

# 全光纖式被動品質開關短脈衝雷射之研究

許芳文<sup>1,2</sup> (Fang-Wen Sheu), 陳浚原<sup>2</sup> (Jiun-Yuan Chen), 鄧聖龍<sup>1</sup> (Sheng-Lung Deng)

<sup>1</sup> 國立嘉義大學應用物理學系, <sup>2</sup> 國立嘉義大學光電暨固態電子研究所

60004 嘉義市鹿寮里學府路 300 號

Phone:+886-5-2717418, Fax:+886-5-2717909, E-Mail:s0950394@mail.ncyu.edu.tw

(NSC-93-2112-M-415-004)

**摘要：**本實驗以架設一套環型短脈衝光纖雷射為目標。在整個 8 字形架構下除了以摻鉕光纖作為增益介質外，在其桑克迴路中也將未受激發的摻鉕光纖當作飽和吸收體，進而形成一個被動品質開關光調制元件，然後再藉由一個極化控制器調整共振腔內光的極化狀態，當調在某些特定的極化狀態下便可產生短脈衝雷射。

**關鍵字：**摻鉕光纖 (erbium doped fiber)、桑克迴路 (Sagnac loop)、飽和吸收體 (saturable absorber)、極化控制器 (polarization controller)。

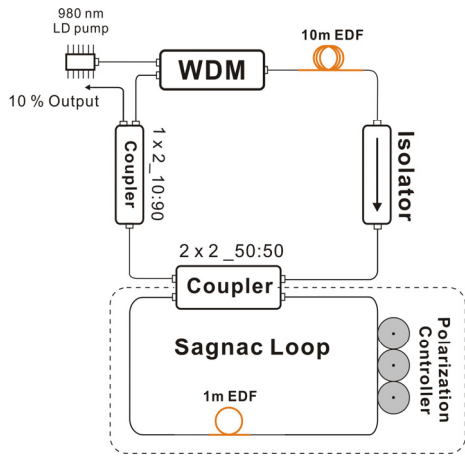
## 1. 簡介

在 1960 年代就有科學家在光纖中摻雜稀土元素如  $\text{Nd}^{3+}$ 、 $\text{Er}^{3+}$ 、 $\text{Tm}^{3+}$  製作出摻鉕光纖的雛型。在 1985 年時，Pools 和 Mears 將摻鉕光纖應用在系統中，作出了可以產生 1550nm 附近波段的摻鉕光纖放大器(EDFA)，而 1550 nm 附近的光源對光纖傳輸有低損耗的特性，所以近年來有相當多的相關研究。

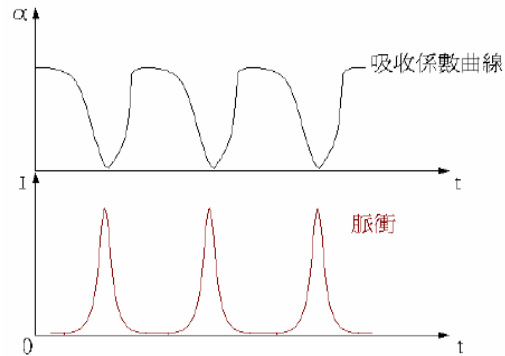
光纖雷射在通訊方面的應用也相當廣泛，而研究方向多朝短脈衝、高重複率以及高輸出功率等方面發展。目前產生脈衝的方式大致可分為增益開關(Gain-switch)、品質開關(Q-switch)、模態鎖定(Mode-locking)等。在 2004 年 Utkarsh Sharma, Chang-Seok Kim, and Jin U. Kang 以未激發的摻鉕光纖作為飽和吸收體，因其具有光開關的性質而能達到 Q-switch 脈衝輸出的目的。

## 2. 系統架設與原理

本系統用 980 nm 二極體雷射做為泵激光源，最高輸出功率為 160 mW。藉由一個分波多工器(Wavelength Division Multiplexer)將 980 nm 的雷射光導入環型雷射共振腔內，再以一段 10 m 的摻鉕光纖(EDF)作為增益介質，而因為摻鉕光纖的能隙特性，使光子受激輻射出落在 1550 nm 附近的連續波段。其後加上一個光隔離器(Isolator)，此隔離器可讓 1530 nm ~ 1570 nm 的光以單一方向通過，故以此元件的特性來限制光行進的方向。圖一的系統架構中，光是以順時針方向行進。此外，腔內加入光隔離器另一個重要的目的是將未被摻鉕光纖完全吸收的 980 nm 的雷射光濾掉，以避免桑克迴路中作為飽和吸收體的摻鉕光纖受到激發而喪失預期功能。之後再以 50:50 的二對二光耦合器把主要的光纖雷射共振腔(圖一上半部)與用來調制光脈衝的桑克迴路(圖一下半部)做連結。桑克迴路中的極化控制器是用來調整共振腔內雷射光的極化方向，我們必須調整兩端的四分之一波片以及中間的二分之一波片使其到達適當的極化狀態，才能有較強且穩定的雷射光輸出。除此之外，極化控制器的微調對輸出脈衝的寬度以及重複率皆有影響。桑克迴路中另外的元件為 1 m 或 2 m 的摻鉕光纖，它是實驗中的被動品質開關光調制元件，此段未受激發的摻鉕光纖可當成飽和吸收體使用，以達到脈衝輸出的效果。



圖一 品質開關光纖雷射系統架構



圖二 品質開關調制與脈衝形成示意

品質開關(Q-switch)的 Q 值定義為：
$$Q = 2\pi \frac{\text{Total energy stored at the cavity}}{\text{The loss energy in every shake period}} \quad (1)$$

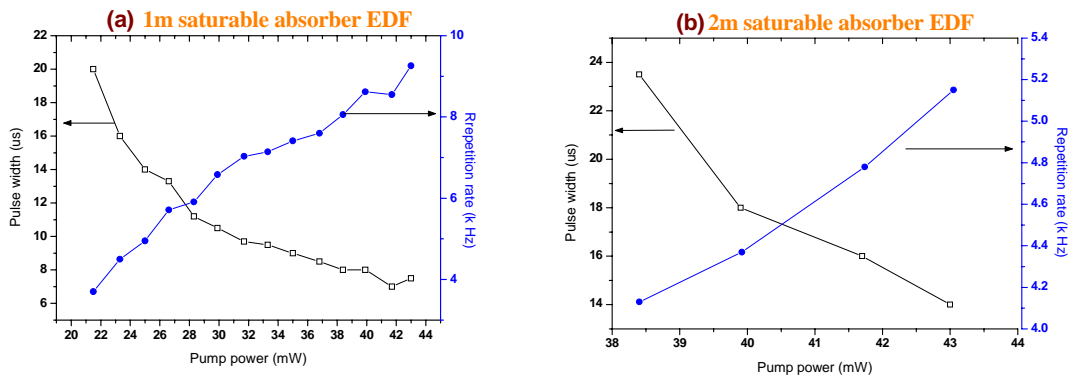
而在雷射腔體內的飽和吸收體對某特定波長的雷射光吸收係數可表示成：
$$\alpha = \alpha_0 \frac{1}{1 + \frac{I}{I_s}} \quad (2)$$

其中， $I$ ：光強度， $\alpha$ ：光強度為 $I$ 時的吸收係數， $\alpha_0$ ：光強度趨近於0吸收係數， $I_s$ ：吸收係數減少到 $\alpha_0/2$ 時的飽和光強度。

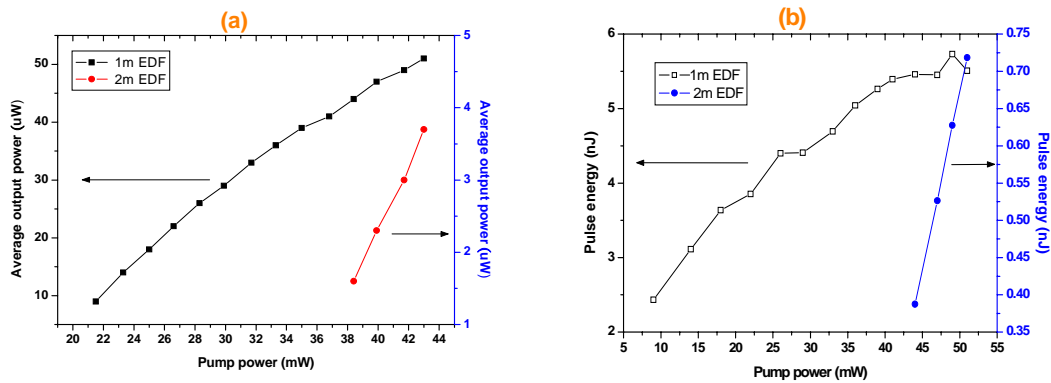
從(2)式中可看出，光強度越強時吸收係數越小，反之亦然。一開始在我們的雷射共振腔中的光強度較弱，因此腔內的損耗很大Q值很小，吸收體(EDF)幾乎不透光，使得處在激發態的電子不斷地累積。此時，自發輻射的光強度也逐漸增強，吸收係數也逐漸變小Q值漸增，吸收體幾乎透明，而先前在高能階累積很多的電子會被其他已輻射出的光子刺激而大量輻射出光子，使得激發態的電子數劇減，Q值又變小，因此產生週期性的瞬間強度驟增的光脈衝訊號。

### 3. 實驗過程與結果

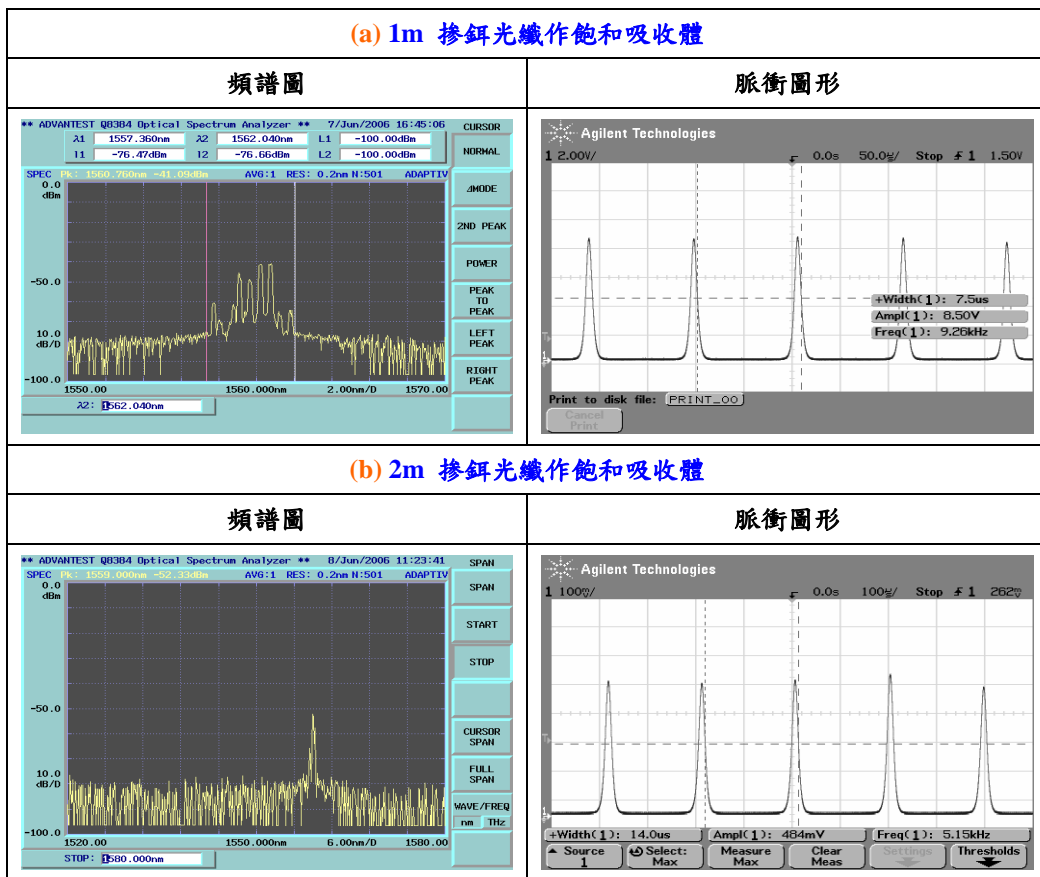
將各元件如圖一系統架構圖依序連接，其接頭部份均為FC/PC。之後將980 nm LD Driver 電源開啟，但是注意不要將 pump power 調太高，以免燒毀雷射二極體或是破壞分波多工器。然後把10% Output 的光藉由快速光偵測器連接到示波器，以觀察其脈衝訊號。慢慢調整極化控制器，使脈衝訊號能穩定並且紀錄頻譜。接著改變不同的 pump power，然後觀察脈衝寬度、平均輸出功率與重複率之變化。



圖三 Pump power 與脈衝寬度、重複率關係圖。



圖四 Pump power 與 Average output power、Pulse energy 之關係。



圖五 頻譜圖與脈衝輸出圖形。

#### 4. 結論

從實驗數據我們可以得知，當泵激功率越大則脈衝寬度越窄，重複率也同時提高。這是因為當泵激功率提高時，單位時間內輸入的光子數會變多，因而使得共振腔內處於激發態的原子產生自發輻射的機率變高，所以飽和吸收體的光開關越快。此結果類似於飽和吸收體中的品質調制，所以本系統也是脈衝雷射一個典型的例子。

#### 參考資料

- [1] E. Snitzer, "Optical Maser Action of  $\text{Nd}^{3+}$  in a Barium Crown Glass," *Phys Rev. Lett.* **7**, 444 (1961).
- [2] Utkarsh Sharma, Chang-Seok Kim, and Jin U. Kang, "Highly Stable Tunable Dual-Wavelength Q-Switched Fiber Laser for DIAL Applications," *IEEE Photon. Tech. Lett.* **16**, 1277-1279 (2004).
- [3] 康榮瑞, "短脈衝光纖雷射的研究", 國立嘉義大學光電暨固態電子研究所碩士論文 (2006)。