

具精細調整功能之微光學元件的運動模式探討

蔡健忠* 蔡尚哲 黃奕澄 范振豪 陳炳茂

明新科技大學光電系統工程系

摘要

本文藉由結合微陣列式熱致動器(Micro Array Thermal Actuator, MATA)做為抬升結構及牽制微面鏡傾斜結構的驅動元件，再依照國家晶片系統設計中心(National Chip Implementation Center, CIC)之製程設計元件規範，設計微光學元件，經元件結構的運動性能模擬分析，並逐步修正本微光學元件抬升結構在運動效益上的缺點，以完成最佳設計。由 $\{1 \times 2\}$ 平行式與 $\{2 \times 1\}$ 對接式微陣列式熱致動器對負載之位移運動分析，其結果顯示對接式微陣列式熱致動器的指向性較佳，而抬升結構與微面鏡連接處設計一“U”型微結構，以推動微面鏡使其抬升；經微陣列式熱致動器之型式在抬升結構連結上的運動性能影響及微調功能的模擬分析後，選擇了兩組 $\{2 \times 3\}$ 對接式微陣列式熱致動器做為抬升結構的連結以驅動微面鏡抬升，並以一組 $\{2 \times 2\}$ 對接式微陣列式熱致動器牽制微面鏡傾斜並形成微調結構，當施予操作電壓時可使微光學元件具精細調整的功能。本元件經模擬分析，在最佳尺寸設計下，當操作電壓於 7V 時，元件最大位移約為 19 μm ，並具有微調的性能為 0.12 $\mu\text{m}/\text{V}$ 。

關鍵詞：微陣列式熱致動器，微面鏡，微光學元件，微調結構

Motion Behavior Investigation of a Novel Elevating Structure with Fine Tuning for Micro Optical Devices

Chien-Chung Tsai Shang-Che Tsai Yi-Cheng Huang Zhen-Hao Fan Bing-Mau Chen

Department of Optoelectronic System Engineering, Mingshin University of Science and Technology

Abstract

This paper proposed a novel structure with fine tuning for elevating the micro optical devices by the driving force of micro array thermal actuator, MATA. The device is designed by the guide rule of Chip Implementation Center, CIC, and will be fabricated by Taiwan Semiconductor Manufacture Cooperation, TSMC, based upon CMOS-MEMS process. The effects of loading on the maximum displacement for a $\{1 \times 2\}$ parallel type MATA and a $\{2 \times 1\}$ opposite type MATA varied with operation voltage are investigated. The results demonstrate the opposite type MATA is a better adoption for driving the elevation structure than the parallel type MATA due to the less bias displacement. There is an “U” shape designed as a novel elevation structure connected two MATAs, which are in opposite. The opposite type MATA is also an optimum constrained structure for a micro mirror by the displacement analysis varied with operation voltage. When the operation voltage is applied on the constrained structure, which is an opposite type MATA. And that results in a fine

* 光電系副教授 地址：新竹縣新豐鄉新興路 1 號 Tel：03-5593142 E-mail：cctsai@must.edu.tw

tuning performance on the elevating micro mirror. Finally, two $\{2 \times 3\}$ and a $\{2 \times 2\}$ opposite type MATAs are adopted for driving the elevation structure and the constrained structure with a function of fine tuning, respectively, due to each die area limitation of CIC. When the operation voltage is 7V, the maximum displacement and fine tuning resolution of the proposed micro optical device are $19\mu\text{m}$ and $0.12\mu\text{m/V}$, respectively.

Keywords : Micro Array Thermal Actuator, MATA, Micro Mirror, Micro Optical Devices, Fine Tuning Structure

一、前言

隨著電晶體的發明並取代真空管，造就了積體電路的快速發展，而使電腦的普及一日千里。在傳統工業面臨著極需轉型為精密工業的時刻，矽晶體技術已成功帶動電子系統(Electronic systems)微小化及電腦革命性的發展，並促使製造技術朝向精密化、細微化及高密度化演進，因而衍生出次世代產業需求之微機電系統(micro-electro-mechanical system, MEMS)技術 [1]。CMOS MEMS 製程是直接從一般 IC 製造中的 CMOS 製程加上微加工技術，不僅具有一般微機電加工技術的優點，也因為與一般 IC 製程完全相容的特性，十分容易與現有的 IC 電路整合，形成一個完整的微機電系統 [2]。此技術整合光、機、電、控制、化學等多重科技，將微感測器 [3]、微致動器 [4]、微處理器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，降低生產成本，減小尺寸與重量，增高速度，因此慢慢地受到歐美日等國家的重視 [5]；CMOS-MEMS 製程所構成的微機電系統及其元件，其微小化可與電路訊號整合在單一晶片上，同時配合半導體製程進行大量生產，具有高精密度及高可靠度之特性 [6, 7]。

近年來，微光機電(Optical MEMS, MOEMS) [8] 技術日漸成熟，其利用微機電製程及相關之微加工技術 [9]，在光學領域發展出各種高精度、高穩定性之微光機電元件，如微面鏡系統、光纖切換器和微光學移動系統 [10, 11] 等，並擴展其應用到投影顯示器、光掃描器以及光通訊元件 [12, 13]。由於元件設計與製程技術日新月異，加上目前研究多利用共用製程(Common Process)平台發展，使元件於研發階段便可進行大量生產，加快研究者的腳步，不斷將更新穎的科技開發出來。

二、研究動機

日常生活中，甚至是微觀的世界裡，「微調」的功能是不可缺少的，例如高倍數的顯微鏡、電子顯微鏡，都必須經過微調這步驟，來找尋待測物最清晰的影像。本實驗室從基本的“微陣列式熱致動器在微光機電之應用”[14]、“微陣列式熱致動器應用在微光學元件的運動模式探討”[15] 及“新型微光學元件之抬升結構的研究”[16]，藉著這三項基本要素的研究後，本實驗室再提出更進一步的研究項目—具精細調整功能之微光學元件的抬升結構。

本研究利用積體電路設計輔助軟體(Tanner EDA)和微機電設計模擬軟體(IntelliSuite)設計具精細調整功能之微光學元件的雛型與抬升結構，並制定參數，經各項分析後，將最佳設計送至國家晶片中心，以 CMOS MEMS 共用製程製作設計之元件，日後將透過場發射式掃描式電子顯微鏡觀測微光學元件之結構，再以探針通入操作電壓觀察元件是否能進行面鏡抬升運動；有鑑於現今產業趨勢傾向微小化、低成

本與高精密度，未來本實驗室的研究將會朝著結構簡單及高運動性能的方向邁進 [17, 18]，並且加入結構與材料應力的考量，以提高元件的穩定性及結構的剛性。

三、微抬升結構之光罩尺寸設計

本章節針對所設計之元件進行探討，在元件光罩設計方面使用 Tanner L-Edit 軟體，依照國家晶片系統設計中心所提供的光罩技術檔案繪製光罩，繪製完成後將轉入微機電輔助設計分析軟體 IntelliSuite-IntelliFab 模擬實際製程步驟並建立模型，觀察結構上的排列與層疊方式是否完善，再匯入 IntelliSuite-Thermo Electro Mechanical Module 進行結構運動性能的模擬，修正設計上的缺點。

3.1 微陣列式熱致動器

本實驗室於 29、30 期明新學報 [14, 15] 已探討微陣列式熱致動器的運動行為模式，在對接式微陣列式熱致動器與平行式微陣列式熱致動器上施予操作電壓與位移量之關係分析中，研究結果顯示，欲得到微陣列式熱致動器最大位移量，在考慮元件熔點的情況下，此時元件最高溫度之值僅與微結構層材料—複晶矽(Poly-Silicon)材料性質有直接關連，其熔點約 1410°C，因此最高操作電壓之極限為 10V。在 CIC 的 CMOS-MEMS 製程中，微陣列式熱致動器使用鋁為電極或導線時，因鋁的熔點僅為 660.3°C，故必須將最高操作電壓極限降至 8V，使溫度降至鋁的熔點 [19, 20] 以免結構遭到破壞。所設計單體之場發射式電子顯微鏡之照片及單一熱致動器平面尺寸規格詳述於 30 期明新學報第 139 頁。

3.2 抬升結構與微調結構

抬升結構示意圖包含 U 型微結構與抬升結構及其細部放大側視圖，如圖 1 (a)、(b)、(c)所示，其利用層疊的方式，由 Metal 1、Metal 2 堆疊後經連接層與 Metal 3 之微面鏡結合形成抬升結構，並搭配兩旁的 2 組{2×3}對接式微陣列式熱致動器朝 U 型微結構推擠，使微面鏡抬升。微調結構其示意圖，如圖 2 (a)所示，利用 1 組{2×2}對接式微陣列式熱致動器及牽制臂來與微面鏡連接，當施予操作電壓後，熱致動器透過牽制臂進行微調，如圖 2 (b)所示。本研究之微光學元件運動模式示意圖，如圖 3 所示，可以清楚地看到，當元件施予操作電壓時，兩組{2×3}對接式微陣列式熱致動器分別由左右向中間的微抬升結構推擠，以推動微抬升結構使微面鏡向上抬升，而使微面鏡具出平面的運動。本微光學元件幾何尺寸示意圖，如圖 4 所示。

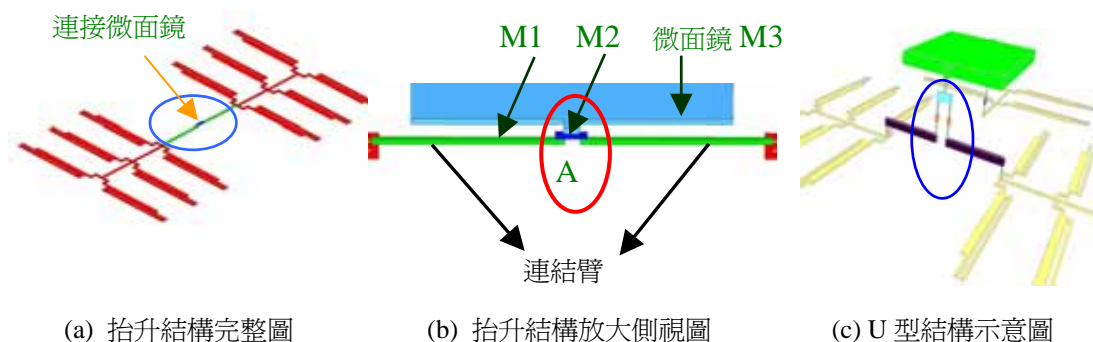


圖 1 抬升結構示意圖

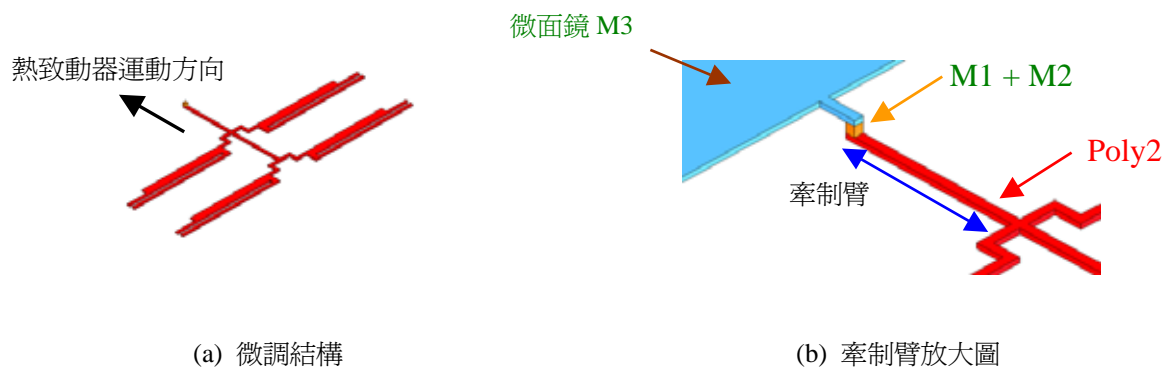


圖 2 微調結構示意圖

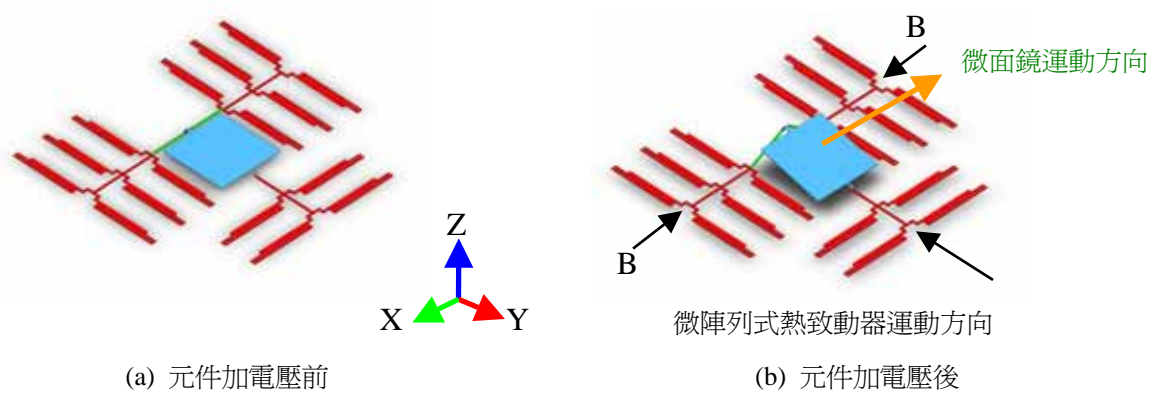


圖 3 元件運動模式示意圖

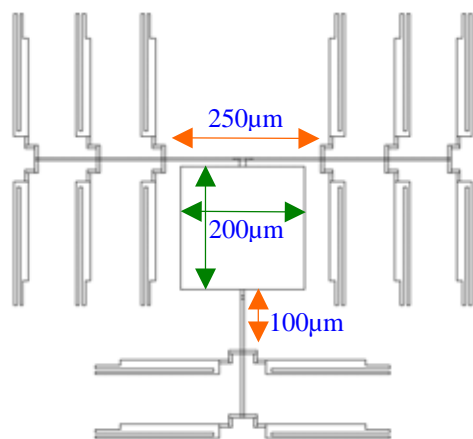


圖 4 微光學元件幾何尺寸(不含微陣列式熱致動器尺寸)

四、分析與模擬結果

本節針對推動微光學元件的平行式與對接式微陣列式熱致動器之負載運動，牽制微面鏡傾斜結構、抬升結構及微調結構的變化，微陣列式熱致動器數量的變化，透過微機電輔助設計分析軟體 IntelliSuite-IntelliFab 並參考元件材料特性 [21] 模擬實際製程步驟並建立模型，再匯入 IntelliSuite-Thermo Electro Mechanical Module 進行元件運動性能分析，藉著各項模擬分析的數據來探討元件之位移量，並設計出最佳化的微光學元件抬升結構與牽制結構及微調結構。

4.1 平行式與對接式微陣列熱致動器之負載運動分析

由明新學報 30 期的研究結果可知，微陣列式熱致動器推動在無負載結構時，平行式微陣列式熱致動器之出平面位移較高，但偏方向之位移量也較大，無法如對接式微陣列式熱致動器能準確地推動目標，所以本實驗室進一步對平行式與對接式微陣列式熱致動器就不同負載之出平面與水平位移量進行模擬分析。改變負載的大小，即改變 metal 2 及 metal 3 的尺寸，並固定抬升結構連結臂的間距為 $50\mu\text{m}$ 下，其負載在致動器另一邊的連結臂的端點邊界條件設為自由端，如圖 5 所示，在連結臂的總長固定為 $250\mu\text{m}$ 時，將負載置於連結臂之中點；而將微陣列式熱致動器連結抬升結構的部份依 $\{1\times 2\}$ 平行式與 $\{2\times 1\}$ 對接式，如圖 6 (a)、(b) 所示，進行水平方向(X 軸)與出平面(Z 軸)位移量的運動模擬分析。

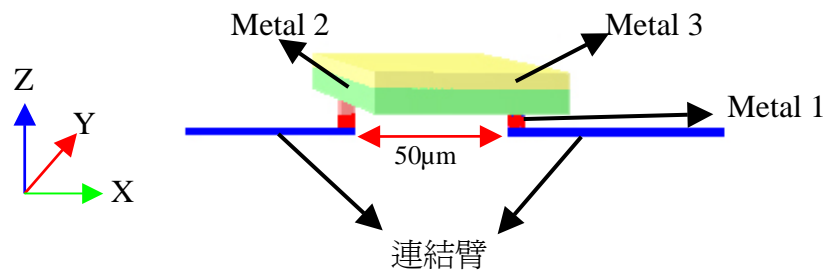


圖 5 連結臂與負載相對位置立體示意圖

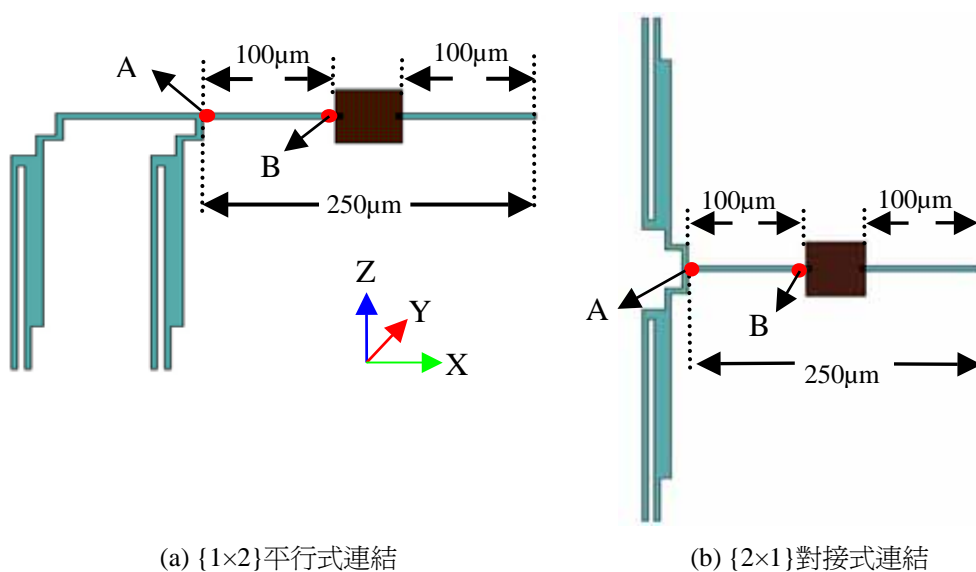


圖 6 連結臂與負載位置平面幾何尺寸示意圖

4.1.1 對接式微陣列式熱致動器連結抬升結構之負載運動分析

以{2×1}對接式微陣列式熱致動器為連結抬升結構時，改變連結臂上之負載尺寸分別為 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 、 $75\mu\text{m} \times 75\mu\text{m}$ 及 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 時，如圖 7 (a)、(b)、(c)所示，經改變操作電壓下比較熱致動器對不同負載之水平方向位移量與出平面位移量的影響。在相同操作電壓下，不同負載在水平方向位移量與出平面位移量之模擬結果，如圖 8 (a)、(b)所示，可知負載尺寸越大，水平方向位移越大，但當操作電壓高於 3V 時，其出平面位移量較小，然由於 X 軸位移量數值較小，故將單位改為 nm 以利標示，如圖 8 (a) 所示。

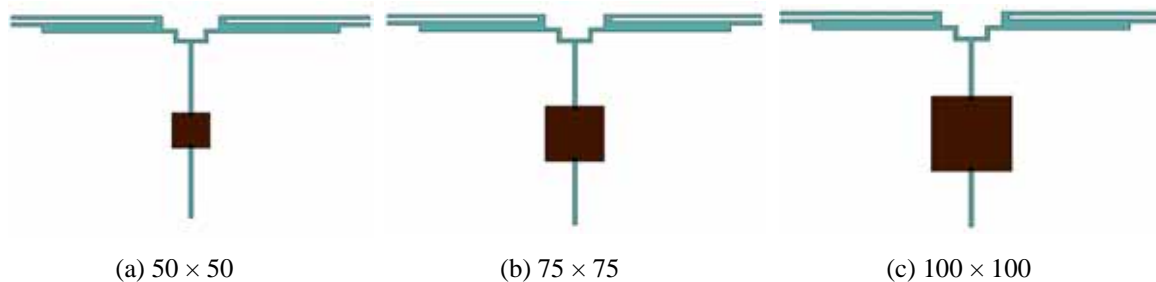


圖 7 負載尺寸配置圖 (單位： μm)

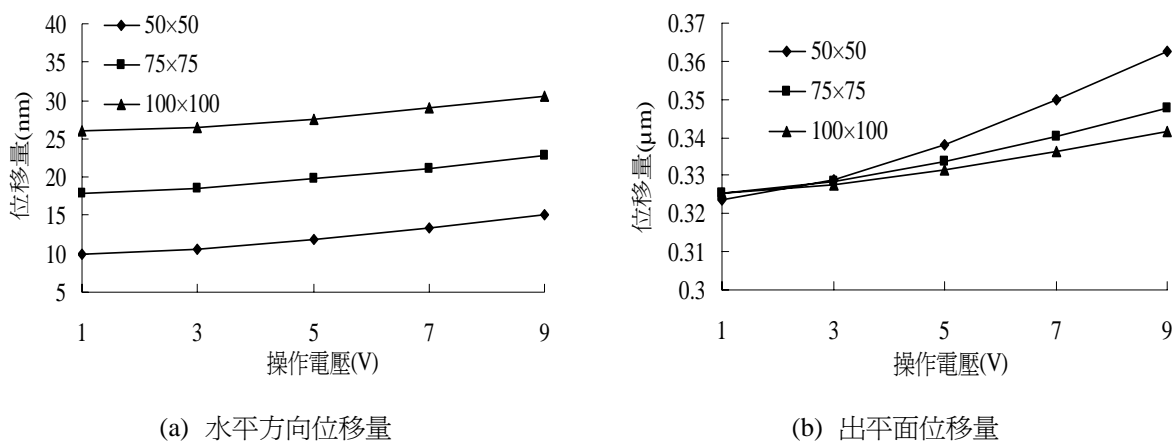


圖 8 對接式微陣列式熱致動器為連結抬升結構之負載運動分析圖

4.1.2 平行式微陣列式熱致動器連結抬升結構之負載運動分析

以{1×2}平行式微陣列式熱致動器為連結抬升結構時，改變負載大小為 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 、 $75\mu\text{m} \times 75\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ ，如圖 9 (a)、(b)、(c)所示。經進行水平方向位移量與出平面位移量之運動模擬分析，當相同操作電壓時，其位移量比較之結果，如圖 10 (a)、(b)所示，可知負載越大，水平方向的位移量也較高，但當操作電壓高於 3V 時，出平面的位移卻因為負載越大而降低，結果與 4.1.1 之模擬結果相似。

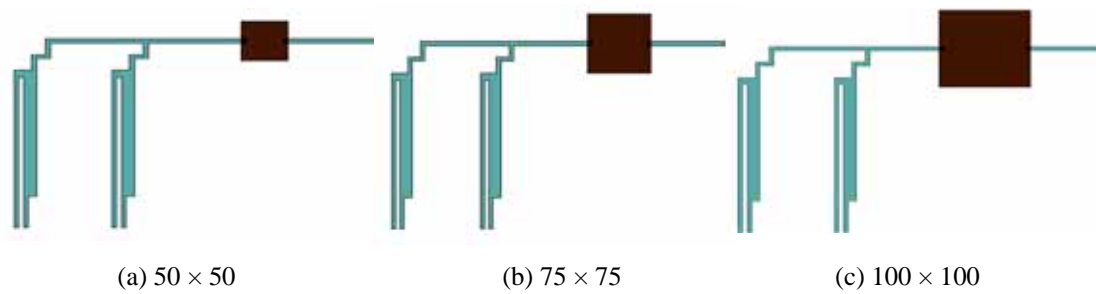
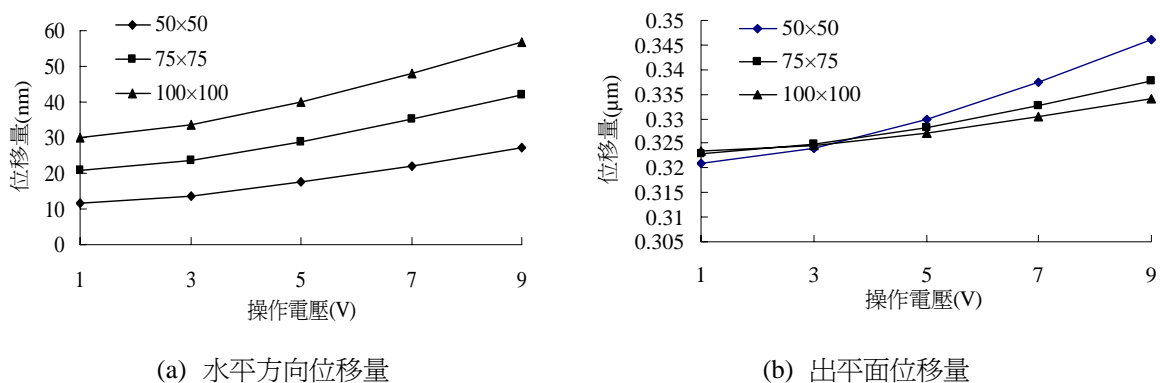
圖 9 負載尺寸配置圖(單位： μm)

圖 10 平行式微陣列式熱致動器為連結抬升結構之負載運動分析圖

4.1.3 微陣列式熱致動器連結抬升結構之負載偏方向位移分析

由上述兩小節的分析，可以知道微陣列式熱致動器在有負載的情形下，平行式微陣列式熱致動器較對接式微陣列式熱致動器有較佳的水平方向位移，然數值上遠小於出平面的位移量，為確認當施予電壓於微陣列式熱致動器時，因抬升結構的設計，可使水平位移有效的轉為出平面位移，故仍須了解兩種微陣列式熱致動器連結在水平偏方向(Y 軸)位移量之影響，模擬結果如圖 11 所示。在連結臂靠近微陣列式熱致動器之端點取為 A，靠近負載端則為 B，如圖 7 所示，經模擬結果顯示，在固定負載為 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 下，以對接式微陣列式熱致動器連結抬升結構在施予電壓後，產生之偏方向位移量明顯小於以平行式微陣列式熱致動器做為連結的抬升結構之偏方向位移量，如圖 11 (a)所示，且經連結臂上 A、B 兩端點之偏方向位移量之差異比較，如圖 11 (b)所示，更可確認，對接式微陣列式熱致動器連結抬升結構，於驅動時在指向性上優於平行式。

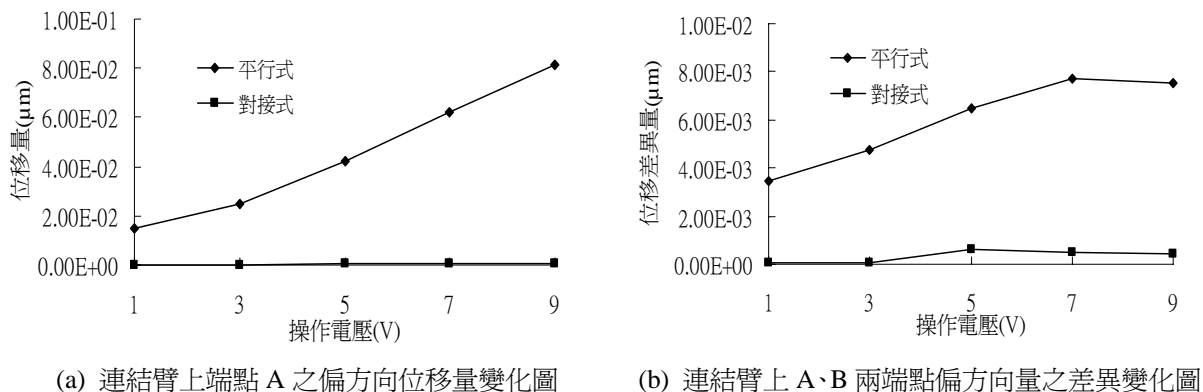


圖 11 微陣列式熱致動器連結抬升結構之負載偏方向位移分析圖

綜合上述之模擬數據，可以發現當操作相同電壓下，平行式微陣列式熱致動器之出平面位移量較對接式微陣列式熱致動器稍高，但由水平方向位移量與偏方向位移量可以了解到，對接式微陣列式熱致動器施力的指向性較平行式微陣列式熱致動器佳，固本次設計以偏方向量較小的對接式微陣列式熱致動器為主軸，搭配抬升結構與微調結構的型式，完成具精細調整功能之微光學元件的設計。

4.2 牽制微面鏡傾斜的設計型式分析

有關牽制微面鏡傾斜的設計，本文列出主要的三種型式，其設計型式分別為單支臂、對接式微陣列式熱致動器，此處以 $\{2 \times 2\}$ 為例，以及彈簧結構等，如圖 12 (a)、(b)、(c)所示；當施予操作電壓 1 至 9 伏特時，比較牽制微面鏡傾斜結構與微面鏡抬升位移量之關係，由圖 13 可知彈簧結構的位移量最少，而 $\{2 \times 2\}$ 對接式微陣列式熱致動器與使用單支臂做為牽制微面鏡的結構時位移差異變化並不大，因此進一步將操作電壓固定在 7 伏特下，比較兩者微面鏡抬升的位移量分佈情形，如圖 14 所示，由圖中微面鏡抬升時高、低之差值(Δ)可得知，以 $\{2 \times 2\}$ 對接式微陣列式熱致動器為微面鏡傾斜的牽制結構比以單支臂為牽制結構佳。

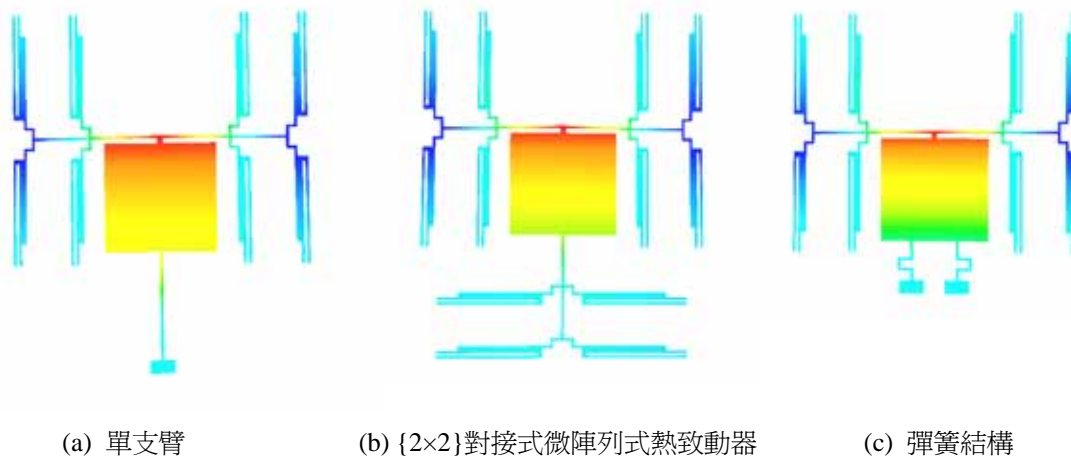


圖 12 牽制微面鏡傾斜的三種結構形式

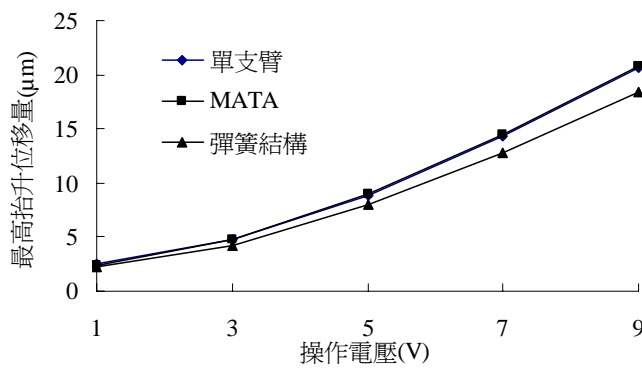


圖 13 微面鏡最高抬升位移量變化圖

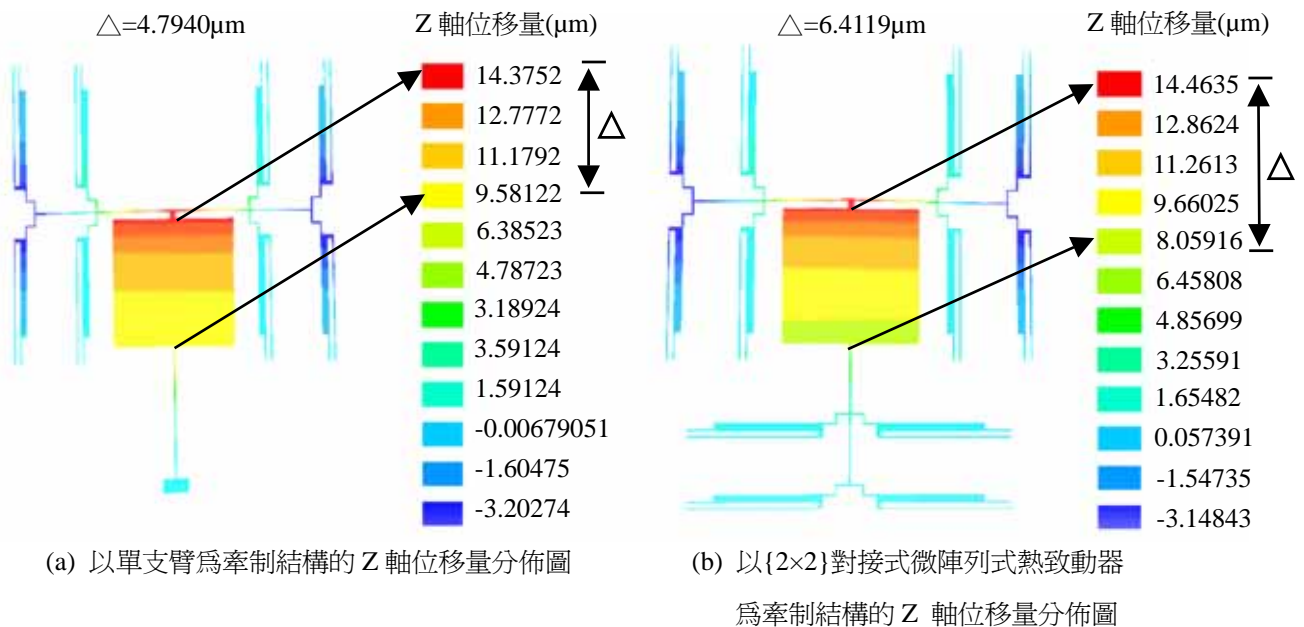
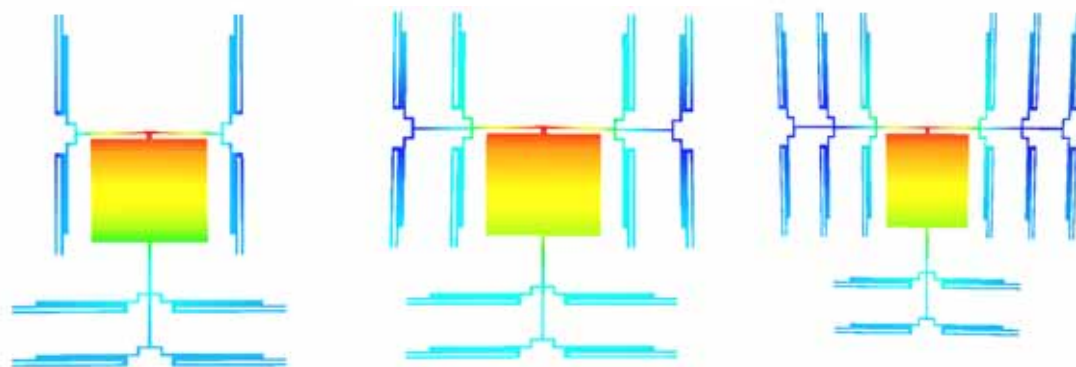


圖 14 牽制結構之位移比較圖

4.3 微陣列式熱致動器數量之影響

經前面的分析結果顯示，對接式微陣列式熱致動器為最佳抬升結構的驅動型式，並為最佳的牽制結構，本節進一步要探討連結抬升結構之微陣列式熱致動器的數量對微面鏡抬升效益之影響。改變微陣列式熱致動器之數量為{2×1}微陣列式熱致動器、{2×2}微陣列式熱致動器以及{2×3}微陣列式熱致動器，如圖 15 (a)、(b)、(c)所示，在相同牽制結構下，將微陣列式熱致動器施予 1 至 9 伏特的操作電壓，比較熱致動器數量的多寡與微面鏡抬升位移量之關係，如圖 16 可知，結果顯示對接式微陣列式熱致動器數量愈多，其微面鏡抬升之最高位移量也會愈大。



(a) {2×1}微陣列式熱致動器 (b) {2×2}微陣列式熱致動器 (c) {2×3}微陣列式熱致動器

圖 15 微陣列式熱致動器的數量

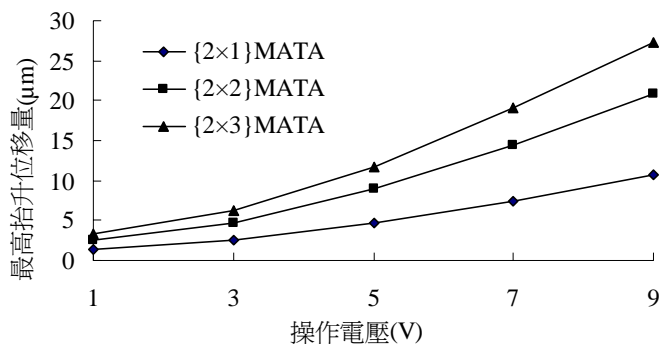


圖 16 熱致動器數量與位移量變化之關係圖

4.4 微調結構之性能分析

經 4.2 節的分析，本次微光學元件以對接式微陣列式熱致動器為牽制結構，其微面鏡之運動效益最佳，然微陣列式熱致動器本身經施予操作電壓後亦可使牽制臂致動，進而使元件有微調的功能。根據 4.3 節分析結果，並考慮到 CIC 允許的下線面積限制，選擇{2×3}對接式微陣列式熱致動器為連結抬升結構的型式，如圖 17 (a)所示 A 部份，在施予固定操作電壓 7V 下，於 B 部份{2×2}對接式微陣列式熱致動器所組成的牽制暨微調結構，個別施予操作電壓，分析其調整抬升位移結果，如圖 17 (b)所示，在微調結構上改變操作電壓時，所加的操作電壓越高，微面鏡上最高位移量也越大，當操作電壓由 0V 變化至 9V 時，微面鏡在連結臂側最大位移量由 18.68μm 變化至 19.19μm，另一方面在牽制臂側之位移量變化，由 9.27μm 變化至 8.53μm。

考量整體微面鏡之傾斜高度差及熱致動器之鋁電極熔點限制下，本元件在連結抬升結構之微陣列式熱致動器，固定其操作電壓為 7V 下，調整本元件微調牽制結構之微陣列式熱致動器的操作電壓，由 0V 至 7V，其微面鏡傾斜高度差由 9.38μm 變化至 10.22μm，如圖 17 (b)所示，本元件微調的性能約為 0.12μm/V。

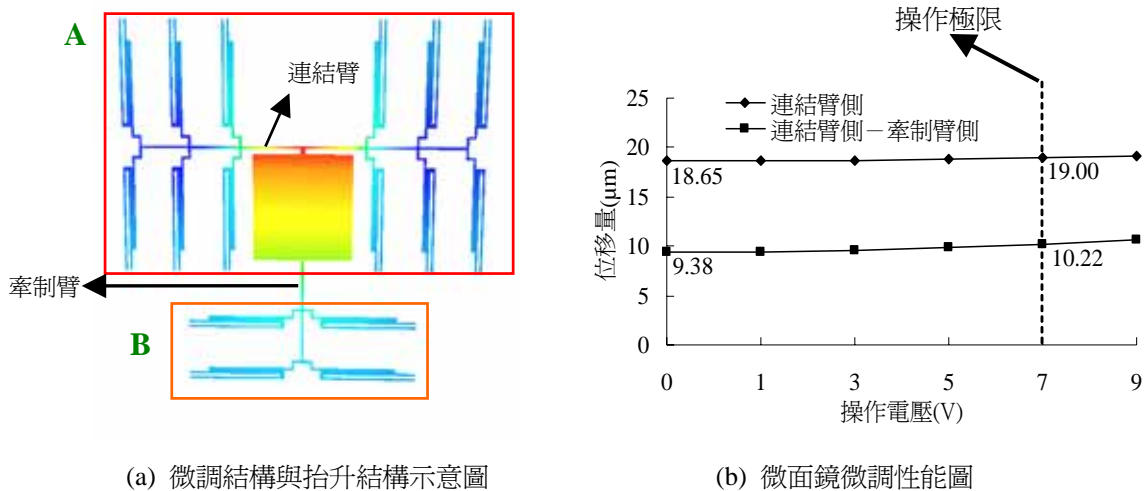


圖 17 微調結構示意與性能圖

4.5 微面鏡平整度之模擬分析

在抬升結構、牽制微面鏡傾斜結構與微調結構皆有了最佳化的模擬分析後，本文最後進行微面鏡平整度之模擬分析。在微面鏡上選取九個點進行 Z 軸方向位移量的模擬，如圖 18 (a)所示，在操作電壓為 1V 到 7V 時，如圖 18 (b)所示，明顯的顯示此次所提之具精細調整功能之微光學元件，其微面鏡抬升時並不會有鏡面不平整之問題。另就微面鏡上位移變化分析，其標示點位置如圖 19 (a)所示，在操作電壓為 7V 時，微面鏡上各點 Z 軸位移的分佈圖，如圖 19 (b)所示，結果顯示位移變化為線性，各點差異量亦接近定值，即微面鏡的曲率半徑接近無窮大，表示微面鏡抬升時表面應很平整。綜合模擬結果顯示微面鏡平整度很高，可確實地應用在各種微光學系統上。

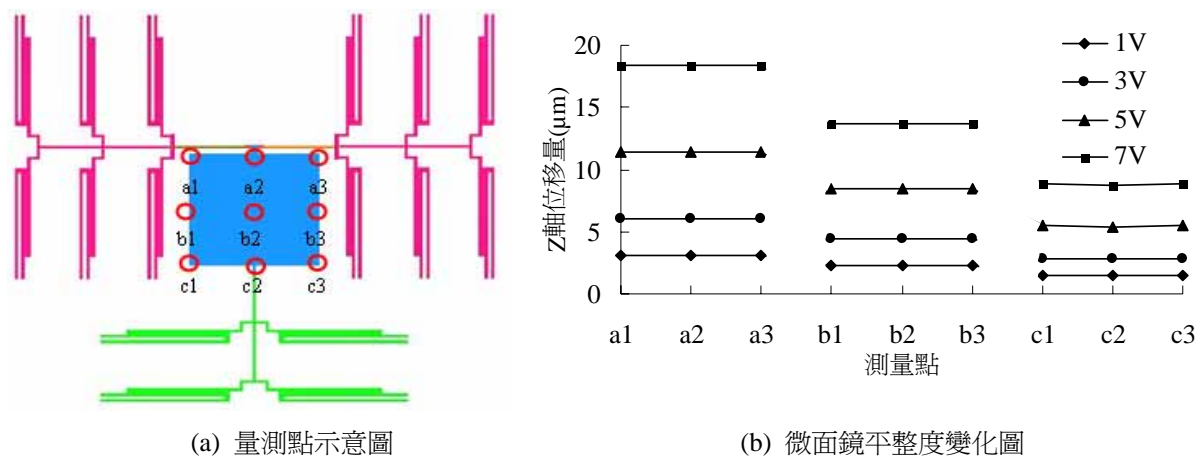


圖 18 微面鏡抬升時平整度變化圖

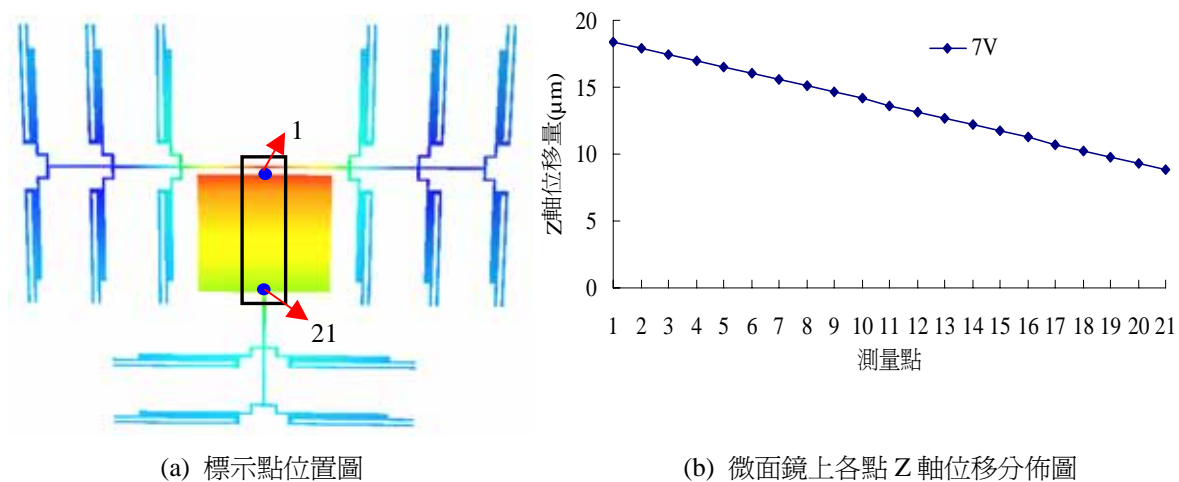


圖 19 微面鏡抬升時平整度變化圖

五、結論

本文藉由微機電模擬分析軟體 *IntelliSuite* 建立具精細調整功能之微光學元件的模型，以探討不同操作電壓時，抬升結構、牽制微面鏡傾斜暨微調結構之最佳設計與微面鏡之最佳運動性能。由平行式與對接式微陣列式熱致動器之負載應用分析，其水平位移量與偏方向位移量結果可知，對接式微陣列式熱致動器對負載的指向性較平行式微陣列式熱致動器佳，若將此結構與微面鏡結合，其出平面之抬升高度的運動效能將達到最好的表現，因此對接式微陣列式熱致動器是本次微光學元件連結抬升結構的主要驅動型式；在牽制微面鏡傾斜的型式設計分析中，由微面鏡最大位移量的模擬結果中顯示，以{2×2}對接式微陣列式熱致動器為牽制結構較單支臂牽制結構佳，且有助於微面鏡抬升之最大位移量。在探討微陣列式熱致動器數量的變化影響中，其結果可知微陣列式熱致動器的數量越多，當操作電壓增加，微面鏡抬升的位移量亦提高。在微調性能模擬分析的結果中顯示，當施予電壓於微調結構上，且由 0V 變化至 7V 時，其微面鏡之微調性能約為 $0.12\mu\text{m}/\text{V}$ 。最後，經微面鏡平整度之模擬分析，結果顯示本元件抬升時並無鏡面翹曲的疑慮，微面鏡平整度極佳，可確實地應用在各種微光學系統上。綜合研究結果可得到微面鏡最大之抬升位移量，在操作電壓的最高極限為 7V 時，約為 $19\mu\text{m}$ 。

六、致謝

本研究感謝國科會及明新科技大學專題研究計畫之經費補助以及國家晶片中心計畫的支持，才使研究得以完成。

七、參考文獻

- [1] 張志誠(2002)，微機電技術，商周出版。
- [2] 梁凱智(2004)，CMOS 製程整合電熱致動與壓阻感測之元件開發，國立清華大學碩士論文。
- [3] 林俊仁(2004)，微型光纖費比裴洛式感測器之設計、製造與應用，國立清華大學。
- [4] 連英傑(2004)，新型壓電微致動器之模擬分析及設計，國立交通大學碩士論文。
- [5] 黃財丁(2000)，微機電技術之世界趨勢，臺北市：國科會科資中心。
- [6] 歐憲章(1997)，熱動式微致動器尺寸最佳化之探討，國立成功大學碩士論文。
- [7] 余志誠(1998)，三層多晶矽電熱式微致動器與微滑桿致動系統之製作、分析與研究，國立交通大學碩士論文。
- [8] M. Mehregany (1993), Microelectromechanical Systems, IEEE Circuits and Devices, pp. 14-22.
- [9] Guo-Dung J. Su, Shi-Sheng Lee, and Ming C. Wu (1995), IEEE, Optical Scanners Realized by Surface-Micromachined Vertical Torsion Mirror, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11, No. 5.
- [10] 郭耀輝(2001)，新型微致動閃耀式光柵之研究，國立臺灣大學應用力學研究所碩士論文。
- [11] 游李興(2002)，微機電製程技術於光通訊元件之應用研究，工業技術研究院產業經濟與資訊服務中心出版，臺北市：電腦商業同業公會經銷。
- [12] 陳永霖(2004)，伺服控制之光通訊大型光學開關之設計與製作，國立清華大學。
- [13] 國科會精儀中心(2003)，微機電系統技術與應用 Micro electro mechanical systems technology & application，新竹市。
- [14] 蔡健忠(2003)，微陣列式熱致動器在微光機電之應用研究，明新學報 29 期，27-36 頁。
- [15] 蔡健忠(2004)，微陣列式熱致動器應用在微光學元件運動模式之探討，明新學報 30 期，137-147 頁。
- [16] 蔡健忠(2005)，結合微陣列式熱致動器之新型微光學元件抬升結構的探討，明新學報 31 期，101-116 頁。
- [17] 李國賓(2001)，微型致動器之設計製作及其在光學及微爪之應用，國立成功大學。
- [18] 鄭英周、張培仁(2003)，「淺談 CMOS-MEMS 之發展與未來」，電子月刊 0090 期。
- [19] Sara E. Rosenberg, Peter Y. Wong, and Ioannis N. Miaoulis (1996), Rapid Thermal Annealing of High-Melting-Point Films on Low-Melting-Point Substrates, IEEE Transactions On Semiconductor Manufacturing, pp. 249-256.
- [20] J. W. Judy, T. Tamagawa, and D. L. Polla (1990), Surface Micromachined Linear Thermal Microactuator, IEEE, pp. 26.5.1-26.5.4.
- [21] M. Gad-el-Hak (2001), The MEMS Handbook, CRC Press, Chapter 3.