

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

利用閃耀光柵系統來設計和製作高密度波長解多工器(I)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2215-E-009-056-

執行期間：91年08月01日至92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 92 年 8 月 13 日

利用閃耀光柵系統來設計和製作 高密度波長解多工器

The design and fabrication of a dense wavelength division
multiplexer by using blazed grating system

計畫編號：NSC 91-2215-E-009-056

執行期限：91年08月01日至92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

我們利用三個反射式閃耀光柵，設計與製作出高密度波長解多工器。此波長解多工器可在 1550nm 至 1555.6nm 的波段中，同時分出八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。

我們利用鑽石微加工技術在一塊銅金屬表面製作出此三個反射式閃耀光柵。當元件製作完成，我們也分析了微加工製程所產生的誤差。

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、閃耀光柵、鑽石微加工技術

Abstract

In this project, we designed and fabricated a dense wavelength division

de-multiplexing (DWDDM) system with three reflective blazed gratings. This DWDDM system works in the 1550-1555.6 nm spectral region with 0.8 nm spacing between the adjacent channels. In order to increase the diffractive efficiency and resolution, we adopted blazed gratings with high order (fifth order) diffraction.

The surface-relief structure of the gratings was made with the diamond turning. The effects of the various errors coming from making process on the diffraction efficiency and signal-noise ration were 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-multiplexing (DWDDM),
blazed grating, 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、光纖熔燒型與平面波導型等，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，將不同波長的光繞射到不同的位置。其組成之 DWDDM 結構如圖一所示，其中多波長入射光進入輸入光纖(input fiber)由聚光鏡射至光柵，經光柵色散後之各波長光在經聚光鏡聚焦於並排之各輸出光纖(output fiber)後傳輸。圖二為多波長入射光束經凹面鏡反射成平行光束後，射至光柵，經由光柵色散分光後再反射至該面鏡，各色散波長光在經由凹面鏡聚於各並排之輸出光纖束中達到分光作用。

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。

本實驗室近年來從事各種繞射的二進階微透鏡、微偏轉鏡與特殊功能的繞射元件的設計與製作。已具有一定的微光學元件的製作能力。而在未來的幾年本實驗室將以設計各式窄頻寬濾波元件為主，並朝實用性發展。

三、模擬計算

利用閃耀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三個反射式閃耀光柵和一個聚焦透鏡。

此波長解多工器將可在 1550nm 至 1555.6nm 波段中，同時分出八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作為設計依據。

圖二為所設計的步階式閃耀光柵示意圖，此光柵的繞射角關係式可表示為下式

$$n_1 d \sin \theta_m - n_1 d \sin(\theta - \theta_b) = m \lambda_0, \quad (1)$$

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， θ 為相對於閃耀光柵表面法線的入射角， θ_m 為相對於光柵基準面的繞射角。當光柵的閃耀角滿足 (2) 式，則對於參考波長為 λ_0 的入射光在繞射級數為 m 的繞射光具有 100% 的繞射效率。

$$2n_1 d \cos \theta \sin \theta_b = m \lambda_0 \quad (2)$$

為了使波長解多工器的介入損失 (insertion loss) 與極化方向無關 (polarization-independent)，

因此所設計的光柵周期為 $16\sim m$ ，此週期約為參考波長（ $1.5528\sim m$ ）的十倍，光柵的閃耀角為 16.1° ，並在光柵表面鍍有一層金薄膜以提高反射效率，每一塊光柵的面積為 $8mm\times 10mm$ ，光柵的入射角為 $\theta=29.0^\circ$ ，所使用的透鏡焦距為 $32.0mm$

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）的輻照度分布，其分布為腰束大小（waist spot size）約為 $5.8mm$ （如圖三所示）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分布與頻譜分布。

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

$$SNR = \frac{\sum_{\lambda \in signal} I(\lambda)}{\sum_{\lambda \notin signal} I(\lambda)} \quad (3)$$

其中 $I(\lambda)$ 為波長為 λ 的輻照度。

四、模擬與實驗結果

圖四為各通道訊號光在焦平面上的輻照度分布的模擬結果。由圖中可知在焦平面上的訊號光輻照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 $44.6\sim m$ 而腰束大小為 $31.1\sim m$ ，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 $0.578nm$ 。

圖六為經過鑽石微加工後，以光學干涉的方式量測表面輪廓的結果。圖七為製程與理論的深度與寬度的比較結果，由圖中可知製作的深度誤差約為 4.56% ，寬度誤差為 2.85% ，其所造成的光柵週期改變量為 2.26% 。

所製作出的波長解多工器頻譜分布的量測架構如圖八所示，圖九為以Jobin-YvonTM TRIAX-550頻譜分析儀所量測得到的各通道頻譜分布，圖十為

根據方程式（3）所計算出的訊雜比。由圖八可知每個通道的半峰值點的腰寬約 $1.2nm$ ，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週期的改變，致使解多工器對波長的解析能力降低。由方程式（2）可知當步階光柵的深度與寬度改變時，其所對應的入射角 θ 也將需跟著改變，才能使參考光束 λ_0 在第 m 級的繞射光效率維持極大，而使其他級的繞射光效率降至 0 。因此由於光柵的製程誤差而造成光譜圖上有其他級的繞射光產生，在經由其他光柵的繞射而使訊噪比降低。

五、結論

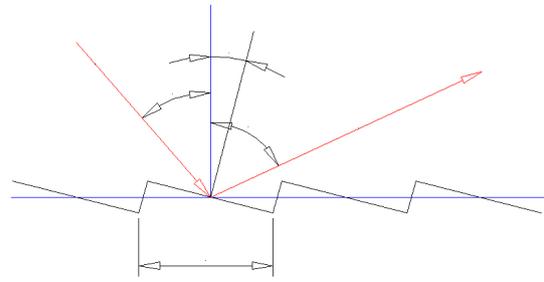
我們利用多重光柵，實現了高密度波長解多工器。此波長解多工器將可在 $1550nm$ 至 $1555.6nm$ 波段中，同時分出八個通道且每個通道的波長差為 $0.8nm$ 。為了提高此元件的繞射效率與訊雜比，我們採用高階繞射光與閃耀光柵作為設計依據。我們一方面使用OSLOTM光學套裝軟體也根據Huygen-Fresnel子波疊加的傳輸理論，自行撰寫成電腦程式以嚴格的波陣面疊加法驗證所設計的系統。

我們運用鑽石微加工的技術，在銅金屬基板上製作出步階式閃耀光柵。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。

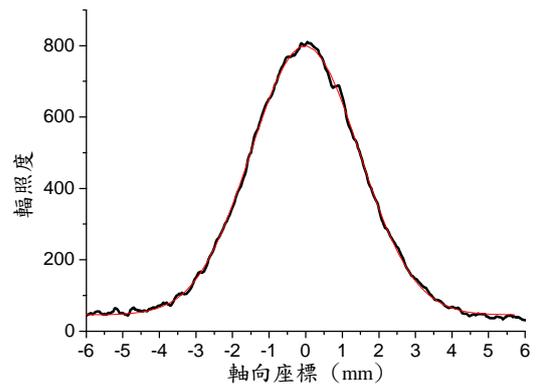
另一方面，若能將此結構製作於矽基板上再利用矽基板深蝕刻技術，在側壁製作出多重光柵而得到精確的製程結果，將可提高訊噪比。在未來，這種反射式閃耀光柵系統可以機械壓模的方式大量生產以降低成本並在光通訊系統與生醫系統上將會有近一步的應用。

六、參考文獻

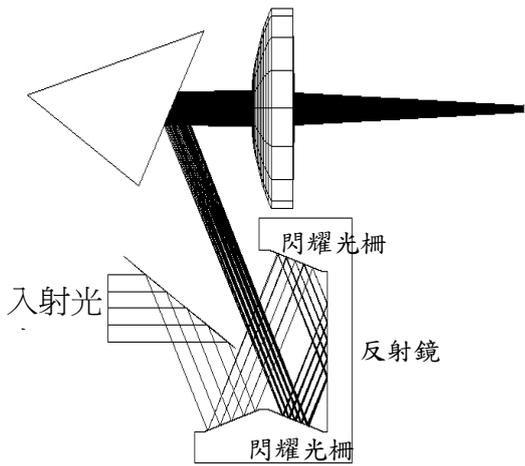
1. Y. Fujii, K. Aoyama and J. Minowa, "Optical de-multiplexer using a silicon echette grating", IEEE J. Quantum Electron., QE-16, pp. 165-169, 1980.
2. J. P. Laude, "High brightness monochromator using optical fibers", conference Opto. Proc., p.60, ESI Ed. Paris, 1980.
3. Michael A. S Cobey, Mariborough, 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.



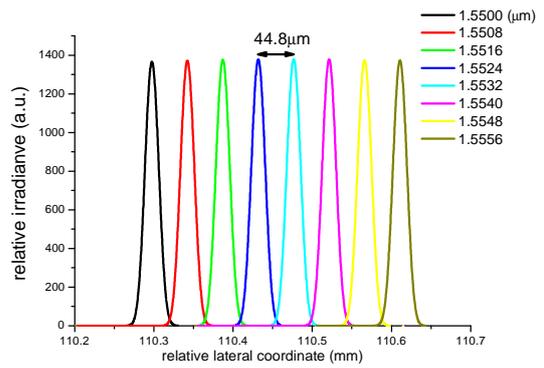
圖二 閃耀光柵計算示意圖。



圖三 ASE 光源的輻照度分布。



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輻照度分布的模擬結果。

光柵基準面之法線
光柵平面之法線

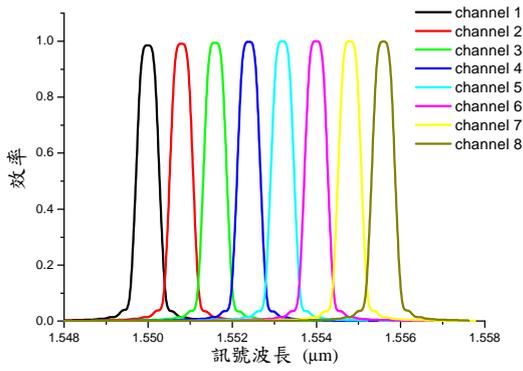
r " b

" m

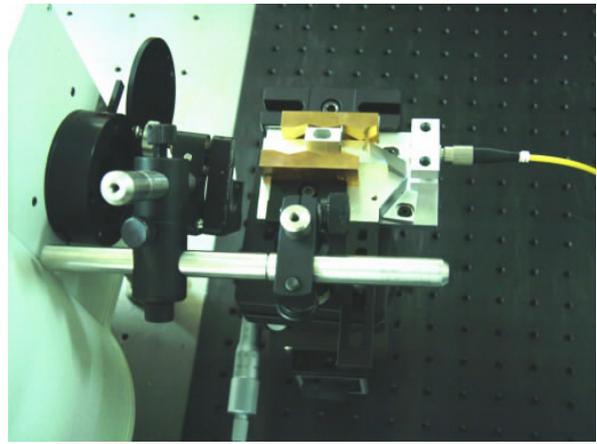
1 1 1 1 1

1 1 1 1 1

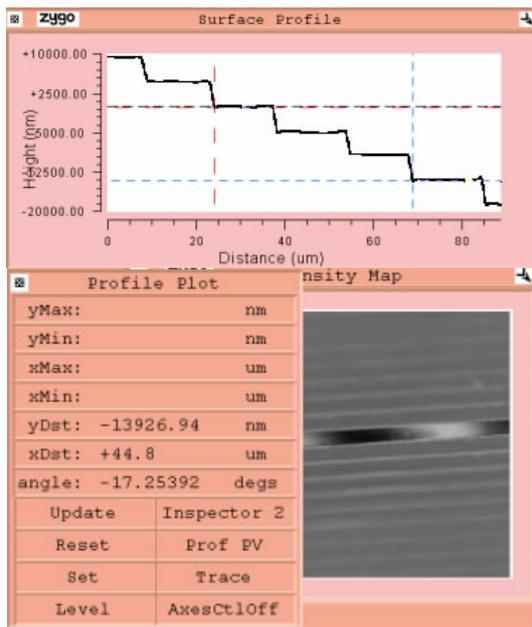
d



圖五 解多工器在輸出平面的模擬頻譜分布圖。



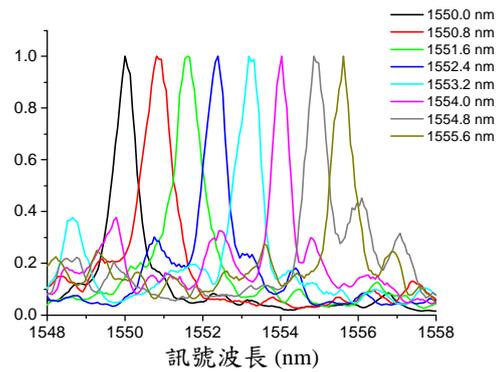
圖八 波長解多工器的輸出頻譜量測架構。



圖六 步階式閃耀光柵表面深度輪廓量測圖。

	步階深度	步階寬度
理論值 (~m)	4.4397	15.3716
量測值 (~m)	4.6423	14.9333
誤差值 (%)	4.56	2.85

圖七 製程誤差的比較。



圖九 經由實驗量測所得各通道的頻譜分佈。

中心波長 (nm)	訊雜比	中心波長 (nm)	訊雜比
1550.0	3.742	1553.2	1.801
1550.8	2.687	1554.0	1.615
1551.6	2.341	1554.8	1.321
1552.4	2.113	1555.6	1.123

圖十 各通道的訊雜比。



