

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

微振鏡模組之光學量測與全像記憶微系統的整合研製：子計畫一 A Study on Optical Analysis of Integrated Vibration Micro-Mirror System and its Application on Optical Holographic Data Storage

計畫編號：NSC89-2115-E-009-123

執行期限：89年1月1日至91年7月31日

計畫主持人：林烜輝 國立交通大學電子物理系

計畫參與人員：林俊廷(碩士生) 國立交通大學電子物理系

一、中文摘要

本子計畫的目標在建立微光機電元件及微光學系統的光學設計與量測技術，並以此開發微光機電元件在光資訊領域應用的先導性研究。

首先，配合子計畫二的微振鏡製作，我們進行「掃瞄檢測」，分析計劃中開發之熱致動微振鏡掃描元件的旋轉特性，以奠定整體計畫微光學元件量測應用基礎。

另一方面，則以我們過去數年參與研究「全像記憶」及「光學計算」等計劃所建立的基礎，進一步整合微機電的技術，進行具有平行讀取特性之「三維全像光學資訊儲存及處理」前瞻性研究，由「全像光學平行存取」及「微機電模組」的概念整合併進，以期達成高速隨機光資訊儲存微系統的研究基礎。今年度，我們利用此想法，設計並展示體積全像式窄頻寬濾波元件，並以之結合振鏡掃描元件，初步展示多功能式的分光率波元件，可作為 DWDM 通訊系統中波長上下話路元件之應用。

關鍵詞：微光機電振鏡元件、體積全像、光學資訊儲存及處理

Abstract

We propose to launch a comprehensive study on optical design and metrology for micro-mirror scanning module, with its applications for the micro-optical read/write system of the holographic data storage.

In this optical subproject, we develop a

basic tool for designing and analyzing micro-mirrors. A scanning system has been constructed to measure the rotational properties of the thermo-actuated micro-mirrors that have been made by sub-project #2. The results can provide some guidelines for designing new micro-mirrors and applications. In addition, novel localized holographic narrow-band filter module has been designed, fabricated and tested. Integrating it with the micro-mirror array, a reconfigurable wavelength add/drop module has been demonstrated.

Keywords: MOEM micro-mirrors, Volume Hologram, Optical data storage and processing

二、緣由與目的

自 1960 年代雷射及全像術發明以來，有關全像用於資訊儲存及圖像辨識之研究就已經開始，歷經近四十年來的演進，確實累積許多技術成果，但迄今仍沒有成熟的實用產品，主要係缺乏適用之光電元件，而電腦技術的發展也快得令光學不被看好。1980 年代末期以來，由於全像光學材料的發展(如：光折變晶體、高分子材料...等)、半導體雷射技術的成熟、以及高品質的光學空間調制器(如：液晶電視、CCD、CID 攝影機...等)之研製上市，使得全像技術用於光資訊處理及儲存之研發再度展現新的希望，其中最重要的一個研究項目就是體積全像光學資訊儲存。經這些年的研究努力，普遍皆認為全像光學記憶可能是未來高速、大容量光學資訊處理

系統的關鍵性技術之一。

自然，這個問題也為國內外先進研究機構相當注意的一個方向，當然其中讀寫裝置之設計為其中發展的關鍵，目前的進展大都還在光學桌上實驗展示階段。因此，系統微小模組化設計將是實際化應用必須考量的重要因素之一，在這個方面，我們認為以微機電技術整合光電系統模組乃是相當重要的一個環節，若能發展微機電半導體技術來製作微米大小的微光學元件，而藉以整合光學桌上英吋數量級大小的透鏡，反射鏡及光源等光學元件，將可使系統體積數以百萬倍的縮小。因此，以微機電的模組化技術來製作微光學器件整合光學系統將是一個非常有特色的前瞻性研究題目。

我們亦長期注意這些微光機電元件的發展趨勢，目前本研究群的電控系邱俊誠教授已可利用微機電技術製作微小熱制式微小之新式低電壓驅動振動面鏡，吳炳飛教授在製作設計 ASIC 控制 IC 電路上經驗豐富。因此，以此微振鏡模組構成之掃描系統相當可行。它有可能成為輕薄短小之光束掃描器件器件，而作為光學資訊處理系統的心臟裝置。為了及早探索這種先進的掃描系統之設計、量測與相關技術，因此我們參與這個包含微光機電設計、製作、量測的研究團隊，以期對光資訊的發展提出創新前瞻性的貢獻。今年度，整合各子計畫的努力，集中於體積全像在 DWDM 光纖通訊元件模組之應用，進行波長上下話路模組(WADM)之設計，以及微振鏡相關量測，研究成果良好，說明如下。

三、結果與討論

一般來說，典型的可系統調整規劃式(Reconfigurable) WADM 模組器件包含三個部分：波長多工器與解多工器模組，以及光切換開關元件。現已有許多不同的光學技術來實現此一模組，皆各有優缺點。在此，我們將利用體積全像分光濾波器，結合微振鏡陣列光切換開關來進行模組運作，圖 1 為我們的模組設計示意圖。運作的基本概念說明如下：當帶有多波長信號的雷射光束從光纖輸出後，經擴束裝置擴

束可耦合至波長解多工器(DMUX)。此處，DMUX 係利用體積全像連線技術來製作，可將不同波長的入射光束，連線到空間平面上不同的位置，換言之，其基本的分波原理就是利用體積全像具有之多工儲存特性，在記錄時，將不同週期的光柵經區域多工儲存技術(Localized Multiplexing method)記錄在同一個儲存材料不同位置中，記錄完畢後，不同波長的讀取光線將可由設計好的體積全像光柵，從光纖輸出端分別繞射連線至我們所預期的位置上，也就產生我們所熟知的波長解多工器模組，此種區域多工儲存技術的最大優點是，它可提供高繞射效率來降低模組的耦合損失(insertion loss)。在此多工器之後，我們放置一個藉由矽晶片表面微機械(MEMS)技術製作之可旋轉的微振鏡陣列，經由控制不同微振鏡的旋轉角度則可將不同波長訊號光擷取出來，完成頻道下取之功能。

同樣的，在波長多工器的微振鏡陣列之後的相對位置上，我們放置另一列微振鏡陣列，其用途是頻道上載，經由控制不同微振鏡的旋轉角度則可將不同波長訊號光加入至波長多工器(MUX)，讓新的波長信號能進入網路中傳輸。此處的 MUX 亦包含有如前所述之多工體積全像光柵，但其功用恰與波長多工器中之用途相反，它是利用不同位置的光柵繞射不同波長的光線到同一個方向上，將之連線至相同的位置上，此時，所有繞射光就可耦合至另一條輸出光纖中，展開下一段旅程。另外，由圖 1，我們可看出，若此兩列微振鏡陣列光開關均關閉，亦即所有微振鏡均平躺於矽基座上，則光線將由波長解多工器直接導入波長多工器，然後進入下一段光纖，產生全光網路元件模組之功能，而不需要光電轉換介面，阻斷光線之行進，降低傳輸速率。因此，可預期的是此模組可提供很高的資料傳輸率，將滿足下一代超頻寬光纖網路所需。接下來，我們將分別詳述此模組的兩個主要元件的基本設計與製作原理進行說明：

(1).區域波長多工體積全像光柵：

我們利用區域波長多工技術來記錄高

繞射效率的體積全像光柵，在記錄過程中，兩道波長為 λ_1 之記錄光束在儲存介質中相交干涉並記錄一光柵，另外兩道波長為 λ_2 之記錄光束則入射相交於儲存介質的不同位置上並記錄另一個全像光柵，依此類推，我們可記錄許多全像光柵於儲存介質的不同位置上，此即所謂之區域波長多工技術；而在重建過程中，若同時使用所有記錄波長直接照射於此體積全像光柵中，則在輸出平面的不同位置上即可得到不同波長之繞射光。

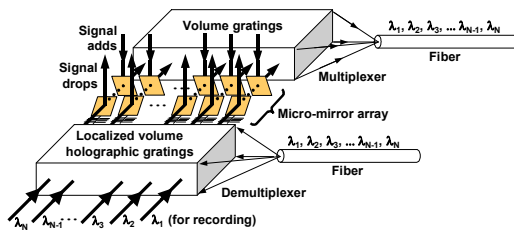


圖 1 WADM 模組設計

但是，每個繞射輸出頻道除了會有符合繞射條件的繞射光外，亦有其他相鄰波長在布拉格相位失配條件下所產生的高階繞射光，這些由其他不同頻道所產生的繞射光即為雜訊光。舉例來說，對第 i 個頻道而言，由第 m 個頻道記錄波長所提供的相位失配量為 $\Delta k = 2\pi(m-i)\delta\lambda / (\lambda_m\lambda_i)$ ，其中 $\delta\lambda$ 為 DWDM 系統中之標準波長間隔。又假設每個光柵的繞射效率均相等時，根據光波耦合理論[10]，此時噪音訊號比(Noise-to-Signal Ratio, 簡稱 NSR)可由下式來估算：

$$NSR_L \propto \sum_{m \neq i} \text{sinc}^2\left(\frac{\Delta k L}{2\pi}\right) \quad (1)$$

式中， L 為光柵之厚度。根據(1)式所示，若要消除雜訊，亦即 $NSR = 0$ ，此時光柵之最小厚度如下所示：

$$L \approx \frac{\lambda_m \lambda_i}{(m-i)\delta\lambda} \quad (2)$$

由上式我們即可得到最適當的光柵厚度，以消除來自不同波長產生的雜訊。但是，除了上述的雜訊來源外，另外還有來自記錄光束的有限孔徑 D 造成的雜訊，根據富氏光學，我們可將第 i 個頻道的噪音訊號比 NSR 表示成：

$$NSR_D \propto \sum_{m \neq i} \text{sinc}^2\left(\frac{D}{\lambda_m z_0}(m-i)\Delta\right) \quad (3)$$

其中， z_0 為全像光柵與微振鏡之距離， Δ 為相鄰兩頻道間在空間上之間隔。同樣地，我們也可以藉由選擇適當的參數 D 與 Δ 來減小或消除此雜訊，以得到清楚的訊號輸出。根據(3)式可知，最小的兩相鄰頻道間隔為：

$$\Delta \approx \frac{\lambda_i z_0}{D} \quad (4)$$

因此，在理論上我們可由式子(1)到(4)式，針對 DWDM 系統所需來設計與分析波長多工器與波長解多工器模組。圖 2 即為以(1)式計算所得波長間隔為 100GHz，中心波長為 1550.318 nm，在波長掃瞄下所得相鄰五個頻道之輸出分佈圖。由圖可看出，其噪訊比相當低，分光效果良好。由圖 2 可看出，相鄰頻道的中心雜訊將低至 -60dB 以下，分光效果相當良好。

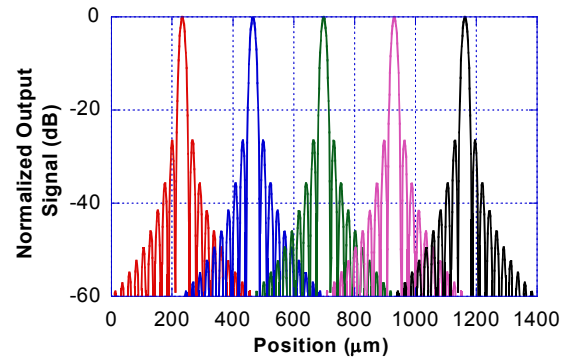


圖 2 波長掃瞄下所得相鄰五個頻道之輸出分佈圖

(2). 微振鏡陣列：

圖 1 中所示之微振鏡陣列乃由交大電控系邱俊誠教授實驗室所設計，藉由表面微機械技術來製作。茲將單一振鏡的製成與驅動原理說明如下：矽基半導體製程過程包含兩層多晶矽層(Polysilicon layer)、兩層犧牲層(Sacrificial layer)、以及一層金(Au)金屬層。圖 3 (a)為微振鏡之示意圖，此微振鏡係由一組微角鏈交鏈於矽基座上，在犧牲層經化學作用侵蝕後，即可形成三維立體結構，將振鏡舉起。其驅動模式為透過熱致制動器(thermal actuator)抓動一利用角鏈附著在晶片上的輕薄面鏡，熱致制動器是由上下不同粗細的多晶矽細絲臂構成，當外加電壓於此結構時，因上下臂產

生不同熱漲冷縮效應使結構彎曲，再透過抓臂進而產生面鏡轉動之驅動力。它的優點在於面鏡的質量輕與熱致動子電容小，故可用低電壓(~5V)就可執行快速驅動(>15kHz)。圖 3 (b)為此熱致動式交鏈微振鏡的照片，整個微振鏡元件的大小約為 600 x 600 μm^2 ，其中鏡子為 200 x 200 μm^2 。

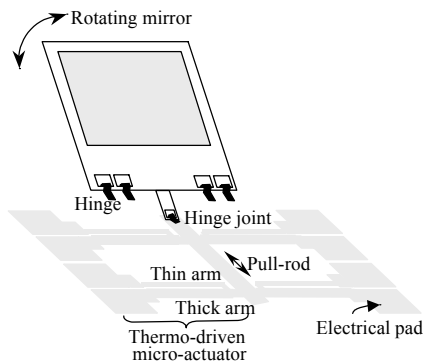


圖 3 (a) 微振鏡之示意圖

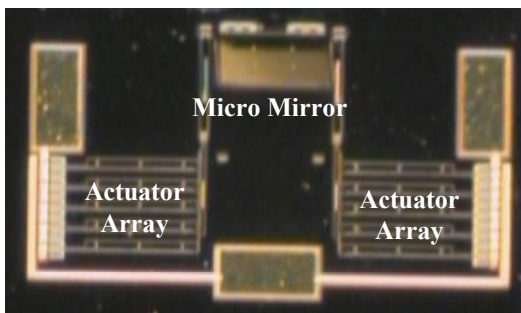


圖 3 (b) 熱致動式交鏈微振鏡的照片

五、參考文獻

- [1] S. H. Lin and Ken Y. Hsu, "Optical wavelength add/drop multiplexer using localized volume holographic gratings," Technical Digest, **OWD7-1**, pp108-110, OSA Topical Meeting: 2001 Optics in computing, January 9-11, 2001, Lake Tahoe, Nevada, USA
- [2] Ken Y. Hsu and S. H. Lin, "Holographic memory for optical interconnections," (invited paper) Technical Digest Vol. **II**, pp. 694-695, CLEO/Pacific Rim 2001, **ThI3-1**, 15-19 July, 2001, Chiba, Japan.
- [3] S. H. Lin and Ken Y. Hsu, "Wavelength add/drop multiplexer for optical communication using volume holographic gratings," (invited paper) Proceedings, pp. 475, Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS) 2001, July 18-22, 2001, Osaka, Japan.

四、計畫成果自評

此新穎的 WADM 模組器件，一方面可大大提升波長上下話路多工器之效能，並能將先進功能併入網路，使其更具有前瞻規劃的能力；另一方面為因應下一代超寬頻網路的發展，頻道的需求將以倍數增加，高效率且價廉的窄頻寬模組元件是必備元件，而微光學開關的複雜性不會隨著頻道位元量而增加，因此微光機電整合模組製作光學開關的形式佔有相當優勢，值得進一步研發。因此，從此觀點來看，本年度研究工作均能按預定計畫進行，也都取得預定成果，相關結果初步已整理成會議論文發表[1-3]。同時，現正將進一步分析結果整理成論文發表。