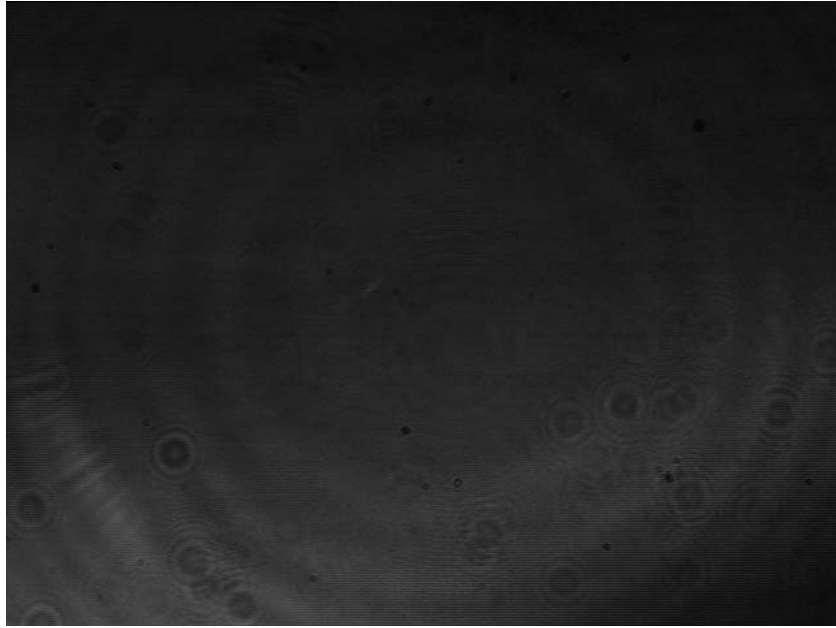


圖 3.8 光纖鏡頭所產生的光點

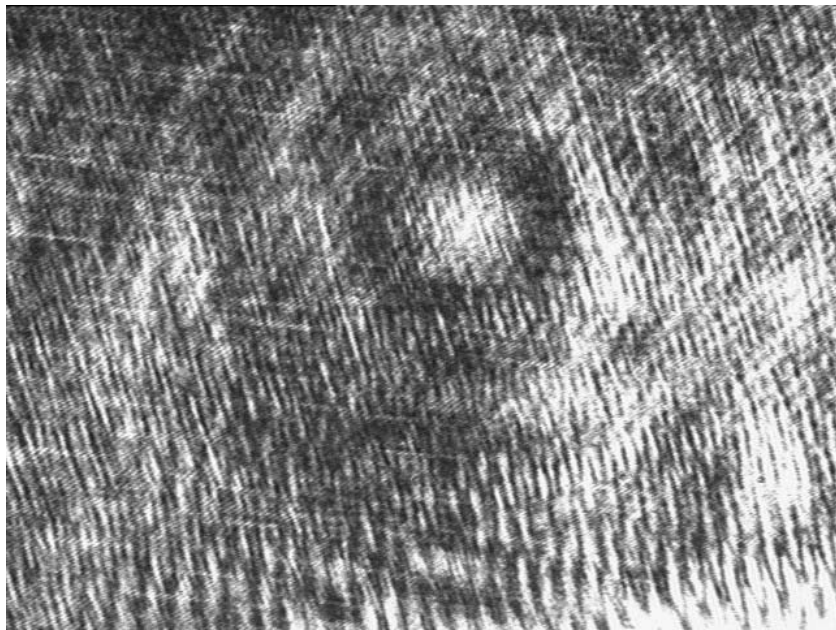


圖 3.9 加上 SIL 後所產生的光點

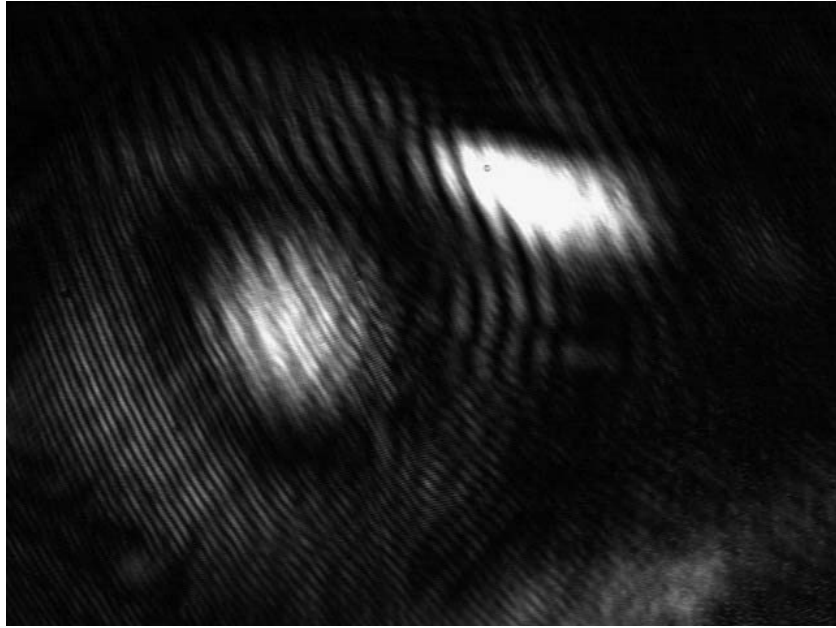


圖 3.10 加上奈米孔後所產生的光點

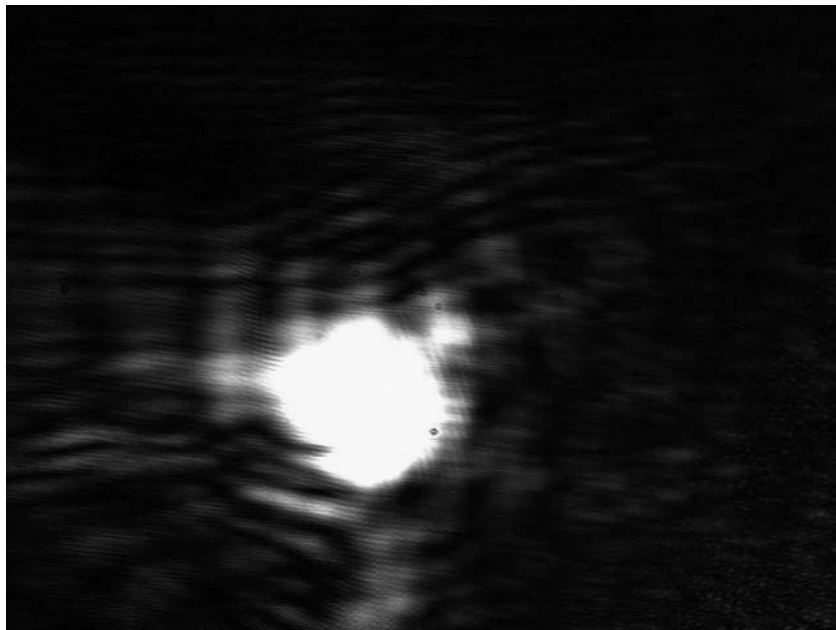


圖 3.11 加上奈米孔與 SIL 後所產生的光點

表 3.1 光穿透率比較表

| 試片 | 光強度 | 光穿透率 |
|-------------------|--------------|--------|
| 光纖鏡頭 | 1.07 μ W | 100 % |
| SIL | 0.77 μ W | 71.96% |
| 奈米孔 (300 nm) | 19.3 nW | 1.80% |
| SIL 和奈米孔 (300 nm) | 23.47 nW | 2.19% |



第 4 章 總結

4.1 結論

在近場光學當中，奈米孔與固態浸沒透鏡皆能縮小光點，而且結合此兩者光學元件，更能使光點達到奈米等級，且對原只有奈米孔時，可以增加光輸出率，但是兩者之間確有對準誤差的問題，而在本論文當中，使用了背向曝光的方式來克服此問題，而且加上了支撐結構，使得奈米孔、固態浸沒透鏡能固定在原先結構上，更能實際運用在光學系統中。

對於製程結果，利用儀器 FIB 可以精準的製作出直徑 300nm、200nm 和 100nm 的奈米孔與支撐結構，且運用背向曝光與熱回流的方式，能成功的做出直徑 15 μ m 的固態浸沒透鏡，並使得三者之間沒有對準誤差的問題。

而在光學量測當中又能證明出，固態浸沒透鏡與奈米孔能縮小光點，而且整合固態浸沒透鏡與奈米孔，不但能使得光點變小且對於原只有奈米孔來講，增加了 1.216 倍的光輸出率。

4.2 未來工作

由於近場光學的量測需在入射光波長一半的範圍內，而在本論文中的量測是屬於遠場的量測，因此還無法證明奈米孔與固態浸沒透鏡可以縮小光點到奈米等級，而且所做出來的的光學元件大小為 30 μ m 左右，因此在量測時需耗費很大的精神，所以在未來裡如果能做出一結構，使得入射光、奈米孔與固態浸沒透鏡三者之間能克服對準的問題，且能有近場的量測的方法，如此一來就更能使本論文做出來的的光學元件運用在光學系統當中。

參考文獻

- [1] 林盈熙,“奈米級之資料儲存技術,” 第二屆奈米工程既系統技術研討會,
pp.2-31~2-39, 1999
- [2] 許鴻隆,徐文祥 “近場光學讀取頭中奈米孔與固態浸沒透鏡整合製程之研究”
國立交通大學機械工程研究所 94 年 7 月
- [3] 蔡定平,“近場光碟機最近的發展,” 科儀新知, Vol. 19, No. 4, , pp.28-37,
February 1998
- [4] Alan Kost and Nick Ericson “VERY-SMALL-APERTURE LASER (VSAL)
DEVELOPMENT AND BLUE LASER DEVELOPMENT”
- [5] Fletcher, Daniel A. , Simanovskii, Dmitrii , Daniel Palanker, Crozier, Kenneth
B. ,Quate, Calvin F. , Kino, Gordon S. , and Goodson, Kenneth E.
“Microfabricated Solid Immersion Lens with Metal Aperture.”IEEE , 2000,
pp.133-134.
- [6] Kenneth B. Crozier, Daniel A. Fletcher, Gordon S. Kino, and Calvin F. Quate,
“Micromachined Silicon Nitride Solid Immersion Lens” JOURNAL OF MEMS,
Vol. 11, NO. 5, OCTOBER 2002
- [7] Yee, Youngjoo, Bu, Jong-Uk, Cho, Il-Joo, Yoon, Euisik, Moon, Su-Dong, and
Kang, Shinill “ Micro Solid Immersion Lens Fabricated By Micro-molding For

Near-Field Optical Data Storage” IEEE, 2000.

- [8] Lin, Yuh-Sheng, Pan, Cheng-Tang, Lin, Kun-Lung, Chen, Shih-Chou, Yang, Jauh-Jung, and Yang, Jei-Pin “Polyimide as the pedestal of batch fabricated micro-ball lens and micro-mushroom array” IEEE, 2000.
- [9] Saeed, Pilevar, Klaus, Edinger, Walid, Atia, Igor, Smolynianov, and Christopher, Davis “Near-field scanning optical microscopy probe fabrication using focused ion beam milling technique,” Lasers and Electro-Optics, 1999. CLEO '99 Summaries of Papers Presented at the Conference on, 1999, pp.68-69.
- [10] Minh, PHAN Ngoc; Ono, Takahito; and ESASHI, Masayoshi, “A novel fabrication method of the tiny aperture tip on silicon cantilever for near field scanning optical microscopy,” Micro Electro Mechanical Systems, 1999. Twelfth IEEE International Conference on 1999, pp. 360-365.
- [11] Yoshimasa Suzuki, Hiroshi Fuji, Junji Tominaga, a) Takashi Nakano, and Nobufumi Atoda “Near-field aperture fabricated by solid–solid diffusion” Vol. 77, No 234 , DECEMBER 2000
- [12] Tien, Chung-Hao, Lai, Yin-Chieh, Milster Tom D. , and Shieh Han-Ping D “Design and Fabrication of Fiberlenses for Optical Recording Application”, International Symposium on Optical Memory (ISOM) 2001, pp.230-231
- [13] 周學良,徐文祥 “結合光纖插孔、固態浸沒式透鏡與精密電鍍微孔之光學讀取

頭” 國立交通大學機械工程研究所 91 年 7 月

[14] 張育儒,徐文祥 “近場光學讀取頭中 SIL/SSIL 與微孔自我對準製程之研究”

國立交通大學機械工程研究所 93 年 7 月

[15] Milster, Tom D. , AKHAVAN, Farhad, BAILEY, Melissa, ERWIN, J. Kelvin,

FELIX, David M. , HIROTA, Kusato, KOESTER, Steven, SHIMURA, Kei, and

ZHANG, Yan “Super-Resolution by Combination of a Solid Immersion Lens and

an aperture” Jpn. J. Appl. Phy. Vol. 40 (2001) pp. 1778-1782

[16] Takao Suzuki, Yusuke Itoh, Masahiro Birukawa and William Van Drent“Solid

Immersion Lens Near Field Optical Approach For High Density Optical

Recording” , IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 34, NO. 2,

MARCH 1998

