

新一代全光網路— 高密度分波多工器之研究

作者／李建邦少校

提要

一、光纖通訊網路是建構寬頻通訊最基礎的一環¹。

二、光纖具備高頻寬、不受干擾及長距離信號傳遞的特性。加上光纖建設成本逐漸降低，所以在新的通信網路建設上光纖技術大量的被引用。光纖網路的應用也成為網際網路重要的發展方向²。

三、當今光傳輸通信網路，無論是骨幹長途傳輸網、區域網還是用戶網路，都大量以DWDM為平臺，基於DWDM的光傳輸網構成了整個通信網的基礎物理層³。

四、在全球大力推展資訊高速公路之計劃下，光纖通訊以能提供最佳解決方案之姿迅速崛起。至目前為止，全球網路主幹線光纖化已陸續完成，未來FTTH（Fiber To The Home）將逐步實現⁴。

壹、緒論

一、研究動機

由於通信業務量迅速增長，光纖通信發展快速，對通信系統傳輸容量也要求越來越高，以目前國軍所使用的SDH同步光纖系統其信號速率為STM-1(OC-3)—155.52Mbit/s 或可提昇到 STM-4(OC-12)—622.08Mbit/s。

目前光纖傳輸容量都已達 40Gbit/s（OC-768）傳輸模式，但 40Gbit/s的頻寬仍無法滿足現在高頻寬的通訊需求。而高密度分波多工器（DWDM）技術的開發將大幅提昇光纖網路的頻寬需求⁵。也因此現今光通信網路，無論長途傳輸、區域網路甚至用戶端都以DWDM為平台，提高了光纖傳輸的容量和速度。

二、研究目的

光纖（纜）為國軍未來高品質的通信系統，可提供語音、視訊、傳真等技

¹ 陳鴻文，DWDM 技術鋪設高頻寬頻網路，光連，第 28 期。

² 光纖打造高速寬頻網路 <http://www.2cm.com.tw/docs/serial/2/c00201.htm>

³ 張曉航，“DWDM 高密度波長多工光纖通信系統之研究”，碩士論文，中正理工學院，桃園，2002。

⁴ 陳永和，“寬頻光纖通訊系統 DWDM 元件”，電子月刊，第四卷，第十期，第 76-84 頁，1998。

⁵ 同註 4。

術。將使國軍網路的建構也將朝向高頻寬、高速率的時代。隨著速率的提高，光傳輸的容量越大，DWDM 系統顯得日益重要。如何發展未來全光網路系統，來作為本之研究探討。

三、研究方法與架構

本文是以光纖系統傳輸探討為出發點，對於 DWDM 系統架構及網路運用上重要的元件作探討。全文架構共分為五章，第一章緒論，第二章將介紹高密度分波多工器架構，第三章介紹高密度分波多工器之技術探討，第四章高密度分波多工器的技術發展趨勢與困難，第五章為本文之結論。

四、研究範圍與限制

DWDM技術已成為通信網路高頻寬、高速度的最佳解決方案⁶，基於 DWDM 的光傳輸網路將構成整個通信網路的基礎。因此，光纖技術的發展與 DWDM 的應用與發展有密切相關。

光纖是最主要的傳輸媒質，其性能對傳輸信號的影響最大，可以說以上提到的各種關鍵技術都是針對光纖特性對信號的影響展開來的，所以設計和採用光纖元件是提高傳輸性能最有效的方法。

五、預期成果

為了滿足同時具有電信通訊、資料通訊、影像通訊的新知傳撥時代的超高容量需求，從以 Mbps 等級，到目前一條光纖傳輸速度是以 Gbps 等級為主，未來下一代高容量的光纖系統(DWDM)，將可每一條光纖光速提供每秒超過 1Terabit 的傳輸功能。若每個通道可傳輸 10Gbit/s，以 40 個通道為例（ $40 \times 10\text{Gbit/s} = 400\text{Gbit/s}$ ，相當於在 1 秒時間內能傳輸 10000 卷百科全書）⁷。

DWDM系統帶動了寬頻光通訊網路的蓬勃發展，也提昇高容量的光纖網路傳輸，同時具有不需埋設新光纖，節省挖埋架設費用等優點，必然成為光纖通訊時代重要的技術⁸。未來不管是視訊會議、戰場情資、資料判讀，都能迅速的傳達，再配合其他通信架構的整合使軍隊指揮官能即時掌握情資，對戰場作最有效的掌握。

壹、前言

隨著多媒體通訊以及網際網路的蓬勃發展⁹，網路上使用者數量的急速擴增

⁶ 周雲龍，“DWDM 技術簡介”，電腦與通信，第 84 期，第 5-18 頁，1999。

⁷ 同註 6。

⁸ 同註 2。

⁹ 同註 6。

以及各種網路應用程式的資訊傳遞量愈來愈龐大，網路頻寬的需求也日漸提高，因此我們需要一個能提供大頻寬、大容量的超高速網路。提供大量頻寬的最佳媒介莫過於光纖¹⁰。光纖具備高頻寬、不受干擾及長距離信號傳遞的特性。加上光纖建設成本逐漸降低，所以在新的通信網路建設上光纖技術大量的被引用，光纖網路的應用也成為網際網路重要的發展方向。

隨著資訊的蓬勃發展以及網際網路應用的急速增長，人們對傳輸資料和訊號的通道頻寬需求愈來愈高。傳統透過電線網路 56K 上網的速度，已經不足於應付大量資料、多媒體和及時語音、訊視等資料的需求，由於光纖有頻寬大、損耗低等絕對優點，將成為網路傳輸的主要媒介。目前區域網路已由乙太網路提昇至超高速乙太網路，即將推出 10Gigabit 的乙太網路。而隨著電信的自由化，通訊、網路、以及有線電視網路將結合在一起。為提供這些高速且有彈性的服務，利用光纖作為傳輸介質的光纖網路將成未來發展的趨勢，而其市場潛值及商機非常可觀¹¹。

人類社會進入資訊時代，對通信的需求量不斷增長，從而對通信的帶寬容量提出更高的要求。然而電子線路的極限速率只有 20Gb/s 左右，這就是所謂的“電子瓶頸”。儘管當前已經有許多光纖通信線路，但是光纖線路中各種複用/解複用和光電/電光的轉換限制了資訊的傳輸速率。進入 20 世紀 90 年代，以時分複用（TDM）為基礎的電傳送網難以適應需要，這就導致以高密度分波多工器（DWDM）為基礎的全光通信網（AON）成為人們研究的熱點。

本文

貳、高密度分波多工器（DWDM）系統架構

高密度分波多工器(Dense Wavelength-Division Multiplexer,DWDM)是利用單模光纖低損耗區的頻寬，將不同頻率波長的光信號通過合波器合成一束光後發射進入同一根光纖進行傳輸，在接收端通過分波器區分開不同頻率波長的信號並進行相對數字處理還原出原信號的技術。使每條光纖能搭載的傳輸訊號倍增，達到光纖的有效使用及降低增加頻寬所需的成本。

DWDM的發展趨勢將是充分運用每一個波段【C波段(1530nm-1565nm)，L波段（1570nm-1610nm）和S波段（1490nm-1530nm）】，通道間隔進一步減小，即傳輸容量進一步加大。在ITU-T建議標準中，規定通道間隔為 100GHz的倍數

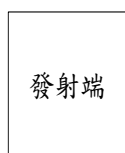
¹⁰ 傳輸網路之發展趨勢 <http://www.grandsoft.com/cm/088/axt881.htm>

¹¹ DWDM 專家論談，<http://www.tl.gov.tw/forum/fitl/DWDM/DWDM.htm>。

(50GHz、100GHz、200GHz等，即波長間隔為 0.4nm、0.8nm、1.6nm)¹²，甚至更窄的頻寬，力求更充分地利用光纖的可用頻寬。

一、DWDM 系統

DWDM系統由多項光主動元件¹³、光被動元件組成如圖一，其原理是多工器(Multiplexer)將多種傳入的訊號整合為一個光訊號，經過摻鉕光纖放大器(EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifiers)後，訊號放大，補償在光傳輸過程中的衰減，再通過分波多工器(WDM, Wavelength Division Multiplexing)，加入波長，增加頻寬。再經光塞取多工器(OADM, Optical Add-Drop Multiplexer)取出主幹線網路的波長，再加入區域網路新波長。至於後面的分波多工器(WDM)及摻鉕光纖放大器(EDFA)可再增加頻寬及訊號放大，最後光訊號由解多工器(Demultiplexer)將光訊號分解出來，傳入各接收器¹⁴。



圖一 DWDM 系統圖

(資料來源：DWDM 專家論談，<http://www.tl.gov.tw/forum/fitl/DWDM/DWDM.htm>)

現今光通信傳輸網路，無論是長途傳輸、區域網路還是用戶端，都大量以 DWDM 為平臺，長距離 DWDM 傳輸能降低系統成本並提高系統的可靠性，頻道數越多，傳輸容量越大。DWDM 系統主要以七大部分組成，其各別功用為：

1. 光源

以半導體雷射或光纖光柵雷射器產生的光信號，作用為發送訊號。使用波段需涵蓋 S-Band、C-Band 與 L-Band。光源的作用是產生鐳射，它是組成 DWDM 系統的重要器件。DWDM 系統的工作波長較為密集，一般波長間隔為幾個奈米至零點幾個奈米，很小的波長變化就會使一個光通路移至另一個光通路上，這就要求雷射器工作在一個標準波長上，而且有很好的穩定性。另一方

¹² ITU-T Recommendation G.694.1, "Spectral Grids for WDM Applications: DWDM Frequency Grid," Jun., 2002.

¹³ Bilodeau, F., Johnson, D.C., Theriault, S., Malo, B., Albert, J., and Hill, K.O., "An All-Fiber Dense Wavelength-Division Multiplexer / Demultiplexer Using Photoimprinter Bragg Grating," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 7, No. 4, pp.

¹⁴ 同註 13。

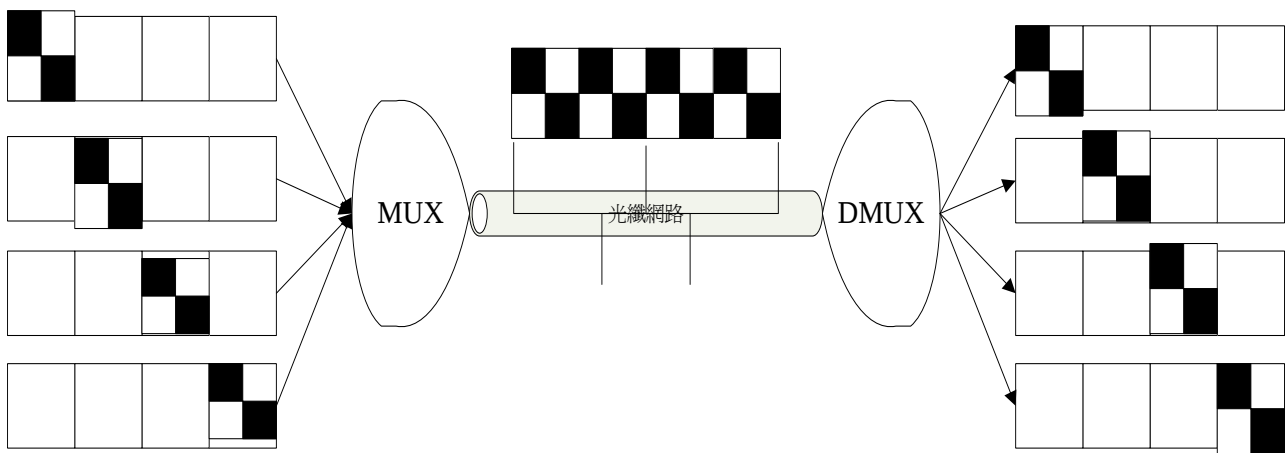
面，DWDM 系統的無電再生中繼長度從單個 SDH 系統傳輸 50km~60km 增加至 500km~600km，在延長傳輸系統的色散受限距離的同時，為克服光纖的非線性效應，要求 DWDM 系統的光源要使用技術更先進、性能更優越的雷射器。它應具備以下兩個特點：標準而穩定的波長，較大的色散容納值。

2. 光發射/接收器(Transmitter/Receiver)

發送器負責將電子訊號轉換成光訊號，經過光纖傳輸後，到達終端，再由接收器將光訊號轉換為電子訊號，供其他電子設備讀取、應用。

3. 多工器(Multiplexer)

多工器是多種訊號可在同一通道傳輸如圖二，多工器好壞對分工有極大的影響，分工越細，製作上越困難，成本也相對提高。現行多工器以薄膜濾波器、陣列波導光柵及布拉格光纖光柵為主。



圖二 OADM光塞取多工器構造圖(資料來源：作者繪製)

4. 光纖放大器(Optical Fiber Amplifier)

由於光在傳送過程中，光訊號容易受到環境及傳媒介質的影響而逐漸衰減，為了使得傳送的光訊號保持正確性，需有光放大器適時將衰減的訊號增益(Gain)或放大，才能繼續傳送。目前最常使用的光放大器是摻鉕光纖放大器(Erbium Doped Fiber Amplifiers, EDFA)。

從 EDFA 的特點及其在光傳輸系統內的使用部位看，它可分為功率放大器(Booster Amplifier, BA)、前置放大器(Preamplifier, PA)、線路放大器(Line Amplifier, LA)。BA 直接用於光發送器之後，以增加信號的輸出功率，BA 對雜訊和光過濾作用沒有嚴格的要求；PA 直接置於光接收器之前以改善接收靈敏度，PA 要求極低的雜訊，可通過使用窄帶濾光器實現；LA 用於無源光纖段之間以增加再生段長度，要求對小信號增益高且雜訊係數小。

5. 光塞取多工器(OADM)

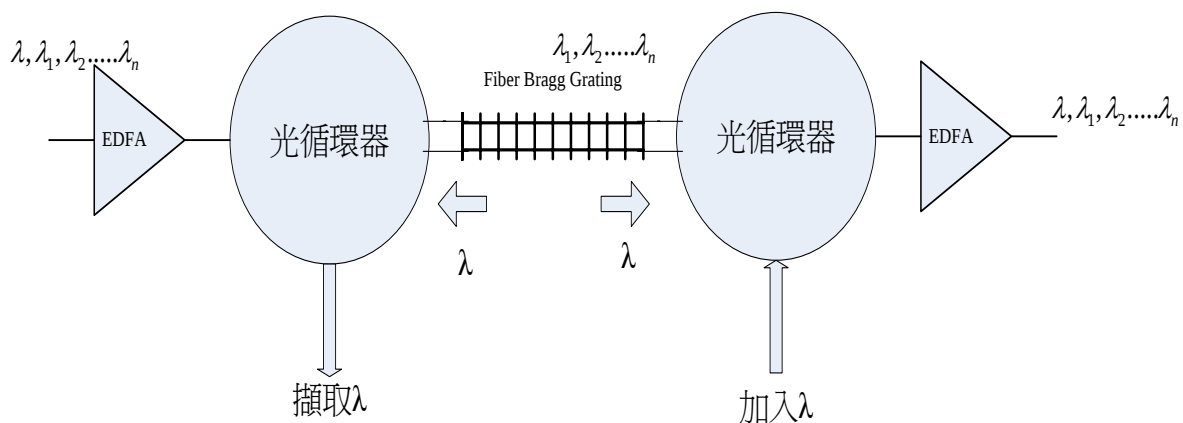
OADM實際是合波器與分波器的組合如圖三。作為全光網中重要的元件，它的功能是選擇性的將某特定波長從主幹線擷取(Drop)下來至區域網路外，再加入(Add)區域網路同一波長但不同訊號的光傳入主幹線，使得系統的應用更具有彈性¹⁵。

6. 解多工器(Demultiplexer)

解多工器的功能性質與多工器（如圖三）則是相反，將多種訊號分解出來，其構造與多工器同，但其功用不同。

7. 光纖(Fiber)

負責傳送資料信號，通常以單模光纖負責擔任傳輸的媒介。



圖三 多工器與解多工器架構圖(資料來源：作者繪製)

參、高密度分波多工器 (DWDM) 系統之技術探討

在全光網路中，被動元件包括光連接器、耦合器、光開關、光纖光柵元件和WDM元件。其中最重要的元件是用作傳輸和塞選DWDM信號的光濾波器。光合波及光分波技術¹⁶是DWDM系統中非常重要和關鍵的技術，其性能指標的優劣、元件質量的好壞對DWDM光纖通信系統的影響非常大，光合波與分波器的性能指標主要有插入損耗、串音(Crosstalk)及偏振相關性。常用的光合波與分波器主要有薄膜濾波技術、陣列波導技術、光纖光柵技術等。以下為DWDM三種濾波技術的說明¹⁷。

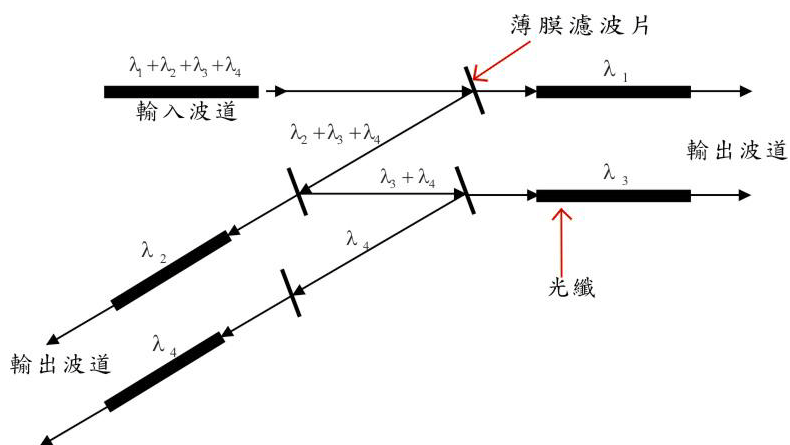
一、薄膜濾波技術(Thin Film Filter, TFF)

¹⁵ Jones, K. P., Chaudhry, M. S., Simeonidou, D., Taylor, N., and Morkel, P. R., "Optical Wavelength Add-Drop Multiplexer in Installed Submarine WDM Network," Electronics Lett., Vol. 31, 1995, pp. 2117-2118.

¹⁶ Donald, J. S., Technician's Guide to Fiber Optics (3rd Edition), Delmar Thomson Learning, 1999.

¹⁷ 楊素華，「DWDM 技術與發展現況」，電子技術雜誌，2002 年，頁 75-81。

介質薄膜干涉濾波器是使用最廣泛的一種濾波器，主要應用在200GHz-400GHz通路間隔的分波多工器，這種技術十分成熟如圖四。可以提供良好的溫度穩定性和通道隔離度。主要工作原理是在玻璃底層上鍍膜，多層膜的作用使光產生干涉，鍍膜的層數越多選擇性越好，一般都要鍍200層以上。鍍膜後的玻璃經過切割、研磨，在與光纖連接器封裝。這種技術的不足之處在於要實現100GHz以下非常困難，其關鍵技術在於每層鍍膜的均勻，才可使得良率提升。此方法的缺點是愈到後面的波長損失愈大，因此最多僅能做到16個通道¹⁸。而目前國內外知名廠商如Bar、Corning、DSI、亞洲光學、鴻海等。



圖四 薄膜濾波技術(資料來源:陳鴻仁,「DWDM 濾波長多工器技術概述」,PIDA (Photonics Industry & Technology Development Association), 2000 年,頁 30-46。)

二、陣列波導技術(Arrayed Waveguide Grating ,AWG)

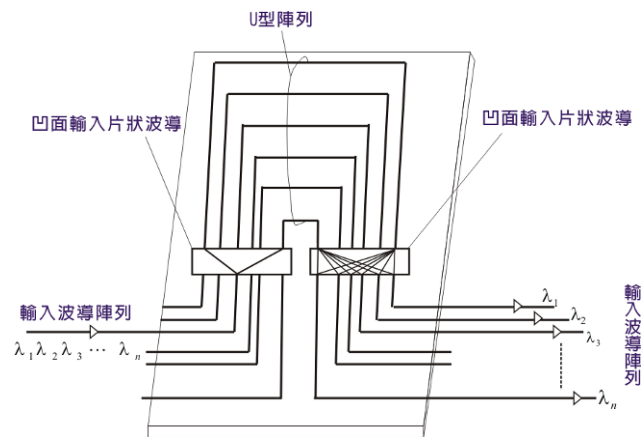
AWG是在矽晶圓上沉積二氧化矽膜層，續以微影製程及反應式離子蝕刻法定義出陣列波導，最後加上保護層即可製成如圖五；AWG原理是利用波導的物理特性將不同波長的波分出，當不同波長進入光源經過耦合後匯入入射端，因光在波導內所走的路徑長度不同，因此在不同的位置上就會造成不同的相位延遲，進而產生對某些波長再匯出端形成建設性或破壞性干涉。就如同中間有三菱鏡一般，使光波再匯出端，不同通道的光會依照設計到達指定的位置上，因為利用不同的相位延遲原理，因此又稱為相位陣列波導。這種技術能一次分出較多通道，不過波導易受溫度等環境的影響，在大量商業化前需較好的絕熱封裝，這也是光纖波導最困難的技術障礙。

陣列波導光柵製作方法是利用半導體的蝕刻法做出凹面厚板的光波導，過濾出所需的波長。由於目前AWG法可過濾出的波長超過64個¹⁹，比介電質濾波

¹⁸ 陳鴻仁,「DWDM 濾波長多工器技術概述」,PIDA (Photonics Industry & Technology Development Association), 2000 年,頁 30-46。

¹⁹ 同註 18。

器的16個波長高出很多，因此成為未來頗被看好的濾波方式，產品唯一的缺點是受溫度的干擾嚴重，需加設溫度補償裝置，維持在一固定的溫度。而目前國內外知名廠商如Bookham、LightWave Micro、NTT、華新麗華、旺銖等。

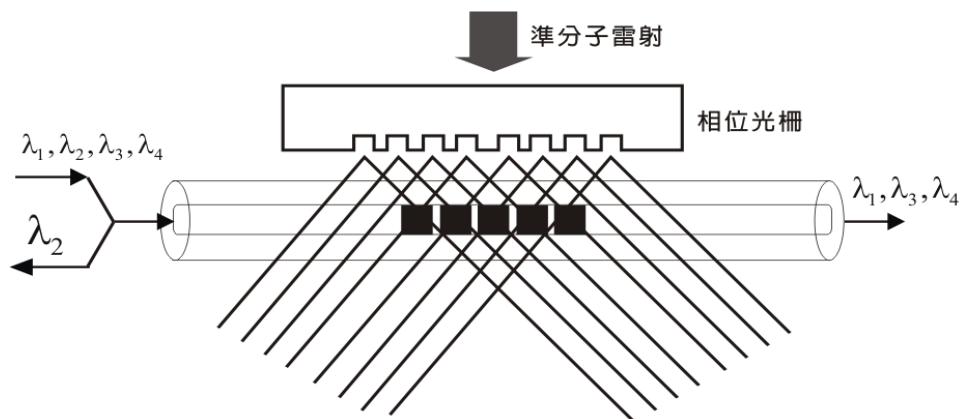


圖五 陣列波導光柵濾波技術

(資料來源：陳鴻仁，「DWDM 濾波長多工器技術概述」，PIDA (Photonics Industry & Technology Development Association)，2000年，頁30-46。)

三、光纖光柵技術(Fiber Bragg Grating, FBG)

利用光罩(Phase Mask)製作所需波長的圖樣，並放置在光纖上，再用紫外線照射光罩，當光訊號通過時，在光罩上的光纖會發生折射率變化，使得所需的波長遇到此段光纖便反射回去如圖六。在實際應用上，可製作多種的干涉圖樣在光罩上，以取得多條所需波長反射回去。由於FBG可產生相當細的干涉條紋，且反射率達到99.9%^{20, 21}，故相當適合製作精確波長的DWDM系統。



圖六 布拉格光柵濾波技術

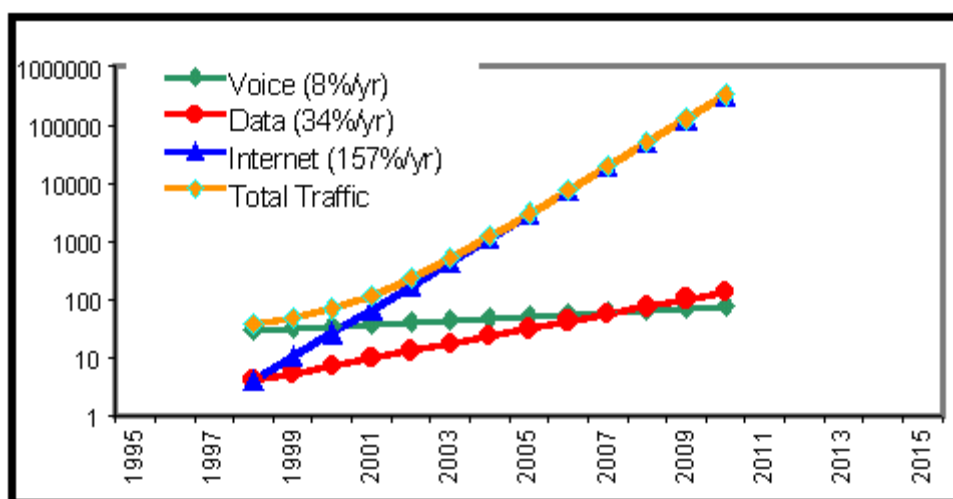
(資料來源：陳鴻仁，「DWDM 濾波長多工器技術概述」，PIDA (Photonics Industry & Technology Development Association)，2000年，頁30-46。)

²⁰ 同註 18。

²¹ Stamatios, V. K., DWDM : Networks Devices and Technolog Wiley Interscience, 2003.

光纖光柵是利用光纖的光感性在紫外光(Ultraviolet)的作用下，使光纖內部折射率發生變化而形成的光柵。光纖光柵可分成固定週期光柵和可變週期光柵兩類。依光纖光柵的週期、長度和調製強度決定光纖光柵的反射率和帶寬。由於光纖光柵具有有效的選頻特性，故光纖光柵在頻域中呈現出豐富的傳輸特性。自1978年Hill^{22, 23} 等人用階躍單模光纖率先制出窄帶高反射率Bragg光纖光柵濾波器後，由於光纖光柵與光纖通信系統易於連接且耦合損耗小等優點，而使其成為光纖器件的研究熱點。目前用於光纖通信系統中，由光纖光柵構成的光學器件有：光纖雷射器、光纖放大器、光纖調製器、光纖濾波器、光纖選頻耦合器、可調諧光纖濾波器以及Chirp光柵色散補償器²⁴ 等。

目前 DWDM 技術主要應用於通訊業者 Long Haul 之傳輸主幹 Backbone，像美國 AT&T、Sprint、MCI WorldCom 均已陸續採用，以應付網路流量業務之爆炸性成長，如圖七所示。日本 DDI Corp.、Teleway Japan 與 Japan Telecom Co. Ltd 均也利用 DWDM 提供更大之傳輸容量，因此 DWDM 近幾年需求成長速度驚人。



圖七 資訊傳輸曲線圖

(資料來源；楊素華，「DWDM 技術與發展現況」，電子技術雜誌，2002 年，頁 75-81。)

四、三種DWDM濾波技術的優缺點(表一)²⁵

²² Hill, K.O., Fujii Y., Johnson, D. C., and Kawasaki, B. S., "Photosensitivity in Optical Waveguides : Application to Reflection Filter Fabrication," Appl. Phys. Lett., Vol. 32, 1978, pp. 647-649.

²³ Kawasaki, B. S., Hill, K. O., Johnson, D. C., and Fujii, Y., "Narrow-Band Bragg Reflectors in Optical Fibers," Optics Lett., Vol. 20, 1981, pp. 440-445.

²⁴ Cole, M. J., "Broadband Dispersion-Compensating Chirped Fiber Bragg Gratings in 10Gbit/s NRZ 110 km Non-Dispersion Shifted Fiber Link Operating at 1.55um," Electron. Lett., Vol. 33, 1997, pp. 70-71.

²⁵ 同註 6。

就目前全球 DWDM 廠商製程技術來看，光纖光柵與薄膜濾波技術處於競爭之地位，但以薄膜濾波技術較為成熟，亦為國內廠商投入較多之處。表 3.1 所示，即為 3 種製程技術之分析比較。不過，由於光纖光柵所衍生之產品應用廣泛，除 DWDM 之外，亦可應用於在光放大器 EDFA 之增益平坦濾波器以及 LD 光源之穩頻等等，因此光纖光柵之未來成長將最為快速。另外，陣列波導 AWG 製程因近似於半導體製程，若能相互適用，對於製作 16 波道數以上時，相對於其他 2 種技術，良率以及量產能力之優勢，將可大幅降低成本，具相當之潛力。若以 DWDM 之分波數目做產品類別分析，在目前全球光通訊技術成熟度以及傳輸骨幹端市場需求，主流產品為 16-Channel，其次是 32-Channel。而當光纖進入都會以及區域網路後，8-Channel 產品需求將逐漸成長。因應頻寬需求之渴望，未來 DWDM 波長數目將增加至 40 波長以上，甚至 100 波長，使傳輸速率大幅度提昇。

表一 三種 DWDM 濾波技術的優缺點

	優點	缺點
薄膜濾波器 (TFF)	1.溫度穩定性高。 2.通道隔離度佳。	1.波長通道數較少。 2.波長損失越大。
光纖光柵 (FBG)	1.易耦合於光纖系統。 2.可分出較窄的波長。	1.元件受溫度影響。 2.波長能量損失大。
陣列波導 (AWG)	1.可一次分出較多波長。 2.可整合多功能在單一晶片。	1.受溫度影響大。 2.光纖介面接合不易。

(資料來源：陳鴻仁，「DWDM 濾波長多工器技術概述」，PIDA (Photonics Industry & Technology Development Association)，2000 年，頁 30-46。)

肆、高密度分波多工器 (DWDM) 系統技術發展趨勢與困難

一、發展趨勢

(一)提高單路傳輸速率和增加通道數並重，最終目標是實現 1-10Tb/s 的 DWDM 系統。

(二)實現 Tb/s 系統的方案之一是 OTDM 與 DWDM 相結合。

(三)雙向 DWDM 系統已經出現，並將得到一定的發展。

(四)DWDM 技術正在向區域網路發展，在不遠的將來還可能向用戶網發展。

(五)利用 DWDM 技術可以建設更大容量的光傳送網 (OTN)。

當前DWDM技術是光纖通信系統擴容的最佳方案，擴容潛力巨大，將來可與OTDM結合，滿足日益增長的通信系統擴容需求。DWDM技術在光網路上的應用同樣具有很大潛力²⁶。

二、系統技術的困難

從 WDM 系統誕生一直到現在 DWDM 系統的發展，其望著向更快速、距離更遠的方向邁進。為了減少系統成本和複雜性，因此可以以增加傳輸容量的方式來解決。

- (一)增加各個頻道的傳輸速率。
- (二)增加波道密度(縮小各波道間隔)。
- (三)增加可用的工作頻帶。

然而這三種方法都有其缺點存在，總結歸納為下列三點：

1.色散問題

是由於光在光纖中傳播時，不同波長的傳播速度不同而產生的，由於所有的光信號都是由有限數量的波長組成的，色散會導致在經過了一段長距離傳輸以後發生光脈衝展寬的現象，從而限制了帶寬。這種影響在傳統的光傳輸系統中是常見的。

2.非線性效應

主要包括受激喇曼散射（Stimulated Raman Scattering,SRS）、受激布裏淵散射(Stimulated Brillouin Scattering,SBS)、交叉相位調製(Cross Phase Modulation,XPM)、四波混頻（Four Wave Mixing,FWM），對光傳輸的影響間接通過其他參數，如色散、輸入光功率等參數展現出來。非線性效應只是現在才顯得重要。由於現在光纖系統多用於長距離傳輸，需要提高光強度。但強光實際上會改變光纖的折射率，導致光信號在光纖中傳輸時產生相位變化。而相位變化又會引起光脈衝的頻率成分的變化，導致脈衝的展寬，最終限制了系統的帶寬。

3.信號衰減

信號衰減是指光信號沿著光纖傳輸時出現的光功率線性減小的現象。其中表示光纖衰減的參數為衰減係數，它與光纖的工作波長直接相關。長距離傳輸時通過設置光放大器方式可實現再生光信號強度。但隨著放大次數的增加，附加在光信號上的雜訊也相應地增加，最終限制傳輸距離。

其目前可解決方法不外乎從光纖、光源、色散及光放大器著手。

²⁶ 同註 10。

(一)在光源部分，不僅要考量波道數，還有多 LD 造成成本問題，最主要途徑是多波長的光源積體化(集成光器件)，較有發展有：

- 1.DFB LD+電吸收調制器陣列。
- 2.等間隔多波長光源。
- 3.波長可調諧光源。
- 4.超連續(Super Continuum)光源。
- 5.基於半導體光放大器(SOA)的多波長雷射等。

(二)光纖技術的研究

在過去標準單模光纖(G.652)、色散位移光纖(G.653)和非零色散位移光纖(G.655)的基礎上，朗訊推出了新型的全波光纖(all-wave fiber)。它消除了常規光纖在 1385nm 附近由 OH 根離子造成的損耗峰，將損耗從原來的 2dB/km 降到 0.3dB/km，這使光纖的損耗在 1310-1600nm 都趨於平坦，極大拓寬了光纖的可用帶寬。

(三)色散問題本身並非波分多工所獨有，目前已開發出多種色散補償技術。在分波多工系統中，由於光纖的色散斜率不為零，導致色散特性與波長有關，不同波長通道的色散大小不一，這就給色散補償技術帶來新問題。好的色散補償技術應同時補償分波多工所有波長通道不同大小的色散，即可以補償色散斜率，或稱高階色散補償。

(四)而放大器部分 EDFA 能同時放大多路訊號、與光纖有良好耦合度、高增益和低噪聲等好處，為 DWDM 技術發展立下的汗馬功勞。但其非線性放大部分，有賴光纖光柵的應用使之平坦化。除此之光纖拉曼放大器(FRA)倍受關注，其放大頻譜範圍較 EDFA 為廣。

結論

在通訊資訊時代裡，網際網路的興起與大量頻寬的需求，帶動了寬頻光通訊網路蓬勃發展。雖然光纖網路頻寬的問題依然存在，目前利用 DWDM 系統可提高容量的光纖網路傳輸。而多波長/多通道傳輸功能 DWDM 的元件，既可提升傳輸容量，且不需另埋設新光纖，節省挖埋設架設費用等多項優點，成為光纖通訊世界時代重要的技術，對區域網路及高速複雜之系統的發展亦有莫大的幫助。進而實現光纖到桌上電腦(FTTD)、光纖到社區(FTTC)、光纖到家(FTTH)等實際環境，最後，完成建構全球資訊基礎建設(Global Information Infrastructure,GII)與國家資訊基礎建設(National Information Infrastructure,NII)。

目前陸軍的通信架構平台，涵蓋有線電、無線電、微波、戰術區域等通信

設施。因此光纖通信必成未來有線電通信的一個指標。

同時，光纖網路的建立，可以為陸軍整體光纖化通信網的建設提供實踐與經驗，有利於建立起一個自動化、智慧化、一體化的即時的通訊系統，使得不同地區、區域的陸軍指揮系統結合起來組成一個反應快速、互通性好、對抗性強的立體空間通信網。可以方便有效的與其他軍兵種實現大容量的即時互連互通，實現情報資訊的共用、戰略戰術的協同，提高作戰能力。