

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫：新穎元件架構實驗型高密度波長多工通訊網路系統
整合研究(3/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2215-E-009-006-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學光電工程學系(所)

計畫主持人：賴暎杰

共同主持人：潘犀靈，王興宗，邱俊誠，許根玉，祁牲

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 24 日

【中文摘要】

在這三年的計畫裏，本整合計畫繼續結合交通大學在新穎高密度波長多工(DWDM)光通訊元件及模組的研究能量，一方面進行新穎系統概念的研發與實驗以提供所有研發之元件/模組的整合與測試機制，一方面則是針對不同的新型重要光通訊元件及模組來進行研究。本總計畫是以新穎全光網路系統(All Optical Networking)為出發點來整合各子計畫之研究。研究的重點及關鍵在於：1) 前瞻 DWDM 網路系統之結構與性能的設計、實驗測試系統的架構及評估校正；2) 新穎 DWDM 主、被動元件及模組之設計、製作與量測；3) 元件/模組的整合應用，以及與前瞻系統研發之成果的整合/分析/模擬研究。本總計劃協調 6 個子計畫中來進行整合性的研究，這些子計畫的題目分別如下：

1. 子計畫一【高密度分波多工技術應用於全光網路的光交換與波長繞徑之研究】
2. 子計畫二【DWDM 用多波長雷射之研究】
3. 子計畫三【DWDM 用長波長面射型雷射之研發】
4. 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】
5. 子計畫五【新型 DWDM 光纖式元件之研究】
6. 子計畫六【以微機電技術開發應用於高密度波長多工通訊網路之光切換元件研究】

在這三年的研究中我們已經取得很多的成果，這些結果很多也已經發表在國際期刊或國外會議之上，顯示我們的成果已受到國際上的肯定。

關鍵詞：高密度波長多工、光纖通訊

[Abstract]

During the three year of studies, we continue to integrate our research efforts on DWDM related technologies at Institute of Electro-Optical Engineering in National Chiao-Tung University. The main goal is to develop novel active and passive devices and modules for DWDM fiber communication systems, and to conduct an experimental DWDM platform by using those novel devices. We have set up a test-bed for testing and optimizing the devices and modules to be developed under the six sub-projects. The keys to the success for our project rely on the following implementation and integration: 1) advance structural design and experimental implementation for DWDM fiber communication network; 2) optical design, fabrication and metrology of novel active and passive devices and modules; 3) successful integration between devices, modules and system. These researches are executed by the six sub-projects and the role of this principal project is to coordinate and integrate the six sub-projects for a systematic study. The titles of the six sub-projects are as follows:

1. The study of DWDM technique applied on photonic switching and wavelength routing in all-optical network
2. Multi-wavelength lasers for DWDM applications
3. Long wavelength VCSELs for DWDM applications
4. Holographic 3D Interconnections for DWDM Application
5. Study of Novel DWDM Fiber Devices
6. The Application of MEMS Technology: A Research for Optical Switch Device application in DWDM Communication Network

After the three years of studies, we have achieved many good results and many of these results have been published on international journals or international conferences. It shows that our achievements have been recognized by international researchers.

Keywords: DWDM, Optical Communication

【目錄】

| | |
|----------------------|----|
| 1. 前言----- | 4 |
| 2. 研究目的----- | 4 |
| 3. 研究方法----- | 5 |
| 4. 結果與討論----- | 5 |
| 5. 參考文獻----- | 18 |
| 6. 計畫成果自評----- | 21 |
| 7. 可供推廣之研發成果資料表----- | 21 |

1. 前言

這幾年來交通大學光電工程研究所在「雷射及光電基礎研究」、「光電材料與元件」、「寬頻光纖通訊技術」、「光儲存/顯示科技」以及「微光機電資訊系統」等光電科技上已經累積了不少的研究能量，而部分教授也獲多或少從中得到一些靈感來研發新穎 DWDM 的技術。本整合計畫即是希望整合這些研究力量來針對光電所能掌握的重點項目進行整合性的研發。計畫中包括對雷射光源主動元件、波長多工解多工器、波長擷取器、光切換開關等被動元件模組、以及光交換與波長繞境系統等方面的研究，共分六個子計畫來執行。希望透過這些整合研究之努力，能對我國在 DWDM 光纖通訊的發展提出創新前瞻性的貢獻。

我們的 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，在總計畫這部分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，總計畫將扮演居中串聯協調的角色，著重於制定各子計畫發展元件的統一規範，讓這些元件彼此能整合發展應用模組，亦實際應用於系統計畫中，進行前瞻系統架構之研究。

2. 研究目的

我們過去幾年在光纖通訊相關學術研究與技術研發上已經建立很好的基礎，在本計畫中我們立基於這基礎上來進一步研發更先進之 DWDM 光纖通訊相關技術，特別是在全光網路的光交換與波長繞徑技術、DWDM 用多波長雷射之研究、DWDM 用長波長面射型雷射之研發、全像三維光學連線在高密度波長多工通訊網路之應用、新型 DWDM 光纖式元件、及微機電應用技術等。本計畫的主要研究目的即是希望透過這三年來之計畫執行，讓我們繼續在這些光纖通訊相關研究領域上進行前瞻性的學術研究與技術開發，並持續在這些研究領域有所貢獻。

3. 研究方法

本整合計畫旨在整合交通大學在新穎高密度波長多工(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 通訊元件及模組的研究能量，以此為基礎架構實驗型 DWDM 網路，一方面進行新穎系統概念的研發，二方面提供所有研發之元件與模組整合與測試的機制。實驗測試系統將以新穎全光網路系統(All Optical Networking)為出發點，把多波長雷射光源、光纖網路元件及模組、以及偵測監控裝置整合於工作平台上，可將各子計畫所提出之研究概念在平台上進行整合測試評估以及最佳化研究，是研發尖端 DWDM 光纖通訊之利器。由此可知，本計畫的執行是一種整合性的科研，涵蓋相當大的層面，需要同時在半導體製程設計，微光機電元件控制、光學元件分析設計及系統應用上併進，才能有創新的構想，這就需要通訊、光電、電子、控制、及半導體等領域的專才，分工合作，而在創新的製程設計、正確良好的品管規劃、新型的應用及技術上能有所突破，促使元件、模組及系統應用實際可行。因此，為了進一步要使此科研能在國內生根，本研究不僅分別地要做到各分項計畫之研究，也要將各部份的研究結合在一起，亦即要把上游、中游及下游結合在一起，完成元件製程的自給自足，新元件設計、性質測試，以及系統應用技術的開發，使上中下游的研究技術、成果及資源能夠相互回饋、相輔相成，而成為獨立自主的 DWDM 光纖通訊研究群。

計畫整體架構包括 6 個子計畫：

1. 子計畫一【高密度分波多工技術應用於全光網路的光交換與波長繞徑之研究】
2. 子計畫二【DWDM 用多波長雷射之研究】
3. 子計畫三【DWDM 用長波長面射型雷射之研發】
4. 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】
5. 子計畫五【新型 DWDM 光纖式元件之研究】
6. 子計畫六【以微機電技術開發應用於高密度波長多工通訊網路之光切換元件研究】

大致上來說，本計畫可分成三個次研究群，說明如下：

1. 主動元件：包含子計畫二與三，分別著重於以目前在外腔式半導體雷射(子計畫二)與 InP 材料面射型雷射(子計畫三)之研究基礎，進行 DWDM 用長波長高解析度、高調整範圍、以及高品質的雷射光源之研究，兩者既可獨立發展其不同性能的雷射光源，以提供不同的系統應用所需；且子計畫三所發展之雷射光源亦可提供子計畫二中的泵浦光源，以產生高精細度可調波長之 DWDM 雷射光源；再則，兩者所發展之光源皆可提供元件模組整合應用。
2. 被動元件與模組：包含子計畫四~六，分別著重於以目前在光學連線資訊處理(子計畫四)、光纖元件(子計畫五)、以及微光機電技術(子計畫六)等方面的研究基礎，來分別研發前瞻 DWDM 通訊網路中分波/合波/光切換/即時監控等關鍵性的元件，而藉此整合新穎的 DWDM 全光網路之系統概念，發展先進的 DWDM 通訊網路系統。
3. 系統研究：包含總計畫與子計畫一，為本整合計畫之研究骨幹，提供元件整合測試評估之實驗平台。一方面可進行新穎元件及模組最佳化之先導性研究，另外，更可整合發展新穎的 DWDM 資料傳輸系統研究。

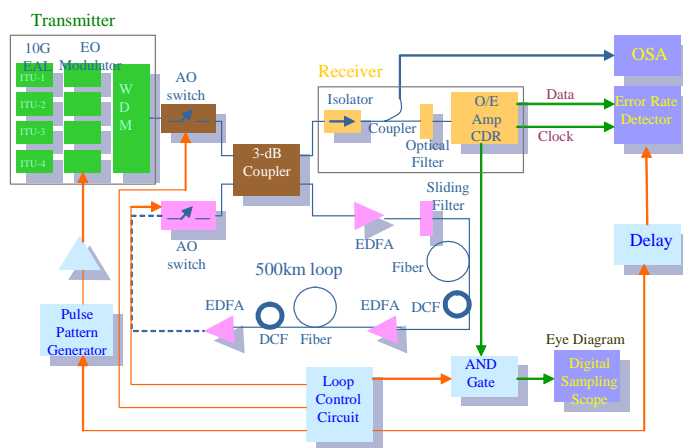
這三個研究群分別涵蓋光通訊中的三個重要層面，並可互相配合來發展。

4. 結果與討論

在這三年裏我們這個整合性研究計畫的研究成果主要是在以下這幾方面：

(0) 總計畫【新穎元件架構實驗型高密度波長多工通訊網路系統】：

配合教育部卓越計畫的執行持續建構我們的光纖循環迴路測試平台，並在其上進行光傳輸實驗以及測試光通訊元件及模組。



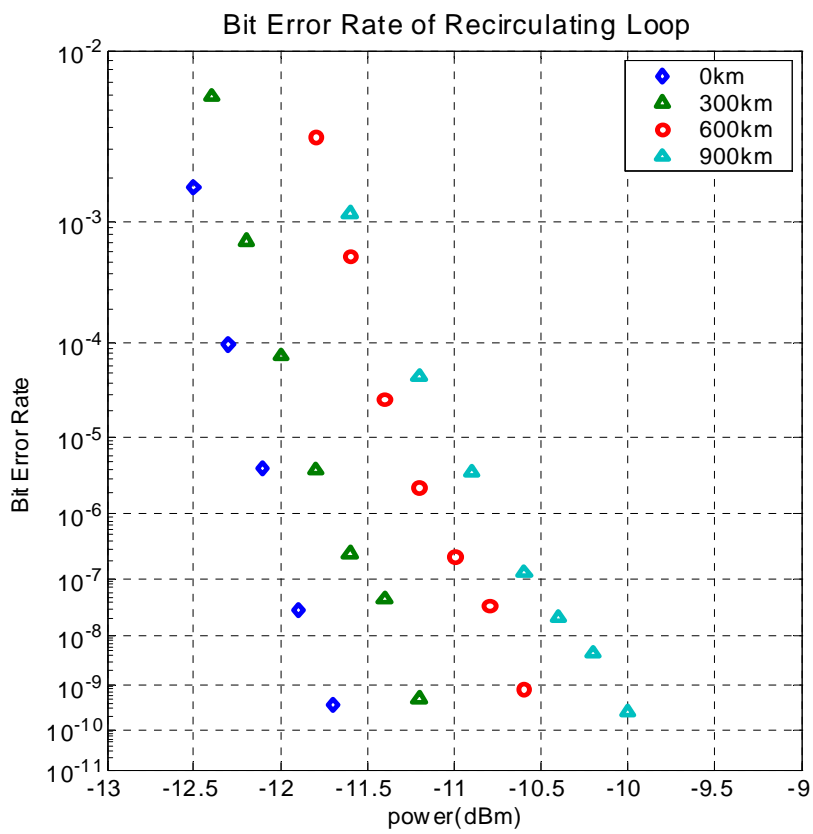
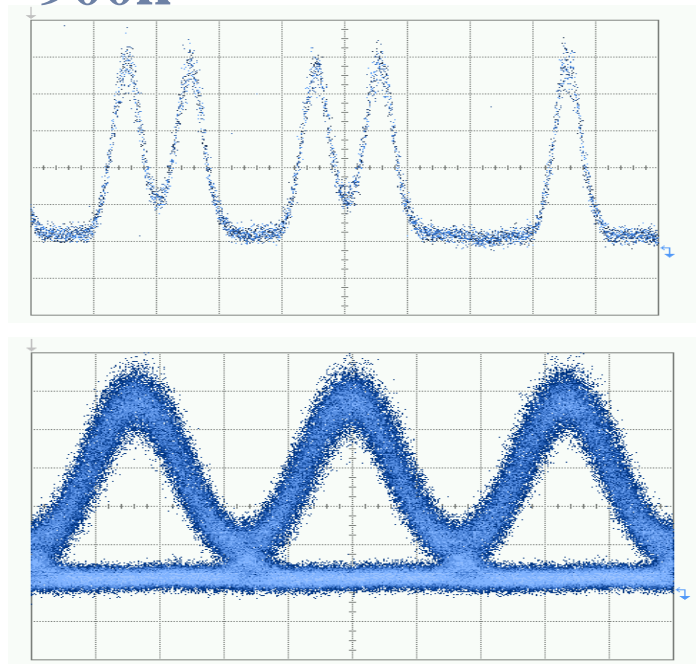
圖一：光纖循環迴路測試平台

我們已在其上進行了光固子之傳輸實驗。



圖二：實驗室照片

900k

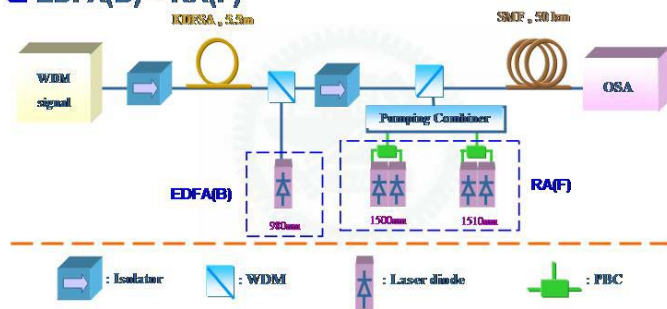


圖三：光固子傳輸實驗

以及寬頻及 S-band 光放大器的實驗：

The broadband transmission span for 50km

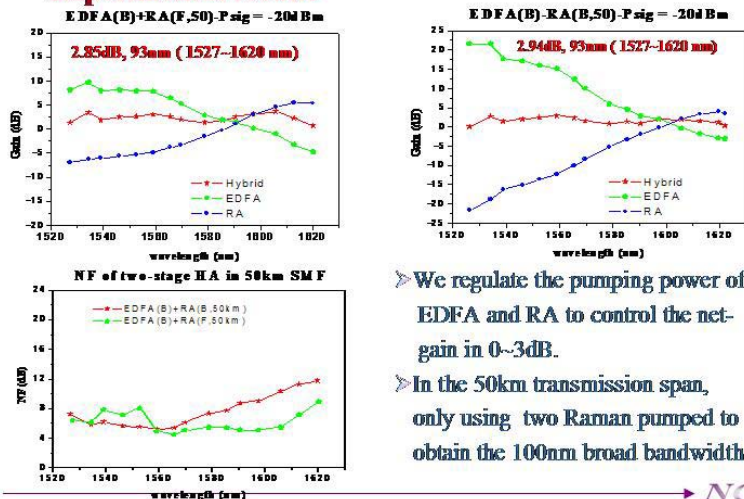
□ EDFA(B) + RA(F)



NCTU

圖四：寬頻放大器架構

Experimental results

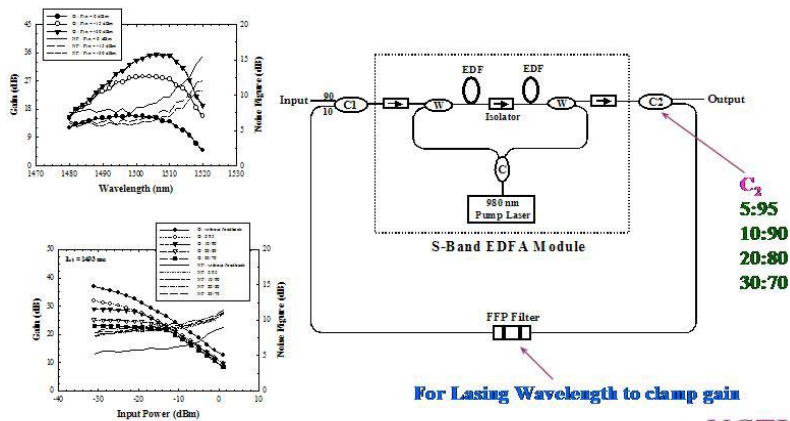


- We regulate the pumping power of EDFA and RA to control the net-gain in 0~3dB.
- In the 50km transmission span, only using two Raman pumped to obtain the 100nm broad bandwidth.

NCTU

圖五：寬頻放大器實驗結果

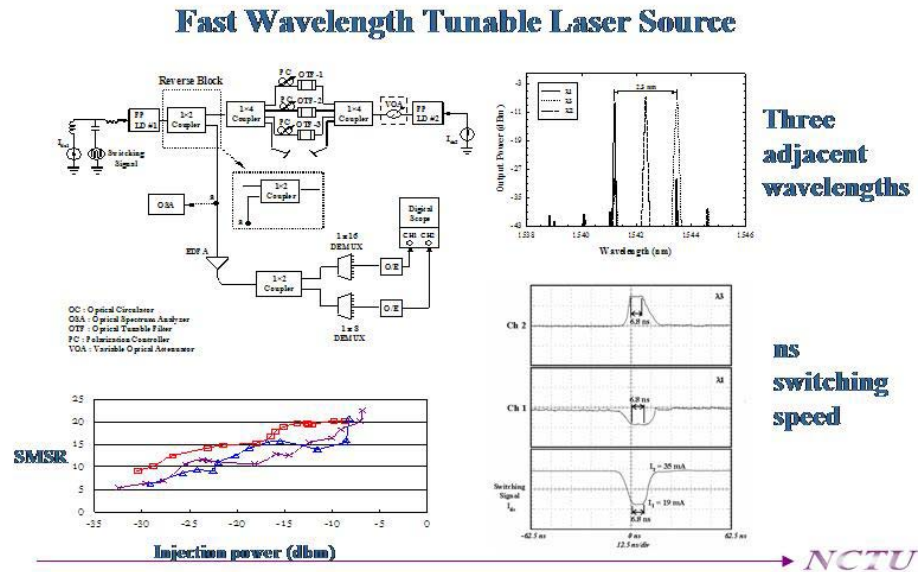
Gain-locked S-band EDFA



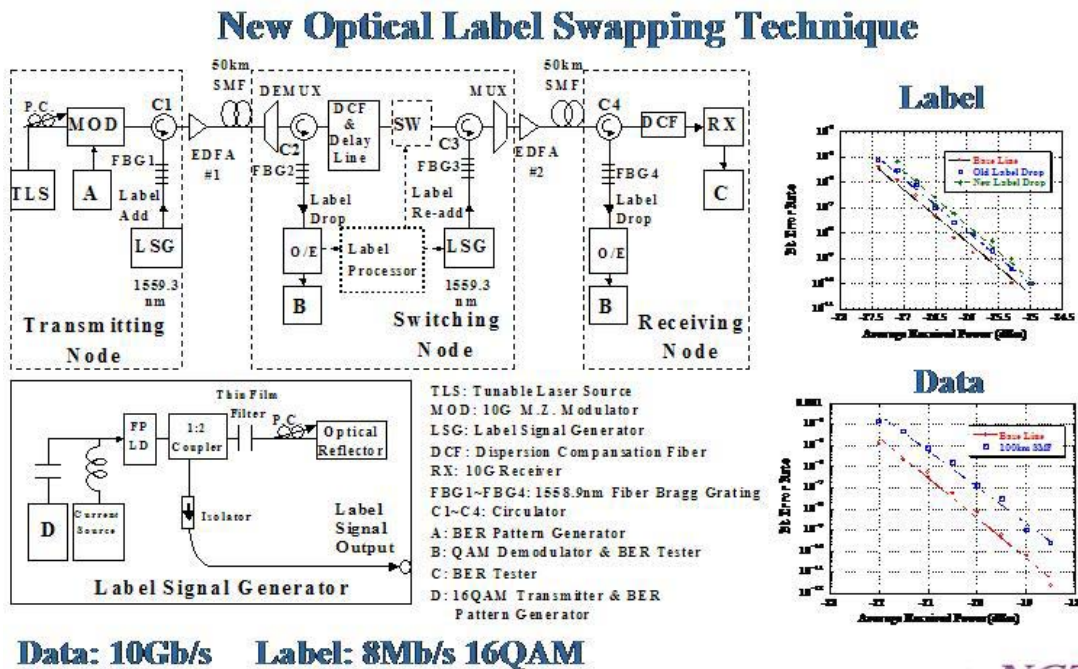
NCTU

圖六：S-band 光放大器實驗結果

- (1) 子計畫一【高密度分波多工技術應用於全光網路的光交換與波長繞徑之研究】
 在這三年的研究中此子計畫已發展出一種新型的快速可調頻雷射光源，可用來發展光交換與波長繞徑之應用。



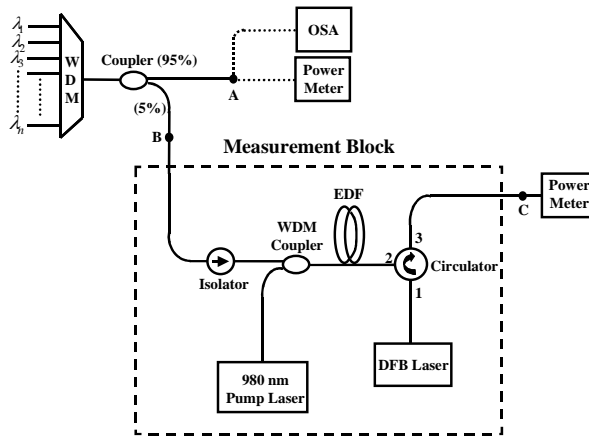
圖七：快速可調頻雷射光源



Data: 10Gb/s Label: 8Mb/s 16QAM

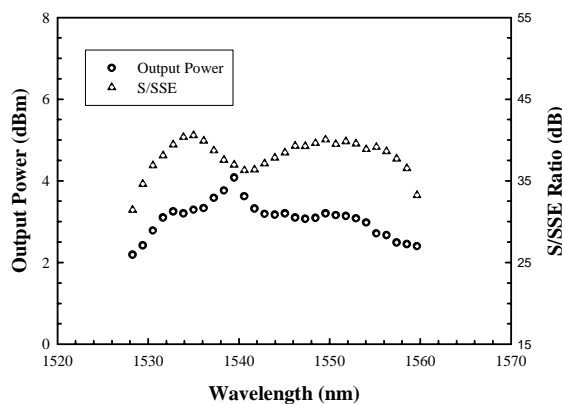
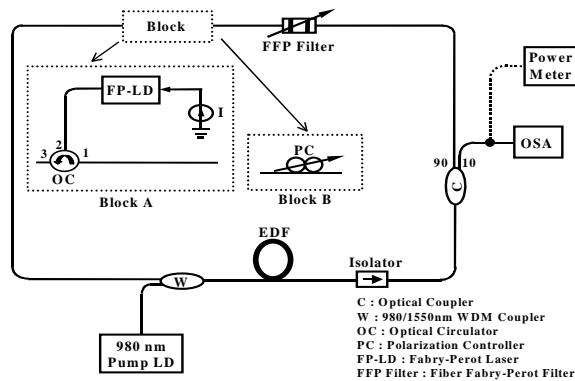
圖八：Optical label swapping 實驗

也發展出了一種新的 DWDM 光功率監控技術，可以不使用窄頻濾波器或光譜量測設備即能準確量出各個波道的光功率。其架構如圖所示，係利用 gain-locked EDFA 之特性，量測時 scan 不同的 pump power, 利用預先 calibrate 好的線性關係係數即可算出入射的 DWDM 波道光功率。

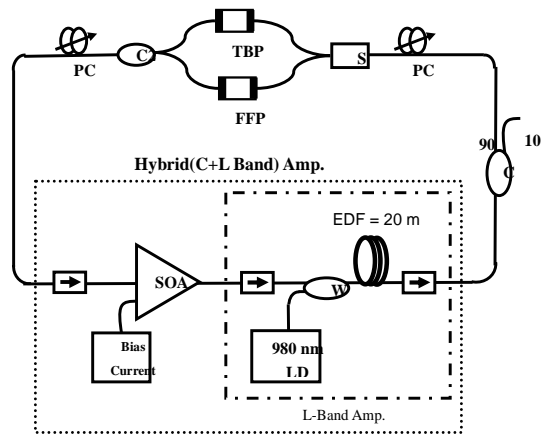


圖九：DWDM 波道功率監控裝置

另外也發展出新型的可選頻雷射以及新型的寬頻光放大器：



圖十：新型的可選頻雷射架構及其實驗結果

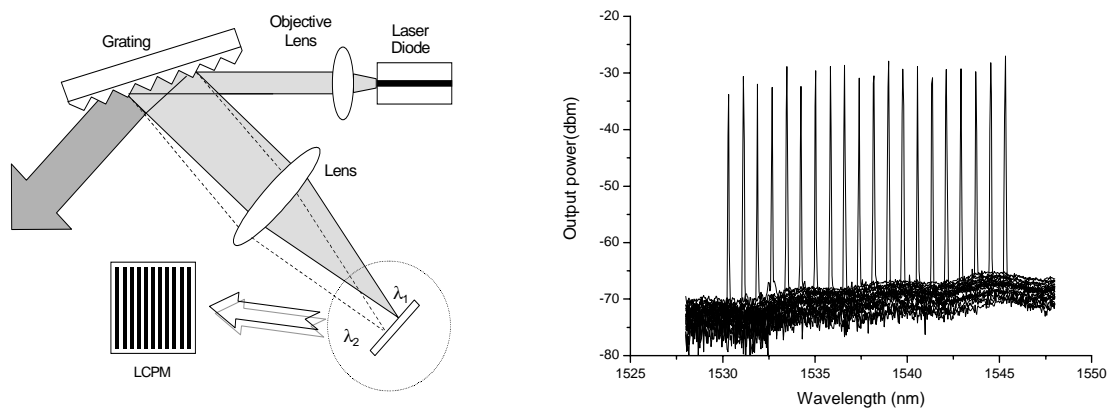


圖十一：新型的混合式寬頻光放大器架構

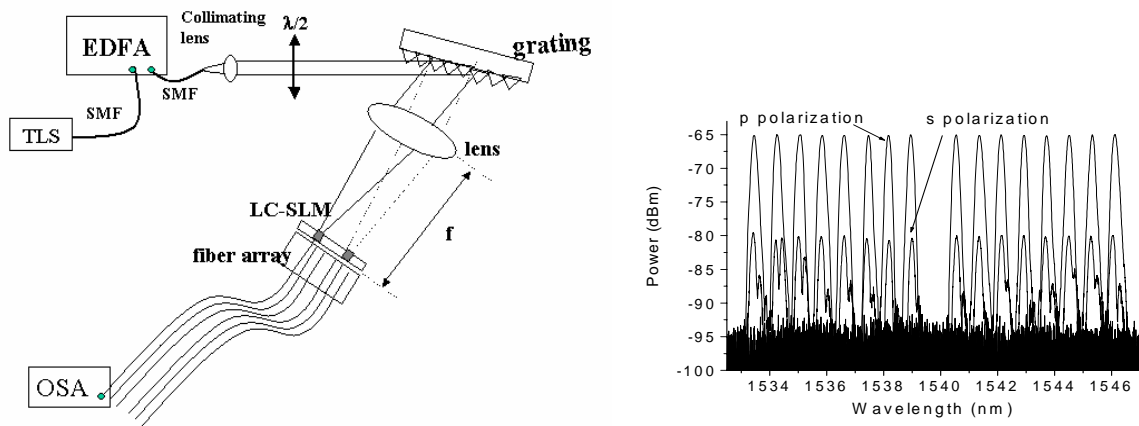
其他更詳細的研究成果請見此子計畫的成果報告。

(2) 子計畫二【DWDM用多波長雷射之研究】

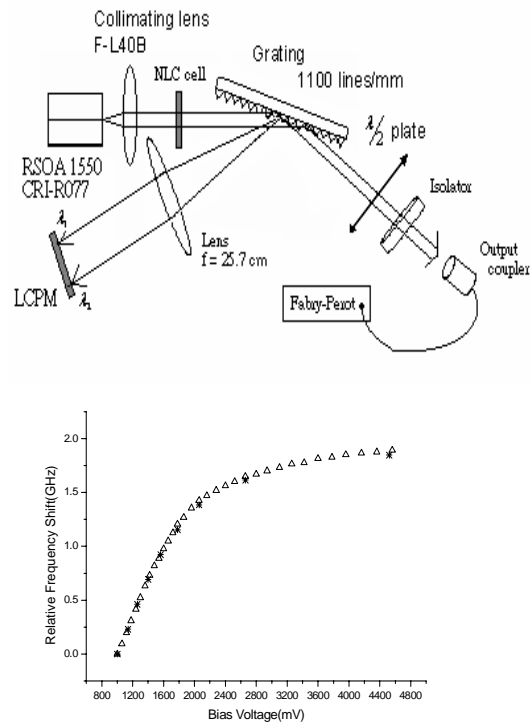
在這三年的研究中此子計畫發展出利用電控液晶反射鏡的方式來達到控制雷射單波長雙波長或三波長的輸出，以及利用類似的設計來製作可電控的濾波器或波長解多工器等 DWDM 光通訊模組。



圖十二：波長可調雷射架構及結果



圖十三：可調波長多工／解多工器架構及結果

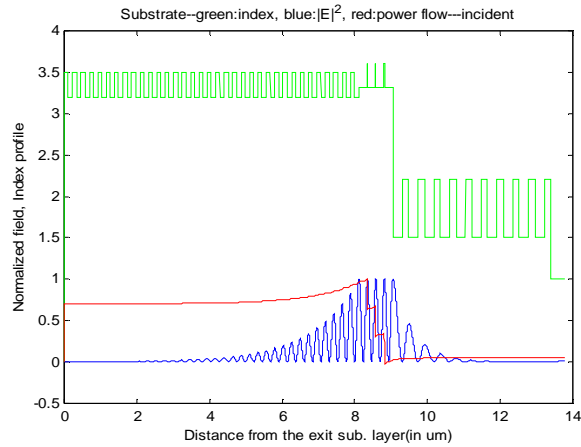


圖十四：精密可微調波長雷射

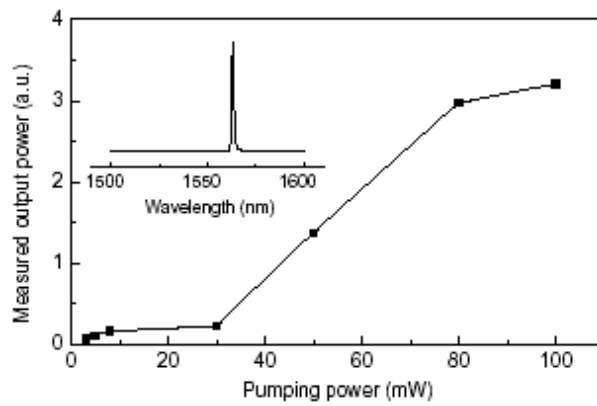
其他更詳細的研究成果請見此子計畫的成果報告。

(3) 子計畫三【DWDM 用長波長面射型雷射之研發】

在這三年的研究中此子計畫已完成 Optically pumped 1550nm VCSEL 的製作。藉著使用融合鍵結的方式整合磷化銦(InP)長波長主動層到砷化鎵(GaAs)及介電材料系列的高反射率布拉格鏡面上可製作出長波長的面射型雷射，未來在只要在 DBR 部分加 p-type 及 n-type 的 dopant，優化長晶條件，降低串聯電阻，便可製成導電的電激發長波長 VCSEL。

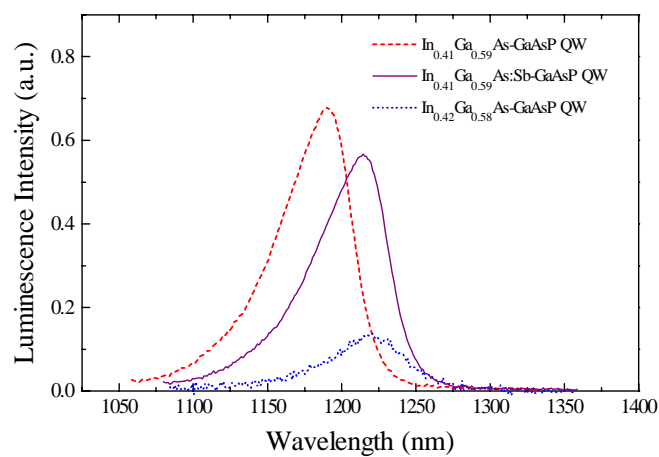


圖十五：InP-based VCSEL 的結構、電場與能量的模擬



圖十六：元件出射光強度對入射激發雷射光強度圖

本子計畫也探討了利用 InGaAs 與 InGaAs:Sb 量子井來製作 1300nm 波段雷射的可能性。



圖十七、不同銦含量的 InGaAs 與 InGaAs:Sb 量子井的光激輝光光譜

以及製作出 InP/airgap 布拉格反射鏡：

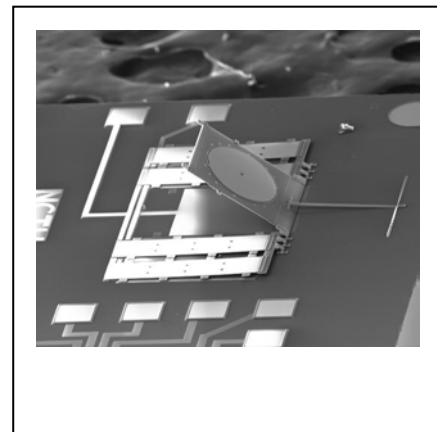
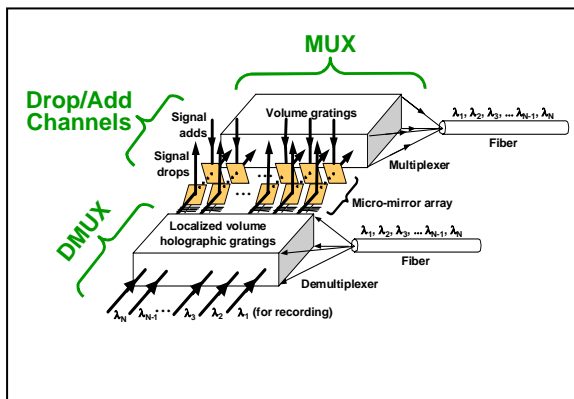


圖十八、InP/airgap 布拉格反射鏡

其他更詳細的研究成果請見此子計畫的成果報告。

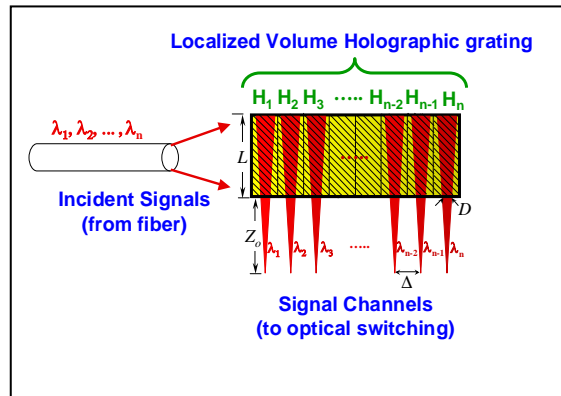
(4) 子計畫四【全像三維光學連線在高密度波長多工通訊網路應用之研究】

在這三年的研究中此子計畫已完成全像式 DWDM 光分波多工器的理論分析與設計，並進行實驗來證明明確可以達到光分波多工的效果，實驗架構及結果如下圖所示。我們也進行了串接式體積全像光學窄頻寬濾波器設計與分析，並已初步設計出新型的體積全像光學濾波元件，也已在三維光學連線上取得初步結果。



圖十九、WADM 模

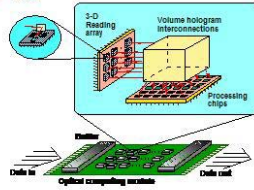
圖



圖二十、全像光學式多工解多工器示意圖

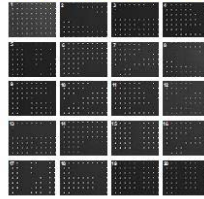
3D Optical Interconnection

- 目標為尋找 Volume Holographic Gratings 之平行相連特性的 niche applications, 目前在三維光學連線已取得初步成果, 將作為OEIC或SOC的先期研究。



結合光學高密度連線及電子高速
度邏輯運算晶片的光學計算模組

Interconnection Achieved by different point sources



Invited talk, Opt. Display & Processing, Korea, 2002
Invited talk, Photonics Design and Application, Japan, 2002
No 2, Vol 12, J. Opt. Memory & Neural Net, 2003

623-624, 19th ICO Congress, Italy, 2002
348-350, Vol II, Photonics Taiwan, 2002



圖二十一：三維光學連線

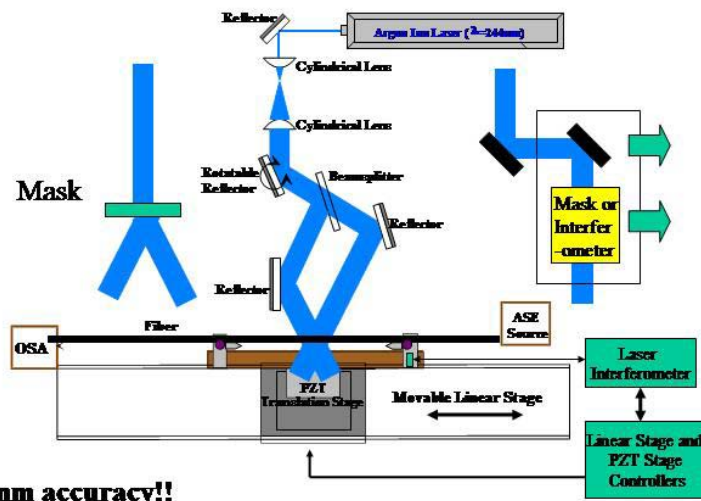
其他更詳細的研究成果請見此子計畫的成果報告。

(5) 子計畫五【新型 DWDM 光纖式元件之研究】：

在這三年裏此子計畫的研究成果主要是在以下這幾方面：

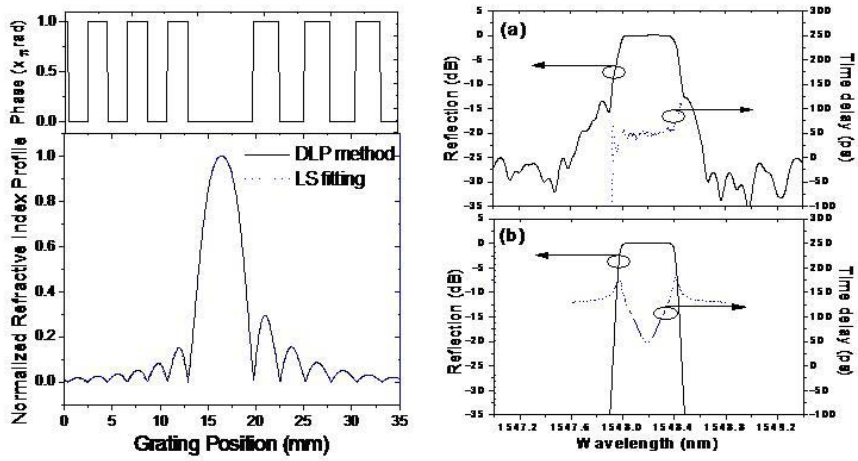
- (a) 發展出光纖光柵元件的最佳化設計方法，並設計出新型之 LPG EDFA Gain flattening filter 以及新型之無色散 FBG 元件。
- (b) 發展出光纖光柵元件的新型製作方法並實際製作出無色散 FBG 元件。
- (c) 建立新型光纖光柵色散特性量測技術。
- (d) 發展出新型飛秒級高重複率鎖模光纖雷射。
- (e) 發展出光纖光柵光固子的量子理論。
- (f) 發展出 tapered fiber device 及晶體光纖的有限元素法模擬分析程式。

Step-Scan Exposure

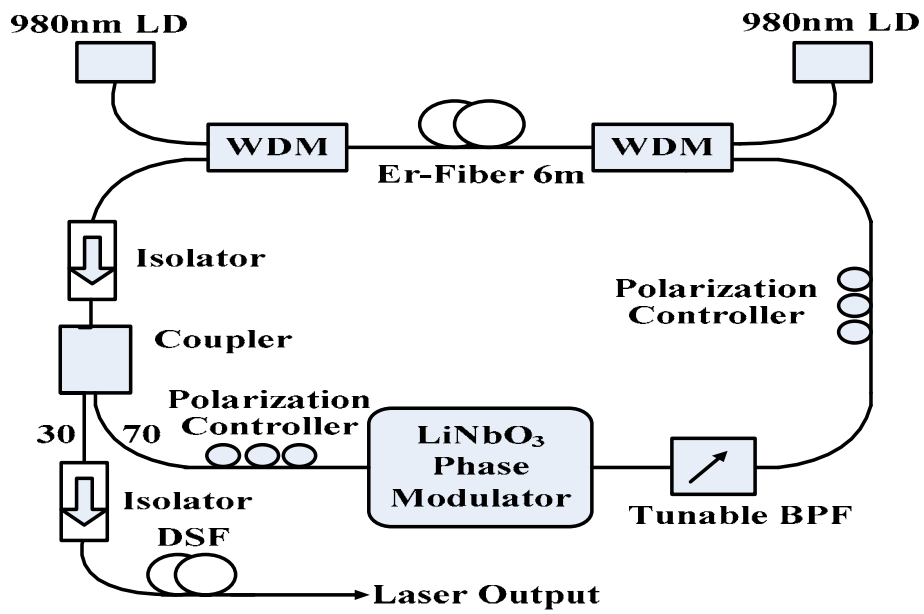


圖二十二：光纖光柵曝製系統

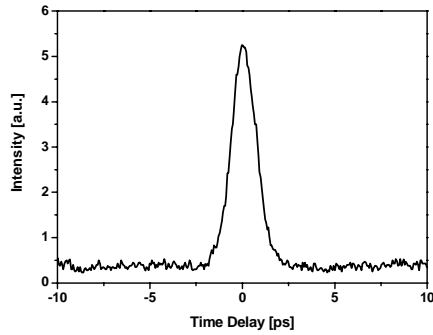
Fabricated Dispersionless FBG



圖二十三：製作出的無色散布拉格光柵



圖二十四：非同步鎖模光纖雷射系統

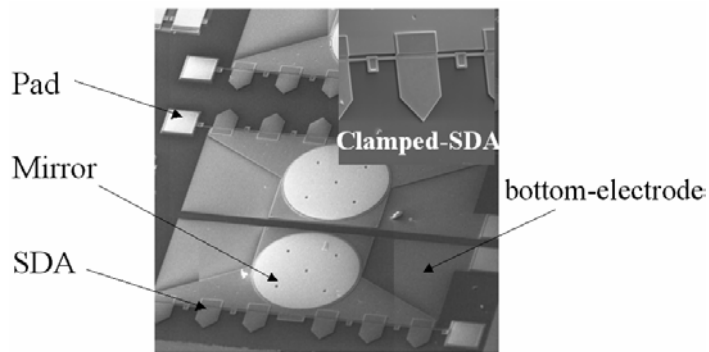


圖二十五：Auto-correlation trace of the output pulses

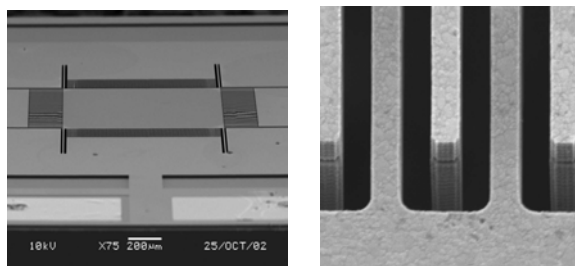
其他更詳細的研究成果請見此子計畫的成果報告。

(6) 子計畫六【以微機電技術開發應用於高密度波長多工通訊網路之光切換元件研究】

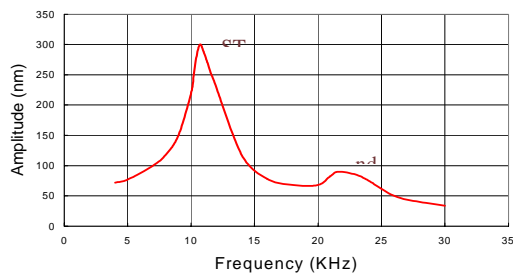
在這三年裏此子計利用微機電技術開發之 SDA 外型改變產生數位/類比式運動的微振鏡光學元件進行研究，並將其應用於高密度波長多工通訊網路之光切換元件。此元件可以達到數位式與類比式掃瞄功能，相當適合用來作為光通訊用 Optical Switch 之各種應用。在此子計畫中，一種可以大大減簡化目前 SOI-MEMS 的新製程技術也已被發展出來。此新技術是使用自動對準的多層 SOI 製程，經由氮化矽以及多晶矽沈積在 SOI 晶片以及四道光罩的對準上製作出額外的界電層以及結構層。利用此製程技術，雙梳狀結構的致動器已被製造完成。在 30 伏特的驅動電壓下，此致動器可達成 250 奈米的垂直移動。。



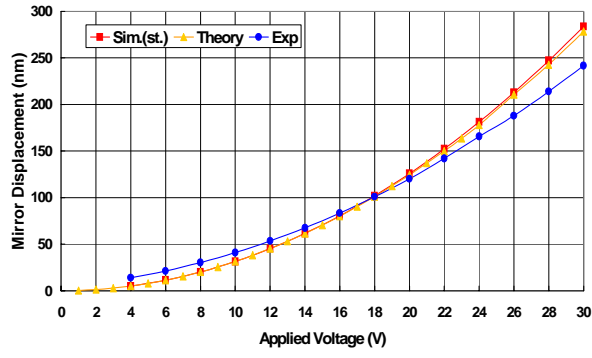
圖二十六：微機電振鏡



圖二十七：微機電致動器



圖二十八：微機電致動器共振頻率量測



圖二十九：微機電致動器位移量測

其他更詳細的研究成果請見此子計畫的成果報告。

5. 參考文獻

- [1] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, and Sien Chi, "A Tunable S-Band Erbium-Doped Fiber Ring Laser," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 15, no. 8, pp. 1503-1504, August 2003.
- [2] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, and Sien Chi, "Fiber Laser is Wavelength-Tunable for the S-Band," selected by *Photonics Spectra Magazine*, USA, pp. 84-85, October 2003.
- [3] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, Chih-Yang Chen, and Sien Chi, "S-Band Gain-Clamped Erbium-Doped Fiber Amplifier by Using Optical Feedback Method," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 1, pp. 90-92, January 2004.
- [4] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, Chih-Yang Chen, and Sien Chi, "A Tunable C-plus-L Band Fiber Ring Laser Based on Hybrid Amplifier," *Japanese Journal of Applied Physics*, part 1, vol. 43, no. 2, pp. 650-651, February 2004.
- [5] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, Chih-Yang Chen, and Sien Chi, "A Stabilized and Tunable Erbium-Doped Fiber Ring Laser with Double Optical Filter," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 3, pp. 765-767, March 2004.
- [6] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, Yaw-Wen Hsu, and Sien Chi, "Fast Wavelength-Tunable Laser Technique Based on a Fabry-Perot Laser Pair with Optical Inter-Injection," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 3, pp. 891-893, March 2004.
- [7] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, and Sien Chi, "Fast Tunable Laser Based on Fabry-Perot Lasers with Optical Injection," *Optical Engineering*, vol. 43, no. 4, pp. 812-815, April 2004.
- [8] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, and Sien Chi, "Fast Wavelength Switching Based on a Fabry-Perot Laser Pair Using Optical Injection," *Japanese Journal of Applied Physics*, part 1, vol. 43, no. 6A, pp. 3454-3455, June 2004.
- [9] Chien-Hung Yeh, Chien-Chung Lee, and Sien Chi, "120-nm Bandwidth Erbium-Doped Fiber Amplifier Module in Parallel Configuration," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 7, pp. 1637-1639, July 2004.
- [10] Chien-Hung Yeh, Kuo-Hsiang Lai, Chien-Chung Lee, and Sien Chi, "Simultaneously Gain-Flattening and Gain-Clamping Technique for Erbium-Doped Fiber Amplifiers by Backward Injection of a Fabry-Perot Laser Light," *Japanese Journal of Applied Physics*, part 1, vol. 43, no. 7A, pp. 4238-4239, July 2004.
- [11] Chien-Hung Yeh, Kuo-Hsiang Lai, Ying-Jie Huang, Chien-Chung Lee, and Sien Chi, "Hybrid L-Band Optical Fiber Amplifier Module with Erbium-Doped Fiber Amplifiers and Semiconductor Optical Amplifier," *Japanese Journal of Applied Physics*, part 1, vol. 43, no. 8A, pp. 5357-5358, August 2004.
- [12] Yu-Pin Lan, Chao-Yuan Chen, Ru-Pin Pan, and Ci-Ling Pan, "Fine Tuning of a Diode Laser Wavelength by a Liquid Crystal Intracavity Element," *Opt. Eng.*, Vol. 43, No. 1, pp. 234-238, January 2004.
- [13] Yu-Pin Lan, Ci-Ling Pan, and Ru-Pin Pan, "Mode-hop-free tuning of an external cavity diode laser with an intracavity liquid crystal cell," *Optics Lett.*, Vol. 29, No. 5, pp. 510-512, March 1, 2004.
- [14] Ming-Jay Huang, Ru-Pin Pan, Chia-Rong Sheu, Yu-Ping Lan, Yi-Fan Lai and Ci-Ling Pan, "Multimode Optical Demultiplexer for DWDM with Liquid Crystal Enabled Functionalities," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 40, No. 10, pp. 2254-2256, October 2004.
- [15] T C. Lu, Tsai, Z. T. Chu, Y. S. Chang, and S. C. Wang, "InP/InGaAlAs distributed Bragg reflectors grown by low pressure metal organic vapor deposition," *J. of Crystal Growth* Vol. 250/3-4, 305, March 2003
- [16] H. C. Kuo, Y. S. Chang, F. Y. Lai, T. H. Hsueh, L. H. Lai, and S. C. Wang, "High speed modulation of 850 nm InGaAsP/InGaP strain-compensated VCSELs", *Electronics Letters*, Vol. 39, No. 14, 1051, July 2003

- [17] J. Y. Tsai, T. C. Lu, and S. C. Wang, "High reflectivity distributed Bragg reflectors for 1.55 μm VCSELs using InP/air-gap," *Solid State Electronics*, vol. 47, issue 10, 1825, Oct. 2003
- [18] Fang-I Lai, Tao-Hung Hsueh, Ya-hsien Chang, Wen-chun Shu, Li-Hung Lai, H. C. Kuo and S. C. Wang, "Performance of 850 nm VCSEL utilizing Si implant induced disordering," *Solid State Electronics*, vol. 47, issue 10, 1805, Oct. 2003
- [19] T. H. Hsueh, H. C. Kuo, F. I. Lai, L. H. Lai and S. C. Wang, "High speed characteristics of large area single transverse mode vertical cavity surface emitting lasers," *Electronics Letters*, Vol. 39, No. 21, 1519, Oct. 2003
- [20] H. C. Kuo, S. C. Wang, "MOCVD growth of high performance InGaAsP/InGaP strain-compensated VCSELs with 850 nm emission wavelength," accepted for publication in *J. Crystal Growth*, Nov. 2003
- [21] T. C. Lu, Z. T. Chu, J. Y. Chu, Y. S. Chang and S. C. Wang, "Comparison of InP/InGaAlAs and InAlAs/InGaAlAs distributed Bragg reflectors grown by metalorganic chemical vapor deposition," *Material Sciences & Engineering V107*, No. 1, pp66-70 Feb. 2004
- [22] H. C. Kuo, Y. S. Chang, F. Y. Lai, T. H. Hsueh, L. T. Chu, L. H. Lai and S. C. Wang, "High speed performance of 850 nm silicon-implanted AlGaAs/GaAs vertical cavity emitting lasers," *Solid-State Electronics*, Volume 48, Issue 3, March 2004, Pages 483-485
- [23] F. I. Lai, T. H. Hsueh, Y. H. Chang, H. C. Kuo, S. C. Wang, L. H. Lai, C. P. Song, H. P. Yang, "10 Gb/s single-mode vertical-cavity surface-emitting laser with large aperture and oxygen implantation," *Semiconductor Science and Technology*, 19 (8): L86 2004
- [24] Y. H. Chang, Fang-I Lai, C. Y. Lu, H. C. Kuo, H. C. Yu, C. P. Sung, H. P. Yang, S. C. Wang, "High-speed (>10 Gbps) 850 nm oxide-confined vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs) with a planar process and reduced parasitic capacitance," *Semiconductor Science and Technology*, 19 (7): L74-L77 2004
- [25] L. H. Lai, H. C. Kuo, G. R. Lin; L. W. Lai, S. C. Wang, "As+ implanted AlGaAs oxide-confined VCSEL with enhanced oxidation rate and high performance uniformity," *IEEE Photonic Technology Letter*, 16 (6): 1423-1425 JUN 2004 (SCI)
- [26] H. W. Huang, C. C. Kao, J. Y. Tsai, C. C. Yu, C. F. Chu, J. Y. Lee, S. Y. Kuo, C. F. Lin, H. C. Kuo and S. C. Wang, "Effect of rapid thermal annealing on beryllium implanted p-type GaN" *Material Sciences & Engineering B-Solid State Materials for Advanced Technology* 107 (3): 237-240 MAR 25 2004
- [27] H. C. Kuo, Y. S. Chang, C. F. Lin, T. C. Lu, and S. C. Wang, "MOCVD growth of high-performance InGaAsP/InGaP strain-compensated VCSELs with 850 nm emission wavelength," *J. of Crystal Growth*, 261 (2-3) 355-358 Jan. 19 2004
- [28] Y. H. Chang, H. C. Kuo and S. C. Wang, "Comprehensive study of high speed (>10Gbps) 850nm oxide-confined vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs) with planar process and reduced parasitic capacitance", accepted by *Semiconductor Science and Technology*, April 2004
- [29] A. K. Zajtsev, S. H. Lin and Ken Y. Hsu, "Sidelobe suppression of spectral response in holographic optical filter," *Opt. Comm.*, Vol. 190, pp 103-108, 2001.
- [30] J. Mumburu, I. Solomatine, D. Psaltis, S. H. Lin, K. Y. Hsu, W. Z. Chen, and W. T. Whang, "Comparison of the recording dynamics of phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) materials," *Opt. Comm.*, Vol. 194, pp. 103-108, 2001.
- [31] A. K. Zajtsev, S. H. Lin and Ken Y. Hsu, "Optical demultiplexer based on photopolymer grating for DWDM applications," *J. Opt. Memory & Neural Networks*, Vol. 10, No. 2, 117-124, 2001.
- [32] A. K. Zajtsev, S. H. Lin, and Ken Y. Hsu, "Anisotropic diffraction of light by volume holographic grating in birefringent photorefractive crystals with extended wavelength range," *Optics Express*, Vol. 10, No. 4, 204-209, 25 February, 2002.

- [33] 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.
- [34] Shiu-an Huei Lin, Ken Y. Hsu, Yi-nan Hsiao, and Wha-Tzong Whang, "Quinone-based molecules doped poly(methyl methacrylate) photopolymer for volume holographic data storage," *Proceeding of SPIE*, 4929, pp. 208-213, 2002
- [35] Ken Y. Hsu, Shiu-an Huei Lin, Yi-nan Hsiao, and Wha-Tzong Whang, "Experimental characterization of phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) photopolymer for volume holographic storage", *Opt. Eng.*, Vol. 42, No. 5, 1390-1396, May 2003.
- [36] Shiu-an Huei Lin, "Doped PMMA photopolymer for volume holographic recording," *Proceeding of SPIE*, 5206, 1-6, 2003.
- [37] Ken Y. Hsu and Shiu-an Huei Lin, "Holographic data storage using photopolymer," *Proceeding of SPIE*, 5206, 142-148, 2003.
- [38] 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," *J. Opt. Memory & Neural Networks*, 12, No. 3, 157-164, 2003.
- [39] Yi-Nan Hsiao, Wha-Tzong Whang and Shiu-an Huei Lin, "Analyses on Physical Mechanism of Holographic Recording in Phenanthrenequinone doped Poly(methyl methacrylate) Hybrid Materials," *Optical Engineering*, Vol. 43, Issue 9, pp. 1993-2002, 2004
- [40] C.-L. Lee and Y. Lai, "Evolutionary Programming Synthesis of Optimal Long-Period Fiber Grating Filters for EDFA Gain-Flattening," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, Vol.14, No.11, 1557 (2002).
- [41] L.-G. Sheu, K.-P. Chuang, and Y. Lai, "Fiber Bragg grating dispersion compensator by single-period overlap-step-scan exposure", *IEEE Photon. Tech. Lett.*, Vol.15, No.7, 1557 (2003)
- [42] C.-L. Lee and Y. Lai, "Synthesis of long-period fiber gratings using evolutionary programming", *Fiber & Integrated Optics*, Volume 23.4., (2004)
- [43] C.-L. Lee and Y. Lai, "Optimal dispersionless fiber Bragg grating filter with shorter grating length and smoother dispersion profile", *Optics Communications* 235, pp.99-106, (2004).
- [44] C.-L. Lee and Y. Lai, "Evolutionary programming synthesis of advanced fiber grating devices", *CLEO 2003, USA*.
- [45] K.-P. Chuang, L.-G. Sheu, and Y. Lai, "Pure apodized phase-shifted fiber Bragg gratings fabricated by a two-beam interferometer with polarization control", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, pp. 834-836, (2004).
- [46] K.-P. Chuang, L.-G. Sheu, and Y. Lai, "Complex fiber grating structures fabricated by sequential writing with polarization control", *Optics Letters* 29, pp.340-342 (2004).
- [47] R.-K. Lee and Y. Lai, "Amplitude squeezed fiber Bragg Grating solitons", *Phys. Rev. A* 69, 021801(R), (2004). (also selected for the March 1, 2004 issue of *Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology*)
- [48] Ray-Kuang Lee and Yinchieh Lai, "Quantum theory of fiber Bragg grating solitons", *J. Opt. B: Quantum Semiclass. Opt.* 6, S638-S644, (2004)

至於本計畫之詳細論文發表請參見各子計畫之成果報告。

6. 計畫成果自評

在本計畫中總計畫及子計畫一較屬系統方面之研究，可發展未來新型的光通訊系統架構及所需的關鍵技術。子計畫二的 DWDM 用多波長雷射及子計畫三的長波長 VCSEL 元件可作為未來的光通訊系統光源，子計畫四的全像光學元件及子計畫五的光纖式元件可作為未來的光波長多工／解多工及波長擷取元件，配合子計畫六的微機電光開關更可建構未來的 re-configurable OADM 及 OXC 模組。在本計畫中我們即是以這樣的整合方式來進行群體的研究。從這三年的研究成果中可看出每個子計畫都已有很好的研究成果，總計畫也能發揮整合及提供測試環境的功能，更詳細的成果檢討請見各子計畫之成果報告。

7. 可供推廣之研發成果資料表

請見各子計畫之成果報告。