

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

微/奈米技術於 $N \times N$ 光開關系統之發展--子計畫一： $N \times N$
機械式光開關之研製(2/3)
期中進度報告(精簡版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-238-
執行期間：95年08月01日至96年10月31日
執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：鍾添東

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 09 月 20 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微/奈米技術於 NxN 光開關系統之發展 子計畫一：NxN 機械式光開關之研製(2/3)

Development of Micro/Nano Technologies on the System and Components of NxN Optical Switches

Sub-project 1: Development of NxN mechanical optical switches(2/3)

計畫編號：NSC 95-2221-E-002-238

執行期限：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

主持人：鍾添東副教授 國立台灣大學機械系

計畫參與人員：林錦德、范栩 國立台灣大學機械系

一、中文摘要

本計畫為三年期整合型計畫「微/奈米技術於 NxN 光開關系統之發展」的第一個子計畫，本子計畫之目的為設計新型 NxN 之機械式光開關。本計畫擬提出三種機械式之 2x2、4x4 及 8x8 光開關，其輸入光纖之光路由微鏡片反射，而微鏡片則由繼電器所控制及移動。在計畫的第二年進行新型 4x4 光開關之設計，同時完成光路設計與有限元素分析。首先根據設計需求訂立光開關的產品規格，並且提出新的結構概念。再者應用專家系統從光開關的光路中選擇最好的鏡子配置，且執行光程分析以滿足準直器的規格。接著進行一連串的有限元素結構分析以分析光開關的熱特性。先發展參數化繪圖程式，產生有限元素分析的實體模型，然後利用分析之結果，如溫度分佈與熱變形，改進光開關的效能。最後，呈現一種溫度補償設計，以確保光開關的光損失能滿足 Bellcore 規格上的需求。

關鍵詞：光開關、有限元素分析、熱補償設計

Abstract

This project is a three-year project, and is the first sub-project of the joined project named "Development of micro/nano technologies on the system and components of NxN optical switches". The purpose of this sub-project is to design innovative NxN optical switches of mechanical type. The proposed configurations include mechanical types of 2x2, 4x4 and 8x8 optical switches, and lights of the input optical fibers are reflected by micro mirrors, which are controlled and moved by actuators. The main work of the second year is to design, analyze and

manufacture a new 4x4 optical switch. At first, product specifications of the optical switch are defined according to design requirements. Some innovative concepts of configurations are also presented. Secondly, an expert system is developed to select the best layout of mirrors from different optical paths of the optical switch. The light traveling distances in the switch are also calculated such that the distance limitations between input/output collimators can be fulfilled. Next, a series of finite element structural analysis are executed to analyze the thermal behaviors of optical switch. A parametric modeling program is developed to generate solid models for finite element analysis. Based on the analysis results, such as temperature distribution and thermal deformation, the optical switch is redesigned to reduce the misalignments. Finally, a temperature-compensated design is presented to ensure that the optical loss of this optical switch satisfies the requirements of Bellcore specifications.

Keywords: Optical switch, finite element analysis, temperature-compensated design.

二、前言與研究目的

光纖傳輸技術是提昇電信網路頻寬之關鍵，它能提供比傳統銅線更多之頻寬，同時能降低銅線所伴隨之不良效應，例如電磁干擾。

光通訊網路技術發展至今，運用高密度分波多工器(DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing)來增加頻寬已是主流[1]。未來趨勢是希望在節點上讓光訊號盡可能在光域(optical domain)作交換和路徑保護。藉由光開關元件的使用，可更靈活調整存取頻寬，確保

網路的通暢。光開關元件亦應用於保護通訊網路，即時監控並切換到備用線路上，可將系統損害程度降到最低。由此觀之，用於光域做為交換核心的光開關，在未來勢必扮演更重要的角色。

光開關、光開關矩陣是技術極高的光被動元件，涉及精密加工、組裝技術等。真正能夠商用化的光開關產品目前以傳統的機械式光開關為主。雖然開關時間較長(15ms)，體積偏大，但其串音小，重複性好，插入損耗低，與使用的光波長、偏振態無關，不受系統採用的數據格式的限制，價格相對便宜，在當前全光網路組建的初始實驗階段，有其不可替代的地位。同時機械式光開關性能價格比相對較高，是其它類型的光開關無可比擬。

機械式光開關之致動器(actuator)做動方式可分微精密電機控制與磁保持兩種。而機械式光開關切換光路的技術有三種類型：一是採用稜鏡切換光路技術，二是採用反射鏡切換光路技術，三是將光纖本身作為移動光纖切換光路，即所謂的"動纖式"。

機械式光開關受溫度影響極大，可靠度不佳是其缺點，因此製造良率極低，且組裝對光不易。究其原因乃光開關的精度要求高於以往的產業機械。但基於機械式光開關之應用及商機日漸擴大，其性能、效率、設計方法及應用技術等仍然有許多發展空間。因此研究新型光開關結構之設計、分析等技術，確有其必要性。

本計畫提出新型的 4x4 機械式光開關設計，包含兩組輸入與輸出光纖、光路切換裝置以及微反射鏡。操作時，輸入電流所產生的熱量，會使得光開關上之元件因溫度上升產生不同程度的熱變形，在光纖傳輸元件間產生位移，並造成傳輸能量上的損失，此能量的損失稱之為光損失(optical loss)。本計畫建立光開關參數化實體模型，發展結構有限元素分析方法，瞭解熱變形對輸入與輸出光纖以及微反射鏡之相對位置的影響，以提供未來設計與改良的參考。

三、文獻探討

光開關一般利用適當之驅動裝置切換光纖之傳輸路線，但輸入驅動裝置產生之熱量與其導致的熱變形，會產生光纖輸入端與輸出端

之對位偏移，造成訊號損失而影響傳輸品質。要降低因熱變形造成光纖之對位偏移問題，提高對位精度以確保訊號傳輸品質，可經由整個光開關結構之有限元素分析、調整適當結構變數等方法來降低光纖之對位偏移。有關有限元素分析與最佳化的文獻簡述如下。

Diemeer[2]使用有限元素法軟體 ANSYS 進行光開關之暫態的溫度分佈分析與熱變形分析。Schneider[3]提出一個整合的系統進行微機電系統的分析與最佳化。分析過程大致上可分為四大部分—模擬器、誤差計算、最佳化設計和模型產生。

光開關應用之環境溫度有很大之差異性，Bellcore 要求之工作溫度為 $-40^{\circ}\sim 75^{\circ}\text{C}$ 。為了解決光開關不同應用環境溫度之問題，可設計適當之溫度補償機構(temperature-compensating mechanism)來解決此問題。一般之溫度補償機構分為被動式(passive)及主動式(active)兩種溫度補償裝置；而溫度補償機構主要的功用即在補償光開關在不同工作環境下產生的熱變形，以保持固定之光纖對位誤差，確保不同應用環境溫度之訊號傳輸品質。光纖之溫度補償機構較早由 Morey 等人，設計一個結構其隨溫度上升(下降)會對光柵施以逐漸變小(變大)的拉應變，將光柵波長飄移控制在原來(未進行溫度補償前)1/13 倍之下，其後，此方面的研究多是由專利發表，簡述如下：

Morey[4]發表一光柵溫度補償機構如圖 3-1 所示。利用兩種不同熱膨脹係數材料，在環境溫度上升(下降)時，連接點 17 與 26 會因為膨脹(收縮)向右(左)移動，因為使用不同熱膨脹係數材料，故連接點 17 與 26 之移動距離不同，故可利用來對光纖進行溫度補償。

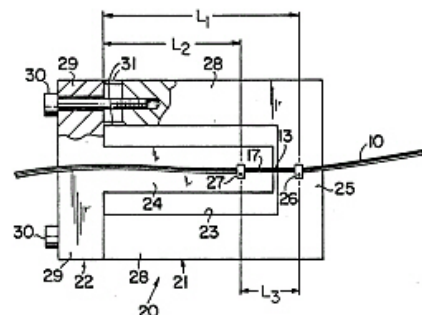


圖 3-1 Morey 的溫度補償機構[4]

Yoffe[5] 在 OFC (optical fiber

communication)會議論文提出之光柵溫度補償機構如圖 3-2 所示。此機構當溫度上升(下降)時，低熱膨脹係數材料使得光纖向外(內)移動，高熱膨脹係數材料使得光纖向內(外)移動，因為使用不同熱膨脹係數材料，故利用移動距離的不同來對光纖進行溫度補償。

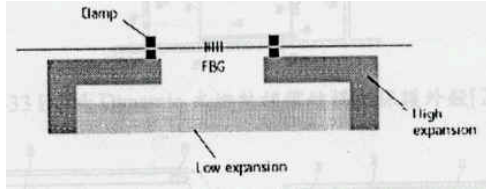


圖 3-2 Yoffe 的溫度補償機構[5]

張[6]發明光柵溫度補償機構如圖 3-3 所示。由於頂材的熱膨脹係數比基材來的大，當溫度上升時，兩邊頂材熱膨脹的量來的比基材大，所以會將基材的力臂(arm)往內頂。相反地，當溫度下降，則兩邊頂材的熱收縮量會比基材大很多，故會拉動基材力臂往外。

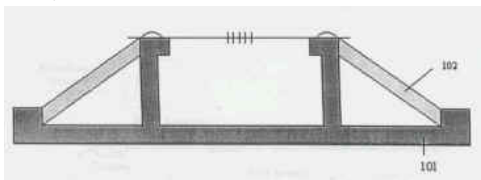


圖 3-3 張的溫度補償機構[6]

四、研究方法

本計畫進行 4x4 新型機械式光開關之設計與分析。首先根據設計需求訂定產品規格，並分析光程差以滿足準直器規格。再利用電腦輔助設計軟體發展參數化設計程式，以自動產生光開關之實體模型。最後利用有限元素分析軟體 ANSYS，進行光開關結構體的結構分析，進而評估熱變形造成光纖輸入端與輸出端之對位偏移的影響。本計畫提出之新型光開關如圖 4-1 所示。

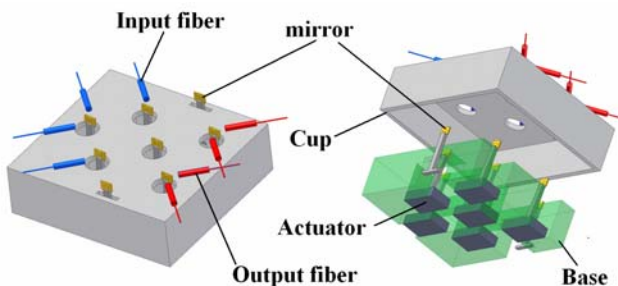


圖 4-1 新型光開關示意圖

4.1 設計規格

本計畫新型 4x4 光開關設計將基於 Bellcore 規範，如表 4-1 所示。除此之外，準直器的應用範圍有一定的距離限制，此特性亦為本計畫的設計規格之一。

表 4-1 Bellcore 1073 與 1221 測試規範內容

溫度循環	在未控制環境下，測試溫度變化循環在 $-40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 與 $75\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之間，從最高溫開始總共 42 循環(約 14 天)。過程中溫度變化率為每分鐘 $0.95\pm 0.10^{\circ}\text{C}$ 。相對溼度可不控制，但測試腔體內溼度則須控制在 $50\%\pm 30\%$ 。於量測輸出前 0.5 小時，樣品要穩定並達到量測溫度。光損耗需小於 2.0dB。
濕度測試	在相對溼度 $90\pm 5\%$ 、溫 $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 下保持 336 小時(約 14 天)，光損耗需小於 2.0dB。
震動測試	受簡諧運動，最大的振幅為 $1.52\text{mm}\pm 10\%$ ，其變化頻率:10 ~ 50Hz，每循環 4 分鐘，光損耗需小於 2.0dB。
彎曲測試	測試樣品受拉力負載 1lb，其不受物理性損壞，包括：Fiber Breakage、Package Cracks、Cable Jacket Damage、Failure of the Fiber- terminus Joint、Cable Seal Damage。為了保護 cable 負載要作用在距光纖尾端 10cm 處，最大負載時的變化率每秒 $400\mu\text{m}$ ，並且持續 1 分鐘，光損耗需小於 2.0 dB。
側拉力試驗	光開關測試樣品承受 0.5lb 的拉力負載，在此試驗光開關需不產生物理損壞，量測在負載加入至少 5 秒後的插入損耗 (insertion loss)、移開負載至少 10 秒後再量測插入損耗，光損耗需小於 2.0 dB。
衝擊測試	從指定高度落到水泥地上的三軸向試驗，樣品在此視為剛體，如此一來衝擊才能傳到內部元件，試驗方法是將測試樣品固定在一个充滿堅固物體的容器中(堅固物體如沙子、小玻璃珠)，如此樣品才不會偏移或彈起，此實驗的衝擊設定在 1000 倍重力加速度。

4.2 設計概念與自動對準組裝設計

為了避開光開關矩陣的專利，經討論後提出光開關的起始設計，如圖 4-2 所示。此設計在 4x4 光開關僅需要 6 面可動鏡與 2 面固定鏡(以紅圈標示)，可取代以往 16 面可動鏡的光開關矩陣，因此具有動件少與體積小的優點。

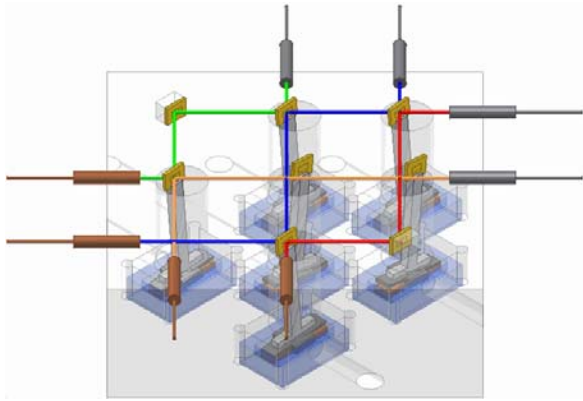


圖 4-2 新型 4x4 光開關的配置圖

為了便捷光開關的組裝，在基座上設計有自動對準設計，如圖 4-3 所示，可使致動器自動到達安裝時的大致位置。

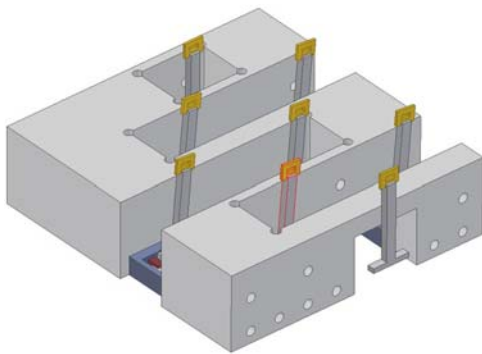


圖 4-3 自動對準設計

4.3 專家系統應用

本計畫的光開關配置會造成相同的輸入輸出組(I/O set)下，具有多種的光訊號傳遞路徑。理論上所有的訊號傳遞路徑均可達到訊號傳輸的目的，但由於雙面鏡的厚度，如圖 4-4 所示，光訊號經反射後會產生光路誤差(error)。隨著反射次數越多，光路偏移量就會大，光損失也隨之增加。為了增加光訊號傳遞的精確，採用專家系統進行光路的挑選。

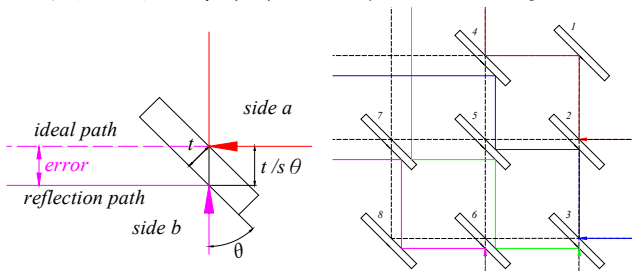


圖 4-4 反射鏡厚度與誤差關係之示意圖

專家系統乃一種知識基礎的(knowledge-based)分析方法，必須根據光開關

的設計概念與組裝方法撰寫法則(rule)。首先建立鏡子與光路的關係。如圖 4-5(a)所示，當鏡面在反射位置時，左方輸入光路經反射後由下方輸出，上方輸入光路經反射後由右方輸出；當鏡面不在反射位置時，如圖 4-5(b)，左方輸入光路直接由右方輸出，上方輸入光路直接由下方輸出。因鏡子只能由「在反射位置」或「不在反射位置」中決定一種動作，故反射與穿越的光路不會同時成立，如此可建立單一鏡子與光路的法則。

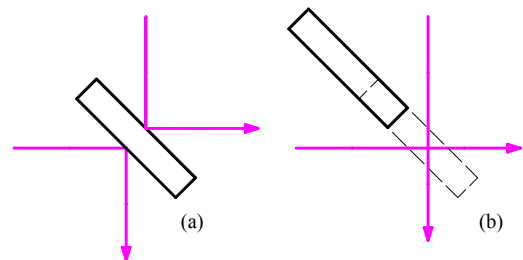


圖 4-5 光路與鏡子位置的法則

接著是建構光路元件的相對位置法則。如圖 4-6 所示，訊號由輸入光纖 $i1$ 進入，首先會遭遇鏡子 2。根據前述鏡子與光路之關係，光路可以反射後到達鏡子 1 或穿越後到達鏡子 5。依此類推，可以建立光路在各元件間傳遞的路徑。利用實際上訊號傳遞的法則，專家系統可以搜尋光路傳遞的路徑。

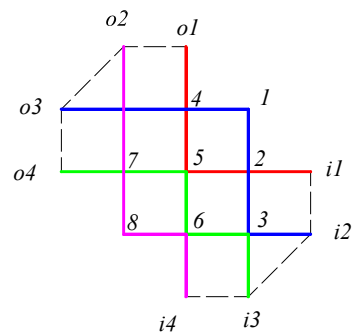
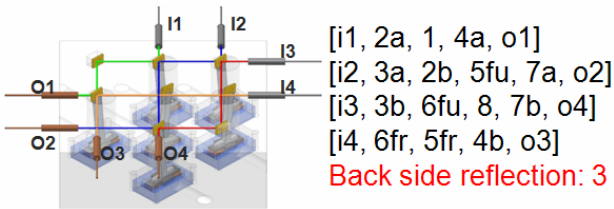


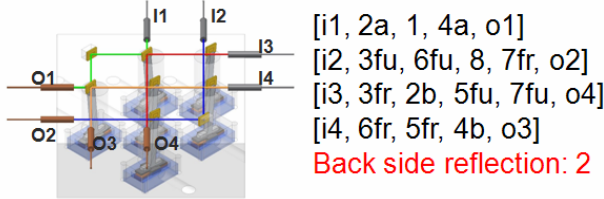
圖 4-6 準直器與各鏡子間的位置法則

最後衡量光路偏移的誤差累積。此光開關配置下，同樣的一組輸入輸出組合會有一組以上的光路傳遞路徑。根據對光時，組裝人員會將雙面鏡區分為主面(main side)與背面(back side)的設定，因此定義光路經由主面反射時不會造成誤差，而經過背面(back side)就會造成誤差。利用此一作法，可以定義各鏡子的基準面。當專家系統搜尋光路時，同時也會記錄經

由背面的反射次數，藉此淘汰可能造成較大的光損失之光路組合。舉例而言，如圖 4-7 所示為同樣輸入輸出組合下之兩種不同光路徑，其中圖 4-7(b) 的配置經過背面反射的次數較少，本專家系統會判斷此光路優於圖 4-7(a)。



(a) 經背面反射 3 次的光路圖



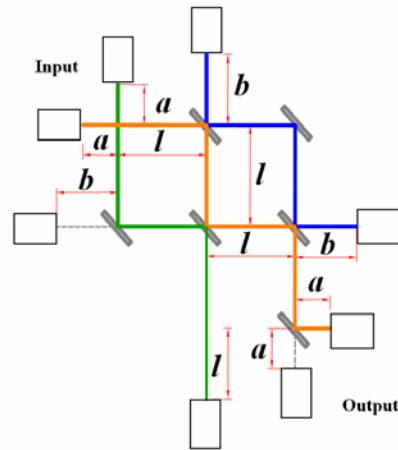
(b) 經背面反射 2 次的光路圖

圖 4-7 專家系統挑選光路的法則

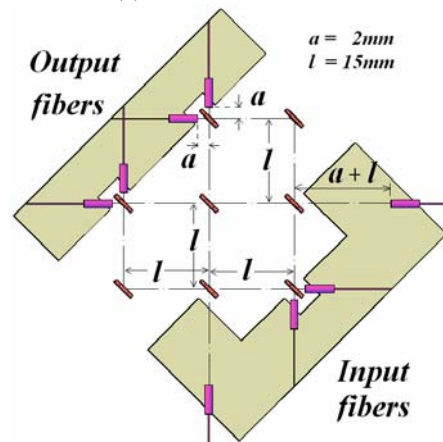
4.4 光程(light traveling distance)設計

光纖準直器有一適當的工作距離，過長或太短都會造成光損耗，為了降低光開關的光損耗，所以進行光程的分析。光程乃光訊號由輸出光纖出發到輸入光纖接收之間所走的距離。求取各光路之光程與最小的光程差，以滿足準直器的規範。

首先定義鏡子與鏡子的距離為 l ，鏡子與較靠近的準直器距離為 a ，鏡子與較遠離的準直器距離為 b ，如圖 4-8(a) 所示。因此，光訊號由輸入光纖傳遞到輸出光纖的距離可統計出三種不同長度，分別為 $2b+2l$ 、 $2a+4l$ 與 $a+b+3l$ 。經計算獲得，當 $b=a+l$ 時，此配置在不存在光程差，而三種光程均為 $2a+4l$ 。由於輸出端在實際上可減少一個鏡子(參考圖 4-6，於編號 4 之鏡子左方的原本應有一個鏡子)，故調整光纖位置後可將光程縮短為 $2a+3l$ 。在此設定下，光程之最小值為 49mm，光開關尺寸為 60.25x57.2x16(mm)，光纖與鏡面的配置如圖 4-8(b) 所示。



(a) 光程分析參數圖



(b) 光纖與鏡子的配置 (總光程為 $2a+3l=49\text{mm}$)

圖 4-8 光程設計

4.5 有限元素分析

機械式光開關所使用驅動裝置會因通過電流而造成溫度上升與變形，造成輸入光纖、輸出光纖與反射鏡之對位偏移，這將造成訊號損失而影響傳輸品質。本計畫發展有限元素分析方法，分析光開關之結構特性，藉此評估光纖與反射鏡的對位偏移量。

(1) 熱分析方法

本計畫採用採用有限元素分析軟體 ANSYS 及利用其所提供的 APDL 語言撰寫而成的巨集，首先載入 Autodesk AutoCAD 所產生實體模型檔案，然後給定元素形式、材料性質、負載與邊界條件，並建立有限元素分析模型，自動產生光開關有限元素模型之網格模型，並進行光開關之溫度分佈及熱變形分析。流程如圖 4-9 所示。光開關的有限元素分析模型如圖 4-10 所示。有限元素分析之元素選擇上，先以 SOLID70 元素進行溫度分佈分析，

再轉換為 SOLID45 元素進行結構分析。元素數量為 24,568 個。

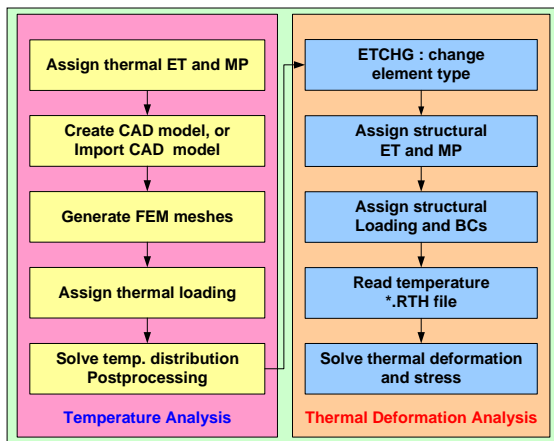


圖 4-9 4x4 光開關熱分析流程圖

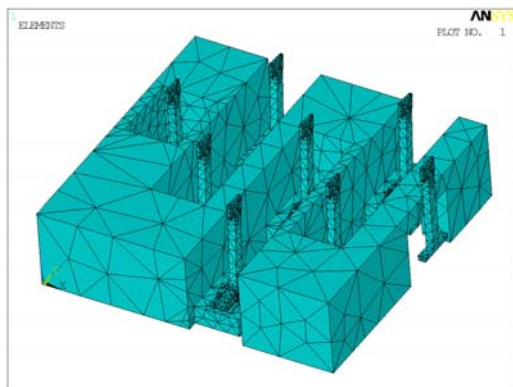


圖 4-10 有限元素分析網格圖

有關熱分析的邊界條件根據 Bellcore 設計規範，設定安裝時的溫度為 25°C 並分成二種情況分別討論之：

情況一、溫度由 25°C 變化至 75°C。

情況二、溫度由 25°C 變化至 -40°C。

本文之 4x4 光開關使用材料之材料性質如表 4-2 所示。

表 4-2 光開關材料性質表

Properties	Young's modulus kgf/mm ²	Poisson ratio	Thermal conductivity 10 ⁻³ W/(mm·°C)	Thermal expansion coefficient 10 ⁻⁶ /°C
Invar	14388	0.3	10	1.5
Steel alloy	21122	0.3	51.9	11.7
Al-alloy	40000	0.33	10	23
Copper	10306	0.35	401	18
LCP	246	0.33	0.15	5
Silicon	11457	0.22	124	2.49

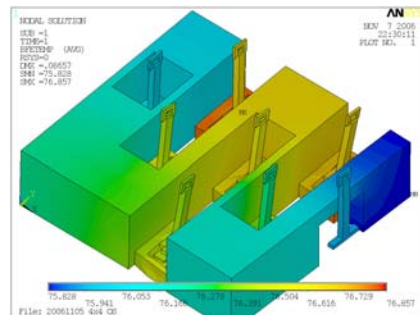
為了在有限元素法軟體中建立光開關之溫度分析與熱變形分析模型，必須對光開關的

材料及模型做以下的假設及簡化：

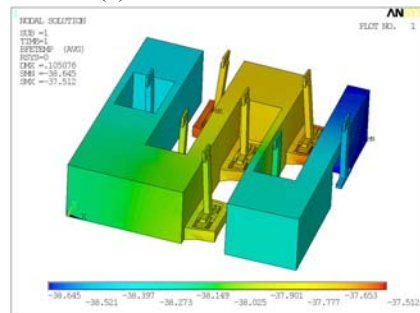
- 材料性質不隨溫度改變
- 分析模型不含準直器與光纖之實體模型

(2) 熱分析結果

4x4 光開關在二種情況的溫度分佈如圖 4-11 所示，熱變形情況如圖 4-12 所示。

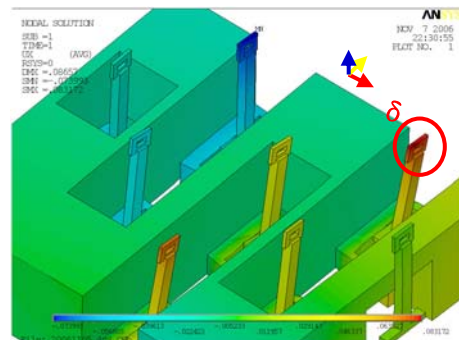


(a) 環境溫度為 75°C

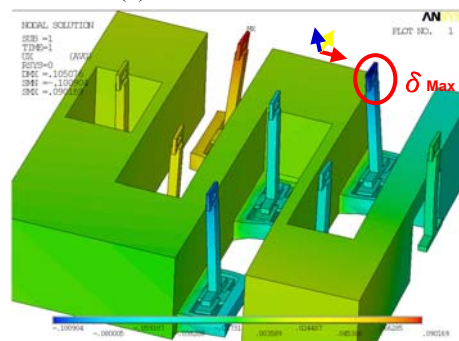


(b) 環境溫度為 -40°C

圖 4-11 各情況下的溫度分佈圖



(a) 環境溫度為 75°C



(b) 環境溫度為 -40°C

圖 4-12 各情況下的熱變形分佈

規格要求上，鏡子位移量需低於 $35\mu\text{m}$ ，超過此值時所產生的橫向誤差 (lateral misalignment) 會超過準直器容許的最大橫向誤差 $50\mu\text{m}$ 。同時，準直器要求的角度誤差 (angular misalignment) 需小於 0.1° ，意即鏡子因熱變形造成的轉動角度需小於 0.05° 。鏡子的位移量可直接由 ANSYS 取得。而為了得知鏡子的轉動角度，可將變形極小之鏡子視為剛體，提取鏡面上任意三點求取法向量，藉由比較變形前後之法向量獲取鏡面角度之數值。在二種溫度情況下，鏡子的位移量與旋轉量如表 4-3 所示，鏡子編號如圖 4-13 所示。表 4-3 顯示光開關在 -40°C 與 75°C 時，有數面鏡子的旋轉量超過 0.05° ，而最大位移甚至達到 $100\mu\text{m}$ ，將會造成準直器無法接收到光訊號。經由分析，得知此光開關之初型在橫向誤差與旋轉誤差上可能無法達到準直器的對光要求，所以需要進行溫度補償設計。

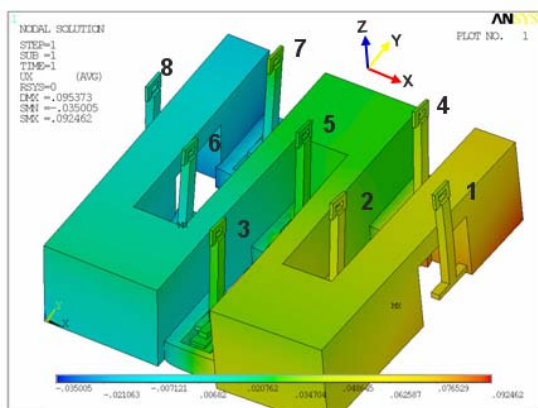


圖 4-13 鏡子的編號

表 4-3 各種條件下鏡子的誤差

	Test Case		
	75°C	-40°C	
Maximum x component of displacement (μm)	83.17	100.90	
Rotation angle of mirror (degree)	1	0.1198	0.1433
	2	0.0461	0.0555
	3	0.0125	0.0150
	4	0.0553	0.0662
	5	0.0004	0.0005
	6	0.0732	0.0877
	7	0.0987	0.1182
	8	0.1191	0.1425

4.6 熱補償設計

由 4.5 節的分析結果可知，局部的熱產生

會造成局部溫度分佈不均，進而產生較大的熱變形。為了改善這個問題，需要對光開關進行改良設計。

在經過一些假設、分析與解讀分析結果，可得此型光開關改良的設計方針有下列幾項。首先，應該避免由致動器產生的熱能影響到基座。基座乃光開關結構中，用於定位與組裝的重要元件，若其受到局部溫度影響而產生熱變形，將會降低光開關的可靠度。其次，基座應設計成對溫度敏感度較低的結構。先前之蛇型設計雖利於加工，但整體結構隨著溫度上升與下降都會產生較大變形量。基座結構應結實且穩定，當整體溫度均勻上升時，產生的變形應在可接受的預期範圍內。最後，儘可能讓致動器承受局部的溫度效應，並且在致動器上設計專用的熱補償機制，以保證反射鏡的位置在容許範圍內。

(a) 致動器的熱補償設計

原致動器為繼電器 (relay) 為基礎，延伸一長臂 (arm) 的設計。由於繼電器產生的熱傳導至基座，而造型先前設計會有不均勻的變形。所以新的設計要改善此一缺點，特地增加一金屬支架 (frame)，支架兩邊各有一翼，可掛在基座上。當溫度上升時，支架的熱膨脹會使繼電器的位置下移，接著繼電器與長臂的熱膨脹會將反射鏡上推，如此可保持反射鏡在一定的位置上。此外，以高熱傳導性的金屬，如鋁或銅，為材料的金屬支架，其熱傳遞速度快且溫度均勻性佳，為一穩定且可靠的結構。

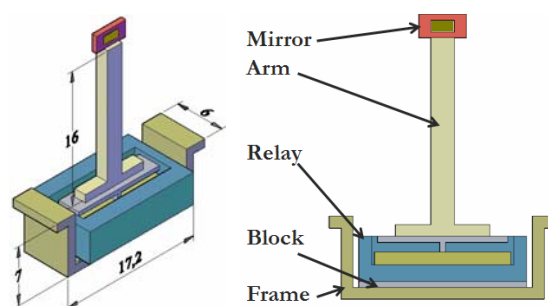
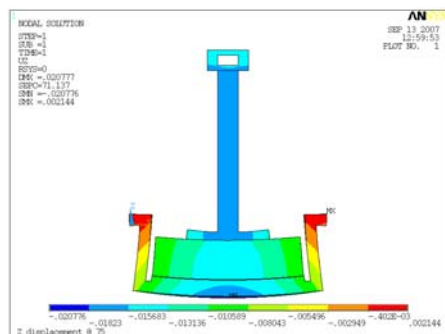
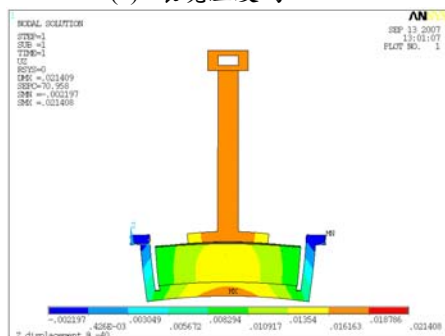


圖 4-14 光開關致動器的熱補償設計與起始尺寸

為了進一步設計，在此進行致動器與其支架的熱變形分析，其結果如圖 4-15 所示。此結果顯示，支架上依然有些微的不均勻變形，會使架上底部因溫度高低產生凹凸形狀。



(a) 環境溫度為 75°C



(b) 環境溫度為 -40°C

圖 4-15 致動器與其支架的熱變形分析

(b) 參數化實體模型

在進行尺寸最佳化前，參數化實體模型需要先建立。關於致動器最佳化所需之參數化模型如圖 4-16 所示。

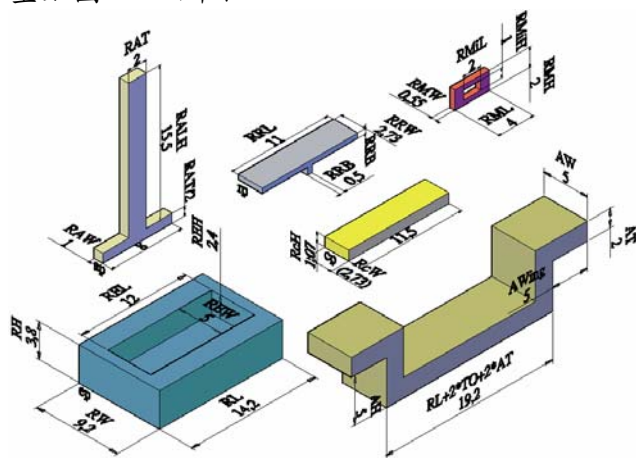


圖 4-16 致動器的參數化模型圖

(c) 致動器的最佳設計

為了光開關的輕量化與反射鏡的穩定，所以進行最佳化設計。最佳化的目標為支架的高度最小化；設計變數為支架的尺寸參數，包含高度、厚度等；限制條件為反射鏡的因環境溫度與熱產生致生之位移低於 5 μm 。所使用的方法為本計畫團隊發展的結構最佳化整合程

式，其結合電腦輔助設計軟體 AutoCAD 2007、有限元素分析軟體 ANSYS 10.0 與程式設計軟體 Visual C++ 6.0，其架構圖如 4-17 所示。

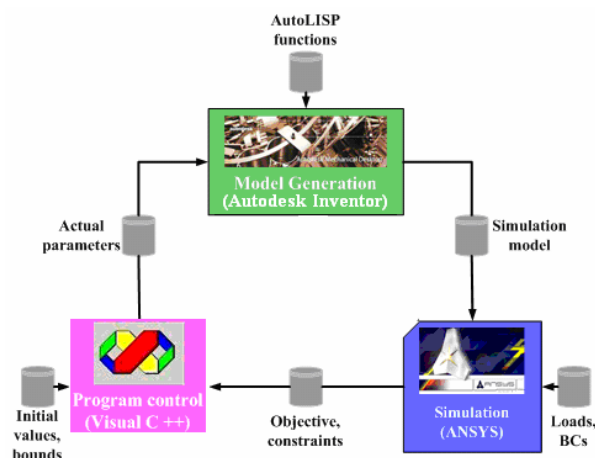


圖 4-17 結構最佳化程式

最佳化成果如圖 4-18 所示，支架的材料為銅，其深度為 1.67 mm、底部長度為 17.2 mm、厚度為 1 mm 與寬度為 6mm，而長臂的長度為 16.5 mm。經此設計後，反射鏡在各溫度下的變型量列於表 4-4。

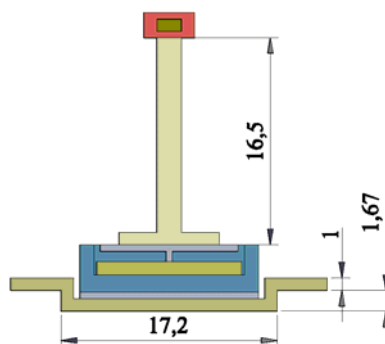


圖 4-18 最佳化成果

表 4-4 最佳設計後鏡子在各條件下的位移量

Ambient temperature (°C)	Displacement of mirror (μm)
25	0.4102
-40	1.2042
75	0.2021

(d) 基座的設計與分析

基座的設計如圖 4-19 所示。基座上有安裝致動器之凹槽設計，凹槽大小略大於致動器的尺寸，可供致動器之支架放置於其上，而制

動器本體沉入凹槽內。每個凹槽的下方設計有圓孔，可供六軸組裝平台之電磁鐵吸附致動器並且微調其位置，方便於組裝時的定位。

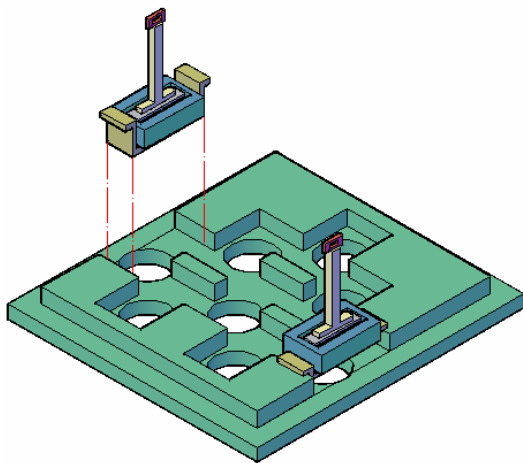
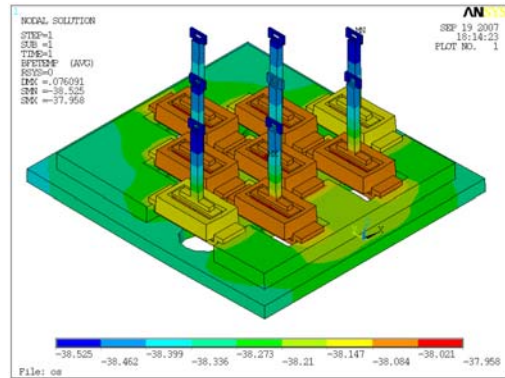


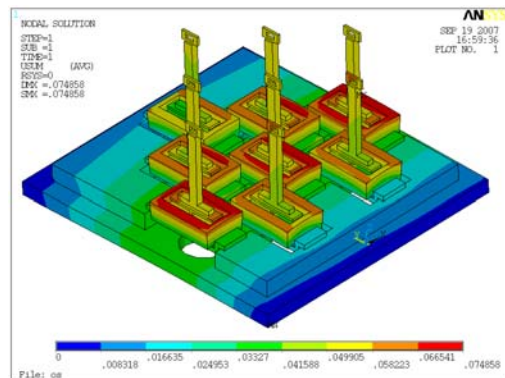
圖 4-19 光開關基座的設計圖

此基座與致動器組合後，進行有限元素熱分析之結果如圖 4-20 與圖 4-21 所示。圖 4-20 為溫度分佈圖，結果顯示溫度集中於致動器內部，與預期的設計情況一致。圖 4-21 顯示為熱變形圖，結果顯示基座仍受熱變形影響，但並沒有影響反射鏡的功能。表 4-5 為與光損失相關之反射鏡的特性，表中鏡子的編號如圖 4-22 所示。表 4-5 顯示所有鏡子與光損失相關的特性均有效的改善，可預期依此設計製作實體模型應具有良好的功能。

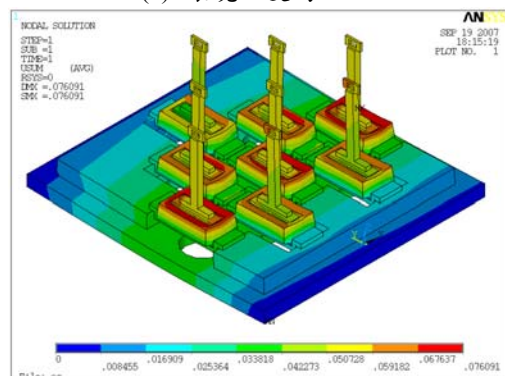


(b) 環境溫度為-40°C

圖 4-20 溫度分佈分析之結果

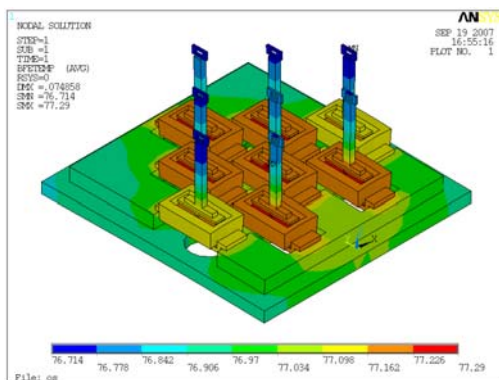


(a) 環境溫度為 75°C



(b) 環境溫度為-40°C

圖 4-21 熱變形分析之結果



(a) 環境溫度為 75°C

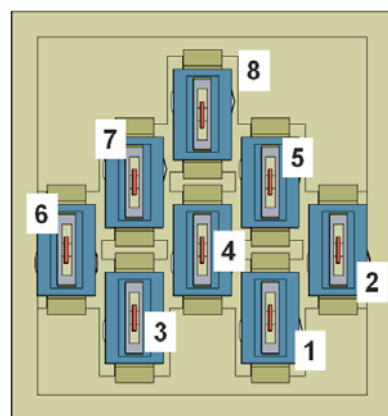


圖 4-22 鏡子編號

表 4-5 各種條件下鏡子的誤差

		Test Case	
		75°C	-40°C
Maximum x component of displacement (μm)		6.57	1.25
Rotation angle of mirror ID (degree)	1	0.00004	0.00004
	2	0.00010	0.00011
	3	0.00005	0.00005
	4	0.00002	0.00002
	5	0.00009	0.00009
	6	0.00011	0.00011
	7	0.00009	0.00009
	8	0.00002	0.00002

4.6 光開關之改良設計成果

光開關的改良設計如圖 4-23 與圖 4-24 所示。基座上有凹槽可安裝致動器，待安裝完成後可疊上墊塊(block)，並且在墊塊上安裝準直器與光纖的位置。此一設計可增進安裝時的便捷，並且不易受溫度影響。此設計之光開關經評估後具有專利價值，正積極進行專利申請中。而初型製作也正在進行中。

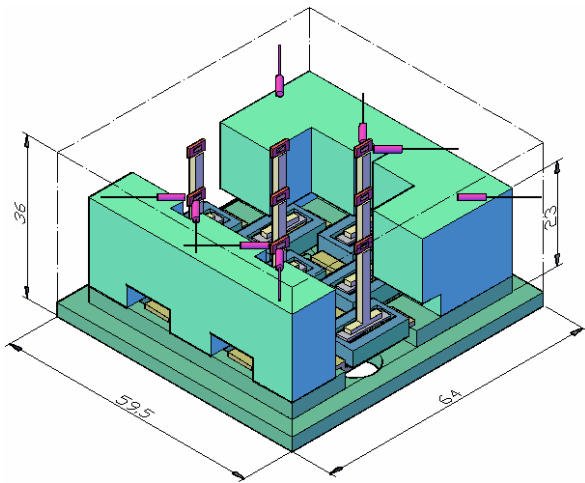


圖 4-23 4x4 光開關組合圖與主要尺寸

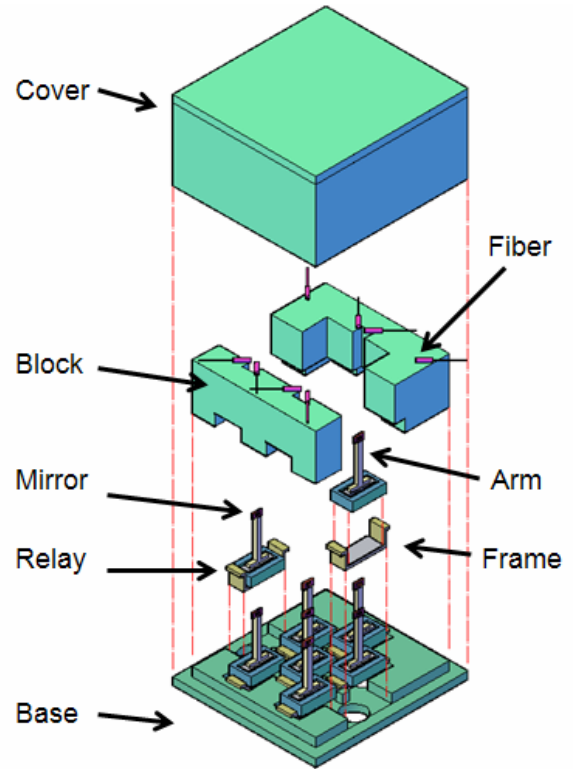


圖 4-24 4x4 光開關各元件圖

五、結果與討論

於第二年，本計畫提出新型 4x4 光開關設計，並進行光路設計與有限元素結構分析。根據設計需求訂定產品規格，提出新形式之 4x4 光開關設計，建立光路的配置，同時考慮自動對準設計以方便組裝光開關。新設計只需要六面可動鏡與兩面固定鏡即可完成 4x4 的訊號傳輸，同時每條輸入與输出的光程均相同。接著利用 3D 實體模型繪圖軟體 Autodesk AutoCAD 2007 自動繪製光開關之實體模型，並以 ACIS SAT 檔案格式輸出，接著在有限元素軟體 ANSYS 中匯入此 SAT 檔案，以供對光開關進行溫度及熱變形分析。

在進行光開關之熱分析時，以 ANSYS 內建的巨集程式語言 APDL，發展有限元素分析程式，並根據 Bellcore 的設計規範，定義一個熱源負載及二種不同之邊界條件，並施加到有限元素模型，利用 ANSYS 軟體計算光開關之溫度分佈分析及熱變形分析，最後計算熱變形造成光束橫向誤差與角度誤差的大小。由分析結果可知，此 4x4 光開關的初始設計產生的角度誤差尚未滿足 Bellcore 設計規範，因此進行改良設計。改良設計包含致動器之熱補償機構與基座結構，並利用整合型最佳設計程式搜尋

最佳尺寸參數。光開關經最佳設計後，其結果可滿足設計規範。其中光開關的初始設計已製作，組裝圖如圖 5-1 所示。

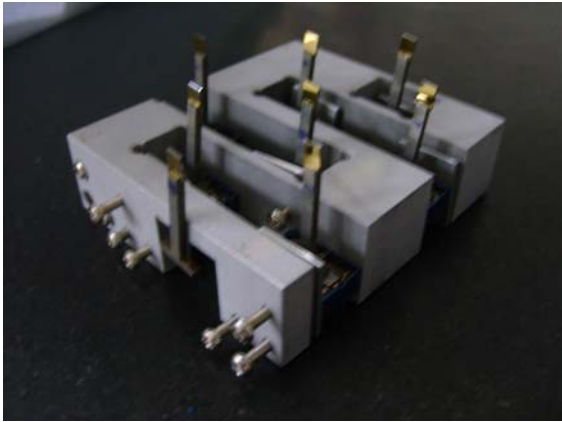


圖 5-1 光開關初始設計的實體照片

六、計畫自評

本計畫第二年的工作項目與執行情況如下：

✓ 新型光開關之機構設計及專利申請

在機構與結構設計上，本年度共提出兩種不同的設計，其中改良設計後的 4x4 光開關具有良好的結構特性，目前正進行專利初稿的撰寫，之後將經由台灣大學提出專利的申請。

✓ 光開關的自動組裝設計

基座上的凹槽可用於安裝致動器的安裝，而每個凹槽下方設有圓形的穿孔，可使定位平台的電磁鐵伸入、吸附致動器，並進行微調與安裝。

✓ 光開關的有限元素熱分析

在有限元素熱分析的部份，利用 AutoCAD 繪製模型，匯入 ANSYS 後，以 APDL 的巨集程式設定元素、材料、邊界條件後進行溫度分析與熱變形分析。其成果可作為設計的參考依據。

✓ 光開關的熱補償設計

在致動器上特別設計一支架，當溫度上升或下降時，該支架亦隨之膨脹或收縮，可有效補償致動器上反射鏡的位置。

✓ 光開關結構之最佳化設計

首先發展一套參數化繪圖程式，之後針對熱補償設計進行最佳化。不但反射鏡因溫度產生的位移可在容許範圍內，而且支架的體積也最小化。

✓ 光開關之初型製作

本年度光開關具有兩種設計，其中初始設計以完成初型製作。改良設計正在規劃製程中。

除上述工作外，本年度亦以專家系統進行光路挑選，此一工作雖然不在計畫書的工作項目內，但執行後之成果十分優異。

參考文獻

- [1] Pan, J. J., "Advanced fiber optic components for DWDM communications," Digest LEOS Summer Topical Meetings, pp.115-116, 1999.
- [2] Diemeer, M. B. J., "Polymeric thermo-optic space switches for optical communications," Optics Communications, v9, 192-200, 1998.
- [3] Schneider, P., Schneider, A. and Schwarz, P., "A modular approach for simulation-based optimization of MEMS," Microelectronics Journal, v33, pp. 29-38, 2002.
- [4] Morey, W. W., and Glomb, W. L., "Incorporated Bragg filter temperature compensated optical waveguides," U.S.patent:5042898, 1991.
- [5] Yoffe, G. W., Krug, P. A., Ouellette, F., and Thorncraft, D. A., "Passive temperature-compensating package for optical fiber gratings," Applied Optics, v34, n30, pp.6859-6861, 1995.
- [6] 許光裕, 改良型光纖路徑調整器, 中華民國專利公告號 441795, 2002.
- [7] Bejan, A., Heat transfer. John Wiley & Sons Inc, Canada, 1993.

