

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 子計畫一：機械式光開關之研製(1/2)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-002-083-

執行期間：92年08月01日至93年07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

計畫參與人員：李臻誠、葉佳哲

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 6 月 1 日

微/奈米技術於光開關系統與元件之發展  
子計畫一：機械式光開關之研製(1/2)  
Development of mechanical type optical switches

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2212 - E - 002 - 083 -

執行期間： 92年 8月 1日至 93年 7月 31日

計畫主持人：鍾添東 副教授

共同主持人：

計畫參與人員：李臻誠、葉佳哲

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：國立台灣大學機械工程學系暨研究所

中 華 民 國 93 年 5 月 31 日

# 微/奈米技術於光開關系統與元件之發展 子計畫一：機械式光開關之研製(1/2)

## Development of mechanical type optical switches

計畫編號：NSC 92-2212-E-002 -083-

執行期限：92年08月01日至93年07月31日

主持人：鍾添東 副教授 國立台灣大學機械系

### 中文摘要

本計畫之目的為設計一個新型機械式光開關，首先需根據設計需求訂定產品規格，並設計不同之新型光開關機構，再利用三維商用電腦輔助設計軟體發展參數化設計程式，自動產生光開關切換機構及殼體結構之實體模型。為了降低輸入光纖尖端及輸出光纖尖端之對位誤差，提出被動式自動對準組裝設計及被動式熱補償機構於光開關設計。同時利用有限元素法分析光開關之溫度分佈、熱變形及熱應力等各種結構特性；並使用最佳化程式決定光開關機構及外殼之最佳尺寸及配置參數。最後並製造機械式光開關之初型，再以實驗量測其性能，以驗證設計結果之正確性，根據實驗結果 1x2 光開關確有優異之性能。

**關鍵字：**光開關、微機電系統、自動對準技術、溫度補償技術

### ABSTRACT

The purpose of this project is to design innovative mechanisms for optical switches of mechanical type. First, product specifications are defined according to design requirements. Different innovative mechanism configurations are proposed for the switch, and parametric CAD programs are developed for the proposed switches to automatically generate solid models of the switching mechanism and the housing in a 3D CAD software. Second, in order to reduce the alignment error between the input fiber tip and the output fiber tip, a passive self-alignment assembly design and a passive temperature-compensating mechanism are also be implemented on these switches. Then, a series of finite element structural analysis for the switches, such as temperature distribution, thermal deformation, and thermal stresses, are also carried out to fulfill the structural specifications. An optimization process is also applied to determine the optimum sizing and configuration parameters of the switching mechanism and the housing. Finally, prototypes of mechanical optical switches are manufactured. The validity of the whole design process can be verified from the experimental performance measurement of the switches, the final prototype of the 1x2 optical switch has been proved with good performances.

**Key Words:** optical switch, MEMS, self alignment technique, temperature compensation technique

## 一、簡介

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高出許多之頻寬，同時也能降低各重銅線所伴隨之不良效應，例如電磁干擾；因此光纖傳輸技術是用來傳輸高速信號之最佳選擇，除了高速信號之傳輸，光纖之低信號損耗也使得傳輸之距離大大的增加。第一代之光纖網路只能做到點對點之傳輸，如果能將其它功能，如交換(Switch)與導向(Routing)，包括在光纖網路中，將可大大的提昇其實用性，而且也能加速其投資成本之回收，除了長途通訊之外，也可以拓展到都會之區域網路與小地區網路中應用。這就是人們現在最感興趣的光纖網路，也是我們所定義的第二代光纖網路技術。

光纖通訊產品一般概分為光通訊零組件與光通訊設備兩大類。其中光通訊零組件又分為光纖、光纜、光主動元件以及光被動元件等等。而光被動元件又包括了光連接器、光調變器、光隔絕器、光衰減器和光耦合器以及光開關。

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。且機械式光開關性價比相對較高，是其它類型的光開關無可比擬。

機械式光開關分為兩大類產品：一是採用微精密電機控制的機械式多通道 1xN、2xN 光開關，採用磁保持的機械式光開關產品以 1x2、2x2、1x4 光開關為主。二是採用磁保持的機械式光開關主要有三種類型：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，因此良率極低，且組裝對光不易，究其原因乃光機構中對機構設計的精度要求遠勝於以往的產業機械。近年來在網路及通訊領大量使用光纖傳輸訊號，常用之單模光纖(single mode)其光纖核心(core)的直徑約為 9um，第二層包覆膜(cladding)直徑約為 125um。機械式光開關在組裝時需精密之組裝技術，使光纖之輸入端及輸出端對位精確，以維持光訊號能精確傳輸。一般光切換機構之設計及組裝應使兩光纖端點之對位精度控制到 0.1 ~ 0.01um 以下，甚至更小。

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；因此研究新型一謝是光開關結構之設計、分析與最佳化設計等技術，確有其必要性。

### 1.1 研究目的

由於機械式光開關操作時，輸入電流產生熱量，使得整個光開關機構因溫度分佈不均產生熱變形，造成光纖傳輸中能量上的損失，此能量的損失稱之為光損失(optical loss)。因此我們希望輸入與輸出光纖之尖端(tip)相對距離固定，減小熱變形的影響程度，提高對位精度，降低光損失。本計畫針對不同環境進行光開關光損失分析及外形最佳設計，將光開關機構因溫度分佈不均產生熱變形造成之能量損失(光損失)降低。首先根據設計之需求以參數化繪圖方式繪製實體模型與各元件之細部設計圖。然後研究光開關幾何參數與溫度特性之間的關係，發展一套整合型程式，以自動進行光開關外形參數之最佳化設計，降低因熱變形造成之光損失。再研究環境溫度改變造成光開關之熱脹冷縮，並設計一個熱補償機構來降低此原因造成之對位偏移，利用有限元素方法進行熱補償模擬。最後應用被動式自動校準方法於光開關零件，降低光開關零件組合時之對位誤差。

## 1.2 文獻回顧

先前應用較廣的光開關屬光電式光開關，它是利用光電轉換的方式，將輸入的光信號轉換為電信號後，進行電路訊號處理作路徑切換後，再把電信號轉成光信號輸出，過程中不但光損耗(Loss)大，串音大(crosstalk)，製造成本高，不利於未來光纖網絡普及。所以目前光開關的發展方向將朝向全光網路、並達到設備精簡、體積小、成本低廉等優點。

非光電式光開關的技術領域世界各國均積極投入研究，依作用原理之不同可以分為液晶式光開關、聲光式光開關、全像式光開關、熱光式光開關、傳統機械式光開關以及微機電式光開關等等。以下針對各類型式光開關進行說明與介紹。

### (1). 液晶光開關

藉著液晶分子的極化特性，外加電場以改變其排列方式。光線是先經由分離器，將兩種不同極性光分離，再通過液晶分子(利用外加電壓改變液晶極態)改變光的極性，在配合分離器來控制光線行徑路線。雖然目前已有 Chorum Technologies、SpectraSwitch、Coring 等公司宣稱進展到 2 ~ 6ms，缺點是無法適用於 Large Cross Connects 上，因此有其發展上的限制。切換原理如圖 1-1 所示。

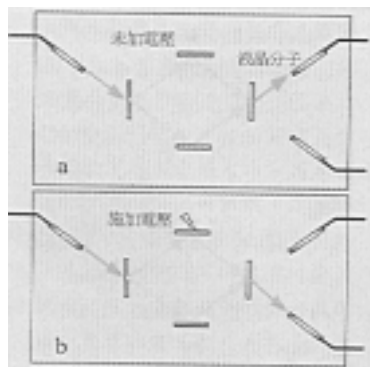


圖 1-1 液晶式光開關示意圖(SpectraSwitch 2001/06)

### (2). 聲光式光開關

當聲波在物件表面上傳遞時，因為聲波的疏密特性，因而暫時改變了物件的表面特性，所以當光線打在物件上時，其偏折角將隨著物件表面特性而改變。切換原理如圖 1-2 所示。

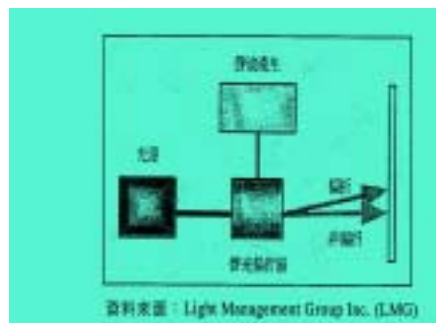


圖 1-2 聲光式光開關示意圖(Light Management Group Inc.)

### (3). 全像式光開關

藉著光開關系統，配合 Bragg Grating(布拉格光柵)由一系列不同則折射常數材料所組成，每種材料可反射不同的波長，外加一電場時布拉格光柵將光線導引到另一個方向，而除去外加電場就可讓光直線通過。切換原理如圖 1-3 所示。

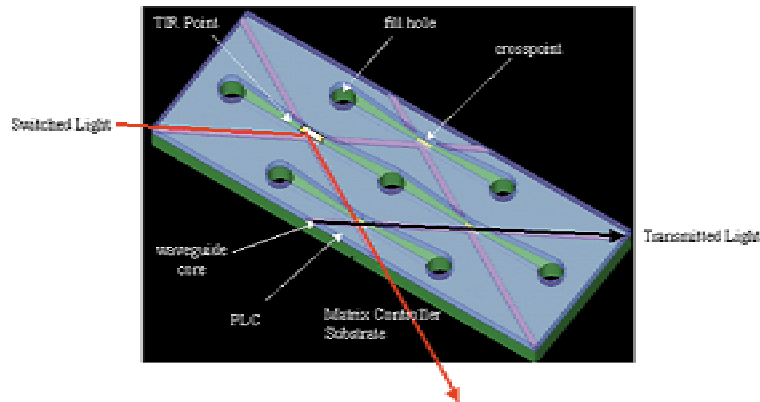


圖 1-3 全像式光開關示意圖(Agilent Inc)

#### (4). 熱光式光開關

熱光技術 M. Hoffman[1999]多用以製造連接埠較少的光開關(如 1x1、1x2、2x2 )，若要製造聯接埠較多的光開關( 64x64 )，則須由多個 1x2 開關連接而成。該型光開關是藉由 Thermal-Optical Effect 改變撥切的位置，進而使光行進路線改變。切換原理如圖 1-4 所示。

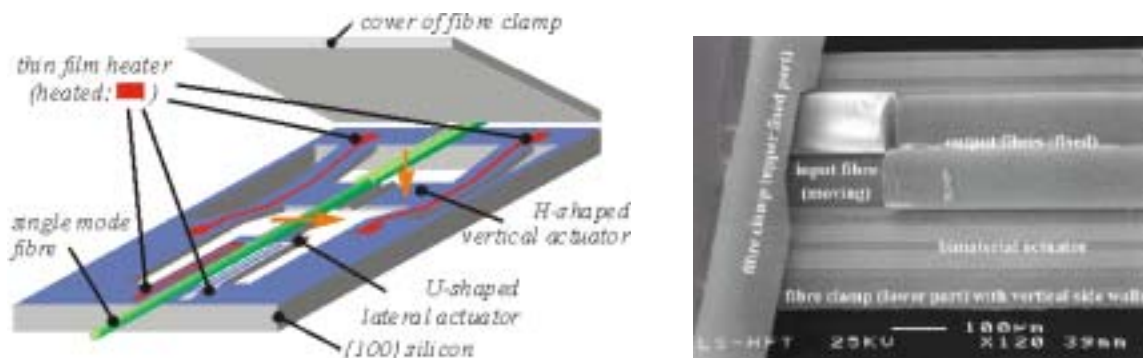


圖 1-4 熱光式光開關示意圖(M. Hoffman 1999)

#### (5). 傳統機械式光開關

傳統機械式光開關可由可動式光纖與稜鏡，以及可動式反射鏡所構成的，這種光切換開關目前已經進入商品化階段，它的處理能力可分為單線路型與具備備用切換，包含有 1x2 到 1xN 或是 2x2 數種型式。可動式光纖式光開關不需要光準直器，不過由稜鏡與可動式反射鏡所構成的光切換開關，就必需在光纖端設置可將光準直器(collimator)。一般而言，機械式光開關具有插入損耗<1dB，Return Loss<60dB 的靜特性，所以到目前為止還沒有其它光開關可以與它比擬。此外有許多情況希望具保護迴路功能的光開關具有自我保持功能，這點機械式光切換開關擁有絕對性的優勢。它的致命性缺點是切換速度不易達到 ms 以下的要求，加上未來光切換開關必需更加小型化與矩陣化，因此傳統機械式光切換開關有逐漸被 2-D MEMS 式光開關所取代的趨勢。切換原理如圖 1-5 所示。

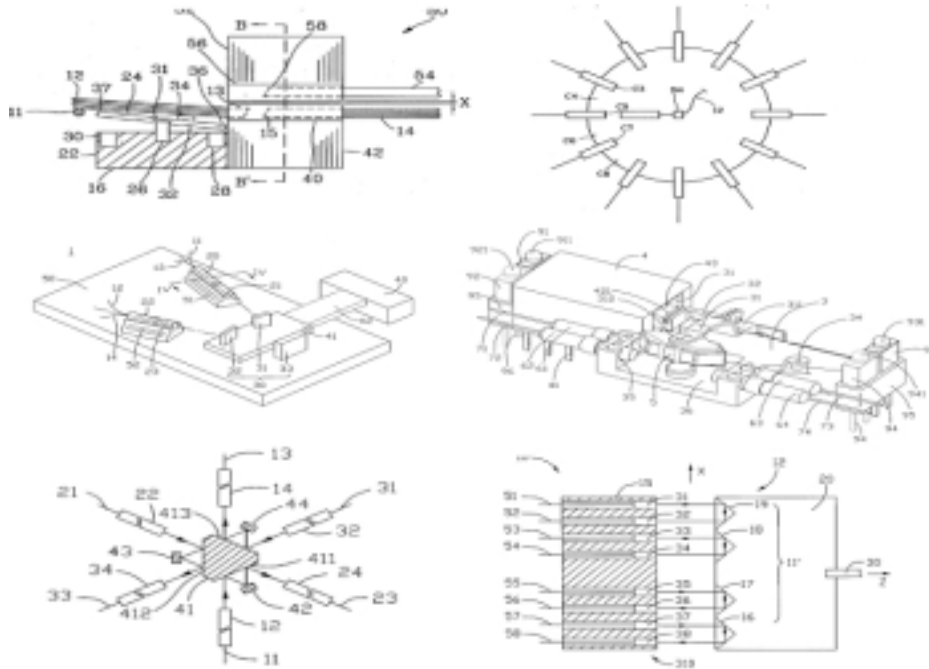


圖 1-5 機械式光開關示意圖(鴻海公司、工研院、東盈公司)

#### (6). 微機電式光開關

MEMS 光切換開關 M Makihara [1999]主要是利用微機電技術(Micro Electronic Mechanic System)所製成的光通信元件。微機電技術是在 Si 基板上使用半導體製程製作各種微細的機構。MEMS 技術從 90 年代初開始發展至今雖然已有數十年的時間，不過在 90 年代末才應用在大型光開關元件上，目前礙於技術上限制，MEMS 光切換開關最大實用規模祇有 16x16 左右，遠不如 DWDM 數千個波長數x流入方向。由於 MEMS 基本上還屬於機械式光切換開關，所以切換速度較緩慢，不過它的微積度幾乎是無限。MEMS 光切換開關可利用靜電，驅動數百  $\mu\text{m}$  大小的微鏡片左右擺動，進而達到改變光束行進的方向的目的，如圖 1-6 所示。MEMS 光切換開關可分為二維 MEMS 與大規模 3D 立體 MEMS 兩種。Lucent 公司的光開關元件之 Mirror，可以做到反轉至兩軸方向的程度，因此其最大的特徵即在於其可以用三次元的方式來控制反射光的位置。而此一特徵對於裝置的小型化更是相當有貢獻。相較於此，AT&T 公司的光開關元件則無法做到三次元的控制方式，那是由於其迴轉軸只有一個，因此對於反射光位置的控制只能做到二次元的控制。。

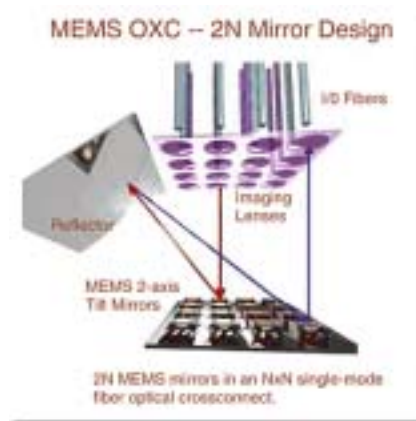


圖 1-6 微機電式光開關示意圖

最後表 1-1 為針對以上幾種光開關型式作一整體比較。

表 1-1 各種光開關比較表

技術	原理 / 特點	引申 / 應用
液晶光開關系統	藉著液晶分子的極化特性,外加電場以改變其排列方式	光線是先經由分離器,將兩種不同極性光分離,再通過液晶分子(利用外加電壓改變液晶極態)改變光的極性,在配合分離器來控制光線行徑路線
聲光式光開關系統	藉著 Optical Switch 配合 Bragg Grating(布拉格光柵)	外加一電場時布拉格光柵將光線導引到另一個方向,而除去外加電場就可讓光直線通過
全像光開關系統	藉著 Thermal-Optical Effect 改變有效的折射率(Index of Refraction),進而使光行進路線改變	若要製造聯接埠較多的光開關(64x64),則須由多個 1x2 開關連接而成
熱光式光開關系統	當聲波在物件表面上傳遞時,因為聲波的疏密特性,因而暫時改變了物件的表面特性	當光線打在物件上時,其偏折角將隨著物件表面特性而改變
傳統機械式光開關	由可動式光纖與稜鏡,以及可動式反射鏡所構成的光開關	一般而言,傳統機械式光開關具有自我保持功能,這點機械式光切換開關擁有絕對性的優勢
微機電式光開關	微機電技術是在 Si 基板上使用半導體製程製作各種微細的微鏡面機構	利用靜電,驅動數百 $\mu\text{m}$ 大小的微鏡片左右擺動,進而達到改變光束行進的方向的目的



## 二、光開關之設計

欲設計一機械式光開關，首先需根據設計需求訂定產品規格，並設計不同之光開關機構，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切換機構之實體模型。依據設計工作內容，又可分為新型機械式光開關之機構設計、光開關之自動對準組裝設計及光開關之被動式熱補償機構設計。

### 2.1 新型機械式光開關之機構設計

此章節進行 1x2 與 1x4 新型機械式光開關之機構設計，並分成專利搜尋、新型機械式光開關機構設計概念、新型機械式光開關初型設計及光開關組裝流程設計及參數化設計等四個部份進行研究。

#### (1). 專利搜尋

設計一個新型機械式光開關之前，本計畫先經專利搜尋，並仔細評估各種機械式光開關之優缺點，專利搜尋如下所示。

1. [美國專利公告號 6,335,993]為一種機械式光開關，使用機構移動光纖或其他元件來切換光路。此種設計具有對位精度不易控制等缺點。
2. [美國專利公告號 6,044,186]利用翹翹板狀的繼電器改變一邊光纖端頭的位置，來對準另一邊光纖的端頭，達到「光纖對光纖」的效果。其缺點為切換裝置上之光纖在對位時，受預壓力與溝槽反作用力，使光纖懸臂部分造成彎曲變形，因此光訊號傳輸時具有「曲線對直線」的特性。此種設計具有組裝困難，對位精度不易控制等缺點。

#### (2). 新型機械式光開關機構設計概念

新型機械式光開關以「光纖對光纖(fiber-to-fiber)」傳輸的概念，利用「直線對直線的光纖對位」之方式，讓光纖端頭直接互相對準來進行傳輸。所謂的「光纖對光纖」，係利用被動式對準技術將兩光纖端頭互相對準，不需加裝成本昂貴的準直器即可讓光纖中的光訊號不需先導成平行光的狀況下就直接傳遞，可以降低製造成本。亦不需要光電轉換、外加電場或利用鏡面反射等耗費能源及人工的繁瑣裝置，設備十分精簡。所以此一概念所產生的光開關產品，有著體積尺寸小、驅動電壓低以及成本低廉的優點。而「直線對直線」之對位方式，光纖不需要額外的預壓力與溝槽的反作用力就能直接完成對正，可以提高裝配良率，也比較容易控制對位精度。

#### (3). 新型 1x2 光開關機構之設計

機械式光開關的切換機構圖如圖2-1所示。主要由一基座、一條輸入光纖、二條輸出光纖、及一組光纖切換裝置等構成。光纖切換裝置由搖擺機構及光纖夾持器組成，搖擺機構中央下方具有一安裝於基座上之旋轉軸，藉由此旋轉軸使搖擺機構可切換至左、右兩個位置。輸出光纖夾持器固定在搖擺機構中央上方位置。但由於使用v-groove做光纖對位不易觀察輸入與輸出光纖之相對位置，增加組裝時的困難度。我們將發展一以懸空方式做光纖對位之機械式光開關，如圖2-2所示。此一改良型機械式1x2光開關包括有一

條輸入光纖、兩條輸出光纖、一組輸入光纖切換器與其上方輸入光纖固定平台、輸出光纖固定平台及開關基底等周圍零件所組成，輸入光纖切換器固定於開關基底，一條輸入光纖裝設在輸入光纖切換裝置之上方固定平台，兩條輸出光纖裝設在輸出光纖切換器之上方固定平台，且輸入光纖其對位端頭以騰空的方式，並以極短的距離靠近輸出光纖切換器，當輸入光纖切換裝置向左搖擺至極限位置時，其位置恰與第一輸出光纖對位，如圖2-3(a)，然後將輸出光纖切換器向右搖擺至極限位置，其位置恰與第二輸出光纖對位，如圖2-3(b)，切換上視圖如圖2-4所示，藉此組成一光開關裝置。雖然以此方式需更準確的控制光路切換器之位置，但相較於原始設計其卻更易於組裝與對光，也更適於發展影像自動尋光對準系統。

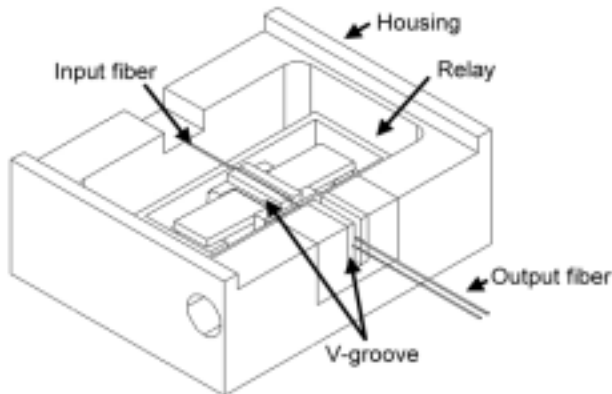


圖 2-1 1x2 機械式光開關示意圖

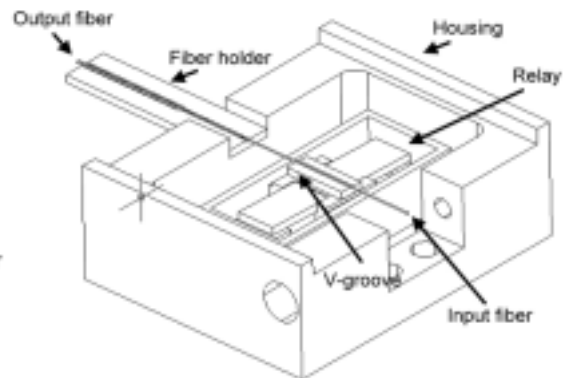


圖 2-2 改良之 1x2 機械式光開關示意圖

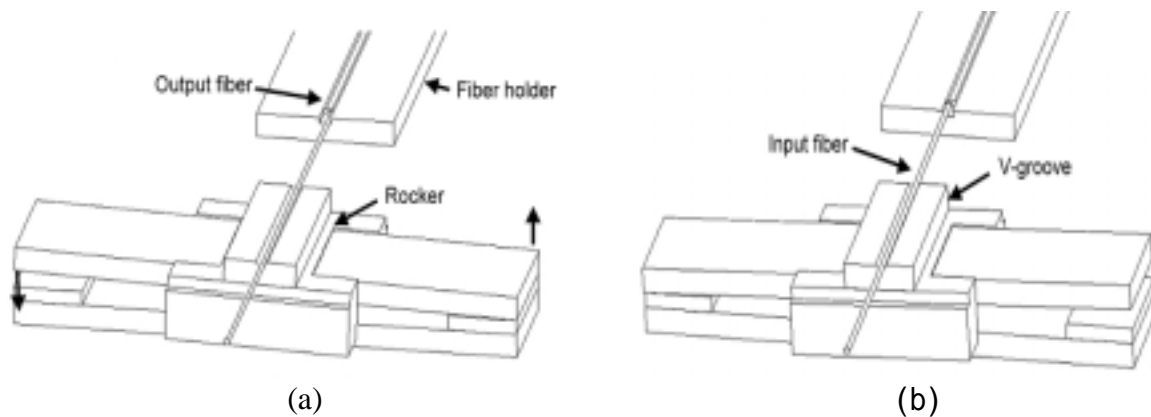


圖 2-3 改良之 1x2 機械式光開關切換機構示意圖

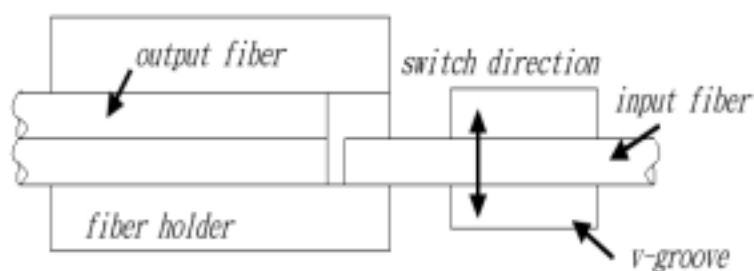


圖 2-4 改良之 1x2 機械式光開關切換機構上視圖

#### (4). 1x4 光開關機構之設計

圖 2-5 及圖 2-6 為一 1x4 微/奈米機械式光開關及其機構示意圖，其設計概念由 1x2 之微/奈米機械式光開關衍生而來，主要由一條輸入光纖、四條輸出光纖、一組輸入光纖切換器與其上方輸入光纖固定平台、一組輸出光纖切換器與其上方輸出光纖固定平台及開關基底等周圍零件組成；輸入光纖切換器與輸出光纖切換器固定於開關基底，一條輸入光纖裝設在輸入光纖切換裝置之上方固定平台，四條輸出光纖裝設在輸出光纖切換器之上方固定平台，且輸入光纖其對位端頭以騰空的方式，並以極短的距離靠近輸出光纖切換器，當輸入光纖切換裝置向左搖擺至極限位置時，輸出光纖切換器亦向右搖擺至極限位置，並以六軸微動平台調整第一輸出光纖之位置使其恰與輸入光纖精密對位，如圖 2-6(a)所示，然後將輸出光纖切換器向右搖擺至極限位置，並以六軸微動平台調整第二輸出光纖之位置使其恰與輸入光纖精密對位，如圖 2-6 (b)所示；當輸入光纖切換器向右搖擺至極限位置時，輸出光纖切換器向左搖擺至極限位置，並以六軸微動平台調整第三輸出光纖之位置使其恰與輸入光纖精密對位，如圖 2-6 (c)所示，然後將輸出光纖切換器向右搖擺至極限位置，並以六軸微動平台調整第四輸出光纖之位置使其恰與輸入光纖精密對位，如圖 2-6 (d)所示；當輸入光纖與輸出光纖切換對位時，兩光纖的端頭部分呈直線對直線及光纖對光纖的對位方式。

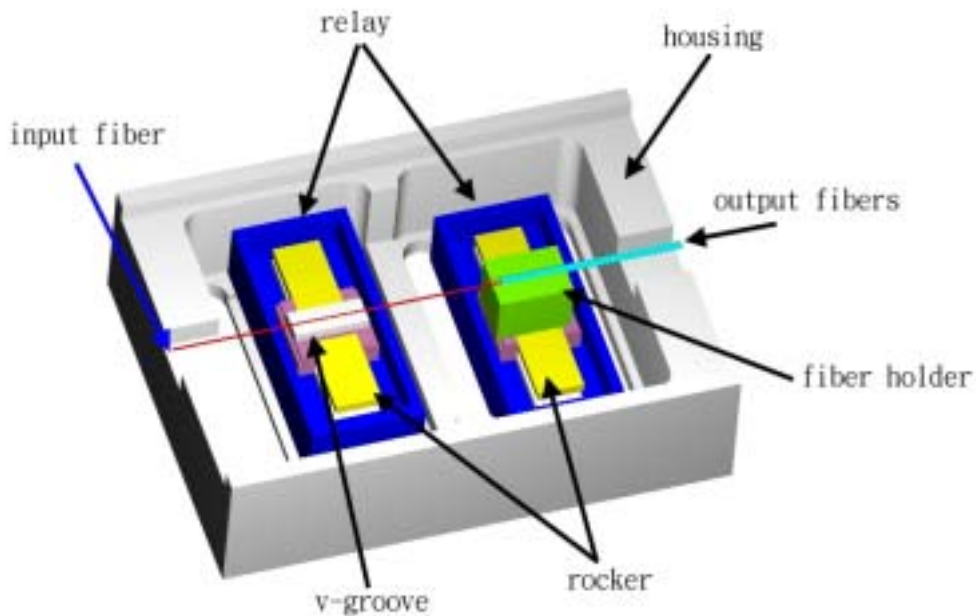


圖 2-5 1x4 微/奈米機械式光開關示意圖

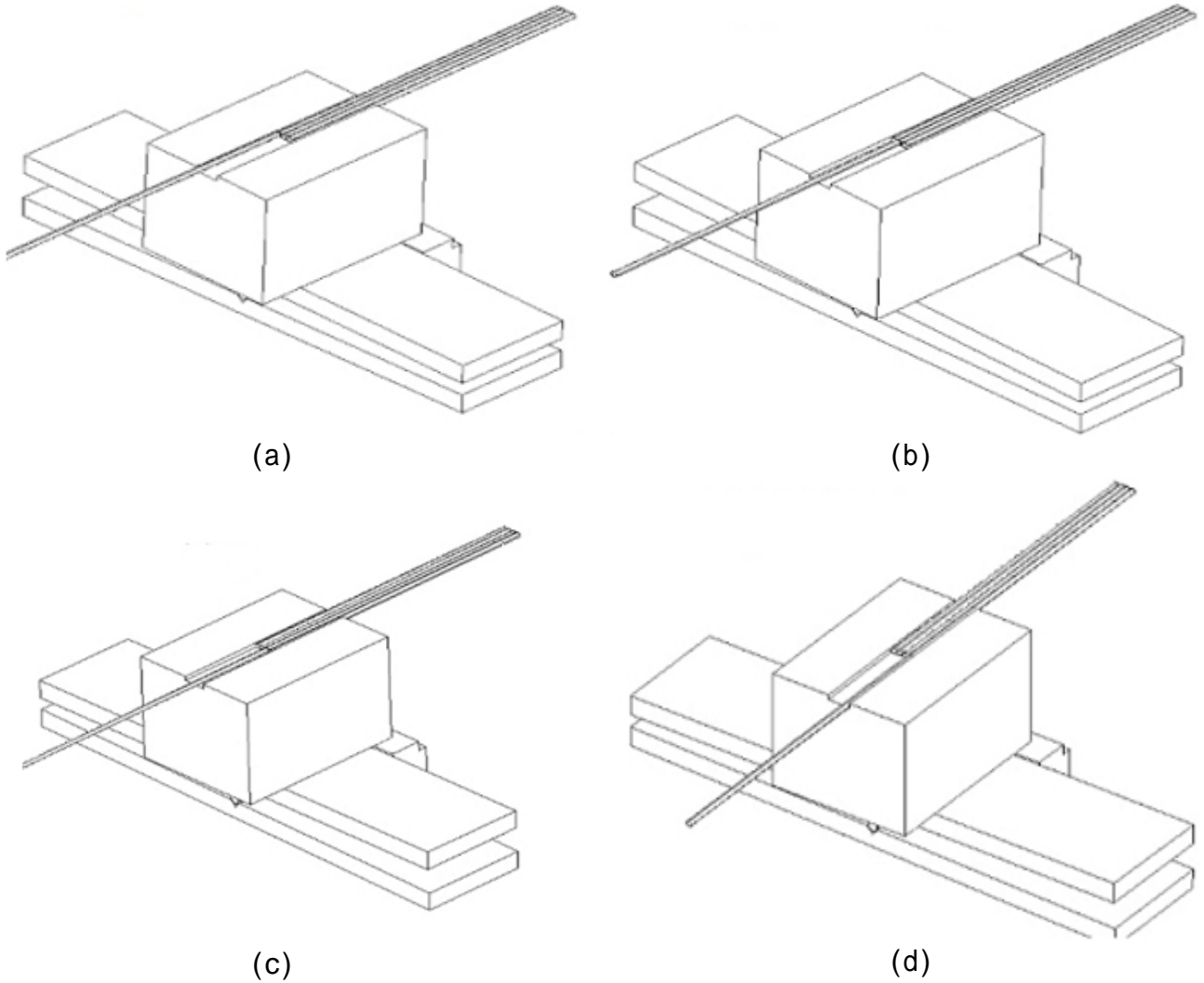


圖 2-6 1x4 機械式光開關切換機構示意圖

### (5). 光開關之參數化設計

在光開關的機構設計分析部份為利用 AutoCAD 軟體中之 AutoLISP 程式語言來撰寫參數式的繪圖程式，再利用 AutoCAD 實體模型繪圖軟體以參數式自動繪圖模式繪出光開關概念設計結果之幾何模型。

AutoLISP 程式可輸出光開關之實體模型，程式中主要包含三部分：輸入變數檔、產生 3D 模型和輸出 3D 模型，內容簡述如下：

- A. 輸入變數檔：這個檔案包含設計變數資料讓 LISP 程式讀入。
- B. 產生 3D 模型：每經過一次最佳化流程產生新的設計變數，在讀入設計變數檔後由 AutoCAD 繪製 3D 模型。
- C. 輸出 3D 模型：輸出檔案格式為 SAT，MDT 6.0 是以 ACIS 5 核心來構建曲面，可以生成 SAT 檔格式。ACIS 提供了兩種模型存儲檔格式：以 ASCII 文本格式存儲檔 SAT (Save As Text) 和以二進位格式存儲檔 SAB (Save As Binary)，其中 SAT 檔的格式是開放的。進入 ANSYS 6.1 軟體後，載入 MDT6.0 生成的 SAT 格式檔可以獲得完整的三維實體模型，並且可以對它進行後續分析工作

## 2.2 1x2 光開關組裝流程設計

本計畫所設計之 1x2 光開關，如圖 2-7 所示，將輸入光纖固定於 relay 之上；輸出光纖固定於 housing 上之 fiber holder 內，故組裝時需將 relay 及 housing 分別固定在兩 xyz 軸定位平台上，如圖 2-8 所示，調整其相對位置至輸入及輸出光纖完全對準，詳細步驟如下：

### (1). 粗調步驟 (X 軸為光軸)

利用 SNU-2D 影像擷取裝置、六軸手動平台及 CCD 光學系統將輸入與輸出端之光纖端面對準後，依序調整光纖在 y、z 軸向上之位置，最後再調整 x 軸向上之位置，盡量使光纖能量損耗值最小，但調整時不可一次進給太多。須配合 y 或 z 方向來檢驗，以避免兩光纖端面互相推擠。

### (2). 微調步驟

當手動調整光纖於 x, y 及 z 軸向位置都已無法獲得更佳的損耗值時，利用 LabView 程式的人機化介面以及 PZT (壓電驅動平台) 配合由 RS-232 傳輸介面擷取光功率值，做微小驅動使光纖能量 LOSS 值達到最小，(驅動方式與粗調相同，僅不同於驅動方式是由手調轉為 PZT 驅動，對位基準由影像轉為由 Power Meter 所擷取的數據)。

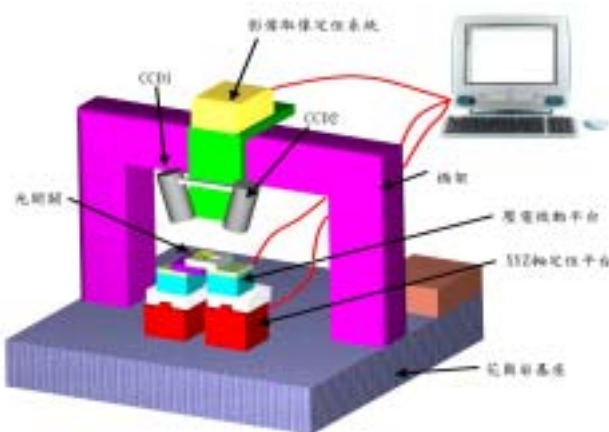


圖 2-7 光開關之組裝設計示意圖

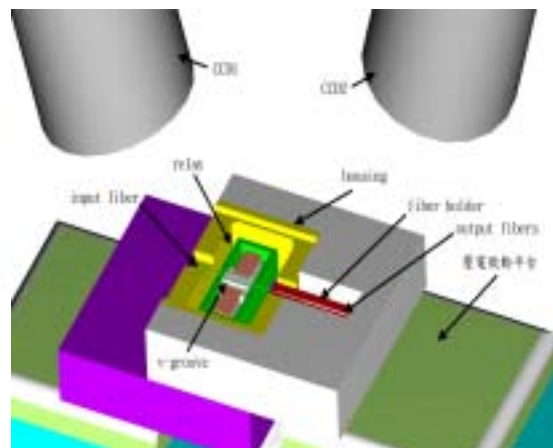


圖 2-8 光開關之組裝設計示意放大圖

## 2.4 光開關之被動式熱補償機構設計

光開關應用之環境溫度有很大之差異性，如冬天與夏天之溫度差異、熱帶與寒帶之溫度差異，一般設計要求之工作溫度為  $-40^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。不同工作環境溫度下，光開關整體結構會隨溫度產生熱脹冷縮的現象，光開關結構產生之熱變形會造成光開關內輸入光纖與輸出光纖之對位誤差，降低光纖之資料傳輸品質。

為了解決光開關不同應用環境溫度之問題，可設計適當之熱補償機構 (temperature-compensating mechanism) 來解決此問題。一般之熱補償機構分為被動式 (passive) 及主動式 (active) 兩種熱補償裝置；而熱補償裝置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。

本計畫設計一個新型被動式熱補償裝置，設計圖如圖 2-9 所示。此一裝置乃是結合

不同熱膨脹係數之材料，利用熱膨脹係數的不匹配(mismatch)，自動進行因溫度改變產生之熱變形補償。熱補償裝置所選用的低熱膨脹係數之材料可以使用鎳鐵合金(Invar)，其熱膨脹係數約為  $1.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  左右。而高熱膨脹係數之材料可選用鋁合金，其熱膨脹係數約為  $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。當選用的兩個材料的熱膨脹係數差異越大時，光開關機構之長度就越短；換言之可以利用較短小的封裝結構達成熱補償的目的。設計之熱補償裝置製造完成後，須通過工作溫度為  $-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$  之貝爾(Bellcore)實驗室標準規範。

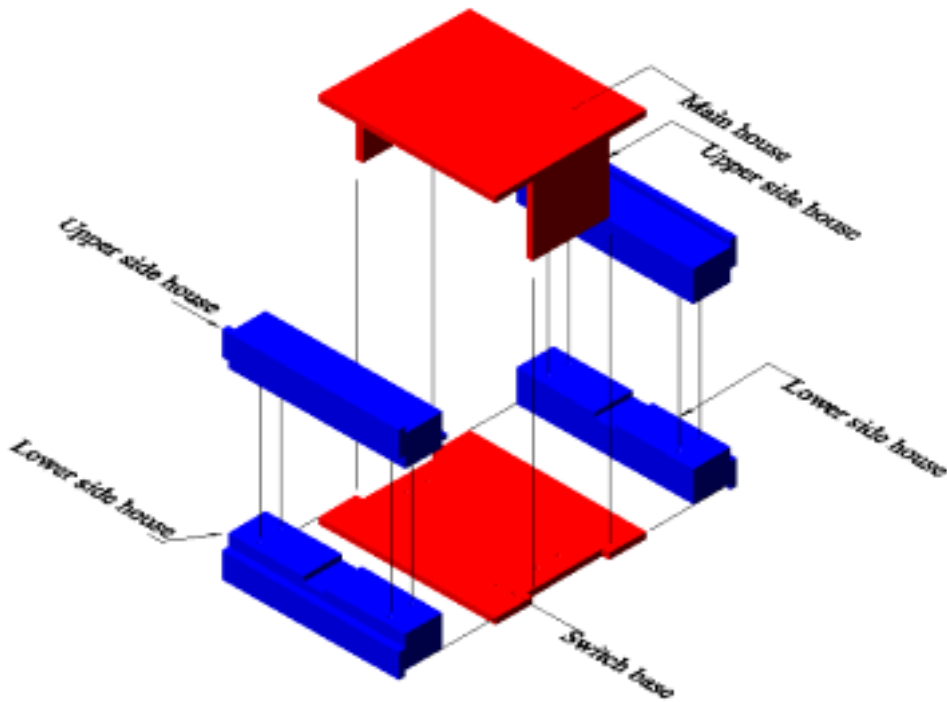


圖 2-9 熱補償機構概念設計圖

### 三. 光開關結構之有限元素分析

機械式的開關的特性是在不進行光/電轉換下，就能適當的改變光訊號的通路。然而機械式光開關所使用驅動裝置(Actuator)會因通過電流而產生熱量，使得整個光開關結構體因局部溫度分佈不均勻而產生熱變形，造成光纖輸入端與輸出端之對位偏移，這在光纖傳輸中將造成訊號損失而影響傳輸品質。因此光開關之設計要能在切換操作時保持光纖輸入端與輸出端之對位精度。變形；但當不均勻之溫度分佈為不可避免時，則進一步利用適當之結構及機構設計，降低熱變形所造成光纖對位偏移之影響，提高對位精度以確保訊號傳輸品質。這部分可經由整個光開關結構之溫度分佈分析、熱變形分析、調整適當結構變數等以降低光纖之對位偏移，也可以發展適當之結構最佳化設計方法來進行結構設計。

#### 3.1 光開關結構有限元素分析分析之步驟

光開關結構熱分析之步驟可分為前處理 (Pro-processing)、求解 (Solver)、後處理 (Post-processing) 三個部分，ANSYS 分析流程如圖 3-1 所示。

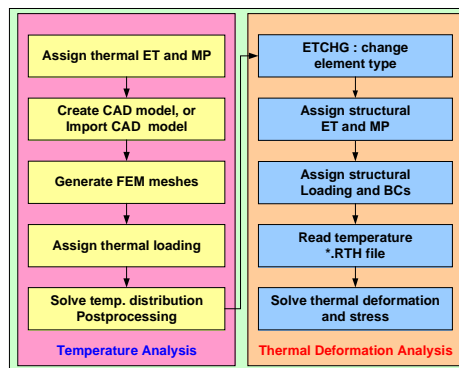


圖 3-1 ANSYS 熱變形分析流程圖

(1). 前處理:載入 MDT 所產生實體模型檔案，給定元素形式 (Element Type)、材料性質 (Material Properties)、節點分割 (Mesh)、負載 (Loading) 與邊界條件 (Boundary Conditions) 等。欲模擬光開關實際運作情形，必須給予合適的負載與邊界條件。

Bellcore 貝爾通訊實驗室於 1994 年對光開關提出一連串產品測試規範，目前已成為業界標準，其中有關溫度部分規範為：溫度循環從  $-40 \pm 2$  to  $75 \pm 2$

本文有關熱分析部分根據 Bellcore 設計規範分成三種情況分別討論之：

- 情況一：光開關在室溫 25 下，外在溫度變化至 25 。
- 情況二：光開關在室溫 25 下，外在溫度保持在 75 。
- 情況三：光開關在室溫 25 下，外在溫度變化至 -40 。

光開關材料性質表如表 3-1 所示。熱變形分析邊界條件如圖 3-2 所示，如此邊界條件可避免過渡拘束 (over-constrain)。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，我們必須對光開關做以下的假設：

- 不考慮自重效應
- 材料熱膨脹係數不隨溫度改變
- 熱膨脹效應從底座內側兩固定點開始算起
- 外界溫度變化均勻

- 各元件材料是均勻的
- 上膠的兩個面視為固定面

表 3-1 光開關材料性質表

	Young's modulus ( $\text{kgf/mm}^2$ )	Poisson ratio	Thermal conductivity ( $\text{W/mm}^\circ\text{C}$ )	Thermal expansion coefficient ( $1/^\circ\text{C}$ )
Silica	7749	0.17	$1.4 \times 10^{-3}$	$0.8 \times 10^{-6}$
Invar	14388	0.3	$10 \times 10^{-3}$	$1.5 \times 10^{-6}$
LCP (Liquid Crystal Plastics)	700	0.33	$0.15 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-6}$
Steel Alloy 1020	21122	0.3	$51.9 \times 10^{-3}$	$11.7 \times 10^{-6}$

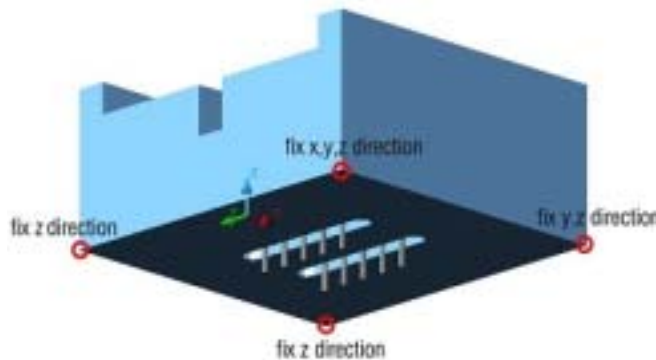


圖 3-2 邊界條件示意圖

- (2). 求解: 依據前處理所給定的條件, 求不同操作環境下穩態溫度分布情形, 再將溫度分析結果載入以進行後續熱變形分析。
- (3). 後處理: 畫出變形分布圖, 求取輸入與輸出光纖頂端相對變形量, 藉以判斷是否符合原始設計要求。

### 3.2 新型 1x2 光開關結構熱分析之結果

新型 1x2 光開關在情況一(環境溫度為 25 )、情況二(環境溫度為 75 )和情況三(環境溫度為 -40 )下的溫度分佈圖分別如圖 3-3(a)、3-3(b)及 3-3(c)所示, 從圖上可明顯看出, 光開關操作時線圈通過電流而產生熱量, 因此線圈所在位置上方之溫度較高, 加上繼電器外殼材質為塑膠, 不容易將熱量往外傳導, 在三種情況中溫差居可達到 10 至 20 度左右。完成溫度分佈分析後得到之溫度分佈資料, 可利用結構熱變形相關理論求得光開關之熱變形熱變形分佈圖, 如圖 3-3(d)、3-3(e)及 3-3(f)所示, 最高溫度與最大變形量如表 3-2。



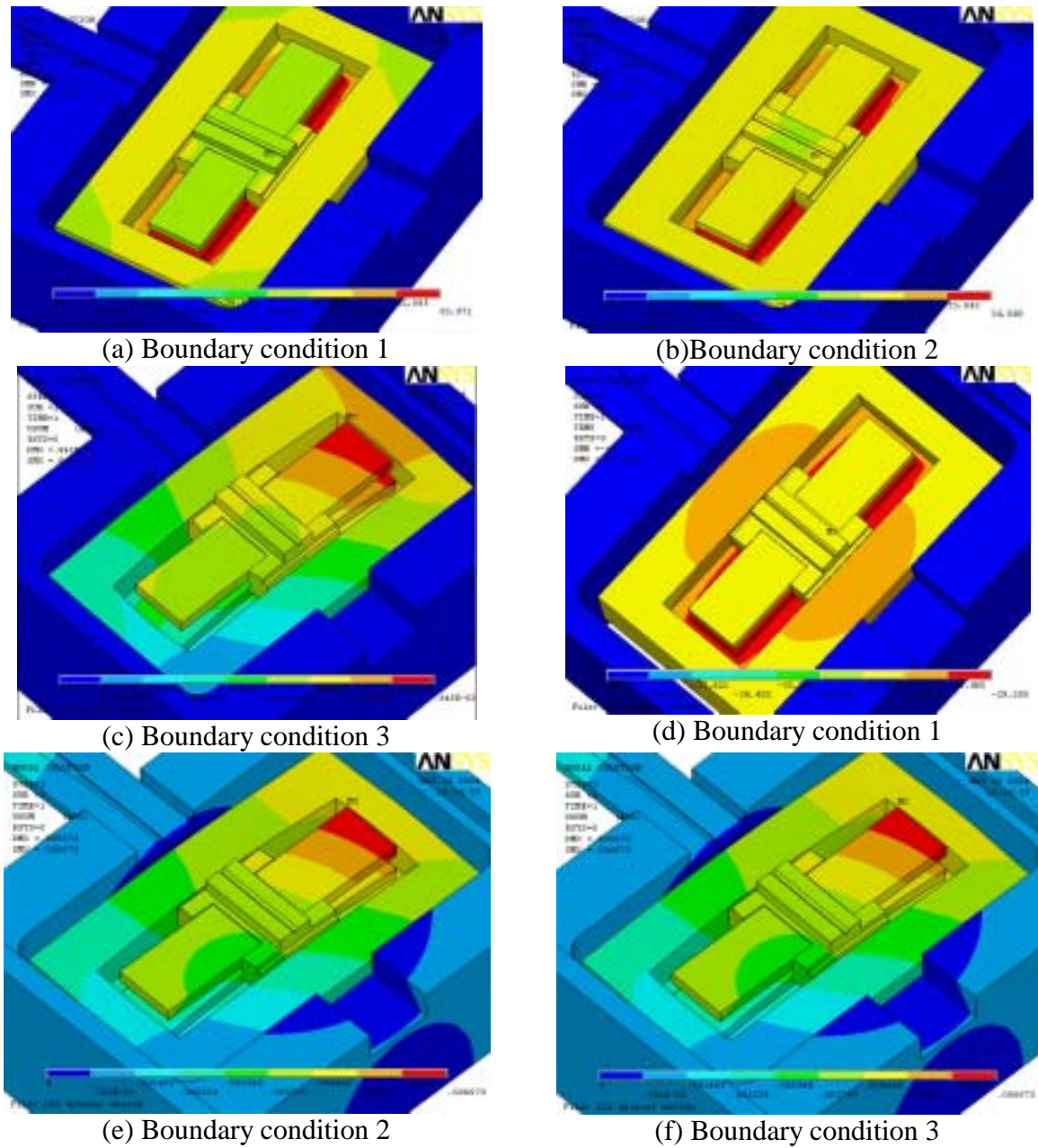


圖 3-3 新型 1×2 光開關之熱分析結果

表 3-2 新型 1×2 光開關熱分析結果

Boundary condition 1	最高溫度 (°C)	34.048
	最大變形量 ( $\mu m$ )	0.845
Boundary condition 2	最高溫度 (°C)	82.971
	最大變形量 ( $\mu m$ )	6.673
Boundary condition 3	最高溫度 (°C)	-29.295
	最大變形量 ( $\mu m$ )	6.709

## 四、光開關結構之最佳化設計

產品設計過程中，最佳化是相當重要的一個步驟，藉由此步驟可增加產品之效能，使其擁有較佳之性能表現。因此在對光開關熱分析有一定瞭解後，本章將進行光開關結構之最佳化設計。

### 4.1 光開關之最佳化程式

本計畫發展之模組化結構最佳設計程式如圖 4-1 所示之關係圖，主控部份用 Visual C++ 語言撰寫而成，整合項目包括：MDT 實體模型繪圖軟體、ANSYS 有限元素分析軟體、非線性規劃法之最佳化方法。

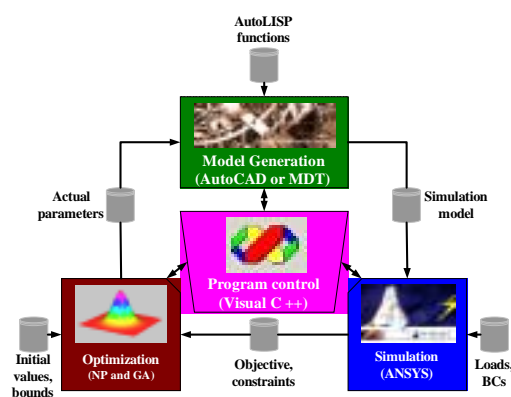


圖 4-1 模組化最佳化設計關係圖

在光開關最佳化設計問題中，降低結構之不均勻溫度分佈及降低光纖輸入端與輸出端之相對位置錯位量為最重要之兩項結構設計目標。以 1x1 機械式光開關為例，此最佳化設計問題之分析過程如下：

- (1). 決定設計變數：四個結構幾何參數分別為底板材料之厚度、繼電器核心元件之外型尺寸及光開關外殼尺寸的高度與厚度，如圖 4-2 所示。

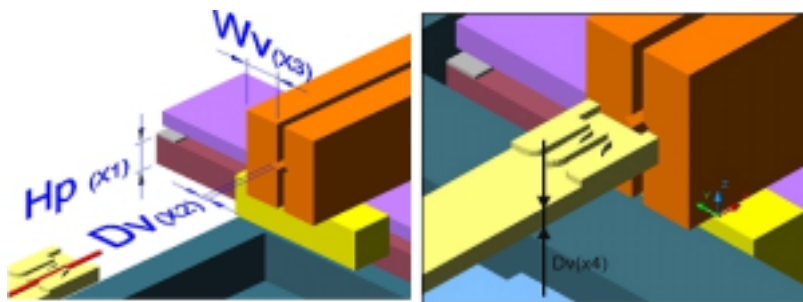


圖 4-2 設計變數示意圖

- (2). 選擇目標函數：目標函數可選擇如降低結構之不均勻溫度分佈及降低光纖輸入端與輸出端之相對變形量差異等。此處選擇橫向對位誤差作為目標函數進行最佳設計，示意圖如圖 4-3 所示。



圖 4-3 目標函數示意圖

(3).限制設計條件：如結構之溫度特性，製造或幾何要求之最小及最大尺寸或是機構之移動死點。

最後本文所發展之結構最佳設計程式如圖 4-4，其流程為：

- 訂定設計變數與限制條件個數，給定一組初始設計。
- 呼叫 ANSYS 有限元素軟體作結構分析。
- 靈敏度分析
- 利用兩點近似法建構近似問題
- 數值最佳化

#### 4.2 光開關之最佳化設計結果

表 4-1 為此 1x1 光開關最佳化前後之設計變數值，表 4-2 為此光開關在環境溫度 75 度時，最佳化前後光纖之軸向及橫向偏移，三種模擬狀況分別有 47.85 %、46.83 % 和 46.28 % 的改善程度，並可達到對位精度  $1 \mu m$  之要求。

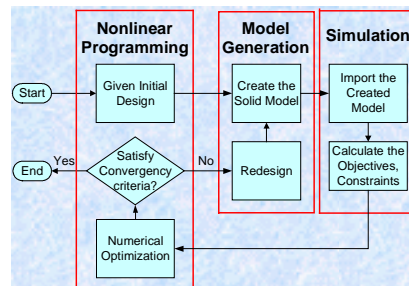


圖 4-4 程式流程圖

表 4-1 最佳化前後之設計變數值

設計變數	初始設計	最佳設計
$X_1$ (mm)	1.5	2.5
$X_2$ (mm)	0.1717	0.2123
$X_3$ (mm)	1.0	0.8
$X_4$ (mm)	0.5	0.558

表 4-2 最佳化前後之軸向及橫向偏移

邊界條件		初始設計	最佳設計
Boundary condition 1	軸向偏移 ( $\mu m$ )	0.104	0.097
	橫向偏移 ( $\mu m$ )	0.446	0.186
Boundary condition 2	軸向偏移 ( $\mu m$ )	0.448	0.445
	橫向偏移 ( $\mu m$ )	1.747	0.837
Boundary condition 3	軸向偏移 ( $\mu m$ )	0.339	0.354
	橫向偏移 ( $\mu m$ )	1.238	0.659

## 五、成果自評與討論

本計畫執行一年來，各子計畫在研究設計上迅速累積不同的技術與經驗，藉由每週研究團隊定期開會討論，彼此支援與合作，解決各種跨技術領域的難題，主要研究成果概述如下：

- (1) 完成光開關元件及機構設計，同時 1x2 光開關元件整體外觀尺寸達  $7.5 \times 16 \times 20 \text{ mm}^3$ ，1x4 光開關元件整體外觀尺寸  $27 \times 20 \times 7.5 \text{ mm}^3$ ，均為目前市場上現有光開關元件中最小之尺寸設計。
- (2) 完成 1x1、1x2 機械式光開關之熱分析，包括溫度分佈、熱變形及熱變形對光纖對位影響評估之分析
- (3) 發展一光開關撥切動態模擬分析、熱變形分析、高低溫熱補償分析系統。整合了包括：AutoCAD MDT 實體模型繪圖軟體、ANSYS 有限元素分析軟體及數值搜尋軟體等。此整合程式除了可有效運用在光開關之最佳化設計，也適用於其他結構之最佳化設計。
- (4) 本研究計畫執行前提出之第一代 1x2 光開關設計於 2003/04/29 提出中華民國專利申請，並於 2004/03/04 經審查核准中華民國新型專利，於 2004/04/01 刊載中華民國專利公報：  
鍾添東、范光照、林武郎，”機械式光開關”，中華民國新型專利，公告號：582554, 2004/04/01.

光開關及其相關零組件是高精密度要求的產品，對溫度的變化極為敏感，因此製造良率低。為因應國內外光通訊技術的不斷提昇及嚴苛測試規範要求，勢必須於最短時間內完成新型光開關元件之設計與製造。本計畫發展之整合型程式能進行光開關熱變形分析及外形參數之最佳化設計，降低因熱變形造成之光損失，加速其相關設計開發工作。未來一年也將以此作為目標，持續發展1x4光開關及相關整合設計程式，為全光網路之目標作最大努力。

## 參考文獻

- [1] Chang, C.L., Yeh, C.Y., Smith, M.K. and Smith, R.A., “Fiber Optic Switching Apparatus and Method”, U.S. Patent 6,044,186 (28 March 2000).
- [2] Hoffmann, M., Kopka, P., and Voges, E., “All-silicon Bistable Micromechanical Fiber Switch Based on Advanced Bulk Micromachining”, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 5, (1999), pp. 46-51.
- [3] Spahn, O.B., Sullivan, C., Burkhart, J., Tigges, C. and Garcia, E., “GaAs-based Microelectro-mechanical Waveguide Switch”, International Conference on Optical MEMS, (2000), pp. 41-42.
- [4] Morey, W.W. and Glomb, W.L., “Incorporated Bragg Filter Temperature Compensated Optical Waveguide Device”, U.S. Patent 5,042,898 (27 August 1991).
- [5] Yoffe, G.W., Krug, P.A., Ouellette, F., and Thorncarft, D.A., “Passive Temperature-compensating Package for Optical Fiber Gratings”, Applied Optics, Vol. 34, (1995), pp.6859-6861.

- [6] Lau, P.G. and Buist, R.J., "Calculation of Thermoelectric Power Generation Performance Using Finite Element Analysis", 16th International Conference on Thermoelectrics, (1997), pp.563-566.
- [7] Leung, C.H., Lee, A., and Wang, B.J., "Thermal Modeling of Electrical Contacts in Switches and Relays", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology-Part A, Vol. 19, (1996), pp.346-352.
- [8] Sircilli, F., Franco, M.A.R., Passaro, A., and Abe N.M., "Finite Element Analysis of Thermo-optic Integrated Photonic Devices", International Microwave and Optoelectronics Conference, Vol. 1, (2001), pp. 329-332.
- [9] Prasad, Y.K.D.V. and Somasundaram, S., "CADDs: An Automated Die Design System for Sheet-metal Blanking", Computing & Control Engineering Journal, Vol. 3, (1992.), pp.185-191.
- [10] Hieke, A., "Precise Chip and Package 3D Capacitance Simulations of Realistic Interconnects Using a General Purpose FEM-tool", Electrical Performance of Electronic Packaging, Vol. 25, (1999), pp.111-114.
- [11] Peter, Y.A., Herzing, H.P., and Dandliker, R., "Microoptical Fiber Switch for a Large Number of Interconnects: Optical Design Considerations and Experimental Realizations Using Microlens Arrays", IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 8, (2002), pp.46-57.
- [12] Fleming, P.J., Fonseca, C.M., "Genetic Algorithms in Control Systems Engineering: A Brief Introduction", Genetic Algorithms for Control Systems Engineering, pp. 1-5, 1993.
- [13] Wang, S. and Zhao, J., "FEM Optimization for Robot Structure", IEEE International Conference on Industrial Technology, Vol. 1, Vol. 1, pp. 510-513, 2002.
- [14] Schneider, P., Schneider A., and Schwarz, P., "A Modular Approach for Simulation-based Optimization of MEMS", Microelectronics Journal, Vol. 33, pp. 29-38, 2002.
- [15] Botkin, M.E., "Structural Optimization of Automotive Body Components Based on Parametric Solid Modeling", Engineering with Computers, Vol. 18, pp.109-115, 2002.
- [16] 鍾添東、范光照、林武郎, "機械式光開關", 中華民國新型專利, 公告號:582554, 2004/04/01.