

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

光纖通訊用高脈衝重複率鎖模摻鉍光纖雷射光源之研發 Study of High Repetition Rate Modelocked Fiber Lasers for Optical Communication

計畫編號：NSC 89-2215-E009-017

執行期限：88年8月1日至89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

在本計畫中我們針對光通訊用高脈衝重複率主動鎖模摻鉍光纖雷射進行研究，包括針對不同雷射架構進行理論模擬以及在實驗上進行實製。主動鎖模光纖雷射必須藉諧波鎖模才能達到高脈衝重複率，而諧波鎖模雷射一般而言都有很大的超模雜訊，必須有額外的穩定機制才能實際達到穩定輸出。此外一般的光纖雷射因採用 non-PM 光纖，所以對光偏振的變化很敏感，所以外界的擾動很容易造成雷射輸出光功率上的變化。為了解決這些問題，我們採用了 PM 光纖共振腔及 Farady Rotating Mirror 配合 non-PM Er-fiber 的雷射架構，搭配利用主動電子回饋方式或被動光纖光柵共振濾波方式來達到穩定的輸出。

關鍵詞：鎖模光纖雷射、諧波鎖模、摻鉍光纖

Abstract

In this project we study high repetition rate modelocked Er-fiber lasers that are suitable for optical communication applications. We investigate the properties of two actively harmonic modelocked Er-fiber laser configurations both theoretically and experimentally. Since most harmonic modelocked fiber lasers suffer from high supermode noises, the implementation of stabilization mechanism is usually necessary for these lasers. Moreover, typical modelocked fiber lasers utilize non-PM fibers in the cavity, so they also suffer from power fluctuations caused by the polarization rotation due to environmental perturbations. To avoid these problems, we adopt the laser configuration that utilizes PM fibers and a

Farady Rotating Mirror with the use of non-PM Er-fibers. The laser can be stabilized by actively electronic feedback or by passively optical resonant filtering with a fiber grating resonator.

Keywords: Modelocked fiber laser, Harmonic Modelocking, Er-fiber

二、緣由與目的

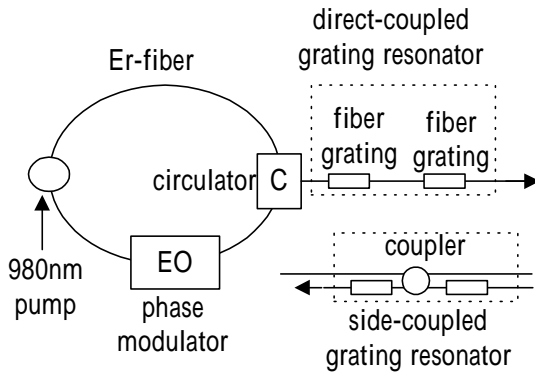
主動鎖模光纖雷射可產生高品質之高脈衝重複率光脈衝序列，相當適合光通訊上的應用。不過因為必須採用諧波鎖模機制，所以一般會有很大的超模雜訊，必須有額外穩定的機制才行。此外由於一般光纖雷射對外界的微擾很敏感，一點點變化就會造成光功率的改變，這也會造成實用上的限制。本計畫的目的即是要來解決這些問題，最終希望能製作出穩定實用之高脈衝重複率主動鎖模光纖雷射，可以用於實際之光纖通訊系統。

一般而言，鎖模光纖雷射可以採用的穩定機制包括主動電子回饋式及被動光學濾波式，都可以達到很好的效果。光功率的敏感性則可藉著使用 PM 光纖的雷射架構來改善，不過因 PM 摻鉍光纖尚不普遍，所以我們採用一個 Farady Rotating Mirror 配合 PM fiber loop 的雷射架構，如此我們可以使用 non-PM 的摻鉍光纖而仍能達到穩定的雷射輸出，這即是我們在本計畫中所採用的方式。

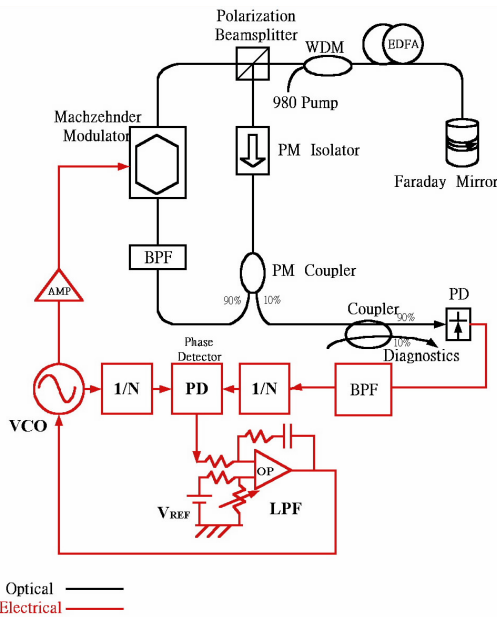
三、結果與討論

在本計畫中我們共探討了兩種主動諧波鎖模摻鉍光纖雷射架構，一為使用被動光學濾波來穩定的雷射架構，一為使用主動電子回饋及 Farady Rotating Mirror 配

合 PM fiber loop 的雷射架構。雷射的架構示意圖請見圖一及圖二。



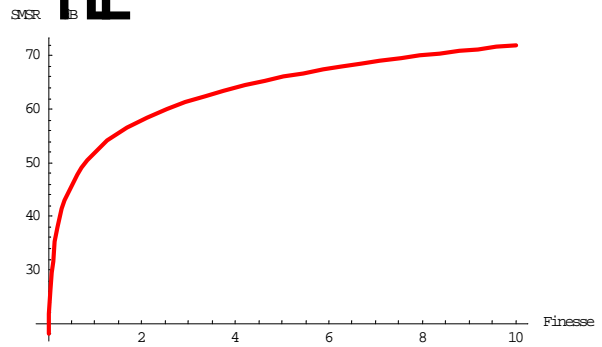
圖一：被動光學濾波穩定之主動鎖模摻鉍光纖雷射



圖二：主動電子回饋及使用 Faraday Rotating Mirror 配合 PM fiber loop 之主動鎖模摻鉍光纖雷射

第一種雷射架構是使用光纖光柵共振濾波器來強迫光纖雷射共振於單一超模，而其有效性則與此共振濾波器的 Finesse 有關。為了理解這種穩定機制，我們發展了理論模擬來預測此類雷射的特性。圖三是超模抑制比對共振濾波器 Finesse 的典型關係圖，可以看出一開始當濾波器 Finesse 開始增加時超模雜訊降得很快(超模抑制比增加)，但是當 Finesse 超過一定值時超模雜訊降的速度便開始變慢。理論模擬所

用的參數是依據我們實際架設的雷射，脈衝重複率約 1GHz，脈衝輸出寬度約 90ps，輸出脈衝的圖形及頻譜因篇幅限制不在此多述。我們在實驗上所觀測到的超模雜訊比分別為 40dB (direct-coupled resonator) 及 58dB (side-coupled resonator)，經過換算，我們所使用的 fiber grating 共振濾波器的 Finesse 分別為 1 及 7.7，這些結果大致驗證了超模抑制比與共振濾波器 Finesse 間之關係。

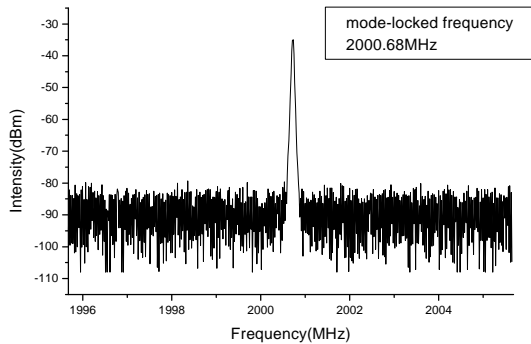


圖三：超模抑制比 (Super-Mode Suppression Ratio) versus 濾波器 Finesse.

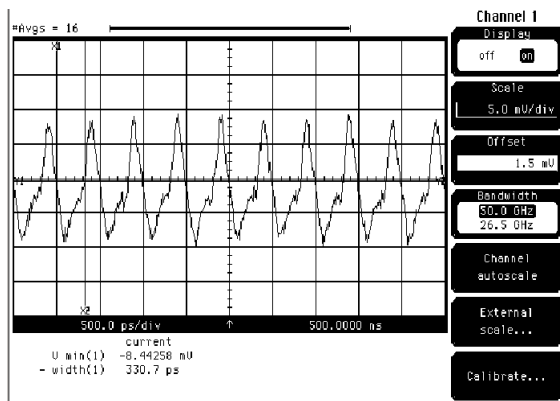
第一種雷射架構雖有不錯的表現，不過仍有一些限制。在第二種雷射架構中，我們特意作了如下的改進：

- (1) 雷射的共振腔盡可能採用 PM fiber 來減少偏振變化的影響。圖中的 PM fiber loop 在進入 PM beam splitter 的一端需有 90 度的旋轉然後熔接，如此才能形成一個環形共振腔。
- (2) 採用 Faraday Rotating Mirror 來配合 non-PM 摻鉍光纖的使用。Faraday Rotating Mirror 可使反射光經過摻鉍光纖後回復原來的偏振態，所以即使在 non-PM 摻鉍光纖中有偏振的擾動也不會影響雷射的輸出。
- (3) 使用主動電子回饋式的穩定機制，避免因使用光纖光柵而限制了輸出脈衝寬度。像是在我們的第一個雷射架構中脈衝寬度便被限制在 90ps 左右，此雖可藉使用 chirped fiber grating 來改善，但仍不是很方便。使用主動電子回饋式的穩定機制應能避免這一點。

目前我們所得到的實驗結果如圖四及圖五所示：



圖四：輸出脈衝之電子頻譜（第一諧波分量）



圖五：輸出脈衝在示波器上之波形，因受限於偵測設備，這不是真正的脈衝寬度及形狀。

可以看出已經鎖模成功，而且還算穩定。目前我們的鎖模頻率因受限於儀器設備只能到 2.5GHz（圖中為 2GHz 的結果），不過就雷射架構而言應該可以到 10GHz（我們的 EO modulator 之頻寬）。我們目前正與大同科技大學的林恭如教授合作來嘗試使用他們所開發的新型電子式回饋控制穩定電路，我們也正自行組裝較傳統式的回饋控制穩定電路來進一步穩定我們的雷射輸出，預期應能很快達到 10GHz 高脈衝重複率穩定雷射輸出的目標。將來再進一步搭配我們提出的腔外倍增重複率的機制，將可進一步由 10GHz 朝更高的重複率邁進。

以我們目前在 2.5GHz 的結果來看，已可看到此雷射對環境變化所造成的影響非

常不敏感，實驗中即使故意碰觸光纖一下也不會影響雷射的輸出。這證明了在共振腔中盡可能採用 PM fiber 來減少偏振變化的影響以及採用 Farady Rotating Mirror 來配合 non-PM 摻鉍光纖的使用的確已經產生了預期的效果，我們認為這樣的雷射架構才能滿足應用上的需求。

四、計畫成果自評

在本計畫中所完成的成果中，比較具新穎性的成果應該是有關超模抑制比的理論計算以及在共振腔中盡可能採用 PM fiber 及使用 Farady Rotating Mirror 的這種穩定雷射架構的實際架設。藉著變分法的使用，理論上我們成功地得出一個相當具有一般性之演算法可以來計算鎖模雷射的超模雜訊抑制比，實驗上我們也成功地架設了相當穩定的主動鎖模摻鉍光纖雷射。總結這些方面的成果，我想本計畫的執行使我們在實驗及理論上的研究都有持續的進展，我們未來也仍將持續進行這方面的研究工作。

【相關論文發表】

1. C.-B. Huang and Y. Lai, "Lossless pulse intensity repetition rate multiplication using optical all-pass filtering", *IEEE Photon. Tech. Lett.*, 167, 2000.

五、參考文獻

- [1] M. J. Chawki, I Valiente, R. Auffret and V. Tholey, *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 23, 2034, 1993.
- [2] N. Onodera, *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 11, 962, 1997.
- [3] M. Nakazawa, E. Yoshida and Y. Kimura, *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 19, 1603, 1994.
- [4] X. Shan, and D. M. Spirit, *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 11, 1993.
- [5] Li Yuhua, Lou Caiyun, Wu Jian, Wu Boyu, and Gao Yizhi, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 9, 1250, 1998.
- [6] Randal A. Salvatore, Steve Sanders, Thomas Schrans, and Amnon Yariv, *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 32, no. 6, 941, 1996.
- [7] E. R. Theon, M. E. Grein, E. M. Koontz, E. P. Ippen, H. A. Haus, and L. A. Kolodziejski, *Opt. Lett.*, vol. 25, no. 13, 948, 2000.