

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

在自由空間中光纖陣列與高密度分波解多工器的耦合系統
的設計與製作(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2215-E-009-020-

執行期間：93年08月01日至94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：陸懋宏

計畫參與人員：施至柔

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 6 月 21 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

在自由空間中光纖陣列與高密度分波解多工器 的耦合系統的設計與製作(2/2)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2215-E-009-020

執行期間： 93年 08月 01日至 94 年 07月 31日

計畫主持人：陸懋宏

共同主持人：

計畫參與人員：施至柔

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 94 年 06 月 24 日

在自由空間中光纖陣列與高密度分波解多工器 的耦合系統的設計與製作(2/2)

The design and fabrication of a coupling system between fiber array
and a dense wavelength division de-multiplexer (DWDDM)
in free space

計畫編號：NSC 93-2215-E-009-020

執行期限：93年08月01日至94年07月31日

主持人：陸懋宏 國立交通大學光電工程研究所

一、中文摘要

在第二年的計畫中，我們設計與製作出自由空間型的高密度分波解多工器與商用光纖陣列間的耦合裝置，利用黃光微影製程與感應耦合電漿蝕刻系統在矽基板上製作出光管陣列，再使用高溫氧化法在光管陣列的表面氧化出一層抗反射薄膜以降低光管的表面損耗。我們結合了第一年所製作的稜鏡光柵與光管陣列成為一個完整的分波解多工系統，並完成了整個分波解多工系統的封裝工作，使整個系統成為一個光纖輸入與光纖輸出的單一元件。

我們建立了一套量測系統，量測此波長解多工系統的每個通道的頻寬與訊雜比。並與理論計算作一比較，量測結果顯示此系統具有預期的光學特性，此分波解多工系統的每個通道的介入損失約為 2.4 dB，而相鄰通道的串話約為 -17dB。

關鍵字：高密度波長解多工器、稜鏡光柵、鑽石微加工技術

Abstract

In the second year, a light pipe array as a coupling system between a free-space dense wavelength division demultiplexer(DWDDM) and a commercial fiber array has been designed and fabricated. The light pipe array has been

implemented on a silicon-on-insulator wafer by using optical contact lithography and inductively coupled plasma-reactive-ion etching. In order to reduce the insertion loss, an anti-reflection coating is formed on the end surfaces of light pipe array with the thermal oxidation method. A packaged DWDDM system with the structure of fiber-in and fiber-out is accomplished.

In this project, we built up a system to measure each spectrum and signal-noise ratio for each channel of the system. These measured results are compared with the theoretical calculations. The performances of the DWDDM system that consists of the fabricated demultiplexer and light pipe array are measured. The experimental measurements demonstrate that this demultiplexing system shows good optical performance. The insertion loss for each channel is about 2.4 dB, and the next-neighbor cross talk is lower than -17dB.

Keywords : coupling system, light pipe array,

DWDDM

二、緣由與目的

在光纖通訊網路不斷快速成長的潮流中，對於具有高容量且傳輸快速的通訊網路需求變得十分殷切。在既有的通訊線路上提升傳輸速度與容量的方法可分為分時多工(Time

Division Multiplexing, TDM) 與分波多工 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) 兩大類[1]。分波多工是利用具有一定頻寬的訊號通道，讓許多不同頻率或波長的訊號同時在同一條線路上傳輸，並利用分波解多工(Wavelength Division Demultiplexing)的方式將不同波長的訊號在使用端彼此分離開來。分波(頻)多工不但可倍數級的增加系統的傳輸容量與速度，若配合摻鉀光纖放大器(EDFA)的使用，則可減少成本高昂且維護不易的光放大器的需求與維護。所以分波(頻)多工的技術發展遂成為光通訊領域中最受瞩目的研究課題，而高密度分波解多工器即成為分波(頻)多工的技術中的關鍵技術。高密度波長解多工器可分為傳統光柵型、光學濾片型[2]、光纖光柵型[3]與平面波導型等[4]，其中以傳統光柵型成本最為低廉，製作最為容易，且可以壓模方式大量複製。故我們發展出如圖 1 所示的自由空間型分波解多工系統。

由於自由空間型分波解多工器[5]，其相鄰通道訊號的空間距離遠小於商用光纖陣列每根光纖蕊心的間距，因此很難將每個通道訊號直接耦合進入光纖陣列。我們設計與製作出光纖耦合系統，其主要功能是將分波解多工器的輸出訊號耦合傳輸至標準的商用光纖陣列。

本實驗室在第一年的計畫中已完成高密度波長解多工器(稜鏡光柵)的設計與製作，並從元件的量測上獲得了一定的成果。在第二年中已完成光纖耦合系統的設計與製作，並完成整個高密度波長解多工系統的封裝工作。

三、光管陣列的設計

如圖 1 所示為一個完整的高密度分波解多工系統示意圖，光管陣列與光纖陣列的接合情形如圖 2 所示。在設計光管陣列之前必須先了解所製作稜鏡光柵的光學特性與實際輸出光場強度在自由空間中的分布情形，根據這些參數作為設計光管陣列的考量。在光管陣列的輸入端每根光管的間距需與每個通道中心波長訊號光在透鏡焦平面處的間距 $36.27\mu\text{m}$ 相對應，才能將此通道的訊號光完全導入光管。在光管陣列的輸出端，每根光管的間距需與標準商用光纖陣列中的每根光纖蕊心間距 $250\mu\text{m}$ 相符合，如圖 3 所示每根光管的截面為一個矩形，矩形的高和寬分別為 $34\mu\text{m}$ 與 $31\mu\text{m}$ 。由

於矽材料具有較高的折射率，在通訊波段中具有較好的穿透率，因此我們選用矽材料當作導光介質，這種材料也較適合以半導體製程技術作處理。在光管陣列的輸入端面和輸出端面均切 8 度角，用以防止端面的直接反射。光管陣列的設計與模擬工作主要是採用 BeamPRO 套裝軟體來完成。所設計的光管陣列是由十六根不同彎曲程度的光管所組成，每根光管的頭尾兩端具有相同的彎曲半徑但卻有相反的彎曲方向，這種光管結構通稱為 S 型結構。每根光管的彎曲損耗與彎曲半徑的關係如圖 4 所示，第一根與最後一根光管具有最小的彎曲曲率半徑為 5mm。在不考慮輸入與輸出端的反射損耗，根據理論計算每根光管的傳輸損耗小於 0.009dB，矽材質的光管陣列的傳輸損耗主要是由於在作蝕刻時側壁的不平整所引起[6,7]。

四、光管陣列的製作與量測

我們利用半導體製程技術與感應耦合電漿反應離子蝕刻技術(inductively coupled plasma-reactive-ion etching, ICP-RIE)完成光管陣列的製作。如圖 5 所示為製作完成的光管陣列的電子顯微鏡照片圖。矽晶片具有很高的折射率，這一特點對於光訊號具有很好的導光效率，但卻在矽材料與空氣介面上產生了很大的菲涅爾反射損失(Fresnel reflection loss)。為了有效降低反射損失則需在光管的輸入端面與輸出端面分別鍍上一層抗反射層，根據理論計算這層抗反射薄膜的折射率需為 1.85，但要找到剛好匹配的折射率十分不易，因此我們改以二氧化矽薄膜作為抗反射層的材料。在矽基板上長出一層二氧化矽薄膜對於半導體製程而言已是十分成熟的技術，不論在品質或平整度上都是十分良好且適合大量鍍膜，所以在製程的最後階段我們利用高溫氧化法在光管的每個表面氧化出一層抗反射薄膜。以橢圓偏光儀(SOPRA, GES5)量測二氧化矽薄膜在 $0.633\mu\text{m}$ 波段的折射率為 1.461，依據如下的 Sellmeier 色散公式，可計算出在波長 1550.8nm 的折射率為 1.444。

$$n^2(\lambda) = 1.0 + \frac{K_1\lambda^2}{\lambda^2 - L_1} + \frac{K_2\lambda^2}{\lambda^2 - L_2} + \frac{K_3\lambda^2}{\lambda^2 - L_3}, \quad (1)$$

其中係數 K_1, K_2, K_3, L_1, L_2 與 L_3 分別為 0.6961663、0.4079426、0.004679148、0.8974794、0.01351206 與 97.934。為了比較

鍍有不同厚度二氧化矽薄膜的光管陣列的光學特性，如圖 6 的照片所示我們製作了四種不同的樣品。

圖 7 所示為光管陣列的量測實驗架構圖。所用光源為頻寬 0.2nm 的可調波長雷射 (ANRITSU MG9541A)，在商用準直透鏡輸出端可得到發散角為 6.13×10^{-3} 度且半腰寬為 $w = 2.3\text{mm}$ 的高斯光束。此光束垂直入射於稜鏡光柵，再以非球面透鏡將此訊號聚焦於光管陣列的輸入端面。將裝有二十倍顯微物鏡的紅外 CCD (ELECTROPHYSIC 7290A) 置於光管陣列的輸出端紀錄每個通道的輸出光場強度分布。圖 8 所示為鍍有不同二氧化矽厚度的光管陣列之介入損失的量測曲線，由圖中可知光管陣列的介入損失因鍍上二氧化矽薄膜而降低。由於整個光管陣列都鍍有二氧化矽，致使光管陣列的傳遞損耗增加而與預期有些微差距。整體而言，光管陣列由於鍍上二氧化矽薄膜已使原有 60% 的光學效率提升至 80% 左右。圖 9 為量測所製作的高密度分波解多工系統的穿透光譜實驗架構，所用的光源為一個寬帶寬 (1520-1570 nm) 的 ASE 光源 (UNICE NA0101)，輸出光纖陣列是一個商用多模光纖陣列，蕊心直徑為 $50\mu\text{m}$ ，相鄰光纖間距為 $250\mu\text{m}$ ，十六根光纖分別連接於光譜分析儀 (JOBIN YVON TRIAX 550) 以量測出高密度分波解多工系統各通道的穿透光譜。圖 10 所示為各通道的穿透光譜，量測範圍從 1544.0nm 至 1559.0nm，而各通道-3dB 的帶寬約 0.62nm 。各通道相鄰串話 (cross talk) 約為 -17dB，每個通道的平均介入損失約為 2.4dB，其損失包含了高密度分波解多工系統各元件介面的反射損失，其中最主要的損失是來至於稜鏡光柵材料本身的反射損失，約為 1.74dB，這些損失可在各光學元件表面鍍上抗反射薄膜而有所改善。

在製作分波解多工器的最後階段，我們嘗試完成此分波解多工系統積體化的工作而達到光纖輸入與光纖輸出的單一元件。圖 11 所示為封裝後的結構圖，上圖為立體結構示意圖，下圖為實體照片，此結構的外觀尺寸為 $20 \times 20 \times 80\text{mm}$ 。圖 12 為封裝後十六通道的分

波解多工器實體照片圖。

五、結論

我們利用稜鏡光柵，完成了高密度分波解多工器的設計與製作。此分波解多工器將可在 C band 的波段中，同時分出十六個通道且每個通道的波長差為 0.8nm。對於各通道光訊號的接收部份，由於在焦平面處各訊號光點的間距遠小於光纖陣列相鄰蕊中心的間距，一般商用標準的光纖陣列很難接收。若是特製一個特殊規格的光纖陣列將會提昇整個系統的成本，因此我們設計與製作出一個光纖耦合裝置，將各通道的光訊號順利耦合至商用標準規格的光纖陣列。我們以標準的半導體製作程序與 ICP-RIE 技術完成光管陣列的製作，並以高溫氧化法在光管陣列表面作抗反射鍍膜。這種簡單的氧化裝置可在矽材料表面完成抗反射鍍膜且可有效降低耦合系統的介入損失，由實驗結果也證明了具有相當的成效。我們嘗試封裝所有的光學元件，由於所使用的紫外光學膠在固化後的特性不如預期，在固化後元件有些微的位移，造成固化後的光學特性不如固化前的好。人為封裝誤差是存在的，因此若發展出一套精密的對準技術，將有助於整個光學效能的提升，使得所製作的分波解多工系統能在光纖通訊領域中有廣泛的應用。

六、參考文獻

1. J. C. Palais, fiber optic communications, 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ/Prentice-Hall.
2. A. Michael, S Cobey, Mariborough, Mass, U.S. Patent 5, 583, 683 Assigned to OCA, Inc (1996).
3. F. Bilodeau, D. C. Johnson, S. Theriault, B. Malo, J. Albert and K. O. Hill, IEEE photon. Technol. Lett., vol. 7, 4, (1995) 388-390.
4. J. F. Viens, C. L. Callender, J. P. Noad, L. A. Eldada, and R. A. Norwood, Organic Photorefractives, Photoreceptors, Waveguides, and Fibers, Proc. SPIE 3799 (1999) 202-213.

5. J. R. Sze, M. H. Lu, , Opt. Eng., 44(2), (2005).
6. J. P. R. Lacey and F. P. Payne, IEE Proc. 137(4) (1990) 282
7. T. Mizuno, T. Kitoh, M. Ishii, Y. Inoue, T. Saida, M. Itoh, T. Shibata, and Y. Hibino , IEEE Photo. Tech. Lett. 15(2) (2003) 239

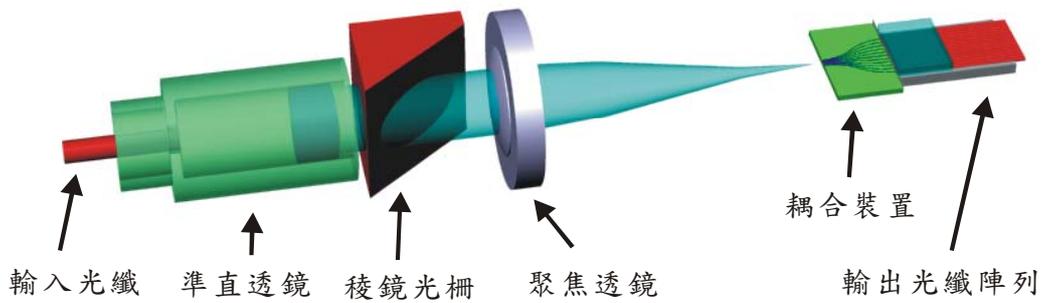


圖 1 自由空間型分波解多工系統示意圖。

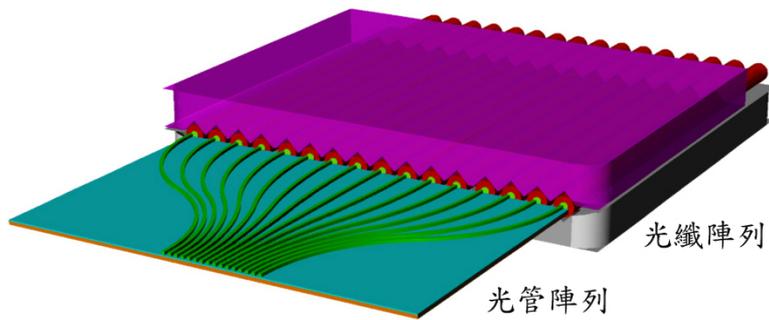


圖 2 光管陣列與光纖陣列的接合情形。

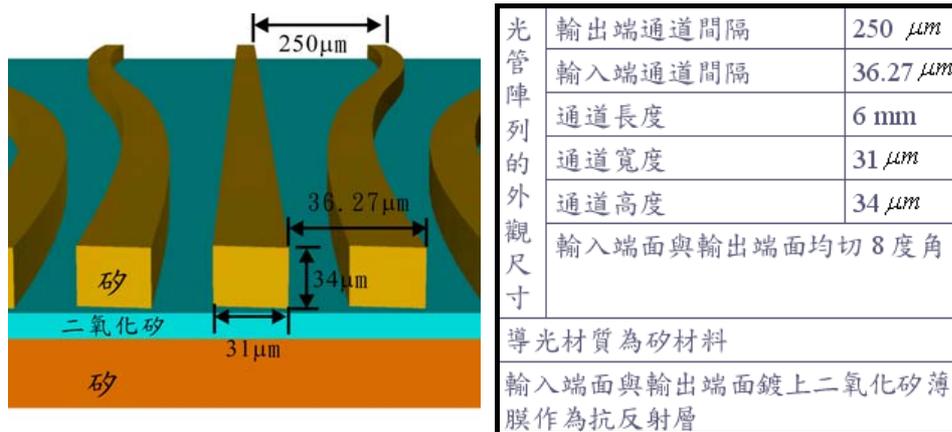


圖 3 所設計的光管陣列的規格。

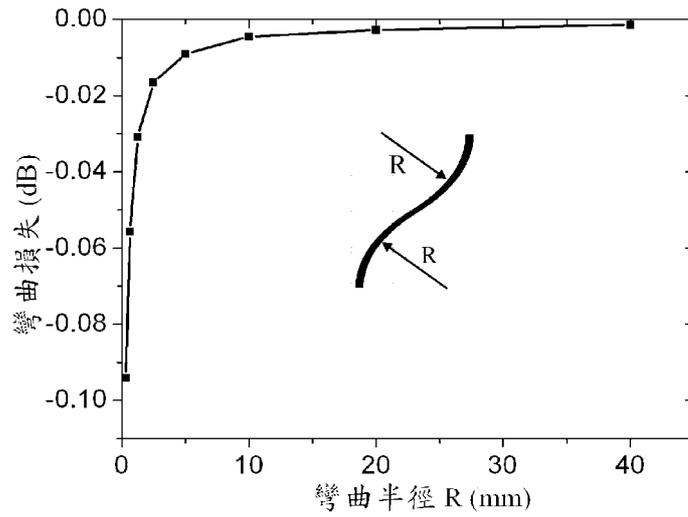


圖 4 光管的彎曲半徑與彎曲損耗的關係曲線圖。

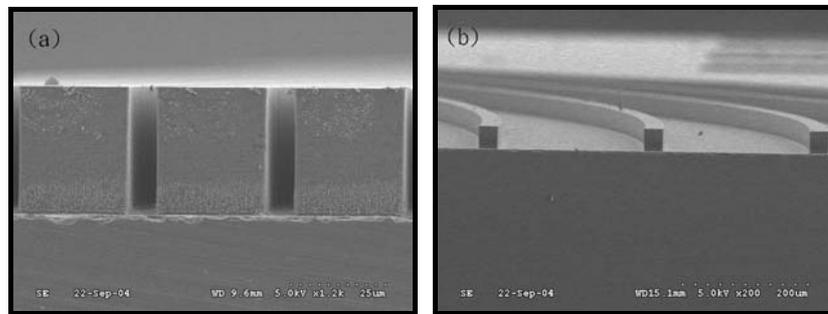


圖 5 製作完成的光管陣列局部電子掃描顯微鏡照片。
(a)輸入端。(b)輸出端。

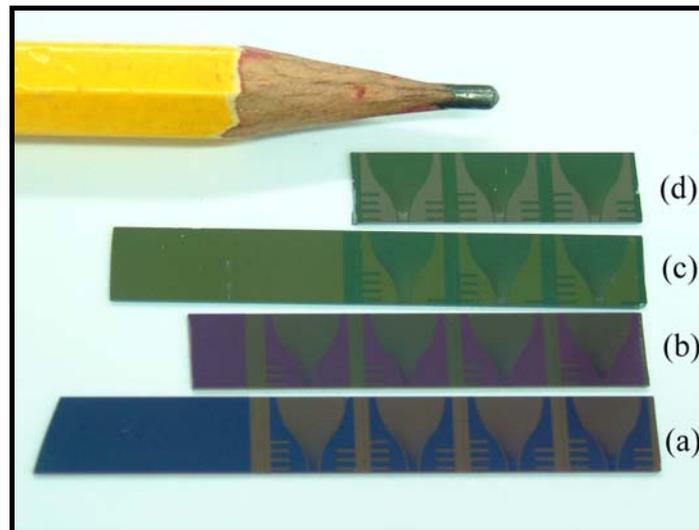


圖 6 鍍有不同厚度二氧化矽薄膜的光管陣列的照片。
(a) $0.269\mu\text{m}$, (b) $0.476\mu\text{m}$, (c) $0.589\mu\text{m}$, (d) $0.0\mu\text{m}$ 。

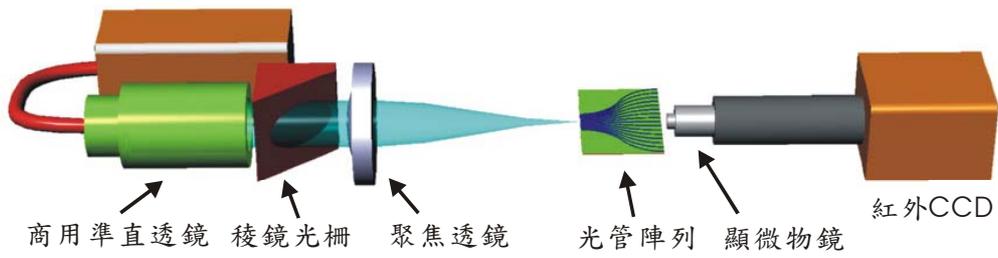


圖 7 量測光管陣列光學特性的實驗架構。

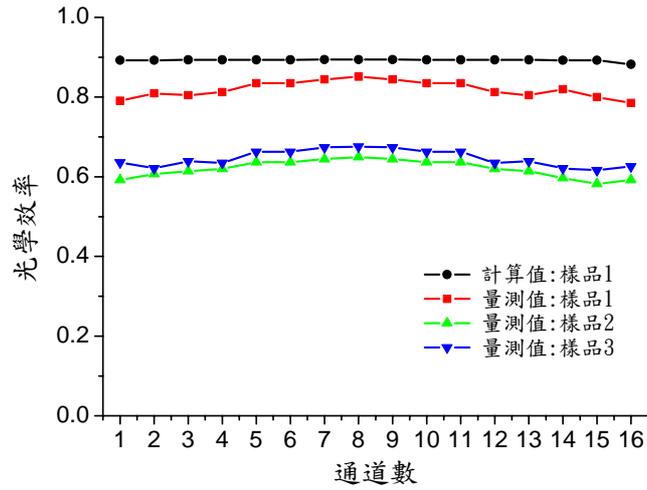


圖 8 對於鍍有不同厚度二氧化矽薄膜的光管陣列的各通道光學效率曲線。
 樣品 1: $0.269\mu m$ ，樣品 2: $0.589\mu m$ ，樣品 3: $0.0\mu m$ 。

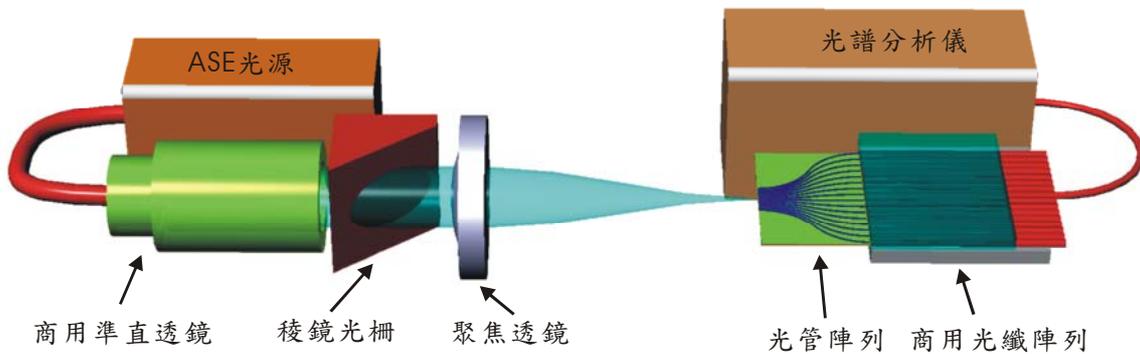


圖 9 量測高密度分波解多工系統光學頻譜的實驗架構。

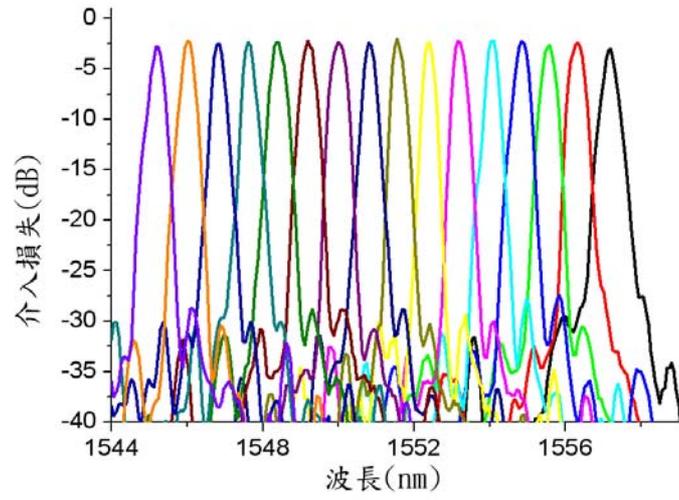


圖 10 高密度分波解多工系統十六個通道的頻譜分布曲線圖。

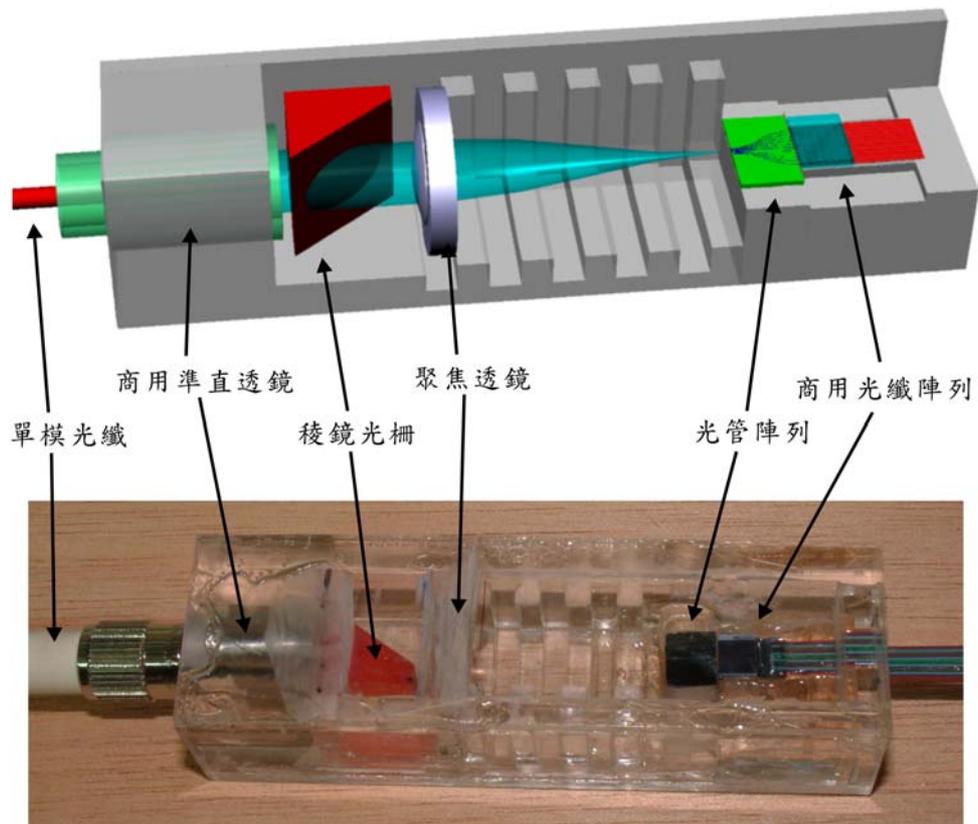


圖 11 分波解多工系統的封裝結果。



圖 12 封裝後十六通道的分波解多工系統實體照片。