

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 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(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2215-E-009-051-

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研究所

計畫主持人：陸懋宏

計畫參與人員：施至柔

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 11 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(1/2)

計畫類別：☒ 個別型計畫      ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2215-E-009-051

執行期間：      92 年   08 月   01 日至   93   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      93      年   05      月 11      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(1/2)

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 92-2215-E-009-051

執行期限：92 年 08 月 01 日至 93 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

在第一年的計畫中，我們利用穿透式稜鏡光柵 (grism)，設計與製作出高密度波長解多工器。此波長解多工器可工作在 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。為了提高此元件的繞射效率與訊雜比，我們採用高階繞射光與閃耀光柵結構作為設計依據。

我們利用鑽石微加工技術在一塊紅外材料 KRS-5 的稜鏡表面製作出閃耀光柵。當元件製作完成，我們也分析了微加工製程所產生的誤差，並估算出對元件的光學特性的影響。

另外我們也建立了一套量測系統，量測此波長解多工器的每個通道的頻寬與訊雜比。並與理論計算作一比較。

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 first year, we have designed and fabricated a dense wavelength division de-multiplexer (DWDDM) with a grism structure. This DWDDM works for 16 channels in the C band with 0.8 nm spacing between the adjacent channels. In order to increase the diffraction efficiency and resolution, we use blazed grating and operate in high order (ninth order) diffraction.

The surface-relief structure of the KRS-5 grism has been made with the diamond turning technology. The effects of the various errors coming from making process on the diffraction efficiency and signal-noise ratio are analyzed.

In this project, we also built up a system to measure each spectrum and signal-noise ratio for each channel. These measured results were compared with the theoretical calculations.

Keywords : dense wavelength division  
de-multiplexer (DWDDM), grism,  
diamond turning technology

## 二、緣由與目的

在光纖通訊網路不斷的快速成長潮流中，高容量快速傳輸需求亦殷切無比。而高密度波長解多工器之光纖被動元件可使原單根光纖中傳輸 4、8、16 或更多頻道訊號光，以增加通訊傳輸容量，並節省龐大的光纖埋設費與時程，無疑為最經濟效益的選擇。高密度波長解多工器可分為傳統光柵型、光學濾片型、光纖光柵型與平面波導型等，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。故我們以傳統光柵作為設計依據，並將其結構進行改進，以提高繞射效率與訊雜比。

傳統光柵(bulk grating)型 DWDDM 主要利用光柵本身的色散(dispersion)能力，將不同波長的光

同時平行地繞射到不同的位置。

一維週期的光柵是最基本而簡單的繞射光學元件，已被廣泛地使用在積體光學、全像光學、光電子學以及光譜學等領域。近年來隨著光電通訊產業的發展，分光元件逐漸走向低損耗、高解析度與低成本。利用光柵的分光能力，將可達成以上諸多優點，並可用於數位相機、數位攝影機、掃描器與 LCD 等光電產品，甚至用於光纖通訊中的 DWDDM 元件[1,2,3]。另一方面，由於光柵的製作純係表面輪廓的蝕刻，因此可利用工業界已發展成熟的壓模技術大量生產，使成本大為降低。

對於光學元件的設計與應用，效率是其中非常重要的考慮因素，閃耀光柵(blazed grating)利用閃耀角(blazed angle)的調整，可使所有光效率集中於某一級繞射，在理論上可得 100%的效率。因此閃耀光柵目前已有許多應用，如複合繞射透鏡(hybrid diffractive lens)[4]與消色差折射繞射透鏡等。

近年來，國內光電通訊產業已做了相當大的投資，對於窄頻寬、製作容易與成本低廉的 DWDDM 關鍵元件的研發將十分迫切。

本實驗室在這一年中已完成高密度波長解多工器的設計與製作，並從元件的量測上獲得了一定的成果，在未來的一年中將完成光纖耦合系統的設計與製作，以完成整個高密度波長解多工系統的製作。

### 三、理論計算

利用稜鏡光柵所設計出的高密度波長解多工器的示意圖如圖一所示。此波長解多工器包含有一個稜鏡光柵和一個聚焦透鏡。

此波長解多工器將可在 C band 的波段中，同時分出十六個頻道且每個頻道的帶寬為 0.8nm。為了提高此元件的繞射效率與訊雜比，我們採用高階繞射光與閃耀光柵結構作為設計依據。

圖二為所設計的稜鏡光柵示意圖，此光柵的繞射角關係式可表示為下式

$$\sin(\theta_m - \theta_0) - n_s(\lambda_f) \sin(\theta_b - \theta_2) = m \frac{\lambda_f}{d}, \quad (1)$$

其中  $m$  為繞射級數(diffraction order)，當  $m > 0$  時為正的級數，當  $m < 0$  時為負的級數， $d$  為光柵週期， $\theta_0$  與  $\theta_m - \theta_0$  分別為 0 階的繞射角與第  $m$  階的繞射角， $\theta_b$  為光柵的閃耀角， $n_s(\lambda_f)$  為 KRS-5 材料在波長為  $\lambda_f$  時的折射率。當光柵滿足閃耀條件時，光柵的閃耀角可表示為

$$\sin \theta_b = \frac{m \lambda_f}{[\cos \theta_1 - n_s(\lambda_f) \cos \theta_2] d} \quad (2)$$

$\theta_1$  為稜鏡的入射角， $\theta_2$  為折射角，當  $\theta_1 = \theta_2 = 0$  時光柵的閃耀角  $\theta_b$  為  $54.75^\circ$ 。為了使波長解多工器的插入損失(insertion loss)與極化方向無關(polarization-independent)，設計的光柵周期選為  $12\mu m$ ，此週期約為參考波長( $1.5528\mu m$ )的八倍。所使用的透鏡焦距為  $26.2mm$

為了使計算工作更貼近實際情況，我們也實際量測出入射光源(自發輻射光源, ASE)的強度分布，其分布為腰束大小(waist spot size)約為  $w = 2.3mm$  的高斯分布，最後將此參數加入自行所撰寫的程式以計算出各通道波長的空間強度分布與頻譜分布。

根據 Huygens-Fresnel 理論，可將稜鏡光柵在輸出平面的光場分布表示如下

$$E_2(x_2, \lambda) = A \times \sum_{p=1}^{N_2} \frac{\exp(-i\pi/4)}{\sqrt{\lambda}} \int_{\Delta x} \frac{\cos(\theta/2)}{\sqrt{R}} \exp[ik(R + p\Delta y n_s(\lambda))] \exp\left[-\left(\frac{x_1}{w}\right)^2\right] dx_1 \quad (3)$$

其中  $A$  為一常數， $\theta$  為波向量  $k$  與光柵面法線的夾角， $N_2$  為光柵的總線數， $\Delta x$  與  $\Delta y$  分別為單一光柵輪廓的寬度與深度， $R$  為  $x_1$  與  $x_2$  之間的距離。

依據高斯機率密度分布函數可計算出製程誤差所產生的光柵寬度與深度。

$$f_G(\delta_{x,j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left[-(\delta_{x,j} - a_x)^2 / 2\sigma_x^2\right] \quad (4)$$

$$f_G(\delta_{y,j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left[-(\delta_{y,j} - a_y)^2 / 2\sigma_y^2\right], j = 1, 2, \dots, N_2 \quad (5)$$

其中  $\delta_{x,j}(\delta_{y,j})$ ,  $a_x(a_y)$  與  $\sigma_x(\sigma_y)$  分別為光柵輪廓寬度(深度)的誤差值(deviation value), 誤差平均值(mean value)與偏差值(variance value)。

每個通道的訊雜比(Signal-Noise Ratio, SNR)可定義為下式

$$SNR = \frac{\sum_{\lambda \in signal} I(\lambda)}{\sum_{\lambda \notin signal} I(\lambda)} \quad (4)$$

其中  $I(\lambda)$  為波長為  $\lambda$  時的強度值。

#### 四、模擬與實驗結果

圖四為各通道訊號光在焦平面上的強度分布的計算結果。由圖中可知在焦平面上的訊號光強度分布亦為高斯分布, 且各通道中心波長的訊號光在焦平面上的空間分隔間距為  $28.93\mu m$ , 腰束大小為  $18.6\mu m$ , 此空間分隔間距與腰束大小可選擇不同的透鏡焦距而改變。圖五為此多工器在輸出平面的模擬頻譜分布, 每個通道在半峰值點的腰寬(full-width at half-maximum, FWHM) 約為  $0.674nm$ 。

圖六為經過鑽石微加工後, 稜鏡光柵的實體照片。圖七為以光學干涉的方式量測表面輪廓的結果。表一為實際量測與理論上的光柵深度與寬度的比較結果, 由表中可知製作的深度誤差約為  $1.02\%$ , 寬度誤差為  $2.26\%$ 。

圖八為以紅外 CCD 在焦平面處量測每個通道的強度分布, 圖九為理論計算與實際量測的效率比較圖, 圖十為以 Jobin-Yvon<sup>TM</sup> TRIAX-550 頻譜分析儀所量測得到的各通道頻譜分布, 圖十一為理論計算與實際量測各通道的訊雜比的比較圖。由圖八可知每個通道的半峰值點的帶寬約  $0.71nm$ , 其與理論值所造成的差異可能是由於製成的誤差而造成光柵周期的改變, 致使解多工器對波長的解析能力降低。

為了驗證這一點, 我們也計算了因製程誤差所產生的各通道強度分布並與實際測量值作一比

較, 並發現當偏差值為  $\sigma_x = \sigma_y = 0.05\mu m$  時與量測值吻合。

#### 五、結論

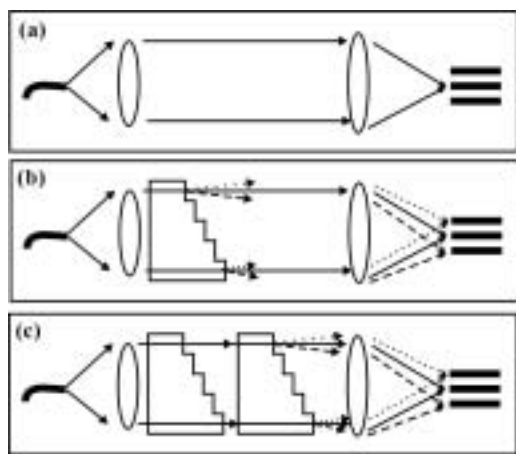
我們利用稜鏡光柵, 完成了高密度波長解多工器的設計與製作。此波長解多工器將可在 C band 的波段中, 同時分出十六個通道且每個通道的波長差為  $0.8nm$ 。為了提高此元件的繞射效率與訊雜比, 我們採用高階繞射光與閃耀光柵作為設計依據。我們根據 Huygen-Fresnel 子波疊加的傳輸理論自行撰寫的電腦程式以嚴格的波陣面疊加法驗證所設計的系統。

我們運用鑽石微加工的技術, 在 KRS-5 稜鏡表面上製作出閃耀光柵。實驗結果說明此一系統基本上可實現高密度波長解多工的功能。

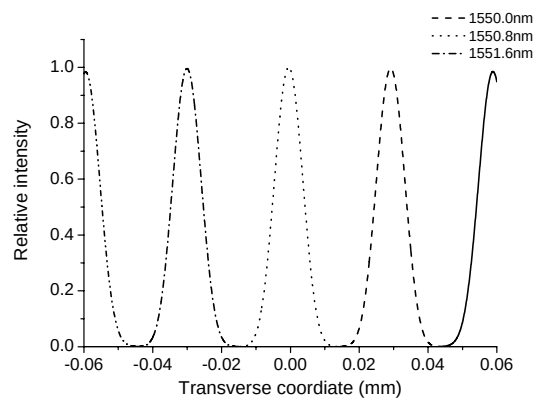
若能將此結構以串接的方式使用, 將可提高波長的解析度與訊噪比。在未來, 這種稜鏡光柵系統可以機械壓模的方式大量生產以降低成本並在光通訊系統與生醫系統上將會有近一步的應用。

#### 六、參考文獻

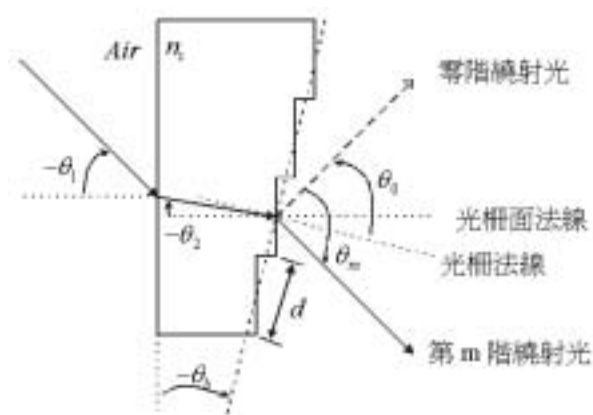
1. Y. Fujii, K. Aoyama and J. Minowa, "Optical de-multiplexer using a silicon echette grating", IEEE J. Quantum Electron., QE-16, pp. 165-169, 1980.
2. J. P. Laude, "High brightness monochromator using optical fibers", conference Opto. Proc., p.60, ESI Ed. Paris, 1980.
3. Michael A. S Cobey, Mariborough, Mass, "Optical multiplexing device", U.S. Patent 5, 583, 683, 1996. Assigned to OCA, Inc.
4. Carmina Londono and Peter P. Clark, "Modeling diffraction efficiency effects with designing hybrid diffractive lens systems", App. Opt., Vol. 31, No. 13, pp.2248, 1992.



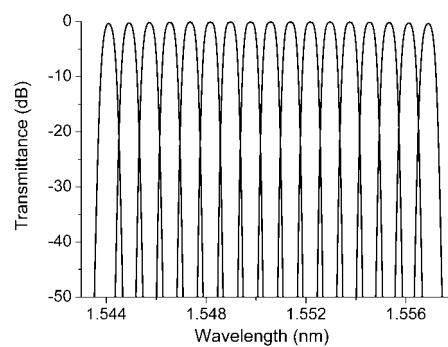
圖一 波長解多工器光學系統示意圖。



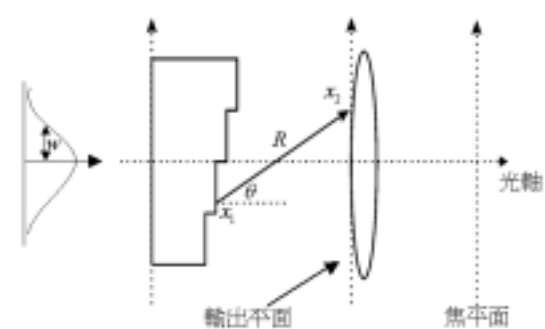
圖四 各通道訊號光在焦平面上的強度分布的計算結果（局部）。



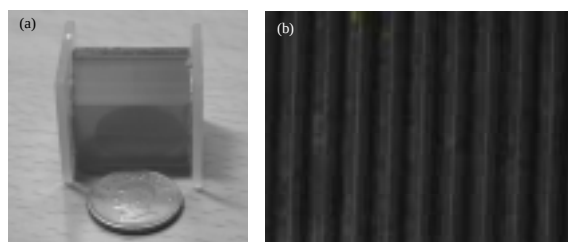
圖二 稜鏡光柵計算示意圖。



圖五 解多工器在輸出平面的模擬頻譜分布圖。



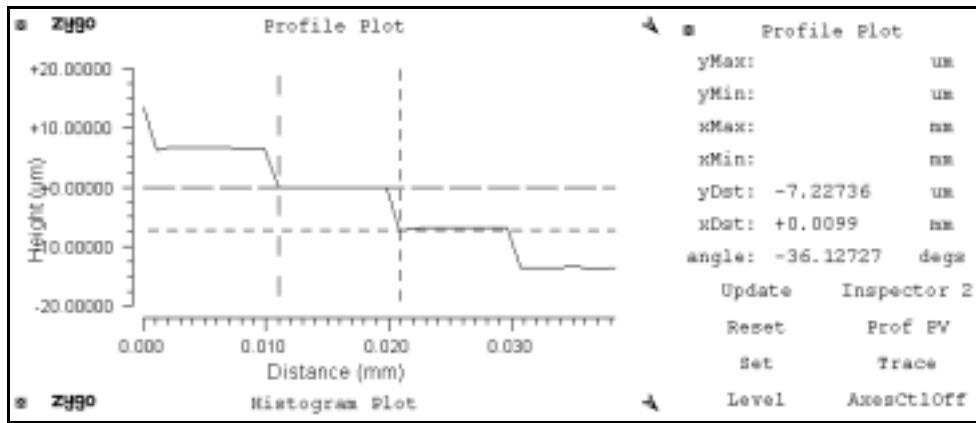
圖三 稜鏡光柵光場的計算示意圖。



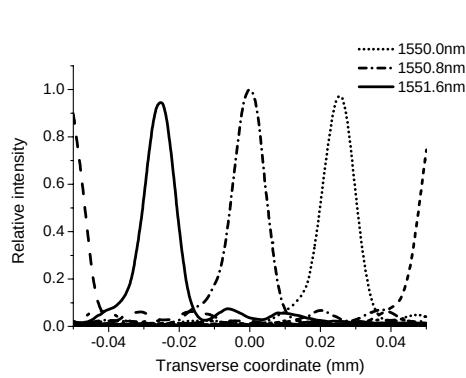
圖六 稜鏡光柵的(a)實體照片(b)局部放大圖。

|                | 光柵深度          | 光柵寬度           |
|----------------|---------------|----------------|
| 理論值( $\mu m$ ) | 9.8           | 6.93           |
| 量測值( $\mu m$ ) | $9.7 \pm 0.4$ | $6.78 \pm 0.3$ |
| 誤差值 (%)        | 1.02          | 2.26           |

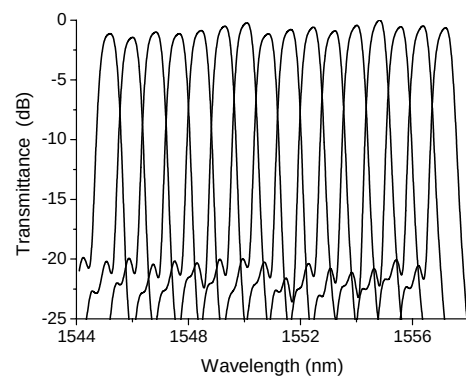
表一 製程誤差的比較。



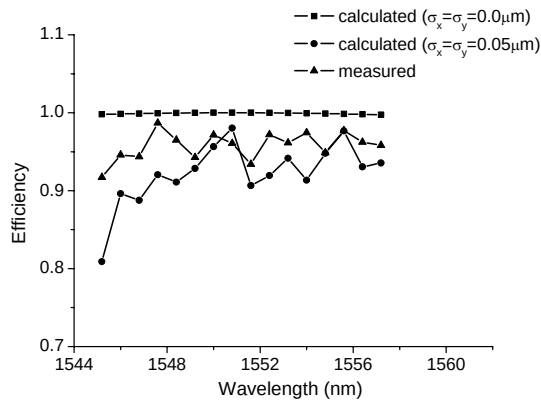
圖七 稜鏡光柵表面輪廓深度量測圖。



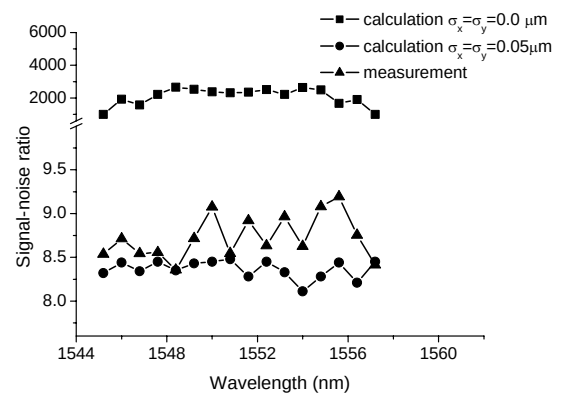
圖八 焦平面強度分布量測圖（局部）。



圖十 經由量測所得各通道的頻譜分佈。



圖九 理論計算與實際量測各通道的效率比較。



圖十一理論計算與實際量測各通道的訊噪比的比較圖。