

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫四：全像三維光學連線在高密度波長多工通訊網路應用之研究(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2215-E-009-024-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學光電工程研究所

計畫主持人：許根玉

共同主持人：林烜輝

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 3 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫進度
報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※※

※

※

※ 新穎元件架構實驗型高密度波長多工通訊網路系
統 ※※ 系統整合研究—子計畫四：

※

※ 全像三維光學連線在高密度波長多工通訊網路

※

※ 應用之研究 (2/3)

※

※

※

※ Holographic 3D Interconnections

※

※ for DWDM Application (2/3)

※

※

※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC91-2115-E-009-024-

執行期間：90年8月1日至93年7月31日

計畫主持人：許根玉 國立交通大學光電工程研究所

共同主持人：林烜輝 國立交通大學電子物理系

計畫參與人員：林俊華 國立交通大學光電工程研究所

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

執行單位：國立交通大學光電工程研究所

中華民國 92 年 5 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫進度報告

全像三維光學連線在高密度波長多工通訊網路應用之研究

(2/3)

Holographic 3D Interconnections for DWDM Application (2/3)

計畫編號：NSC91-2115-E-009-024

執行期限：90年8月1日至93年7月31日

計畫主持人：許根玉 國立交通大學光電工程研究所

共同主持人：林烜輝 國立交通大學電子物理系

計畫參與人員：林俊華(碩士生) 國立交通大學光電工程研究所

一、中文摘要

本研究計畫的目標在建立體積多工全像濾波器設計/分析/製作技術並整合微光機陣列元件，據此開發高密度多段波長多工網路通訊(DWDM)中所需之新穎元件模組的先導性研究。現階段我們將以發展新穎的DWDM網路通訊所需之「波長上下話路」模組(Wavelength Add/Drop Multiplexer, WADM)為目標，提供整合計畫中系統應用。整體規劃為三年期計畫，今年度為第二年，我們乘續第一年的進度，進行體積全像光學濾波器的設計、製作與分析，主要探討利用體積全像串接成超窄頻寬濾波器各項原理及特性參數，諸如：穿透特性、頻寬特性、雜訊反射等等，以作為設計新穎WADM模組中MUX與DMUX元件的依據。

關鍵詞：光學連線、體積全像、光學資訊處理及通訊

Abstract

The main goal of this research is to develop a novel Wavelength Add/Drop Multiplexer (WADM) structure for DWDM fiber communication. In our design, the demultiplexer (DMUX) and multiplexer (MUX) devices will be achieved by using the multiple holographic gratings, and optical micro-mirror array switchers developed by subproject #6 will be integrated into our design to achieve a reconfigurable WADM modular. In this project, the main task is how to develop the narrow band and to integrate them into a compact MUX and/or DMUX device.

The research is divided into three phases. In second year, a comprehensive study on optical design, analysis and metrology of the DWDM filters by multiplexed and/or cascaded volume holographic techniques have been conducted. Some important filter characteristics include optical transmission, bandwidth, out-of-band rejection, ... etc. have been discussed. The results can provide us guidelines for designing novel narrow-pass-band filters for MUX and DMUX in a WADM device.

Keywords: Optical interconnections, Volume Hologram, Optical information

二、緣由與目的

高密度波長多工的通訊網路系統中，每一根光纖將需攜帶數以百計的不同光波長信號，以目前 OC-48、STM-16、調制速度約為 2.5GHz 的光纖傳輸設備來估計，目前所訂定的 DWDM 網路頻道間隔 $\Delta\nu$ 要求為 50~100GHz，相當於 $\Delta\lambda=0.4\sim 0.81\text{nm}$ 的波長間隔，因此如何在摻鉍光纖放大器有限頻寬(~30nm)中，放入最大密度的波長訊號，以及頻道間信號快速之切換，成為現行 DWDM 發展關鍵之一。其中，關鍵性的技術就是如何利用窄頻寬光濾波器器件及光切換開關系統，將 DWDM 用的不同光波長分/合波，而在光纖網路主幹上下(Add/Drop)不同波長之訊號，方能使利用 DWDM 作為溝通網路的每一用戶都能透過光纖網路傳輸及得到想要之特定資料，此模組稱為波長上下話路多工器(Wavelength Add/Drop Multiplexing, WADM)，經由適切更換波長上下話路多工器，將能大大的提升光纖網路的效能。

交通大學光電所提出之 DWDM 整合計畫，包含光源、主被動元件、模組以及系統等各方面綜合性規劃，目標將以架設網路實驗系統為主要骨幹，一方面整合各子計畫的研究成果；另一方面則提供各子計畫發展之新穎元件及技術實驗測試。因此，配合整體之規劃，本子計畫將著重於研究可系統調整規劃式波長上下話路多工器(Reconfigurable WADMs)模組器件相關研究，包括兩個主題：體積多工全像窄頻寬光濾波器，以及微光機電光開關元件的研究，並據此整合研發波長上下話路系統製成模組，而提供給相關子計畫及總計畫的系統實驗應用。今年為第二年，乘續第一年的成果，相關研究進度尚佳，得到一些結果，分述如下。

三、結果與討論

1. 新穎 WADM 模組之實驗與分析：

圖 1 即為我們的新穎 WADM 模組設計示意圖，第一年度我們已對其運作的基本概念進行理論分析及光學結構設計。今年度著重於實驗量測及微振鏡之分析，說明如下：圖 2 為體積全像 MUX 及 DMUX 的光學記錄及測試系統。在實驗中，我們使用自行研發之 PQ-PMMA 全像高分子作為記錄材料。此種材料的感光範圍為 450nm~550nm，因此為了能同時模擬多波長的區域多工記錄，考慮到全像材料之限制，我們利用氬離子雷射發出的多條可見光譜線作為多波長記錄及測試的光源。

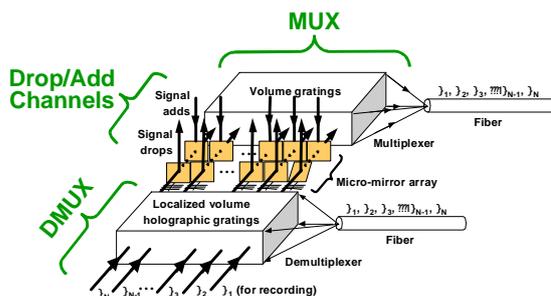


圖 1 新穎 N 個頻道之 WADM 模組示意圖

系統中，首先將雷射光分成兩道，一道經過菱鏡利用玻璃的色散效應將不

同譜線分開，分別對應 488nm、496nm 及 514nm 三條譜線，另一道光則不分光，因此當將雷射光如圖中分別由相鄰的兩個面引入相交於記錄介質中，則所有波長將自動與其波長相同的雷射光在對應區域內記錄區域多工全像，曝光記錄完畢後即可執行波長多工器與波長解多工器模組之運作。若我們用多波長同時由圖中 A 面入射至體積全像光柵中，不同波長將繞射到 CCD1 的不同位置上，即可模擬我們波長解多工器輸出所得。結果如圖中所示。可以清楚的看到三個波長分別被分到不同的位置上。另外，若我們用菱鏡分光後的三個波長分別由 B 面入射，所有的波長將會被不同區域的體積全像繞射到 CCD2 上同一位置，可模擬波長多工器輸出所得。結果亦如圖中照片，不同顏色的輸出均會繞射到相同的點上。從這些結果照片可初步證實我們的新穎 WADM 模組之可行性。

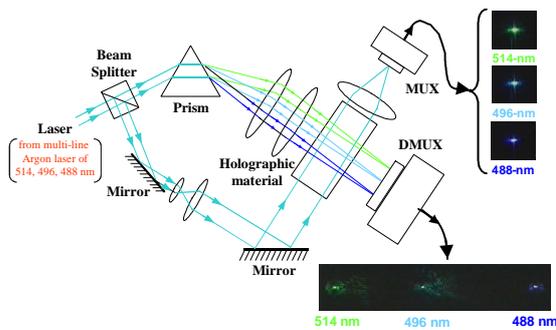


圖 2 體積全像 MUX 及 DMUX 的光學記錄及測試系統實驗

2. 串接式體積全像光學窄頻寬濾波器設計與分析：

目前製作濾波器的技術，主要是以 Feby-Perot 濾波器的技術為主，實作上以光學薄膜鍍膜的方法產生對稱形的高低介電值薄膜堆疊的布拉格反射鏡，而且兩反射鏡中間夾有半波長整數倍的光學腔，以光波在腔中多重反射後的建設性干涉，來達到濾波功用，目前進展頗為迅速且穿透特性良好，然而其缺點在於結構過於複雜，動輒需要百層以上的薄膜，製作門檻高。另外，還有以光纖光柵的技術製作長光柵結構，而利用其嚴格的布拉格條件，來達成光柵反射或穿透濾波的效果，這樣的作法要求光波皆在光纖導管內傳遞，不易整合成精緻系統。然而，不論是薄膜堆疊或光纖光柵均可視為週期性介質，全像方法是另一種產生類似結構的簡便技術，特別是體積全像，也同樣能具有嚴格的布拉格條件。因此，我們亦嘗試利用體積全像容易創造高低折射率變化的特性，串接數個體積全像及光學腔，即可創造與鍍膜堆積類似效果 Feby-Perot 濾波器，大幅簡化其製作過程。今年度我們著重於理論分析及設計，說明如下：首先，從體積全像波耦合理論出發，導出光入射週期性光柵的穿透及反射係數，其可整理成類似薄膜傳輸矩陣的形式，稱之為散射矩陣(scattering matrix)，關係式如下：

$$\begin{bmatrix} E^+(0) \\ E^-(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m & n \\ n^* & m^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E^+(l) \\ E^-(l) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中， E^+ 及 E^- 分別為向前及向後傳播之光波電場的振幅，從耦合方程式的解可得矩陣參數為：

$$m = \left[\cosh(\chi l) + \frac{i u s / \sinh(\chi l)}{\chi l} \right] \exp\left(\frac{i 2 f l}{\lambda_B}\right),$$

$$n = \frac{-\kappa / \sinh(\gamma l) \exp(-i 2 \pi l / \lambda_B)}{\gamma l}$$

其中， m^* 及 n^* 為 m 、 n 的共軛複數， $\chi^2 = \beta^2 - (u s)^2$ ， β 為耦合常數， $u s = 2 f (\beta^2 - \beta_B^{-2})$ ， λ_B 為中心波長，光柵週期為 $\Lambda = \lambda_B / 2 n_{eff}$ ， l 為作用長度。這個矩陣的特性類似於傳輸矩陣，因此若我們考慮如圖 3 的結構，數個體積光柵加上光學腔串聯組成特殊結構時，我們可將其分別對應的矩陣列出相乘後得其等效矩陣，再經邊界條件的分析，可得其穿透函數及頻率響應為： $T = |1/m|^2$ 。

圖 3 串接式體積光柵光學濾波器結構示意圖。以圖 3 中代表第一光柵長度為 L_1 ，第二光柵長度為 L_2 ，...，第 M 個光柵長度為 L_M 。我們的設計以 1550nm 為體積全像光柵的夾層，其折射率為 1.48，折射率振幅變化 $n_1 = 5 \times 10^{-5}$ ，基本長度為 L_1, L_2, \dots, L_M 。圖 4 所示結構為具有相同光柵長度的兩段、三段或四段 (M: 2, 3, 4) 各光柵相連，且每段光柵間有 $(\delta/2)$ 相位偏移層 (如圖 3 所示)。由圖中結果可知，的確以體積全像光柵的串聯，亦可形成窄頻寬的濾波器，並且類似於鍍膜堆疊的結果，若增加串聯光柵的數目則造成帶通範圍內，穿透率分裂成 $M-1$ 個波峰值，因此我們認為藉由結構的改變亦可改變濾波的效果。圖 5 則為結構改變的模擬結果，其串聯結構與圖 4 所用之結構類似，但我們增加中間光柵長度為前後兩段的兩倍 (意即， $L_1 = L_M = L_i/2, i=2, \dots, M-1$)，從圖中可看出隨著串聯層數的增加，其帶通波段也相對的平坦，其中又以 $M=4$ 時的振幅變化較小。

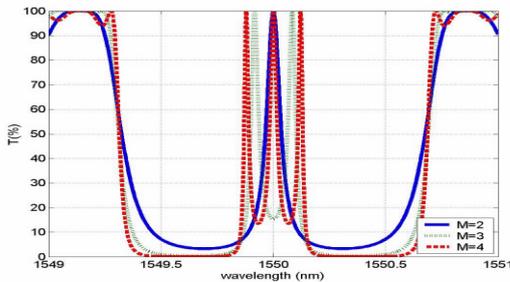


圖 4 不同夾層數目的體積光柵串接式濾波器的穿透函數

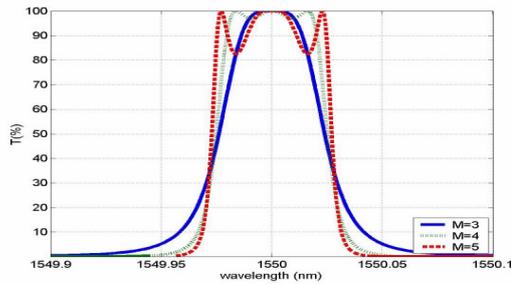


圖 5 不同夾層長度的體積光柵串接式濾波器的穿透函數

四、計畫成果自評

本年度研究工作均按預定計畫進行，也都取得預定成果，相關結果也陸續整理成論文發表[1-7]。新年度我們仍持續進行波長多工及解多工的體積全像記錄實驗與分析、微振鏡整合的設計與量測、系統整合規劃以及光學連線之應用等研究課題。

五、參考文獻

- [1] Alexei K. Zaitsev, Shiu-an Huei Lin, and Ken Y. Hsu, "Extension of wavelength range by anisotropic diffraction of light on volume holographic grating in BaTiO₃ photorefractive crystal", *J. Opt. Memory & Neural Networks*, 219-225, No. 4, Vol. 11, 2002
- [2] Ken Y. Hsu and Shiu-an Huei Lin, "Volume holograms for optical interconnections," *ICO 19th General Congress*, Paper # 423, August 25-30, 2002, Florence, Italy
- [3] Shiu-an Huei Lin and Ken Y. Hsu, "Volume holographic gratings for optical filters," (Invited paper), *3rd International Conference on Photonics Design and Fabrication (ODF2002)*, Paper # TS01, October 30-November 1, 2002, Tokyo, Japan
- [4] 蔡宏璋, 林烜輝, "串接式布拉格反射鏡用於窄頻寬濾波器研製之研究", Paper FC2-5, 191-193, Vol. II, *Proceeding Optics and Photonics Taiwan'02*, December 12-13, 2002, Taipei
- [5] Shiu-an Huei Lin, Ken Y. Hsu, Yu-Chen Lin and Jin-Chern Chiou, "Optical Filter Module for Wavelength Multiplexer using Localized Volume Holographic Gratings," to appear in *J. Opt. Memory & Neural Networks*, 2003.
- [6] Shiu-an Huei Lin and Ken Hsu, "Doped PMMA photopolymer for volume holographic recording," to appear in *Proceeding of SPIE*, 5206, August, 2003.
- [7] Ken Y. Hsu and Shiu-an Huei Lin, "Holographic data storage using photopolymer," to appear in *Proceeding of SPIE*, 5206, August, 2003.