

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫：成果報告

利用重複環繞之光網路研究在都會區域網路中可重新配置之交換節點

的系統評估 (3/3)

計畫類別： 個別型計畫       整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2215-E-009-064-

執行期間： 92年8月1日至93年7月31日

計畫主持人：陳智弘 國立交通大學光電工程研究所

共同主持人：祁甦 國立交通大學光電工程研究所

計畫參與人員：魏嘉建、陳建宏、陳宥燁：國立交通大學光電工程研究所

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：國立交通大學光電工程研究所

中 華 民 國 93 年 5 月 31 日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

利用重複環繞之光網路研究在都會區域網路中可重新配置之交換節點的系統評估 (1/3)

計畫編號：NSC 92-2215-E-009-064-

執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：陳智弘 國立交通大學光電工程研究所

共同主持人：祁姓 國立交通大學光電工程研究所

計畫參與人員：魏嘉建、陳建宏、陳宥燁:國立交通大學光電工程研究所

## 一、中文摘要

本計畫的主要目的是利用重複環繞之光網路 (re-circulating optical loop) 研究在都會區域網路 (metro area networks, MANs) 中可重新配置之交換節點 (reconfigurable add/drop nodes) 的系統評估。由於光通信系統在「寬距網路 (wide area networks, WANs)」的進步迅速，通信的瓶頸已經逐漸的轉移到都會網路，為了能提供都會網路中較多元的服務需求及更動態變化的交通模式 (traffic pattern)，都會網路需要提供比寬距網路更多元的功能。可重新配置之交換節點能使網路的傳輸更加靈活的使用，進而提供較多元的服務種類

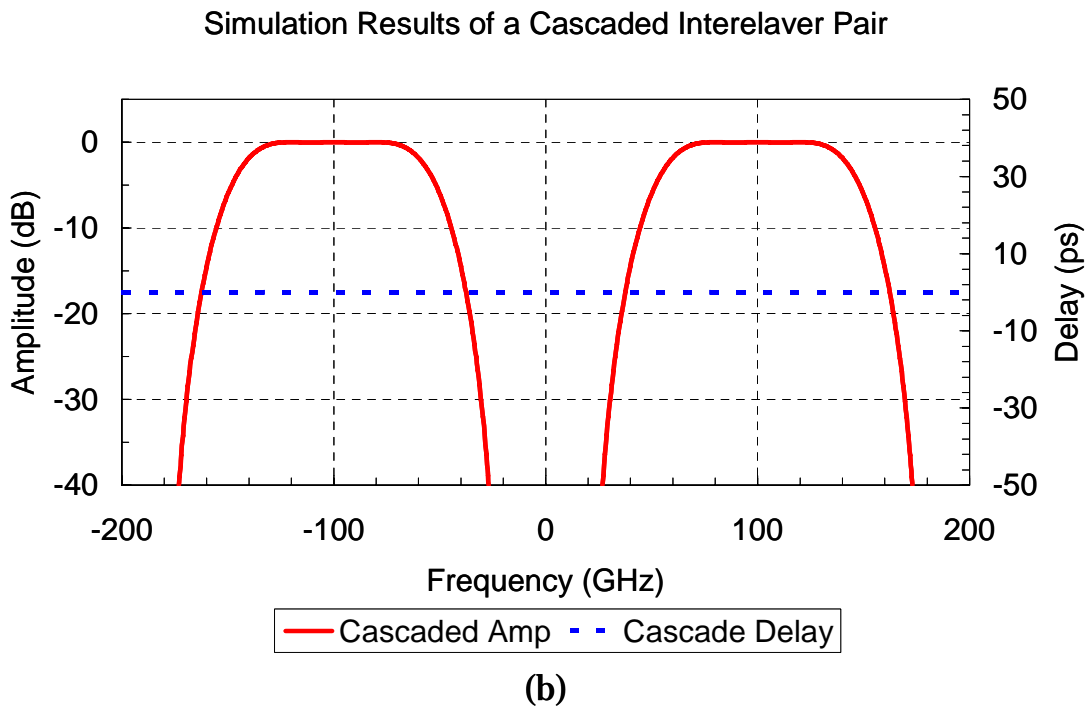
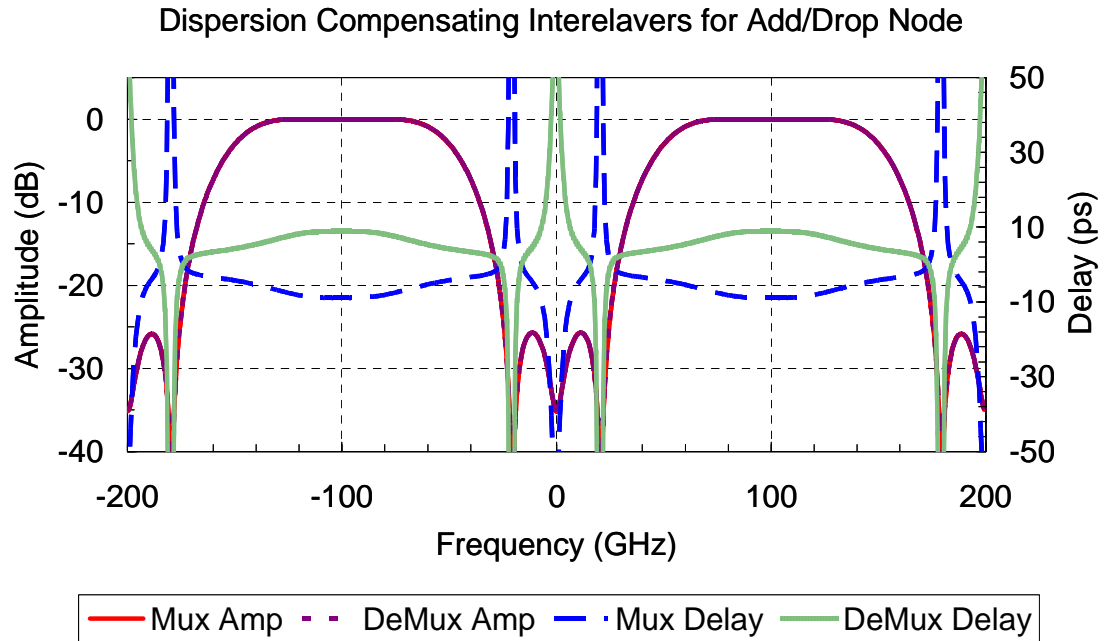
關鍵詞：可重新配置之都會交換節點、色散補償間隔器、重複環繞之光網路。

## Abstract:

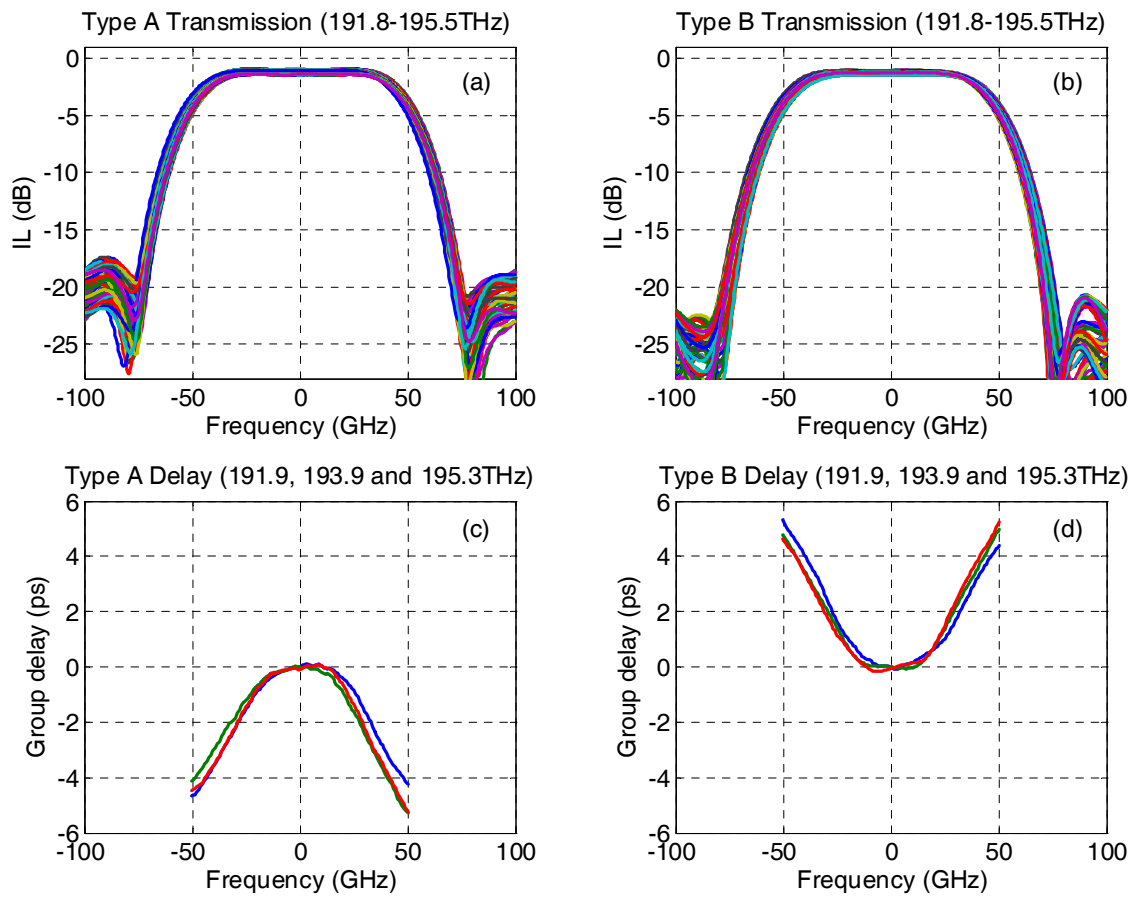
The primary purpose of the project is to study the system performance of reconfigurable metro add/drop nodes using re-circulating optical loop. With the rapid progress of long haul transport systems in wide area networks (WANs), the bottleneck of light-wave system gradually shifts to metro area networks (MANs). To cater different service requirements and to cope with more diversified traffic patterns, metro networks need to provide more functionalities than long haul transport networks. Reconfigurable add/drop nodes will significantly enhance network flexibility and be able to provide the much needed functionalities.

## 二、完整報告

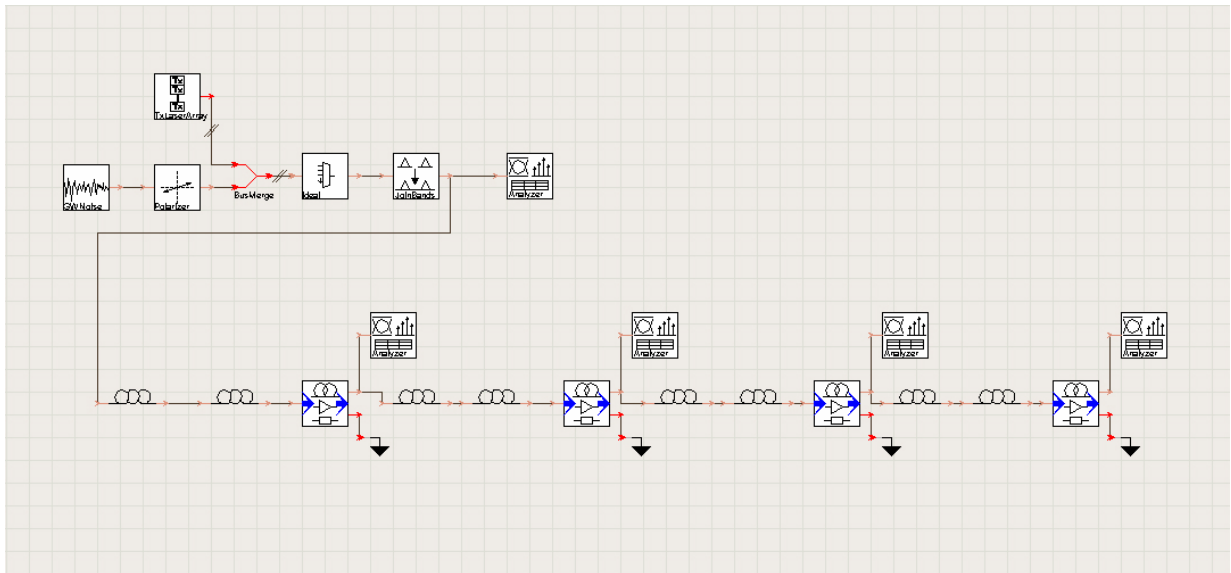
(第一年):在軟體平台上,我們已成功完成 interleaver 之 Matlab 模型的建立,圖一為模擬之振幅與時間延遲之響應圖。然後我們也成功製造出具有兩種時間延遲反應之色散補償間隔器,圖二則為測量之結果。然後我們將此一模型送入 VPI 中,作系統之傳輸之模擬測試。圖三為模擬之系統區塊圖。圖四是間隔器在交換節點中串聯之傳輸誤碼率。



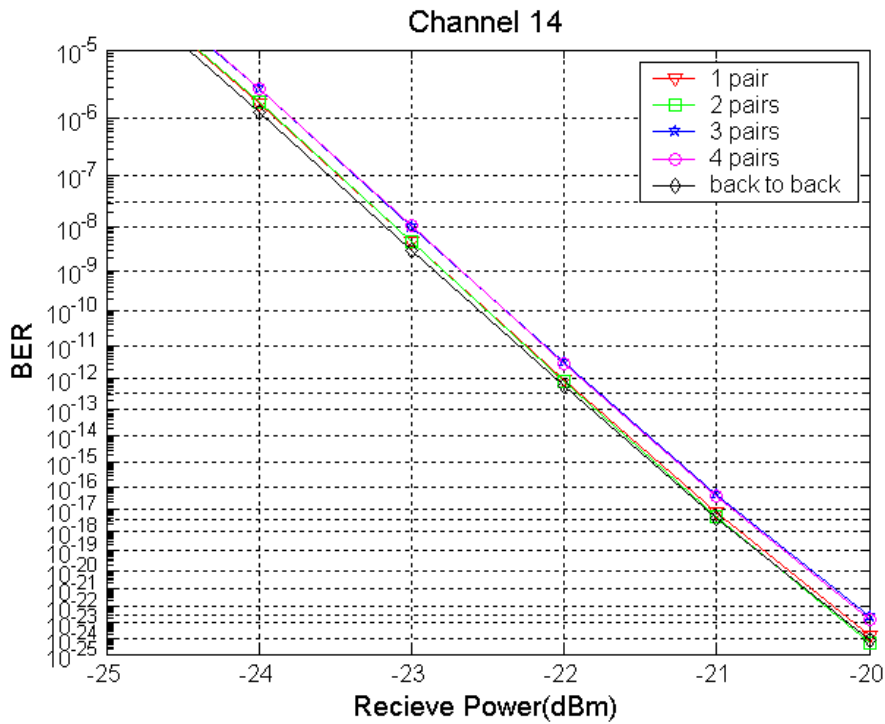
圖一:(a) 以 Matlab 模擬之間隔器振幅與時間延遲響應  
(b)具有相反延遲反應串聯間隔器之振幅與時間延遲響應



圖二:(a) Type I 間隔器之振幅響應圖;(b) Type II 間隔器之振幅響應圖  
(c) Type I 間隔器之時間延遲響應圖;(d) Type II 間隔器之時間延遲響應圖

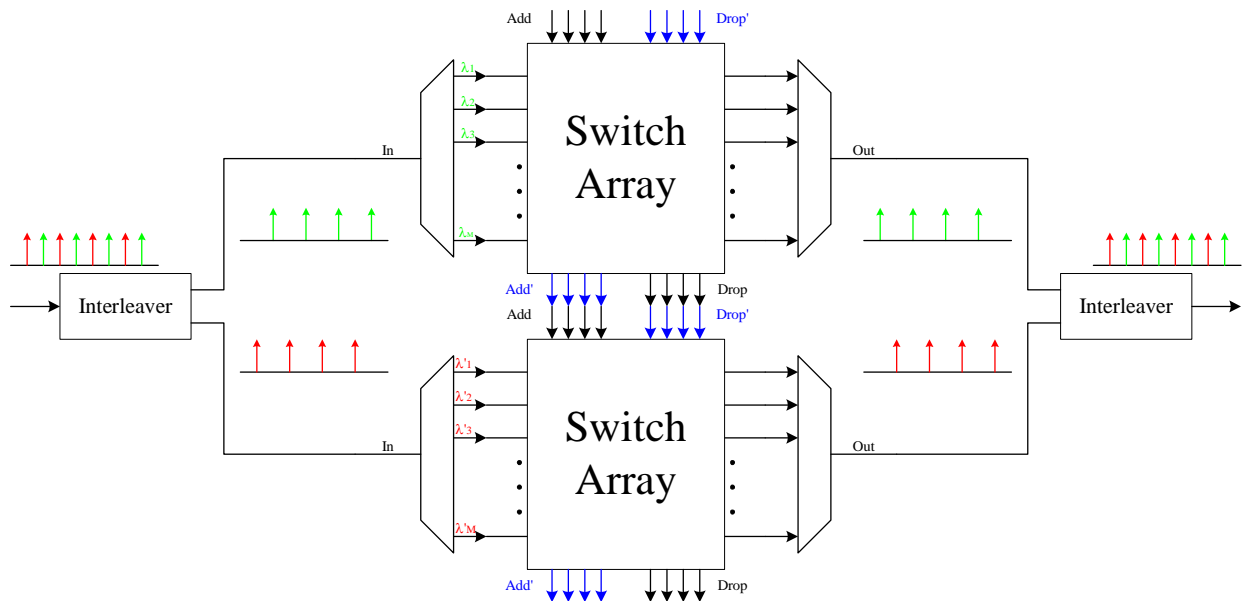


圖三：可交換之置換節點之VPI 模擬系統區塊圖

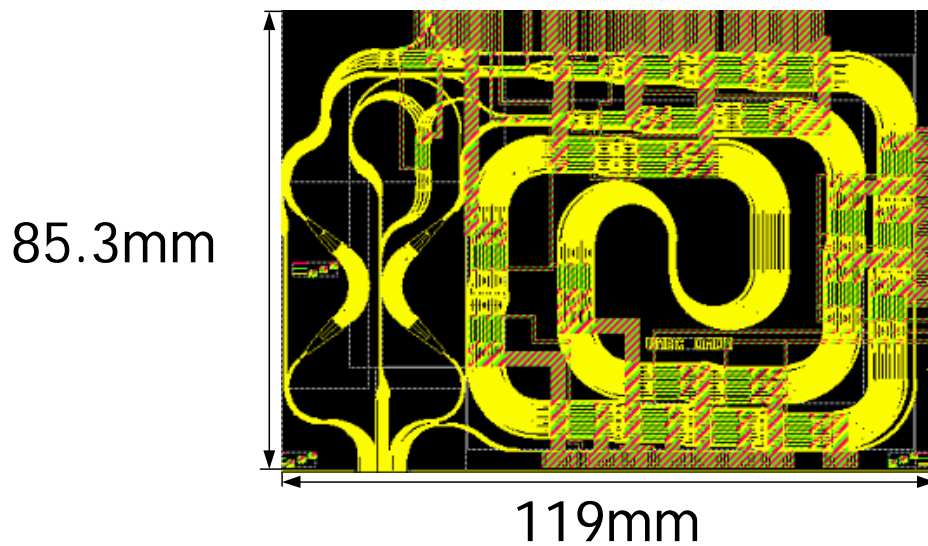


圖四：間隔器在交換節點中串聯之傳輸誤碼率

在置換節點的設計與製作上，我們選定以 Array waveguide grating (AWG) 作為我們實現此一功能的設計平台。我們同時與 U. of Maryland Baltimore County (UMBC) Prof. Ray Chen 與工研院光電所的黄鼎偉博士合作。在共同討論與設計元件所需的特性後，節點的功能區塊圖如圖五所示，UMBC 負責設計元件之光罩，圖六是第二次的光罩設計圖，然後將光罩送到代工廠製作元件。

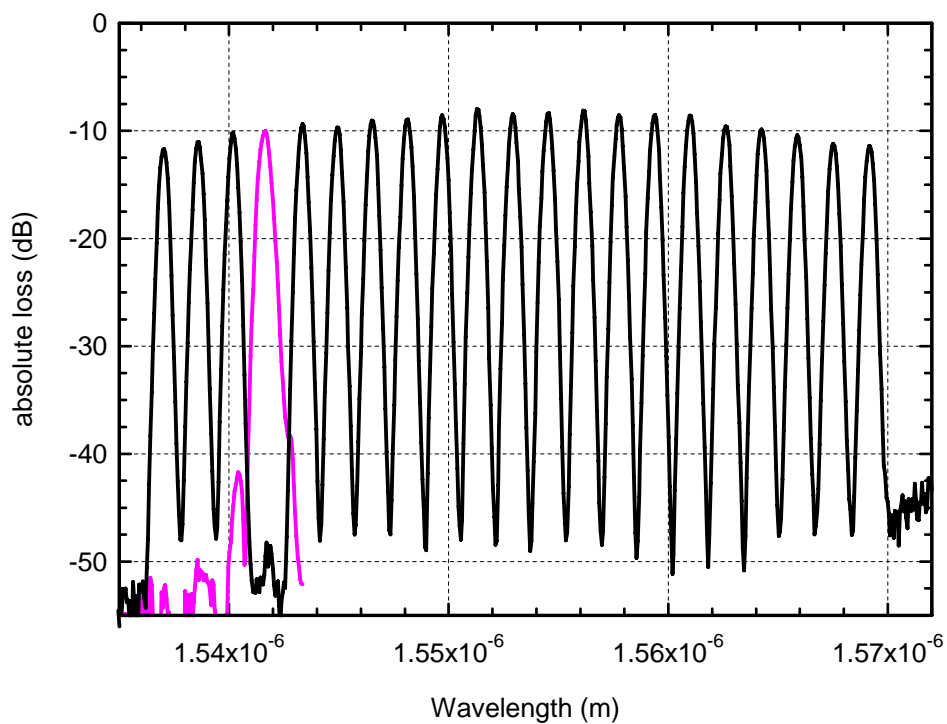


圖五：可交換之置換節點之功能區塊圖



圖六:可交換之置換節點之第二代光罩設計圖

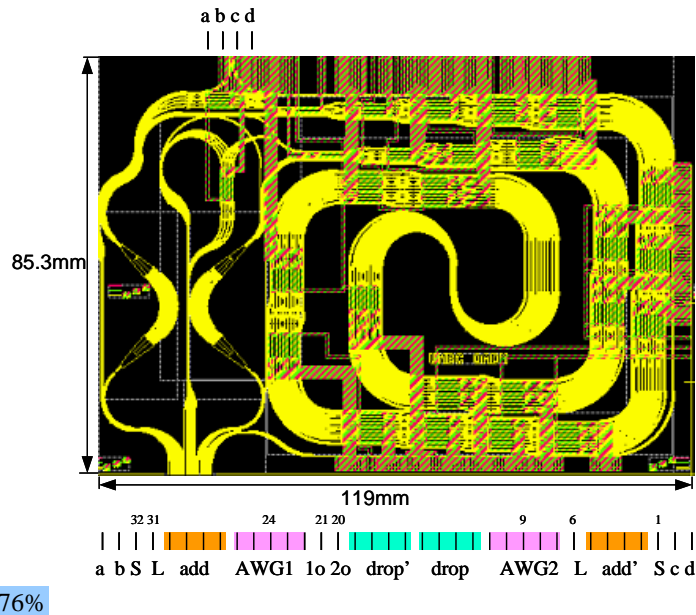
UMBC 負責元件的測試，圖七是測試的結果。然後元件送到工研院光電所作開關的控制電路、溫控與光纖陣列的连接。在完成後，將送到交通大學作光傳輸系統的測試。我們目前在工研院進行封裝的元件，總共有三個，其中兩個是第一代的設計一個是第二代的設計。而我們也同時著手進行第三代的功能區塊圖的設計。



圖七:可交換之置換節點之十八通道進行交換時之波長頻譜圖

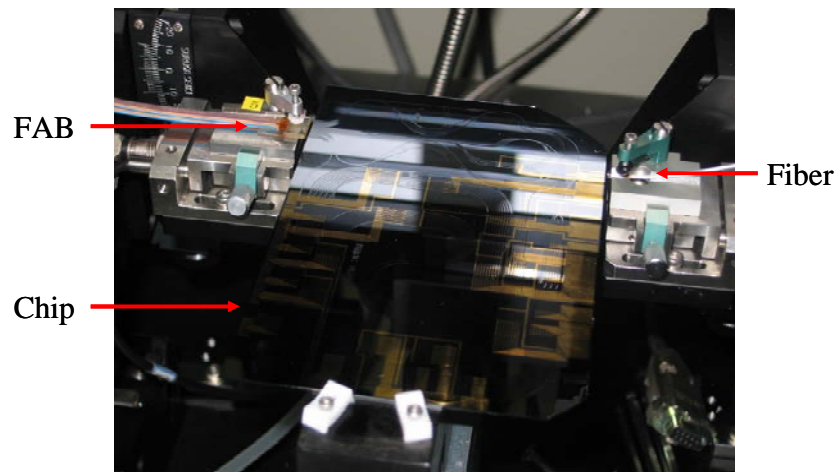
(第二年): 在第一年時, 我們已完成模擬的平台與模型。在置換節點的設計與製作上, 我們選定以 Array waveguide grating (AWG) 作為我們實現此一功能的設計平台。我們同時與 U. of Maryland Baltimore County (UMBC) Prof. Ray Chen 與工研院光電所的張世軍博士合作。在共同討論與設計元件所需的特性後, UMBC 負責設計元件之光罩, 圖八是第二次的光罩設計圖。然後將光罩送到代工廠製作元件。我們在第二年時, 取得 ROADM 的 proto-type。圖九是晶片在光纖對準包裝機上進行包裝的圖片。圖十是完成包裝後, ROADM 的完成照片。在完成包裝與光纖連接後, 我們進行元件的測試。圖十一是我們建構的測試與驅動電路示意圖。由於此一元件有 92 個光開關 (optical switch), 而每一個開關, 是由兩個 Mach-Zehnder 所組成。因此控制此一光開關需要大量的驅動電路。圖十二是完成的元件在接上測試驅動電路的照片。

## 16x4 Cascade-able ROADM Chip



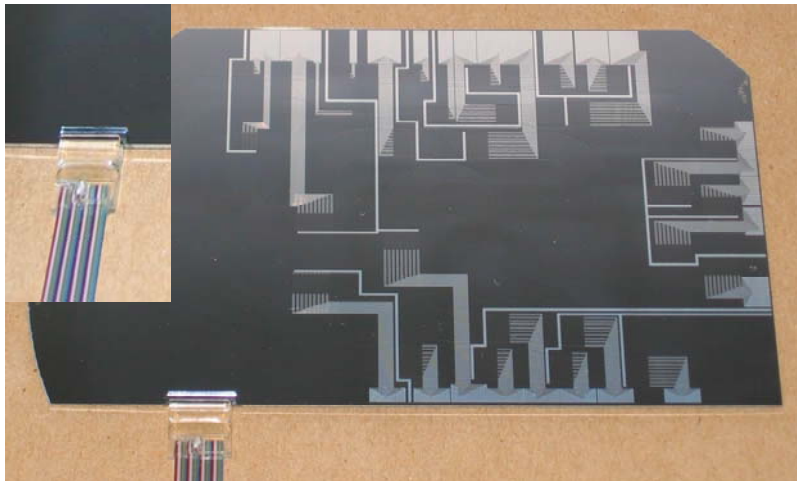
圖八: ROADM 的光罩設計圖

## 16x4 Cascade-able ROADM Chip



圖九: 包裝與光纖連接 ROADM

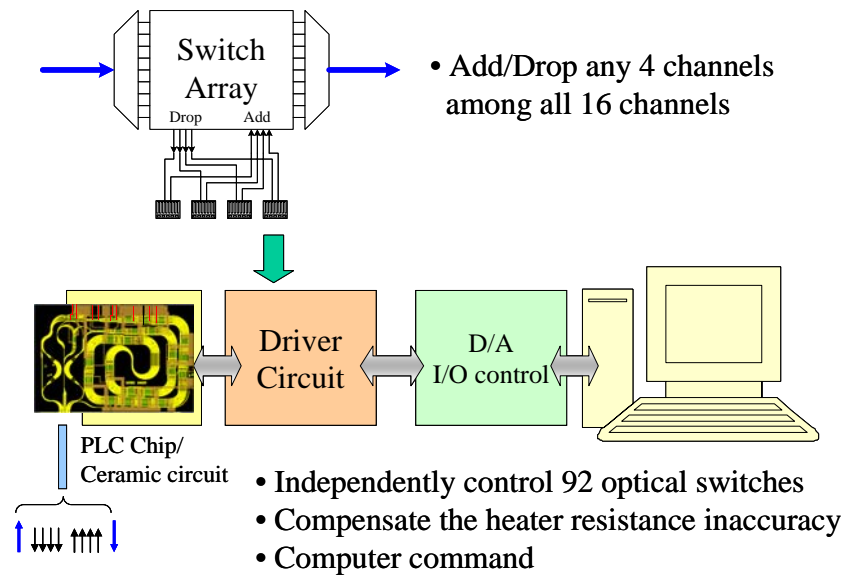
## 16x4 Cascade-able ROADM Chip



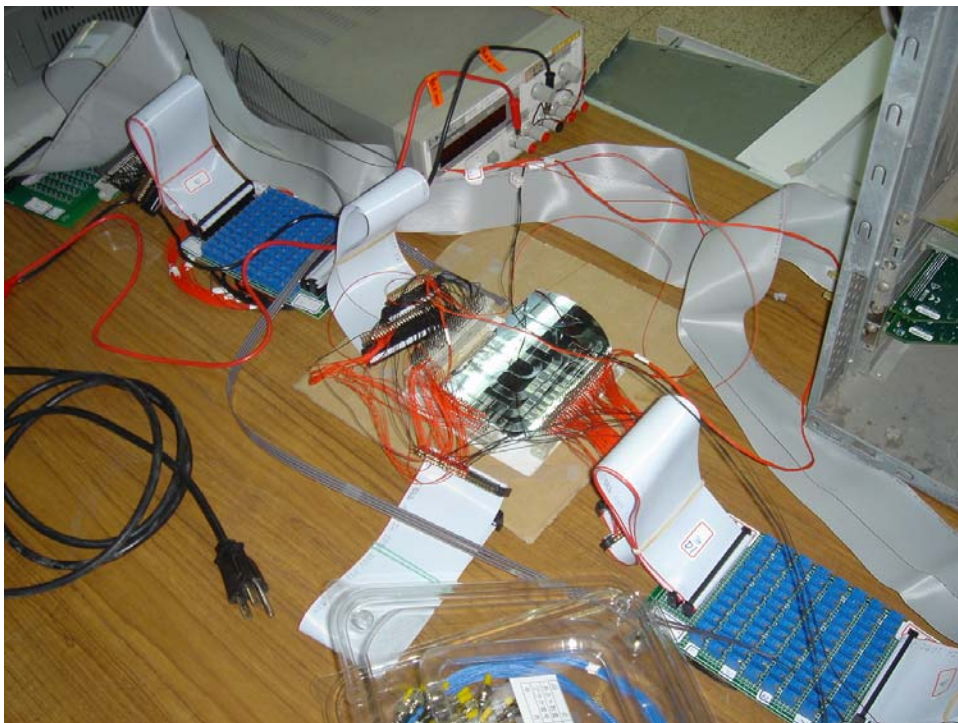
圖十: 完成包裝後與光纖連接的 ROADM



## ROADM – Re-configurable Optical Add/Drop Multiplexer

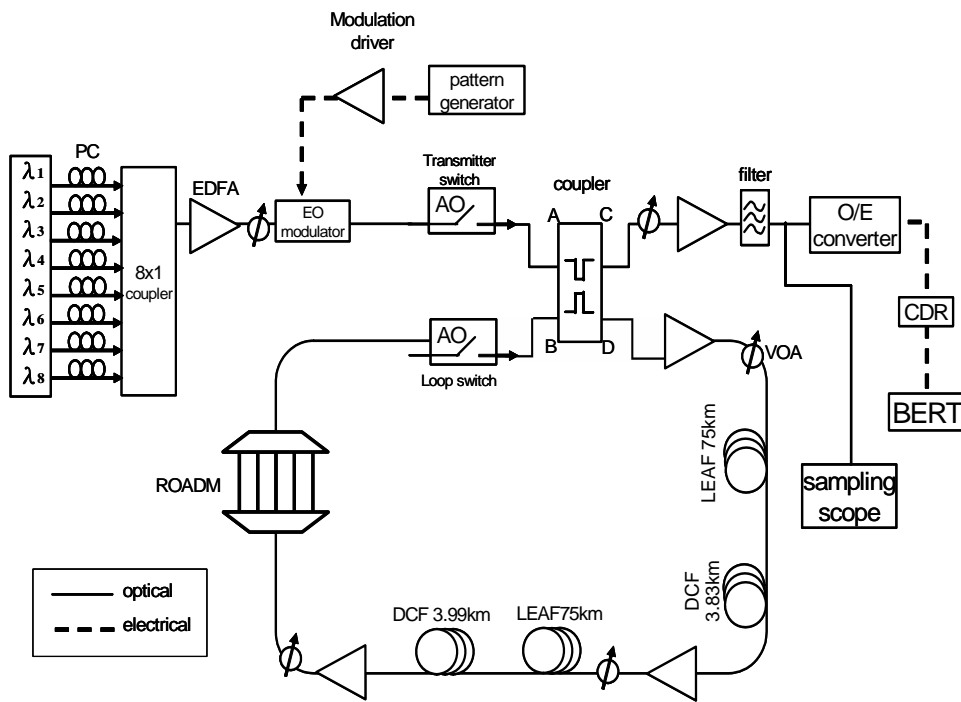


圖十一:可交換之置換節點之測試與驅動電路區塊圖

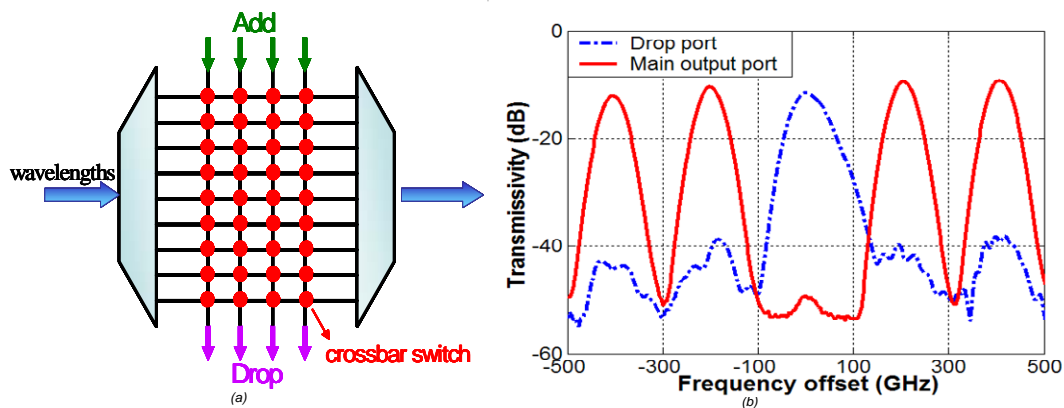


圖十二: ROADMs 之測試與驅動電路完成照片

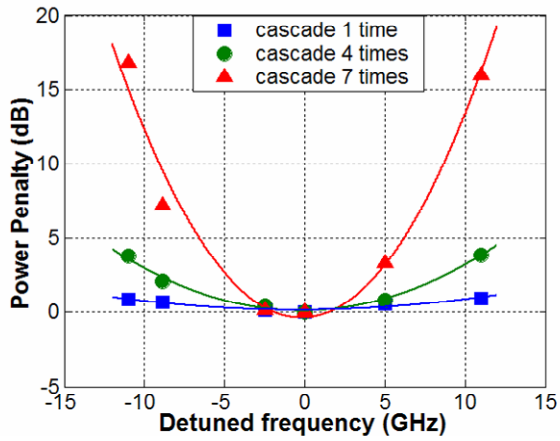
在完成元件包裝後，我們進行系統的測試。圖十三是環繞網路的示意圖。本系統共有八通道，總傳輸量是 80Gbps，每一圈是 150 公里。圖十四是 ROADM 在置換節點的交換表現圖。我們將信號在迴圈內環繞了七圈，也就是約 1100 公里的距離。圖十五 (a) 是由於重複串連所造成濾波器窄化現象，此一缺點將在下一次設計中，以平坦的濾波器解決。(b) 是八個通道的光譜圖，(c) 是在經過 1100 公里傳輸後，八個通道的信號平均收信的靈敏度，我們可看到各通道的表現十分相近，表示我們在 1100 公里的傳輸後，光放大器的串聯平坦度仍十分良好。(d) 是在經過 1100 公里傳輸後的功率與誤碼率圖，我們可看到 penalty 只有 2.5 dB，所以是非常好的結果。



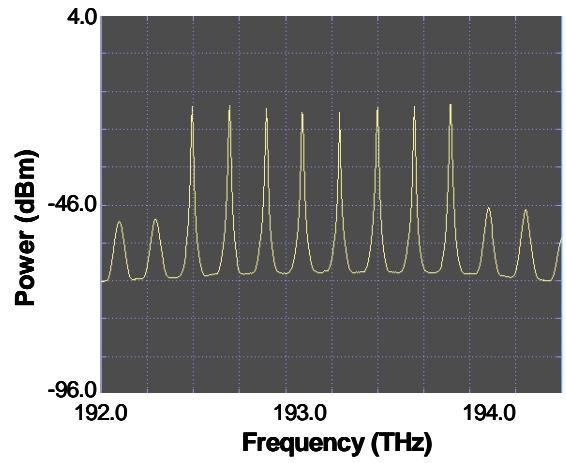
圖十三:可交換之置換節點之十八通道進行交換時之波長頻譜圖



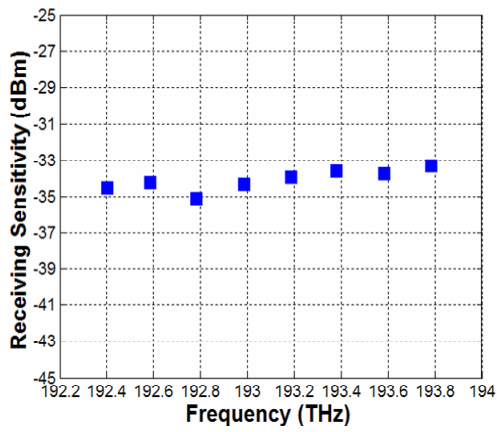
圖十四:可交換之置換節點之十八通道進行交換時之波長頻譜圖



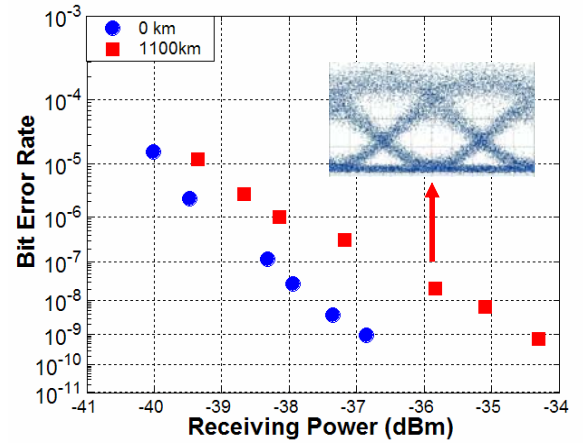
(a)



(b)



(c)

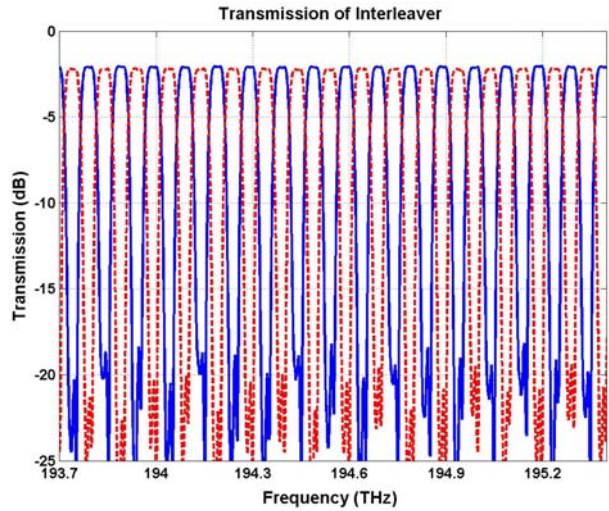
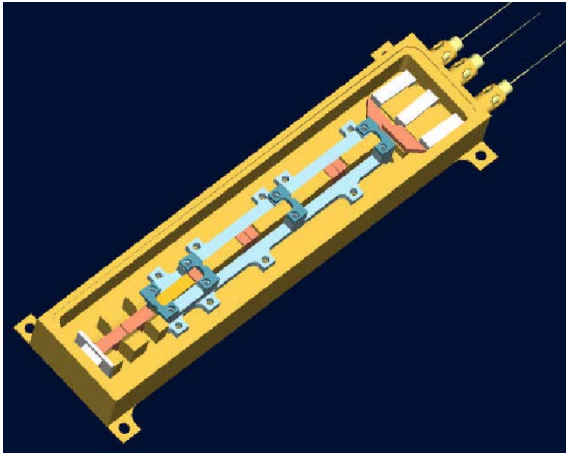


(d)

圖十五:(a) 由於重複串連所造成濾波器窄化現象，(b) 八個通道的光譜圖，(c) 在經過 1100 公里傳輸後，八個通道的信號平均收信的靈敏度，(d)在經過 1100 公里傳輸後，的功率與誤

碼率圖

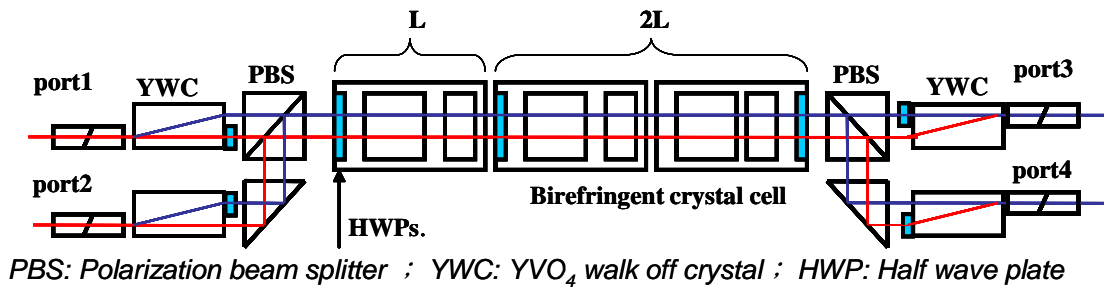
(第三年): 如圖十六, 在完成三埠間隔器的設計與製作後, 為了進一步測試在傳輸系統中的表現, 尤其是在都會網路的置換節點的應用上, 我們建構了一重複環繞光網路系統 (optical re-circulating loop), 在經過 5 個節點、10 個間隔器、525 公里的單模光纖傳輸, 只有 2.5 dB receiving sensitivity penalty。



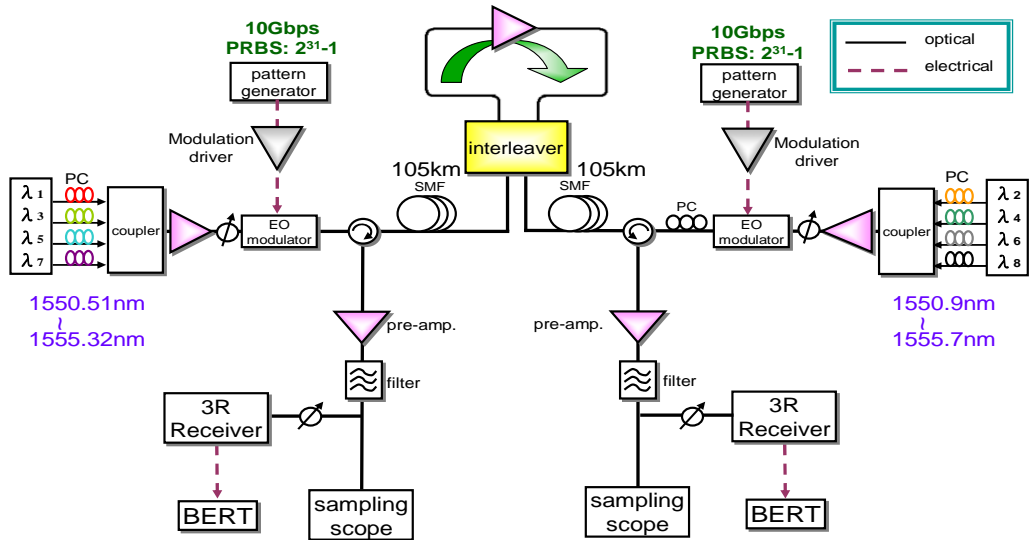
(a)

(b)

圖十六：(a)間隔器的內部示意圖 (b)測量的間隔器穿透曲線

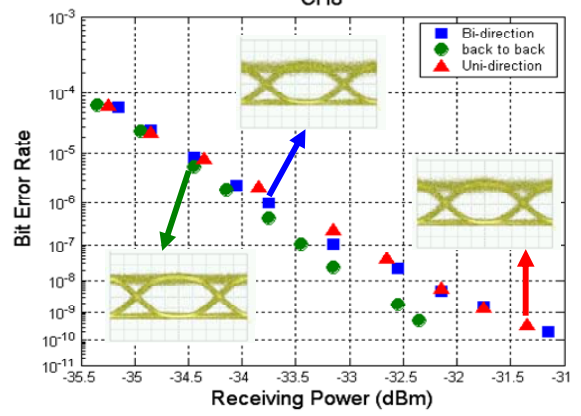


圖十七：四埠間隔器的內部示意圖

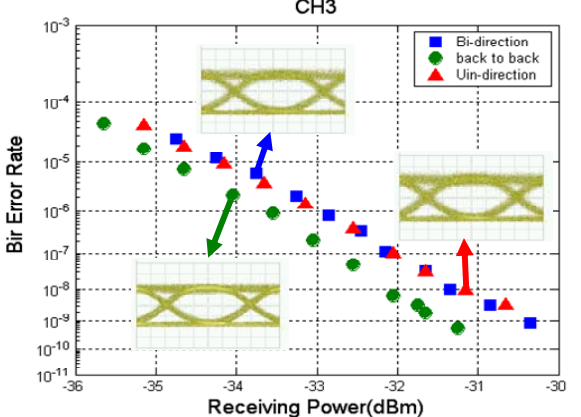


(a)

Best channel

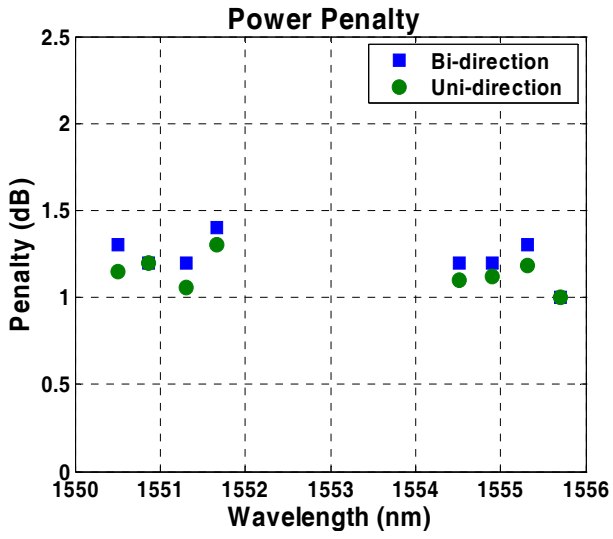


Worst channel



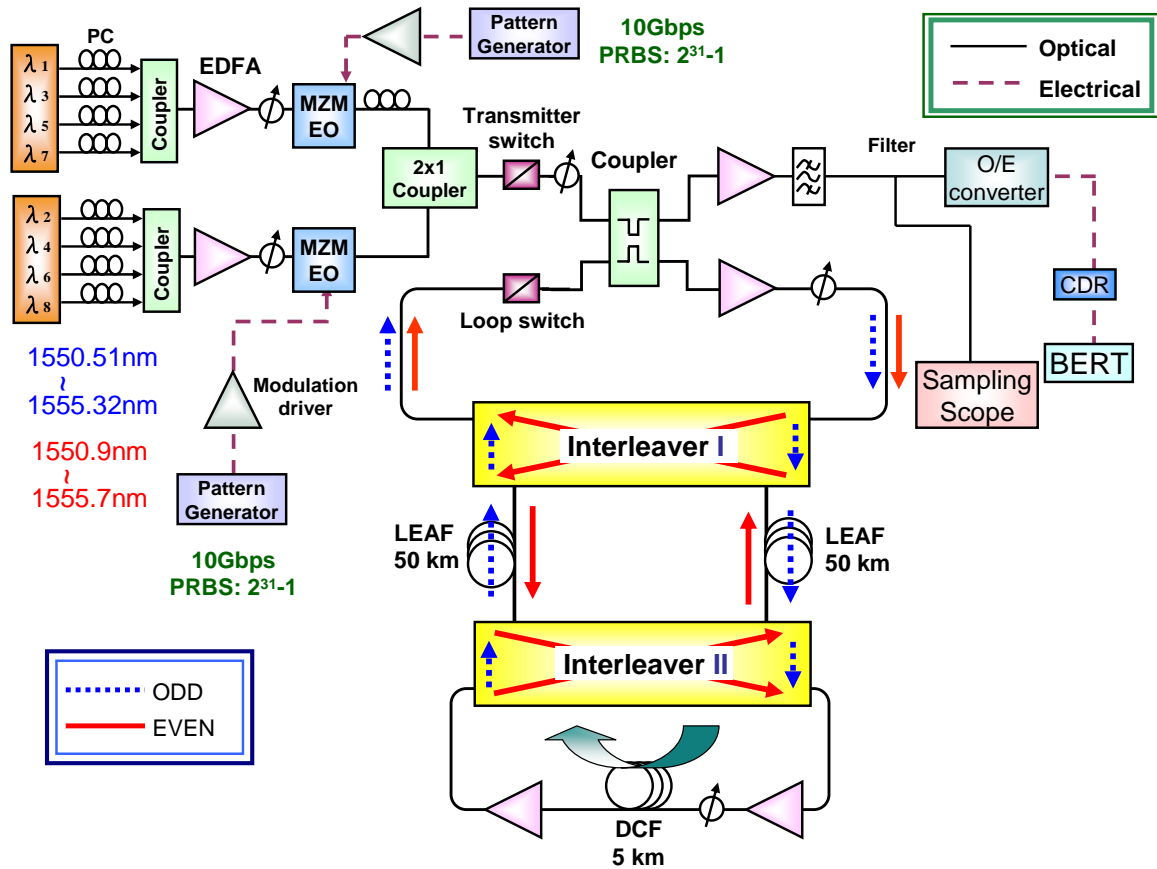
(b)

(c)

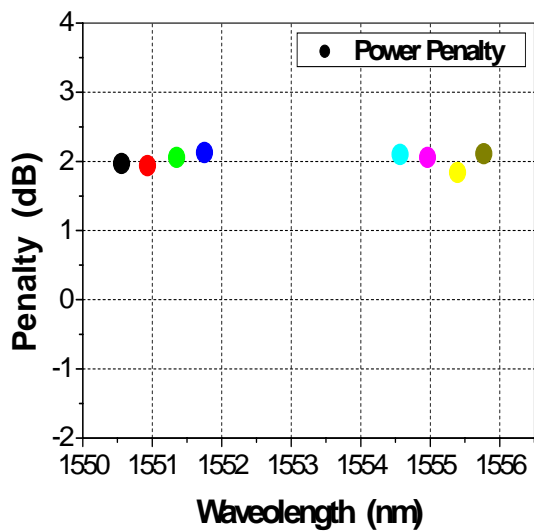


圖十八：(a) 210 公里之值線雙向傳輸架構圖，(b)單向與雙向傳輸之靈敏度，(c)最佳通道和最糟通道之誤碼率圖和眼圖

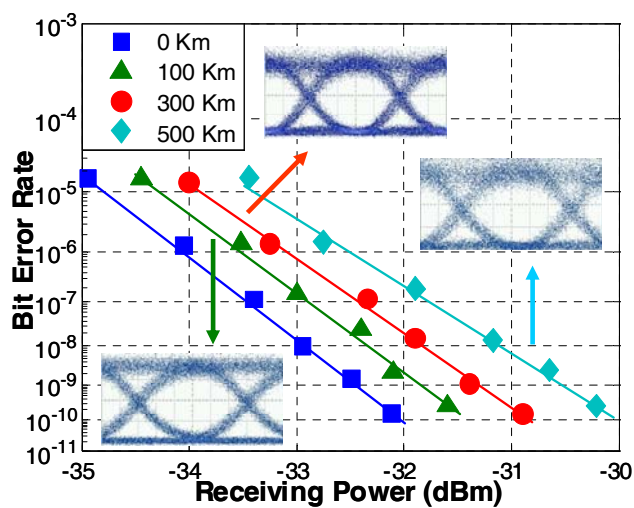
然後我們針對三埠間隔器做進一步的改進，使其成為完全對稱的元件。如圖十七所示，我們成功的開發出一四埠 50 GHz 的間隔器。有別於過去雙向傳輸，需要兩組的放大器，而且放大器的增益受到噪聲的影響而限制。在利用四埠間隔器後，我們是全世界第一個實驗室成功的展示利用單一光纖、單一光放大器的雙向光傳輸系統。如圖十八 (a) 所示，我們建構了一 210 公里的雙向傳輸系統實驗中。如圖十八 (b) 所示，單向與雙向傳輸的接收靈敏度 (receiving sensitivity) 只相差了 0.2 dB，證明間隔器的設計對傳輸的影響非常微小。而在圖十八 (c) 則是最好與最糟之通道之誤碼率和眼圖。我們可以清楚看出在各通道之間有非常良好的一致性，通道間接收靈敏度的差異只有 0.5 dB。這是因為我們在設計間隔器時，是以能涵蓋 40 個通道為目標的。為了更進一步測試雙向傳輸系統在經過多次間隔器、光放大器與長距離傳輸的表現，我們建構了重複環繞雙向傳輸系統，如圖十九 (a) 所示。我們成功的完成 500 公里的 LEAF (large effective area fiber) 單模光纖的光雙向傳輸實驗。在傳輸 500 公里之後，只有 1.5 dB 的 receiving sensitivity penalties。這實驗結果清楚的證明我們所設計的雙向傳輸系統，有著和傳統單向傳輸系統非常相近的表現。在圖十九 (a) 是重複環繞雙向傳輸系統的架構圖，由於實驗室雷射數目的限制，我們僅選用八通道，每一通道 10 Gb/s，單一回路是 100 公里的 LEAF 單模光纖的重複環繞系統。圖十九 (b) 則是信號在經過 5 圈、10 個四埠間隔器和 500 公里的 LEAF 單模光纖傳輸後的 receiving sensitivity penalties。圖十九 (c) 則是分別經過 0 公里、100 公里、300 公里、500 公里的 LEAF 光纖傳輸後之誤碼率圖。我們可以清楚看到我們有非常良好的 receiving sensitivity penalties。



(a)



(b)



(c)

圖十九：(a) 重複環繞系統之雙向傳輸架構圖，(b) 500 公里之 power penalties，(c) 則為在 0 公里、100 公里、300 公里、500 公里、之誤碼率圖。

#### 四、經費使用情形：

- (1) 設備費：(第一年)：已完成 EDFAs 與電源之採購，同時也完成電光調制器的採購。已展開與 UMBC Prof. Ray Chen 與工研院光電所共同進行新元件的光罩設計與元件之封裝與測試。(第二年)：因為 10Gbps 的實驗已逐漸完成，因此我們變更部分的設備費用來購買 40Gbps 的光纖雷射。希望能夠測試在 40Gbps 的都會網路的系統行為。第三年無設備費
- (2) 其他費：使用正常
- (3) 研究生獎助：正常申請，按月核發。

#### 五、計畫自評：

- (1) 學術：總計在三年內，由本計劃相關的領域共發表 14 篇期刊 (IEEE 11 篇)，17 篇國際論文 (OFC 廿 ECOC, CLEO and LEOS)
- (2) 專利：延續過去的申請，在計畫期間共獲得 6 項美國專利
- (3) 訓練：協助研究的學生獲得光傳輸系統的模型建立與模擬技術，在實驗上也親手嘗試光通信系統的傳輸與誤碼率的測量。

#### 六、已發表之期刊論文和獲得之專利

1. Ming-Fang Huang, Jason (Jyehong) Chen; Kai-Ming Feng, Chung-Yu Lai, Chia-Chien Wei, Tse-Yu Lin, Sien Chi, Zhonghua Zhu, Yung Jui Chen, Yin-Chieh Huang and Shih-Jung Chang, "Add/Drop Applications in Fiber Ring Networks Based on a Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer in a Re-circulating Loop", *Optics Communications*, vol. 267, November, pp. 113-117, 2006.
2. Huang, M.-F.; Feng, K.-M.; Jason (Jyehong) Chen; Lin, T.-Y.; Wei, C.-C.; Chi, S. "Wavelength-Interleaving Bidirectional Transmission System Using Unidirectional Amplification in a 5x100 km Recirculating Loop", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 1326-1328, June, 2006.
3. Peng-Chun Peng; Wei-Ren Peng; Kai-Ming Feng; Hung-Yu Chiou; Jason (Jyehong) Chen; Hao-Chung Kuo; Shing-Chung Wang; Chi, S., "OCDMA light source using directly modulated Fabry-Pe/spl acute/rot laser diode in an external injection scheme", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 1103-1105, May, 2006.
4. Ming-Fang Huang, Jason (Jyehong) Chen, Kai-Ming Feng, Chung-Yu Lai, Tse-Yu Lin, and Sien Chi, "210 Km Bidirectional Transmission System with a Novel Four-Port Interleaver to Facilitate Unidirectional Amplification", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 172-174, Jan., 2006.
5. Peng-Chun Peng, Kai-Ming Feng, Ching-Cheng Chang, Hung-Yu Chiou, JyeHong Chen, Ming-Fang Huang, Hung-Chang Chien, Sien Chi " Multiwavelength Fiber Laser using S-band Erbium-Doped Fiber Amplifier and Semiconductor Optical Amplifier," *Optics Communications*, vol. 259, pp. 200-203, 2006.
6. Yu-Chang Lu, Jason (Jyehong) Chen, Kai-Ming Feng, Pao-Chi Yeh, Tzu-Yen Huang, Wei-Ren Peng, Ming-Fang Huang, and Chia-Chien Wei, "Improved SPM Tolerance and Cost-Effective Phase-Modulation Duobinary Transmission over 230 km Standard



- Single-Mode Fiber Using a Single Mach-Zehnder Modulator”, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 2754-2756, Dec. 2005, (SCI), 93-2215-E-009-027
7. Chia-Chien Wei and Jason (Jyehong) Chen, “Study of Differential Cross-Polarization Modulation in Semiconductor Optical Amplifier”, *Optics Express*, vol. 13, No. 21, pp. 8442-8451, Oct. 2005, (SCI), 93-2215-E-009-027
  8. Wei-Ren Peng, Yu-Chang Lu, Jason (Jyehong) Chen, Sien Chi, “Encoding ASK labeled CSRZ-DPSK payload by using only one dual-drive Mach-Zehnder Modulator with enhanced label performance”, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 2227-2229, Oct. 2005, (SCI), 93-2215-E-009-027
  9. C.C Wei, M. F. Huang, J.H. Chen, “Enhancing the Frequency Response of Cross Polarization Wavelength Conversion”, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 1683-1685, Aug. 2005, (SCI), 93-2215-E-009-027
  10. K. M Feng, M. F Huang, C. C. Wei, C. Y Lai, T. Y. Lin, J. H. Chen and S. Chi, “Metro Add/Drop Network Applications of Cascaded Dispersion-Compensated Interleaver Pairs Using a Re-circulating loop”, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp.1349-1351, June 2005, (SCI), 93-2215-E-009-027
  11. G. R. Lin, Y. C. Chang, Y. H. Lin, and J. H. Chen, “All Optical Data Format Conversion in Synchronously Modulated Single-Mode Fabry-Perot Laser Diode Using External Injection-Locking Induced Nonlinear Threshold Reduction Effect”, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 1307-1309, March 2005, (SCI)
  12. Y. C. Chang, Y. H. Lin, and J. H. Chen, and G. R. Lin “All optical NRZ-to-PRZ format transformer with an injection-locked Fabry-Perot laser diode at unslasing condition”, *Optics Express*, vol. 12, no. 19, pp. 4449-4456, Sept. 2004
  13. J. H. Chen, “Dispersion-Compensating Optical Digital Filters for 40-Gb/s Metro Add-Drop Applications”, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, pp. 1310-1312, May, 2004, (SCI), 92-2215-E-009-064
  14. Cao, S., J. H. Chen, Damask, J.N.; Doerr, C.R.; Guiziou, L.; Harvey, G.; Hibino, Y.; Li, H.; Suzuki, S.; Wu, K.-Y.; Xie, P , “Interleaver Technology: Comparisons and Applications Requirements”, *IEEE J. Lightwave Technol.*, pp. 281- 289, 2004 (SCI)

#### **Conference Papers (international):**

1. Ming Fang Huang, Jianjun Yu, Jason (Jyehong) Chen, Gee-Kung Chang, Sien Chi, “A Cost-Effective WDM-PON Configuration Employing Innovative Bi-directional Amplification”, *OFC, 2007*, paper OWL3, Anaheim, California, U.S.A.
2. Chun-Ting Lin, Cheng-Feng Peng, Peng-Chun Peng, Jyehong Chen, Wei-Ren Peng, Bi-Shiou Chiou, Sien Chi, “Simultaneous Modulation and Transmission of FTTH Baseband and Radio Signals on a Single Wavelength”, *OFC, 2007*, paper OThM73, Anaheim, California, U.S.A.
3. Peng-Chun Peng, Chun-Chen Chiang, Jyehong Chen, Chun-Ting Lin, Sien Chi “Tunable Ultrafast and Ultraslow Light in Erbium Doped Waveguide at Room Temperature”, *OFC, 2007*, paper JThA11, Anaheim, California, U.S.A.
4. C. C. Wei, J. H. Chen, C. H. Fang and C. Tsao, “20 Gbps (2-bit/symbol) DPSK over

- Inverse-RZ Modulation Format Using a Single MZM”, *ECOC, 2006*, paper Tu3.2.5, Cannes, France.
5. C. T. Lin, P. C. Peng, J. H. Chen, C. F. Peng, C. C. Chiang, H. C. Kuo, S. C. Huang, and B. S. Chiou, “10 GHz Tunable Slow Light in Multi-Quantum Well Distributed Feedback Laser”, *ECOC, 2006*, paper 57, Cannes, France.
  6. M. C. Yuang, B. C. Lo, I. F. Chiao, S. S. Lee, Y. M. Lin, C. Y. Chien, P. L. Tien, J. Chen, “HOPSMAN: An Experimental Optical Packet-Switched Metro WDM Ring Network with High-Performance Medium Access Control”, *ECOC, 2006*, paper 116, Cannes, France.
  7. Ming-Fang Huang, Tse-Yu Lin, Chia-Chien Wei, Kai-Ming Feng, Jason (Jyehong) Chen, Sien Chi, “Novel Four-Port Interleavers Facilitate Unidirectional Amplification for Wavelength-Interleaving Bidirectional Transmission System”, *CLEO/QELS, 2006*, paper CFP3, Long Beach, U.S.A.
  8. Ming-Fang Huang, Jason (Jyehong) Chen, Kai-Ming Feng, Tse-Yu Lin, Chia-Chien Wei<sup>1</sup>, Chung-Yu Lai, Sien Chi, Zhonghua Zhu, Yung Jui Chen, Yin-Chieh Huang, Shih-Jung Chang, “Cascaded Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM) in Metro Add/Drop Network Applications”, *CLEO/QELS, 2006*, paper CWQ5, Long Beach, U.S.A.
  9. Yu Chang Lu, Chia Chien Wei, Jason (Jyehong) Chen, Cheng Tsao, Sien Chi, Kai Ming Feng, Pao Chi Yeh, Tzu Yen Huang, Ching Cheng Chang, “2.5 dB Sensitivity Improvement by Optimizing the Driving Voltage of an MZM and Electrical Filter Bandwidth of Optical Duobinary Transmission Systems”, *OFC 2006*, paper JTHB42, Anaheim, U.S.A.
  10. Hung-Yu Chiou, Peng-Chun Peng, Kai-Ming Feng, Wei-Ren Peng, Jye-Hong Chen, Hao-Chung Kuo, Shing-Chung Wang, Sien Chi, “A Star-Ring-Bus Architecture for WDM Fiber-Wireless System”, *OFC 2006*, paper OFM5, Anaheim, U.S.A.
  11. Yu-Chang Lu, Jason (Jyehong) Chen, Kai-Ming Feng, Pao-Chi Yeh, Tzu-Yen Huang, Wei-Ren Peng, Ming-Fang Huang, Chia-Chien Wei, and Sien Chi, “A cost-effective phase-modulation-enhanced duobinary modulation to improved SPM tolerance using only one Mach-Zehnder modulator”, *ECOC’05*, paper Th1.2.4, Glasgow, U.K., Sept. 2005. (EI)
  12. Wei-Ren Peng, Yu-Chang Lu, Jason (Jyehong) Chen, Sien Chi, “ASK/RZ-DPSK labeled signal generation using only one mach-zehnder modulator”, *ECOC’05*, paper Mo 4.4.6, Glasgow, U.K., Sept. 2005. (EI)
  13. Maria C. Yuang, Po L. Tien, J. Shih, Steven S. W. Lee, Yu-Min Lin, and Jason J. Chen, “A QoS Optical Packet-Switching System for Metro WDM Networks,” *ECOC’05*, , paper We 1.4.2, Glasgow, U.K., Sept. 2005. (EI)
  14. M. F Huang, C. Y. Lai, J. H. Chen, K.M. Feng, C. C. Wee, T. Y. Lin and S. Chi, “Using a novel four-port interleaver to enable unidirectional amplification in a 210 km bidirectional transmission system”, *LEOS 2005*, TuU1, Sydney, Australia.
  15. Wei-Ren Peng, Peng-Chun Peng, JyeHong Chen , Shen-You Tsai , Sien Chi, “Performance comparisons between direct NRZ and gain-switched RZ modulation on Fabry-Perot lasers,” *IQEC and CLEO-PR 2005*, Paper CWAB3-P75, Tokyo, Japan.

16. M. F Huang, C. C. Wei, C. Y Lai, T. Y. Lin, J. H. Chen, K. M. Feng, and S. Chi, "Cascadability study of Dispersion-Compensated Interleaver Pairs for metro add/drop application Using a Re-circulating loop", *CLEO/QELS 2005*, paper JThE63, Baltimore, U.S.A
17. Z. Zhu, W. Chen, Y. J. Chen, J. Sun, D. W. Huang, J. H. Chen, " Cascaded-able Cline-reconfigurable Optical Add-drop Mutliplexer", *ECOC 2004*, Tul 5.1

### **Conference Papers (Domestic):**

1. Hung-Yu Chiou, Peng-Chun Peng, Kai-Ming Feng, Wei-Ren Peng, JyeHong Chen, Hao-Chung Kuo, Shing-Chung Wang, and Sien Chi, "A Self-Healing Architecture for WDM Fiber-Wireless System," *Proceeding of Optics and photonics Taiwan'05 (OPT 2005)*, Paper No. B-SA-III 7-5, 2005.
2. C. C. Wei, M. F. Huang, J. H. Chen and Kai-Ming Fen, "300% Rise Time Improvement by adding a birefringence delay line after cross polarization wavelength conversion", OPT, B-SU-VIII1-2, 2004, *Best students paper award*, 93-2215-E-009-027
3. M. F. Huang, C. C. Wei, C. Y. Lai, K. M. Feng, J. H. Chen and S. Chi, "Metro Add/Drop Applications of 50-GHz Dispersion-Compensated Interleaver Pairs using a Re-circulating Loop", OPT, B-SU-VII5-3, 2004, 93-2215-E-009-027
4. C. C. Wei, M. F. Huang, J. H. Chen and K. M. Feng, "Improving the Frequency Response of Cross Polarization Wavelength Conversion by Adding an Extra Delay Line", Symposium on Technologies for High-Capacity Optical Communications, THIII-2 , 2004, 93-2215-E-009-027
5. M. F. Huang, C. C. Wei, C. Y. Lai, T. Y. Lin, K. M. Feng, J. H. Chen and S. Chi, "Ring Network Applications of Cascaded Dispersion-Compensated Interleaver Pairs Using a Re-circulating loop", Symposium on Technologies for High-Capacity Optical Communications, THI-2, 2004, 93-2215-E-009-027, 93-2215-E-009-027
6. C. C. Wei, M. F. Huang, J.H. Chen and K. M. Feng, "Study of Bandwidth Improvement of Differential Cross-Polarization Modulation in a Semiconductor Optical Amplifier", Symposium on Technologies for High-Capacity Optical Communications, 2004, THI-2, 93-2215-E-009-027

### **Patents:**

1. Jyehong Chen, et al. "Bi-directional Isolator," U.S. Patent No. 6587266B2, Jul. 1, 2003.
2. Jyehong Chen, et al. "Beam Directing Device," U.S. Patent No. 6587267B2, Jul. 1, 2003.
3. Jyehong Chen, et al. "Bi-directional circulator," U.S. Patent No. 6657785B2, Dec. 2, 2003.
4. Jyehong Chen, et al. "Optical Interleavers/De-interleavers," U.S. Patent No. 6697198B2, Feb. 24, 2004
5. Jyehong Chen, et al. "Optical circulator," U.S. Patent No. 6757451B2, June 29, 2004
6. Jyehong Chen, et al. "bi-directional cross connect," U.S. Patent No. 7,058,304 B2, June 6, 2006

