

寬頻摻鉕光纖放大器之研究

計畫編號: NSC 91-2215-E-007-016

執行期限: 91/08/01 - 92/07/31

主持人: 王立康 清華大學電機系教授

(一) 摘要

我們知道目前一個最有效增加頻寬的方法是使用波長多工 (WDM; wavelength-division multiplexed) 的方式, 甚至, 近年來使用的 DWDM (dense wavelength-division multiplexing) 技術更是能有效使用頻寬。因此我們設計光放大器時必須考慮到要使其能用的頻寬增加, 如此一來我們才可將更多的通道塞入同一條光纖, 使同一條光纖能再增加它的高資料傳輸容量。於是, 摻鉕光纖放大器之增益平坦化成為一個相當重要的課題。在此次實驗中, 吾人設計使用被動元件來製作增益平坦濾器。此實驗中, 有別於長週期光纖光柵 (LPFG; long period fiber grating), 我們使用了有反射頻譜的布拉格光纖光柵 (FBG; fiber bragg grating), 並且配合使用不同反轉分佈的吸收頻譜來達到可調之增益平坦器。當然, 我們還可以配合許多光被動元件, 以及配合不同濃度及長度之摻鉕光纖, 使其預期有更佳的平坦度。

(二) 簡介

摻鉕光纖之所以能被廣泛的使用, 主要因為它有以下優點:

- 1 高增益 (可以做到大於 45dB 以上)
- 2 低雜訊指數 (可以做到低近於 3dB 之 quantum limit)
- 3 極化相關損耗小 (polarization

dependent loss; $PDL \cong 0.2\text{dB}$)

4 頻寬落於 1550nm 通訊波長帶域

當我們設計摻鉕光纖放大器時, 我們必需重視幾個特點。首先, 我們直覺會先考慮的當然是放大器的增益, 其次就是影響通訊品質的雜訊指數 (NF, noise figure), 另外增益平坦度也是相當重要的。設計摻鉕光纖放大器時, 不同的放大器有不同的要求。簡單的說, 製作 booster 時首重信號的高輸出功率; 製作前級放大器時重視低雜訊指數; 製作中繼放大器時必須要求高增益以及增益平坦度。

我們欲增加輸出功率時, 除了加大 pumping power 以外, 還可以加長摻鉕光纖的長度, 這當然受限於我們可供給的 pumping power。若我們將可供給的 pumping power 調至最大, 過長的摻鉕光纖反而會使增益下降。這是由於太長的摻鉕光纖拉太長時, 已有部分長度的摻鉕光纖已經無法有足夠 pumping light 吸收, 使 population 不足以將信號光放大; 換句話說, 此時這部分的摻鉕光纖不但沒有增益, 反而還將信號光吸收使光信號造成衰減。因此對應某一固定的 pumping power 我們可以找到對應的最佳摻鉕光纖長度 (optimum length)。

欲降低雜訊指數, 則必須壓抑 noise, 摻鉕光纖主要的雜訊來自於自然激發射出 (ASE; amplifier

spontaneous emission), 因此我們必然不能使 ASE 太強。我們知道當輸入信號太強時會使摻鉕光纖放大器進入飽和(saturation);相同的,當摻鉕光纖很長時, ASE 經過很長的一段放大後 ASE 也會使摻鉕光纖放大器進入飽和, 此時雜訊指數就將變高, 因此出現了使用多級摻鉕光纖放大器的架構, 而中間使用光隔絕器分開。為了製作低雜訊指數的前置放大器, 我們不能使用太長的摻鉕光纖。另外, 若在設計時加入了太多的光損耗, 也將造成雜訊指數大大提昇。其中, 雜訊指數定義如下:

$$NF = \frac{(SNR)_{in}}{(SNR)_{out}}$$

設計中繼放大器時, 除了要有高增益外, 必須考慮到它的增益平坦度, 由於中繼放大器在長程傳輸時必然經過多次多級放大, 若沒有良好的平坦增益, 嚴重將造成接收端的信號失真, 使錯誤率增加。

光放大器可以作為 booster 提高 transmitted power, 亦可當 receiver 的前級放大器(preamplifier), 以及作為中繼放大器(in-line amplifier)以增長傳輸之距離。由於摻鉕光纖放大器之增益與波長相關, 在長傳輸經過多級放大時, cascade 造成的增益不平坦將使信號在接收端失真。因此在設計 in-line amplifier 時我們特別重視增益之平坦度。增益平坦化之方法與製作在近年來有許多人投入研究, 就一般最常見的研究而言, 大致分成三種:

(1)在摻鉕光纖上作材料改變

(2)使用各種主/被動濾波器元件

(3)使用不同放大器頻譜之多級 cascade 其中第一種方法之研究甚多, 早期有 Al-coped 使 1550nm 能有較平坦之增益頻譜; 以及 erbium-doped fluoride-based fiber amplifier (EDFFA)[4,5], 近年來更有 erbium-doped tellurite-based fiber amplifier(EDTFA)[4,5]兩級架構已經做到將近 80nm 的平坦。雖然在摻鉕光纖上作材料改變是很直接的方法, 但在實際應用上, 由於材料的不同使得摻鉕光纖與傳輸單模光纖的連接產生額外的麻煩。由是, 在應用上, 還是以使用光纖元件製作濾波器使摻鉕光纖放大器有增益平坦的特性。因此, 我們在此亦是使用光纖被動元件來製作 gain flattening filter。

(三) 實驗結果與討論

在此實驗中, 吾人設計使用被動元件來製作增益平坦濾器, 架構圖如圖 1。此實驗中, 有別於長週期光纖光柵(LPFG; long period fiber grating), 我們使用了有反射頻譜的布拉格光纖光柵(FBG; fiber bragg grating), 並且配合使用不同反轉分佈的吸收頻譜來達到可調之增益平坦器。此架構中我們將不平坦之帶域(1525nm~1540)與較平坦之帶域使用光環流器(circulator)配合布拉格光纖光柵將光路分開為兩個路徑, 而吸收頻譜路徑上加置一個光衰減器來達到可調機制。圖 2 為增益平坦化後之 ASE 頻譜分佈圖。圖 3 為波長對信號增益之關係圖。圖 4 為波長對雜訊指數之關係圖。

由雜訊指數分佈關係圖可以看出, 1554nm 至 1556nm 附近的雜訊指數明

顯的劣化約 1dB 左右。造成此劣化原因為吸收帶摻鉕光纖的吸收頻譜，剛好在 1530nm 為吸收帶，但卻在 1550nm 附近有增益係數。因此在除了吸收 1530nm 信號外，它也同時放出 1550nm 附近的 ASE 雜訊，因此造成了雜訊指數劣化的現象。要克服此現象，必須善用技巧控制吸收帶摻鉕光纖的吸收頻譜，例如使用不同長度之摻鉕光纖或者配合不同濃度之摻鉕光纖。

(四) 自我評估

摻鉕光纖放大器可說是在此世代光通訊實用技術的重要核心，它可實現映像傳輸等寬頻通訊網路。光的頻率約為微波頻率的十萬多倍，原理上可使超寬帶信號載於光的載波而傳輸。且可利用高密度波長多工，光頻率多工 (FDM)，將可傳送超大容量信號。摻鉕光纖放大器的應用對現今的通訊網，可大幅降低傳輸路成本，降低通訊網的距離依存性。除此之外，可使傳輸路的位元傳輸率依存性降低，有利於多媒體世代的寬頻通訊網。

光纖通訊的目標有超長跨距、超大容量、光切換速高、光信號處理等。高品質畫像傳輸需要約 1000 倍於電話的位元傳輸率，相對於 1.6Gb/s 電話 2.3 萬頻道，以 1Tb/s 可傳輸 2 萬頻道映像 (50Mb/s)，跨入畫像時代。光纜可集合約 1000 心的光纖，三次元畫像傳輸也

可借此大容量光通訊網路實現[2]。

摻鉕光纖的增益平坦化目前已有很多種方法已先後被研發出來，目前使用的增益平坦方法大多為使用被動元件製作而成的濾波器。但重要一點是被動元件往往會使摻鉕光纖放大器加入雜訊指數，因此除了發展被動元件濾波器外，也必須配合使用材料摻雜及摻雜濃度來調制增益參數，使得被動元件所需壓制的增益大小降低。另外，增加摻鉕光纖的可用頻段相當重要，發展出寬頻的摻鉕光纖放大器，增大摻鉕光纖放大器的動態區域等，如此才可發展出最具實用性之摻鉕光纖放大器。

(五) 參考文獻

- [1] 中川清司，相田一夫，荻本和男，"Optical Amplifiers and Applications".
- [2] 何建興，碩士論文。國立清華大學。
- [3] Paul F.Wysocki, Justin B et.al, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol.9,
- [4] A.Mori, T.Sakamoto et.al, IEE ELECTRONICS LETTERS, vol.36, NO.7, March 2000.
- [5] Makoto Yamada, Terutoshi Kanamori et.al, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol.8, NO.7, JULY 1996.

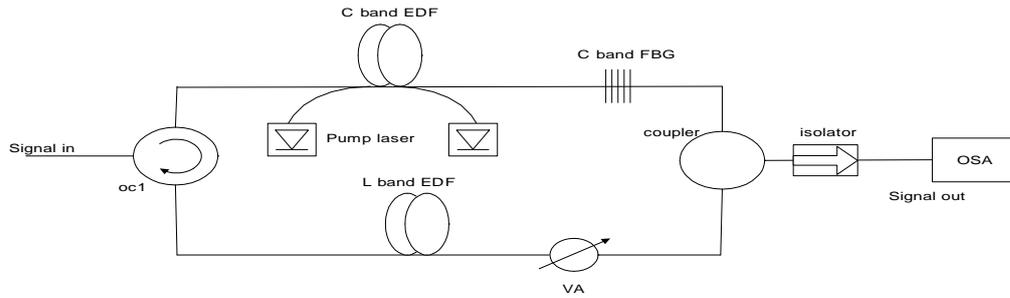


Figure1. 增益平坦化之實驗架構，其中 FBG 使增益較高之頻段反射至另一個具有吸收頻譜之路徑，最後再由第二個光環流器將兩個路徑信號合在一起。

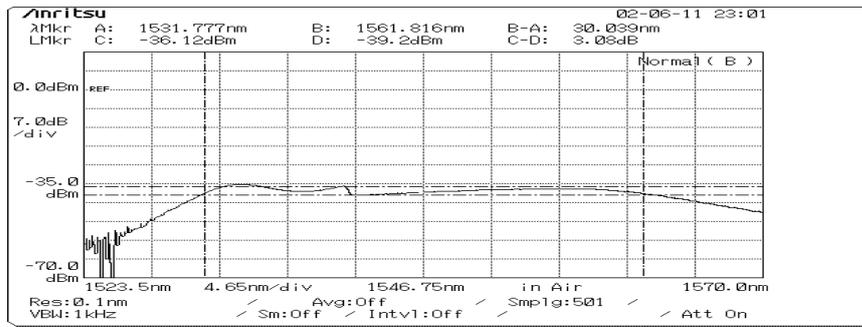


Figure2. 增益平坦化後之 ASE 對波長之分布頻譜關係圖。

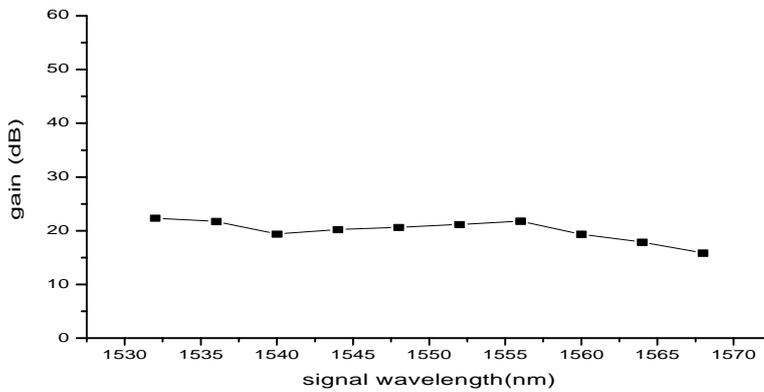


Figure3. 增益平坦化之增益對波長關係圖。

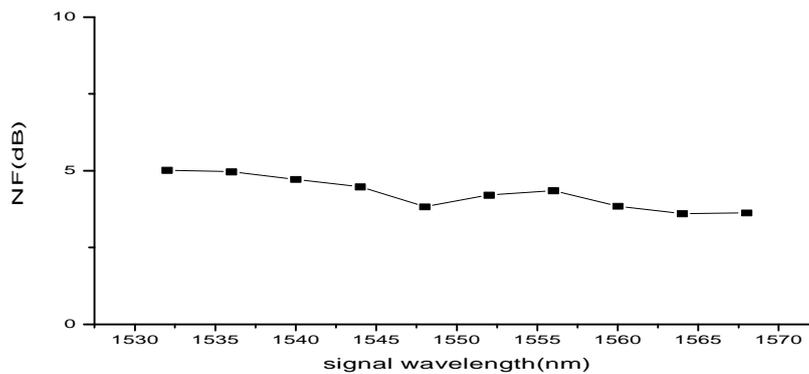


Figure4. 增益平坦化後之雜訊指數對信號波長之關係圖。