

摻鉕光纖放大器之設計與實作

Design and Fabrication of an Erbium-doped Fiber Optical Amplifier

林螢光¹ 卓鴻揚² 劉文豐³

^{1,2}北臺科學技術學院電機系

³逢甲大學電機系

摘要

本文探討利用新型積體電路來設計摻鉕光纖放大器，驅動 IC(WLD3343)除了能精確的控制雷射半導體電流（在定電流模型下）或穩定的控制光電二極體電流（在定功率模型下），且可以適用於任何型式雷射半導體的電子裝置。溫控 IC(WTC3243)可應用極穩定的熱電溫度，來控制不同的電路迴路，它用可調整偵測器的偏壓電流直接操作電熱調節器的錯誤增益，使溫度能精確的維持在安全的區域，其中熱電調節器有 RTDS、AD590 及 LM335 型的溫度偵測器。用單一+5V 的電源供應器提供 2A 熱或冷的感應電流到熱電裝置，藉著喪失的冷感應電流來操作阻質加熱器。

關鍵詞： 摻鉕光纖，熱電調節器。

Abstract

In this paper, implementation of an Erbium doped fiber optical amplifier is carried out and discussed. The newly designed IC's WLD3343 and WTC3243 are utilized as the control unit, which exhibited long term stability with constant current mode and constant power mode. Many temperature calibrators such as RTDS, AD590 and LM335 are accompanied with IC3243 to build a feedback control loop. The fiber optical amplifier constructed in this work operates very well using a power supply of +5V DC at bias current of 2A mainly to provide the induced current in the resistive heater.

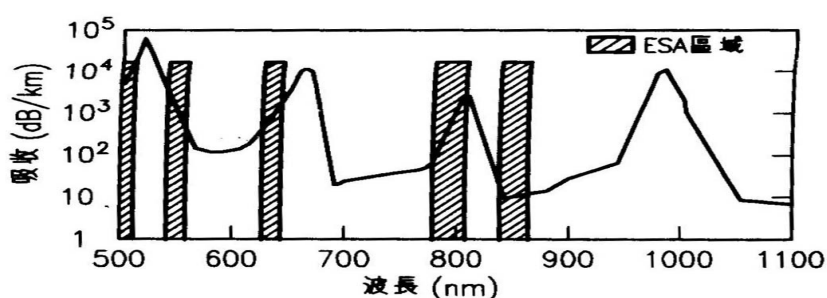
Keywords: Erbium doped fiber, Temperature calibrators

一、前言

光纖通訊在傳輸上之既成優勢—高速、寬頻、保密性高與不受電磁干擾等特色，將伴隨目前「光纖放大器」與「緊密分波多工」兩項相關技術日趨成熟，而使光纖通訊可傳輸更遠距離且能大幅的提昇傳輸容量。發展中的摻鉕光纖放大器(EDFA)依泵激架構不同可分為“前向泵激”、“後向泵激”以及“雙向泵激”三種，而泵激用雷射則採波長 980nm 的 InGaAs MQW(multi-quantum-well)雷射、或採波長 1480nm 的 GaInAsP MQW 雷射。因 1310nm 波長被侷限於較短距離傳輸(約 35~40Km)，而 1550nm 波長則適用較長距離傳輸($\geq 40\text{Km}$)，在經濟效益與系統特性雙重考量下，一般而言 1550nm EDFA 較被廣泛地使用[1]。

二、泵送光源與摻鉕光纖之分析

泵送光源係利用半導體雷射產生 980nm 波長光源，與一般半導體雷射相同，利用電子電洞復合，產生自激放射光，再藉由端面放射，並配合光不斷反射與累積放大，而形成雷射光源。摻鉕光纖的吸收譜線有 514nm、630nm、800nm、980nm、1480nm 幾條。圖一表示在不同波段中各自的激勵狀態吸收現象的強弱，與獲得放射能量大小的關係。就 980nm 與 1480nm 都沒有激勵狀態吸收現象，但 980nm 頻帶所放射出的能量較強，所以一般都會選用 980nm 波長之雷射做為泵送光源。



圖一 0.5 μm ~1.1 μm 激勵狀態吸收現象與放射能量之關係

一般光纖摻雜離子有釹(Neodymium)、鐿(Ytterbium)、鈹(Thulium)與鉕(Erbium)等離子，摻雜鈹與鐿離子的光纖可激發出 1060nm 波段的光源，摻雜鈹離子可激發出短波段波長(S-band, 1480-1510nm)，摻鉕光纖可激發出 1550nm 波段的光源(C-band)。目前光通訊所使用的放大器主要有拉曼放大器(FRA)、半導體光放大器(SOA)與摻鉕放大

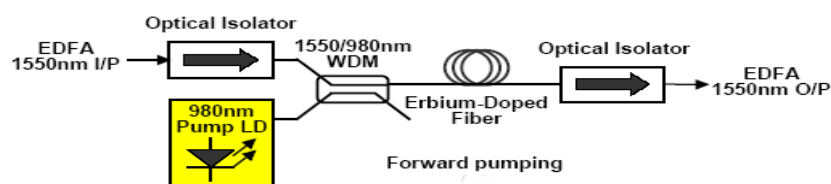
器(FEA)等，摻鉬光纖由於有高增益、大頻寬、放大後無偏極化現象、訊號不會變形及低雜訊的特性，在這幾年中深受重視[2]；一般摻鉬光纖纖心直徑約為 5nm，數值孔徑約為 0.18，與一般光纖最大的差別在於光纖內摻雜了具有光放大功能的鉬離子。摻鉬光纖單位長度的增益係數[3]：

$$g(p_p, \lambda) = \rho_0 \sigma_e(\lambda) \left\{ 1 - \eta + \left[1 + \frac{\sigma_a(\lambda)}{\sigma_e(\lambda)} \right] \ln \left[\frac{p^* + \eta p_p}{p^* + p_p} \right] \right\}$$

其中 ρ_0 ：鉬離子分佈函數，在此為均勻分佈。 σ_e ：發射橫截面。 $\sigma_a(\lambda)$ ：吸收橫截面。 $\eta = \exp(-a^2/\omega^2)$ 。 a ：纖心半徑。 ω ：模態場半徑。 P_p ：泵送光功率。 $p^* = h \nu_p \pi \omega^2 / \sigma_a(\lambda_p) \tau$ 。 ν_p ：泵送光源頻率。 λ_p ：泵送光源波長。 τ ：高能階存活期。

三、 泵激雷射電路實作與量測

由於不同需求，EDFA 所採泵激架構可以有“前向泵激”、“後向泵激”以及“雙向泵激”三種不同選擇，考量需求與架構簡單之前提，本文選用“前向泵激式”泵激架構，如圖二所示。



圖二 前向泵激式泵激架構，輸入信號為 1550nm 泵激光源為 980nm

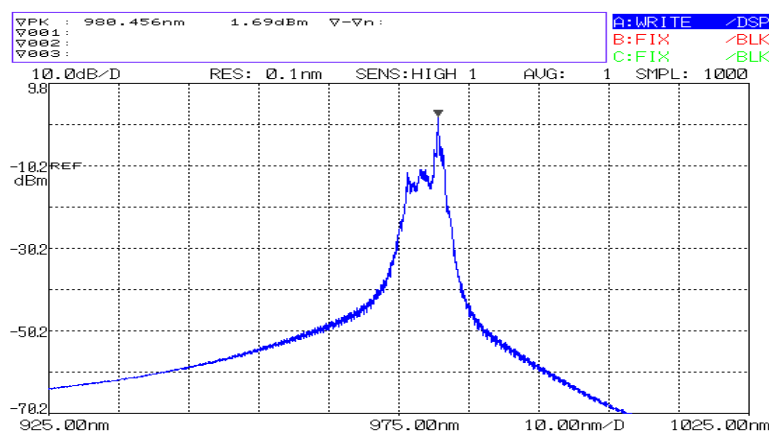
本文購用泵激雷射二極體之廠牌規格為：Lasertron 製 980nm pump laser module，編號 QLM9S473-701，最大額定輸出光功率可達 90mW，雷射模組內建有熱電冷卻器 (Thermo-Electric cooler, TE cooler) 和熱敏電阻 (thermistor)，設計上可配溫控 IC(WTC3243)之自動溫控電路作雷射恒溫操作之補償控制。製作完成之電路實體圖如圖三。



圖三 980nm 泵激雷射實體圖

WLD3343 除了能精確的控制雷射半導體電流（在定電流控制下）或穩定的控制光電二極體電流（在定功率控制下），利用雷射模組內建 Photodetector(以下簡稱 PD) 檢出泵激雷射光功率輸出之強弱，而後 PD 轉換成高低不同直流電壓，再與精準參考位準經差值放大後，進而決定泵激雷射驅動電流(ILD)之增減，以確保泵激雷射光功率輸出能夠維持恒定值，進而達成光功率輸出之自動功率控制功能。WTC3243 之功率耗損上由於泵激雷射較一般雷射來得高，相對的溫控 IC 電路設計上，則需求較高驅動功率(以驅動 TE cooler)以及利用雷射模組內建 10K 歐姆的熱敏電阻檢出電阻之阻值大小，進而調整 TE cooler 之電流大小，以達到恆溫之控制。

本文自製 980nm 泵激雷射源完成後，經量測結果輸出光譜曲線如圖四所示，之所以未將泵激雷射輸出光功率調整至額定上限值 90mW 的原因，就穩定度與安全邊限 (safe margin)之設計考量[4]，是希望能在額定值以下尋求一最穩定且安全之輸出值，故定其值為 80mW 左右。



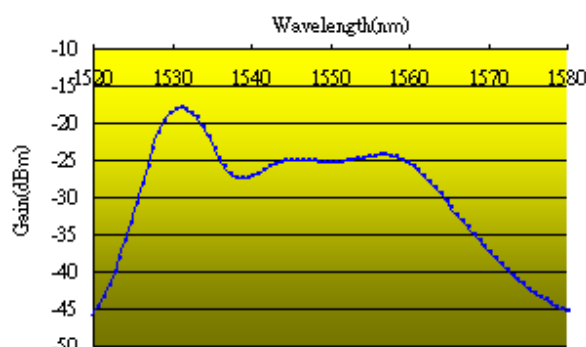
圖四 980nm 泵激雷射源輸出光譜曲線

四、摻鉕光纖放大器之光路實務與量測

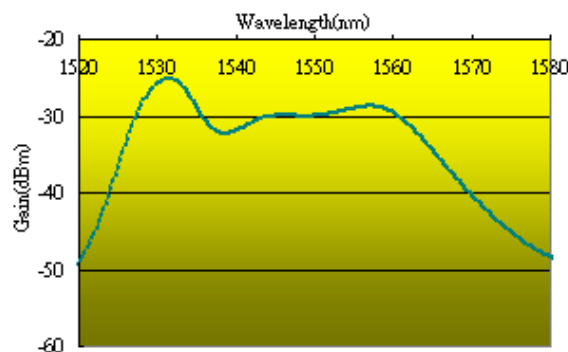
EDFA 光路實作時必需具備特殊光纖熔接機(可熔接 fiber core 範圍：3~6 μ m)，一般光纖熔接機(可熔接 fiber core 範圍：8~12 μ m)無法達此規格成功熔接(接續損失必需達 0.01dB)，尤其遇熔接不同纖核尺寸時，更易造成「接續損失」升高，熔接結果之接續損失本文俱控制在 0.01~0.03dB(參照熔接機之接續損失讀值)。

EDFA 之光路實作時，EDF 長度不僅關係其功能特性，也左右 EDFA 製作成本。EDFA 增益頻譜只與 EDF 對波長之吸收、放射參數、整段 EDF 內粒子居量反置程度以及 EDF 之長度有關[5]。

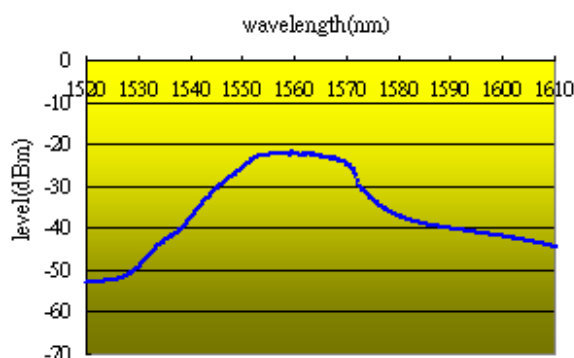
由於纖核更細以及摻雜材質特性之影響，造成 EDF 之可撓度極低，不僅拿取時需注意撓曲角度不可過大以免折斷，在光路配置上 EDF 更要小心使用光纖收容盒收置，實作上應注意收容盒之尺寸會限制撓曲角度，並進一步會影響 EDF 之整體性能。本文所用摻鉕光纖為卓越公司所製作，NA 值 0.18、長度 9.5m、纖心直徑 5 μ m，光譜分析儀為 ADVANTEST 型號 Q8384。當泵激雷射接上 8、12、20 公尺的 EDF 後，放大器之 ASE 放大光頻譜如下圖：



圖五 使用 8m 摻鉕光纖 ASE 放大光頻譜



圖六 使用 12m 摻鉕光纖 ASE 放大光頻譜



圖七 使用 20m 摻鉕光纖 ASE 放大光頻譜

五、結論

當我們使用積體電路來設計摻鉕光纖放大器，不但電路精簡，體積小巧。從以上實驗結果可看出，當 980nm 泵激光源接上 8 公尺的 EDF 後，從曲線圖可看出符合標準的 ASE 放大光頻譜，但是當我們接上 20 公尺的 EDF 後，則可看出原本 C-band 的波長則平移到了 1550nm~1570nm，則可得知此時摻鉕光纖的長度過長，不符合 C-band 的需求，但若從另一個角度去看，若我們能利用 1560nm~1570nm 的平移波長，加上原本 C-band 的頻寬，相信此種新型 C-band 放大器對於 WDM 光源上的使用能有更好的利用率。

參考文獻

- [1] M. C. Farries “Excited-State Absorption and Gain in Erbium-Fiber Amplifiers between 1.05 and 1.35 μ m,” *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 3, No. 7, July, 1991.
- [2] E. Desurvire. “Erbium-Doped Fiber Amplifiers for New Generations of Optical Communication Systems,” *Optical Photonics News* 2, No. 1, pp. 6-11, Jan. 1991.

- [3] Desurvire, E., Giles, C. R., Simpson, J. R., and Zyskind, J. L., "Efficient Erbium-Doped Fiber Amplifier at a 1.53 μ m Wavelength with a High Output Saturation Power," *Optics Letters*, Vol. 14, No. 22, pp. 1266-1268, 1990.
- [4] 洪鴻文，以可調適平衡式恆流源驅動雷射架構設計與製作光纖有線電視系統光發射機，教育部八十八學年度大專校院通訊專題製作競賽入選論文集，台北，第 89～102 頁(2000)。
- [5] 尉應時，供網路及窄播系統使用之光放大器實作，教育部八十八學年度大專校院通訊專題製作競賽入選論文集，台北，第 133～141 頁
- [6] www.teamwavelength.com