

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 長途分波多工載波光纖傳輸系統

子計畫二：適用於 WDM-SCM 系統中的光纖光柵元件之研究

### Long Distance WDM-SCM Fiber Transmission Systems

### Sub-Project 2: Study of Fiber Grating Devices for WDM-SCM Systems

計畫編號：NSC 88-2215-E-009-017

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：賴映杰 交通大學光電工程研究所

#### 一、中文摘要

在本計畫中我們研究了適用於分波多工光通訊系統中之光纖光柵元件的分析、設計、與應用技術，其中包括了窄頻之布拉格光纖光柵、用來作為色散補償之週期漸變光纖光柵、及具多波長反射之取樣光纖光柵等。我們建立了電腦程式可以來分析及設計這些光纖光柵元件，也提出了一些利用這些光纖光柵元件所可以完成的新應用。在這些新的應用中，特別值得一提的是利用週期漸變光纖光柵來倍增光脈衝強度重複率的可能性，因為這是我們最近的一個創見，在未來的高速光纖通訊系統中有很大的潛在應用價值。

關鍵詞：光纖光柵、分波多工

#### Abstract

In this project we study analysis, design, and application of fiber grating devices that are suitable for WDM communication systems. They include narrowband Fiber Bragg gratings, chirped fiber gratings for dispersion compensation, and sampled fiber gratings that have multiple reflection bands. We have developed computer programs to analyze and design these fiber grating devices and have proposed potential new applications of these fiber grating devices. Among these applications, we would like to specially mention the possibility of using chirped fiber gratings for increasing the pulse intensity repetition rate of a periodic pulse train. This is one of our recent new ideas and should be able to find applications in future

high speed fiber communication systems.

**Keywords:** Fiber grating, WDM,

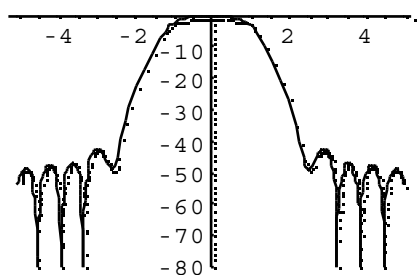
#### 二、緣由與目的

隨著光纖光柵製作技術的進步，光纖光柵元件在光纖通訊系統上的應用也越來越多且越來越重要。這是因為光纖光柵元件是直接光在光纖核心中感應出光柵，同光纖通訊系統的整合性高，而且藉著妥善設計光纖光柵的參數可以分別或同時達到反射、選頻、濾波、及色散補償等功能，這些良好特性可以用來提升現有摻鉍光纖放大器及其他光纖通訊子系統或系統的效率，更可以進一步用來設計及製作新型的光纖通訊子系統或系統。有鑑於此，本計畫之研究係來設計與研究適用於發展中之分波多工傳輸／次載波（WDM/SCM）系統的光纖光柵元件，希望能藉著光纖光柵元件的使用來改善分波多工傳輸／次載波系統的效率。我們也探討了一些利用這些光纖光柵元件所可以完成的新應用，並探討了利用週期漸變光纖光柵來倍增光脈衝強度重複率的可能性。

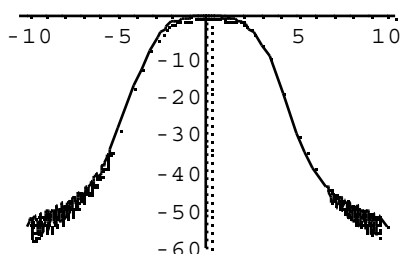
#### 三、結果與討論

Bragg 光纖光柵的理論模型一般是使用耦合模方程式來作為出發點。藉著解耦合模方程式就可以來分析及設計各類之 Bragg 光纖光柵元件，包括如圖一之窄頻 Bragg 光纖光柵，如圖二之週期漸變光纖光柵，以及以及如圖三之取樣 Bragg 光纖光柵。這些光纖光柵可以用來作為很多應用之關鍵元件，而隨著應用的不同，所需之參數也相異，所以需要設計軟體來針對

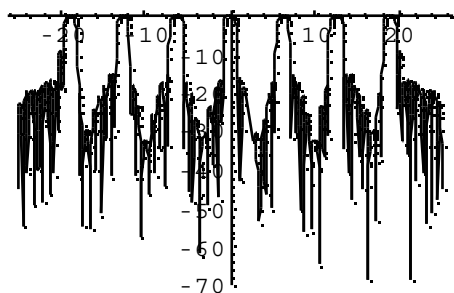
不同應用需求來進行設計。圖一到圖三只是一些數值例子來證明我們的分析模擬及設計的能力。



圖一：藉 Apodization 所得出之窄頻 Bragg 光纖光柵反射頻譜，橫軸為 normalized 頻率，縱軸為反射率 (in dB scale)。



圖二：Apodized 週期漸變 Bragg 光纖光柵之反射頻譜，橫軸為 normalized 頻率，縱軸為反射率 (in dB scale)。



圖三：取樣 Bragg 光纖光柵之反射頻譜，橫軸為 normalized 頻率，縱軸為反射率 (in dB scale)。

至於在光纖光柵的設計方面，除了藉由直接調整參數來設計之外，我們也發展了反向的設計方法。基本上這是先給出想要的反射頻譜，再由之經過一定之計算程序得出所需之光纖光柵形狀函數。在文獻上這種反向設計方法也有幾種不同的形式，我們實際的經驗發現這種反向的設計

方法所需的計算量頗大，有些時候且不易收斂，不見得很好用。

在光纖光柵元件的應用上，像是利用窄頻 Bragg 光纖光柵或是多波長取樣 Bragg 光纖光柵配合光纖干涉器或迴旋器來作 DWDM 光塞取器，或是利用週期漸變光纖光柵來作色散補償等都是眾所周知的應用方式，不再多述。此處我們則介紹一種可能之新應用：利用週期漸變光纖光柵來作倍增光脈衝強度重複率。其原理可簡述如下：對於一個重複率為  $f$  的穩定光脈衝序列而言，我們可以將波包方程式以其富立葉級數表示為：

$$E(t) = \sum_n E_n \exp\{j(2\pi nft + \phi_n)\}$$

在頻域上我們如果將其富立葉級數重新等間隔分成  $N$  個組別，則每一個新的頻域分組皆於時域上形成重複率為  $Nf$  的脈衝序列。為了簡單起見，我們假設原本的脈衝無啾啾(unchirped)，並且脈衝寬度小到足以使各頻率分量之振幅能被視為相等( $E_n=1$  for all  $n$ )。在此兩個假設之下，我們可以用下式來描述由第  $m$  個頻域分組所形成的第  $k$  個脈衝的相位：

$$\theta_{mk} = \exp\left\{j \frac{(2\pi m * k)}{N}\right\}, m, k \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$$

當每一組脈衝序列中的脈衝相位皆能描述後，我們嘗試著對第  $m$  組序列中的各個脈衝皆加入一個共同的相位偏移因數  $\delta_m$ ，並且重新於時域上使加成為峰值一致、重複率倍增為  $Nf$  的脈衝序列。我們可以求解下式而得所需的分組相位偏移因數  $\delta_m$ ：

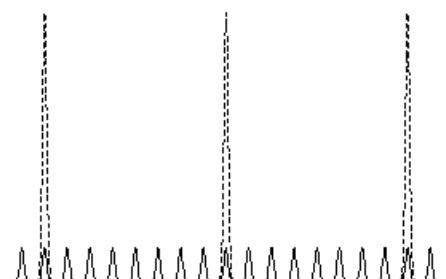
$$\left| \sum_{m=0}^{N-1} e^{j\delta_m} \times e^{j \frac{2\pi m * k}{N}} \right|^2 = N \quad \text{for} \\ k=0, 1, 2, \dots, N-1$$

對於不同的倍增係數  $N$ ，上式有多組解。其中一組解析解可表為：

$$\delta_m = \frac{\pi}{N} m^2 \quad \text{If } N \text{ is even}$$

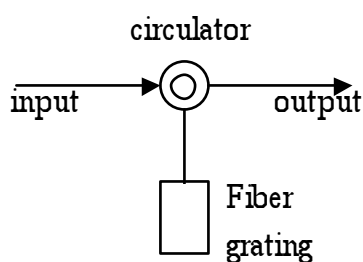
$$= \frac{2\pi}{N} m^2 \quad \text{If } N \text{ is odd}$$

一個重複率倍增8倍的數值例子請見圖四。



圖四：光脈衝重複率增加8倍之數值例子。

上式中的相位偏移對於  $m$  而言是呈平方比的，因此可以運用光纖的二次色散 (second-order dispersion) 來實行[2][3]，其原理類似於空間中分數濤伯效應 (fractional Talbot effect)。由於週期漸變光纖光柵可用來作色散補償，所以本身就可具有非常大的二次色散，因此相當適合用來實現這種無耗損之光脈衝重複率倍增技術，實際的架構將如圖五所示：



圖五：倍增重複率之實際架構。

如果我們計算所需的色散值大小，可以發現對低重複率的脈衝而言所需的色散值要較大，而對高重複率的脈衝而言所需的色散值較小但是頻寬就要較寬。好在以目前的技術已經可以製作相當長的光纖光柵，甚至也可使用取樣光纖光柵，所以應

該已經可以針對不同的重複率來設計所需之光纖光柵。

除了使用光纖光柵之外，我們也提出利用串級側耦合式環形共振器及多層 Fabry-Perot 共振器來實行的方法【論文發表 2】。這些新的方法或能開啟運用積體光學元件來產生無能量耗損地脈衝重複率倍增之濫觴。

#### 四、計畫成果自評

在本計畫中所完成的成果中，光纖光柵的分析及設計這部分所使用的方法基本上同文獻上已有的方法相同，所以這部分的貢獻主要是在國內建立起光纖光柵元件的分析及設計技術。目前市場上已有關於光纖光柵元件的商用設計軟體，我們將來應該也可以考慮將研究結果轉為實用軟體的可能性。在本計畫中比較具新穎性的成果應該是有關利用週期漸變光纖光柵或其他類型光學全通濾波器來倍增光脈衝強度重複率的新想法，我們初步的理論結果已經在國際會議上發表，正式論文也已投稿到國際期刊並即將發表。在光纖光柵元件的實際製作及量測上則受限於儀器設備而進度落後，不過我們仍將持續進行這方面的工作。總結這些方面的成果，我想本計畫的執行應該還算可以接受。

#### 【相關論文發表】

1. C. B. Huang and Y. Lai, "Lossless pulse intensity repetition rate multiplication using optical all-pass filtering", CLEO'99 paper CtuK17.
2. C. B. Huang and Y. Lai, "Lossless pulse intensity repetition rate multiplication using optical all-pass filtering", to be published on IEEE Photonic Technology Letters, February 2000.

#### 五、參考文獻

- [1] Raman Kashyap, Fiber Bragg Gratings, Harcourt Brace & Company, January 1999.
- [2] S. Arahira, S. Kutsuzawa, Y. Matsui, D. Kunimatsu, and Y. Ogawa, "Repetition-frequency multiplication of mode-locked pulses using fiber dispersion," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 16, pp. 405-410, 1998.
- [3] I. Shake, H. Takara, S. Kawanishi and M. Saruwatari, "High-repetition-rate optical pulse generation by using chirped optical pulses," *Electron. Lett.*, vol. 34, pp. 792-793, 1998.