

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

微機電光學量測系統晶片設計與製作(I)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2215-E-009-050-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

計畫主持人：邱一

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 2 日

微光學晶片製作()

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 92 - 2215 - E - 009 - 050 -
執行期間：92年8月1日至93年7月31日

計畫主持人：邱一 助理教授

共同主持人：

計畫參與人員：

劉俊毅

張文中

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
涉及專利或其他智慧財產權，一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學電機與控制工程研究所

中華民國 93 年 10 月 25 日

(一) 前言

隨著光儲存等應用系統中的光點不斷的縮小，對於光點品質的直接量測變得越來越困難。這種情況在利用近場光做記錄時更為明顯，因為光點的近場分布無法利用傳統的遠場成像等方法來量測。要量出近場光場的分佈，光感測元件必須放置於待測光場的近場範圍內，亦即距離形成近場光場的微孔或探針尖端小於 100 奈米的範圍內。除此之外，光感測元件必須具有遠小於待測近場光分佈範圍的解析度($\ll 100$ 奈米)，才能測得可靠的分佈情形。這種測量一般是利用近場光學顯微鏡來進行，但其缺點為近場探針製作不易、系統複雜，而且解析度受限於探針的孔徑。

因此，本計劃將研發一種利用掃描刀緣法(scanning knife edge method)，整合微機電系統中的梳狀致動器、奈米級平整度的刀緣結構以及光偵測元件於同一晶片上的微光電光學量測晶片。在研發的過程中，除了能夠開發新型光電元件及整合技術外，並能為下一階段整合積體電路及微光機電系統而成為微光電系統晶片(photonic system on chip, PSOC)的研發工作奠定良好基礎。此外，我們亦將探討光電及測量系統從微米系統進入奈米系統時，將面臨的新現象、理論及所需的新知識領域。

關鍵字：微光機電系統、近場光學量測、掃描刀緣法、光偵測器、微光電系統晶片

(二) 文獻探討與研究目的

本計劃嘗試研發一整合微機電元件與光偵測系統於同一晶片上的微光電光學量測晶片。在研發的過程中，除了能夠開發新型光電元件及整合技術外，並能為下一階段整合積體電路及微光機電系統而成為微光電系統晶片的研發工作奠定良好基礎。本計畫中用來量測光點特性的方法為掃描刀緣法(scanning knife edge method)，如圖一(a)所示。在這種方法中，一個邊緣銳利的擋板掃描過一個光點的橫切面，置於擋板後方的光偵測器偵測到未被擋板遮住的部分能量，因此

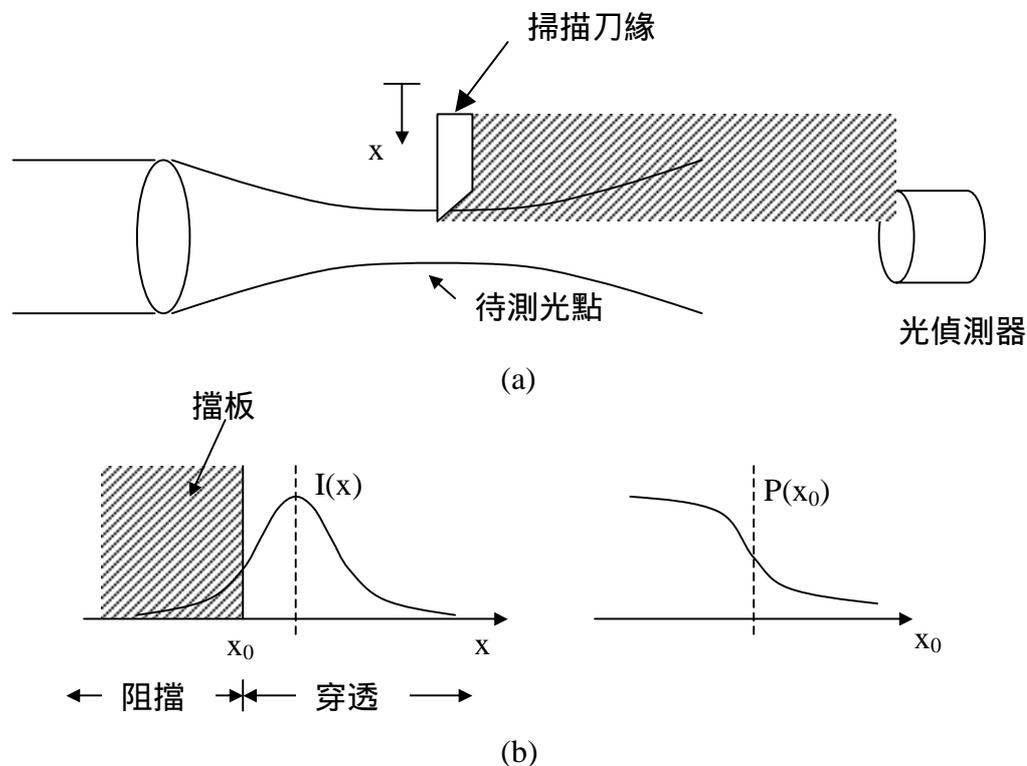
光電流 $I(x_0)$, 光點能量分佈密度 $P(x)$ 以及擋板邊緣位置 x_0 之間的關係為(圖一(b)):

$$I(x_0) = a \int_{x_0}^{\infty} P(x) dx$$

其中 a 為光偵測器的敏感度, 而擋板位置 x_0 則由外加信號控制。當光偵測器量出 $I(x_0)$ 的信號後, 只需經過一次微分運算即可求得原先的光點分佈:

$$P(x) \propto \frac{dI(x)}{dx}$$

這個量測系統的特色在於空間解析度由一簡單的銳利邊緣及控制系統來決定, 而非受限於偵測器的像素大小或光學系統的成像品質。一般的刀緣法量測系統中, 擋板的掃描是利用一個旋轉或來回振動的機構來帶動。受限於傳統機械零組件的尺寸, 擋板到後方的光偵測器之間的距離約在 mm ~ cm 的範圍內。對於衰減距離在 nm ~ μm 之間近場消散波(evanescent wave)而言, 這種系統無法偵測到這些高空間頻率的場分佈。要解決這個問題, 我們必須能將可動擋板與光偵測器之間的距離減小到 $< 1 \mu\text{m}$ 的範圍內。這個需求對於傳統機械組裝而言非常的困



圖一 (a)刀緣法光點量測系統, (b)光點分佈 $I(x)$ 與讀出信號 $P(x_0)$ 間的關

難, 但對於利用半導體製程作出的微機電系統而言, 恰好是在其可控制的精密範

圍內。

(三) 研究方法

如前所述，本計劃主要在於將光偵測器與微機電元件整合在一矽基板上，以作為發展更複雜的微光電系統的基礎。對於光偵測器而言，為了提高光接收的效能與靈敏度，高效能的光偵測器多半是以 p-i-n 的形式來製作。而在計劃進行中，為了能較快的驗證系統的設計，並降低 p-i-n 結構中的磊晶製程成本及時間，我們首先以最簡單的 pn 接面式的光二極體為主要的測試對象。

為了能用單一方向的週期掃描來測量兩個垂直方向的光點形狀，一般的掃描刀緣都做成直角三角形或具有互相垂直的斜邊的梯形。而在我們的晶片中，光偵測器本身即為掃描刀緣，所以其形狀必須是上述直角三角形或梯形。

最後，為了整合光二極體跟所設計的梳狀致動器，我們以(111)為基板，利用體型加工的技术使光二極體與梳狀致動器結合在同一晶片上。

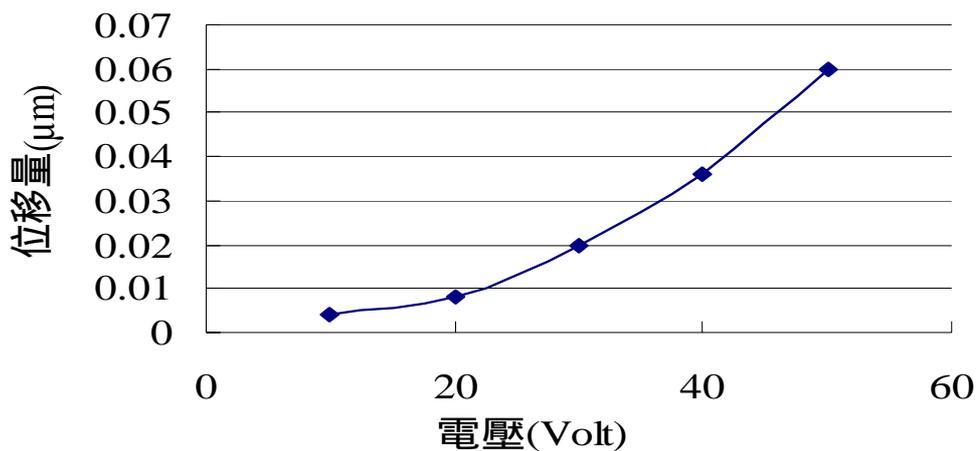
(四) 結果與討論

在本計畫中，微機電系統將提供一個以梳狀致動器帶動的平台，藉由其反覆的運動來對光點進行掃描。梳狀制動器的操作特性主要可由施加電壓，運動範圍以及操作頻率等參數來規範。其中施加電壓與靜電力有直接的關係，主要由元件的幾何結構來決定；運動範圍也是由幾何結構來決定，會限制最大可量測的光點大小；操作頻率由結構的等效彈簧常數 k 及可動質量 M 來決定，設計時必須注意各種不同的方向共振模態的自然頻率，以期能達到要求的規格。靜電式梳狀致動器在 MEMS 的領域中以發展的很成熟而且使用率高，所以本研究設計如表一規格的梳狀致動器作為分析與設計的依據。以下這些設計參數，都可以利用 Coventorware 或 ANSYS 等套裝軟體來加以分析。對於聚焦光點 $\leq 3\mu\text{m}$ 的待測目標而言，在掃描頻率遠小於結構的操作模式下，我們希望達到在 50V 的操作電壓下，掃描刀緣具有 3-5 μm 的運動範圍，若系統操作在共振頻率下，振幅的

響應可大幅增加，則上述的設計目標可以更為降低。對於操作頻率而言，因為一般的光點量測屬於靜態量測，所以並沒有對於操作頻寬上的特別要求。本計劃利用商用軟體 Coventorware 做數值模擬，以便更詳盡預估梳狀致動器之行為。表一是初步模擬的梳狀致動器規格，因為梳狀制動器齒數和靜電力成正比，所以多齒數、大位移的模型可以用外插的方式估計。為了縮短模擬時間，在此選取一簡化的設計(定子 11 齒，動子 10 齒)做為驗證。圖二是模擬所得的位移和施加

表一 梳狀制動器規格

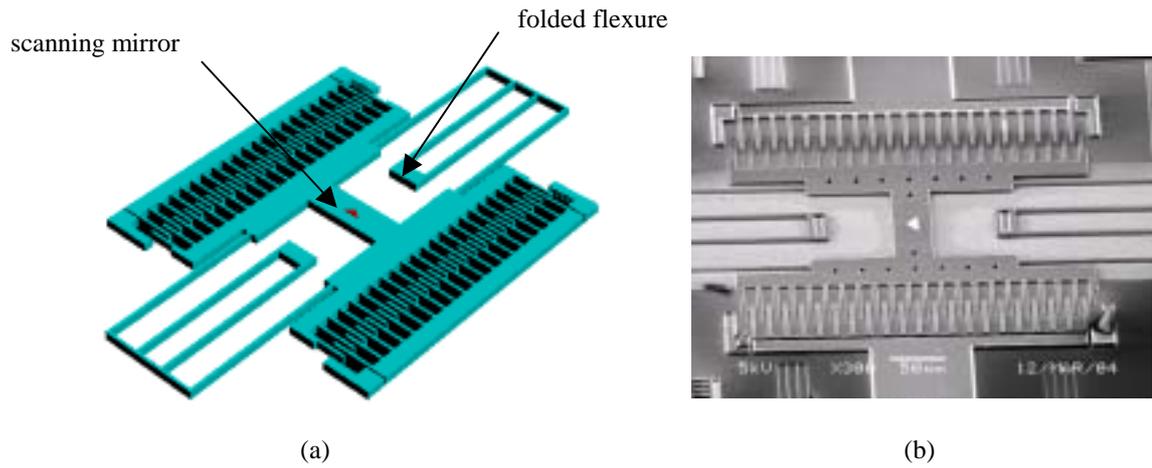
| 梳狀致動器參數 | 數值 |
|--------------------------|----|
| 動子齒數 N | 10 |
| 驅動電壓 (V) | 50 |
| 齒長 (μm) | 50 |
| 齒寬 (μm) | 4 |
| 齒厚 (μm) | 10 |
| 齒與齒之間隙 (μm) | 4 |
| 重合長度 (μm) | 20 |



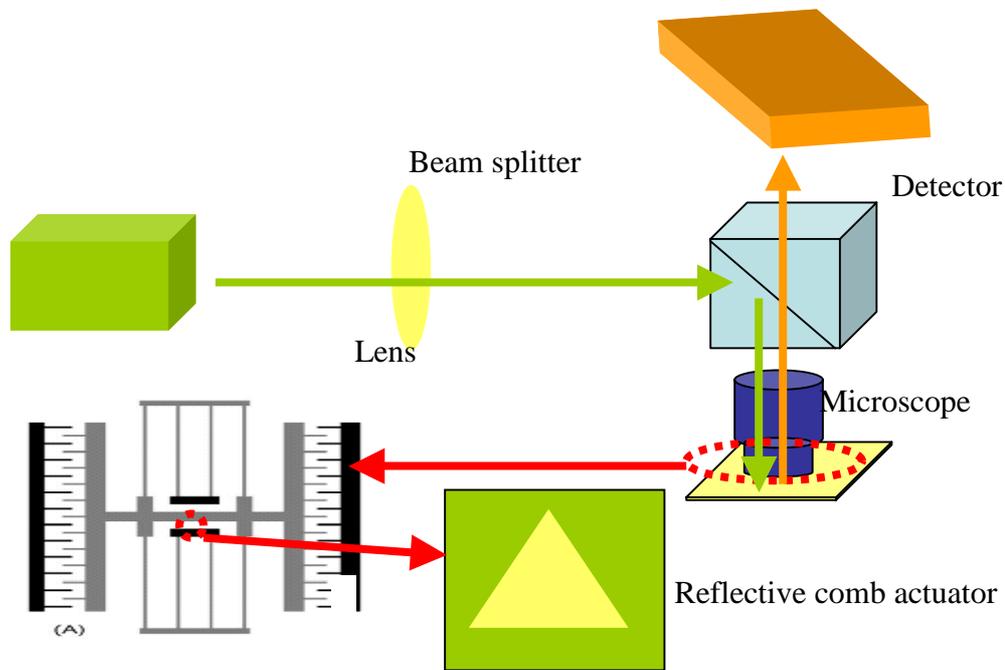
圖二 梳狀致動器模擬

電壓間的關係，其中的非線性效果一部份於實際梳狀致動器製造過程中，製造上的偏差會使得結構不像設計的規格一般理想。例如在薄膜蝕刻過程中，梳狀致動器齒形兩側側蝕(undercut)不一致，會造成動子兩側間隙大小不一；或者微結構釋放時，因表面張力而造成微傾斜。這些都會造成梳狀致動器特性的改變。

本計畫中委託國外 POLYMUMPs 製程做出如圖三結構的梳狀致動器。其中

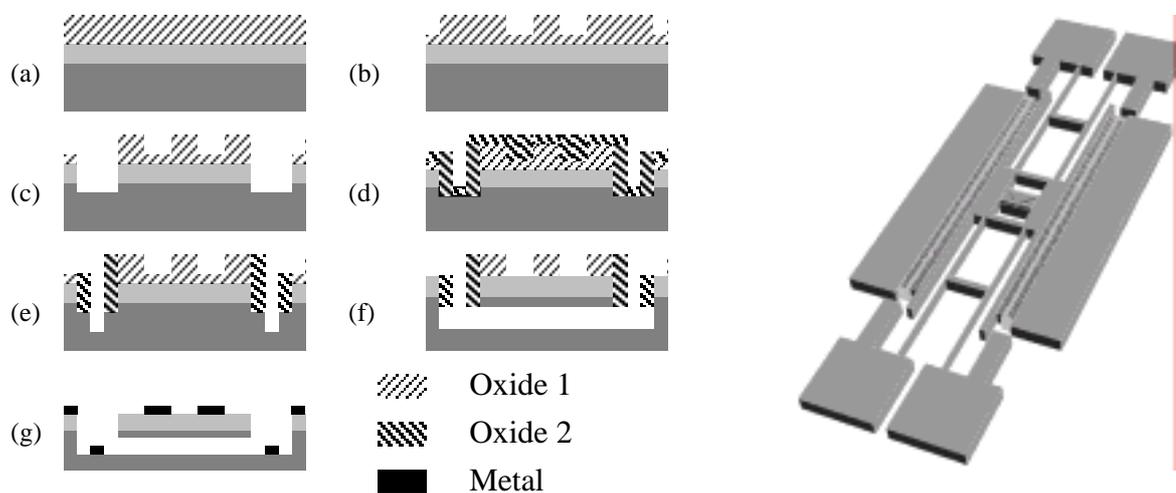


圖三



圖五 反射式光點偵測系統示意圖

規格為如表一。模擬時，共振頻率約為 17.9kHz，而驅動時，電壓是 AC 76V 頻率 18.5KHz 操作於共振模式下，其最大位移可達 5 μ m。利用 POLYMUMPs 我們可以得到一反射式的鏡面。將之架設於如圖五的光學系統中就完成了光點偵測器的測試雛型。除此之外，本計畫亦規劃出(111)矽基板上的製程，將梳狀致動器與光偵測器結合利用 PN 接面的特性，將上電的絕緣問題與偵測器巧妙的結合成一體，如圖六。首先，使用阻值為 8 至 12 Ω -cm 的 P-type 的四吋矽基板，並利用離子佈值得方式，將磷離子以 100Kev, 5e15 atom/cm² 的方式植入並利用 PECVD 沉積一層約 2 μ 的氧化層(a)，此處的 PN 介面除了可充當光二極體外更可以再加驅動電壓時提供絕緣的效果，接著以光罩定義可動結構並蝕刻氧化層(b)，接著使用光阻充當阻擋層利用 ICP-RIE 將結構層蝕刻出來(c)，下一步使用 PECVD 沉積第二層氧化層並利用 RIE 去完成側壁保護層(d)，最後使用 ICP-RIE 將犧牲層的厚度定義出來(e)並將梳狀致動器結構置放於 15%，85 的 KOH 溶液中來完成結構(f)，最後先沉積一層約 3000 \AA 的鋁並致放於 49%的 HF 中完成此裝置(g)。



圖六 (111)光偵測器製程圖