

奈秒脈衝倍頻綠光光纖雷射技術開發

Development of Nano-Second Pulsed Frequency Doubled Green Fiber Laser Technology

胡杰

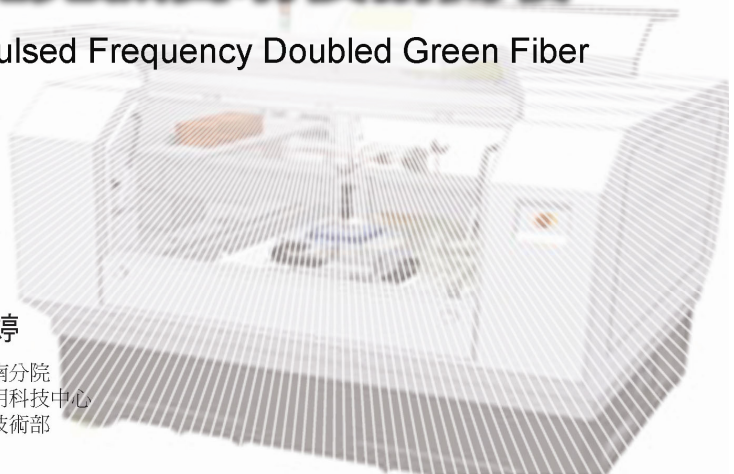
工研院南分院
雷射應用科技中心
雷射源技術部
經理

黃健銘

工研院南分院
雷射應用科技中心
雷射源技術部

王俐婷

工研院南分院
雷射應用科技中心
雷射源技術部



關鍵詞

- 摻鏡光纖 ytterbium(Yb) doped fiber
- 偏振保持 polarization maintained
- 二倍頻綠光雷射 frequency doubled green laser
- 諧振波 harmonic generation
- 相位匹配 phase matched
- 非線性晶體 non-linear crystal
- 主震盪源雷射放大器
master oscillator power amplification

摘要

結合高功率全光纖脈衝雷射與倍頻機制，產生高光子能量綠光雷射，可拓展不同的加工領域。本文中介紹紅外全光纖雷射之架構與特性，進而描述雷射倍頻之原理、晶體選擇與光路設計，然後討論

到在基頻雷射之製作上，需產生單偏振且具備很窄的頻寬雷射，最後說明一下工研院目前發展的綠光雷射情況。

The combination of high-power all-fiber pulsed lasers with frequency-doubling mechanism, resulting in high photons green laser can be used in different laser application. In this article describes an all fiber infrared laser of the structure and properties, and then describe the principles of frequency-doubling, laser crystal selection and optical path design, and then discussed the frequency of the laser in the base of the production work required to produce a single polarization and have a very narrow frequency width laser, finally explain the current development status of the green laser in ITRI.



簡介

自雷射問世以來，應用雷射產生紅外基頻光進而倍頻出綠光一直主宰目前的商業市場，但是固態雷射要鏡片的機械夾持、基倍頻晶體散熱、高精度組裝技術，水冷監控，才能有很好的表現，並需要非常專業的技師維護，雖然技術成熟，但是工業需求是需要尺寸小又壽命長的雷射來節省工廠成本，因此有新一代光纖雷射的產生。而綠光脈衝雷射在加工上、投影機、生醫區塊等，有其無遠弗屆應用之處，由於加工上光子能量較強因此可應用於硬切割，且此波長對於 α -type 矽基板吸收良好，因此常用於太陽能電池的 p2/p3 層圖案加工；生醫雷射部分，可進行非機械侵入式醫學應用，如攝護腺手術以及光學同調掃描等，另外在精密加工部分更可用於面板、半導體、太陽能及 PCB 等產業相關業者所需之精密加工需求。

光纖雷射挾帶多模泵浦光源、雙纖衣層(double cladding)光纖與新式泵浦耦合器的技術後，加上摻鏡光纖雷射之全光纖式的雷射基頻光架構，不但體積比固態雷射小、能量轉換也高、散熱需求較低(氣冷散熱)、光束品質佳等優勢且維護成本低。在倍頻模組部分，可採用 KTP 晶體或可承受高功率基頻光的 LBO 晶體，另外可使用可調式擴束鏡組，調整聚焦光強度來增加倍頻轉換效率。

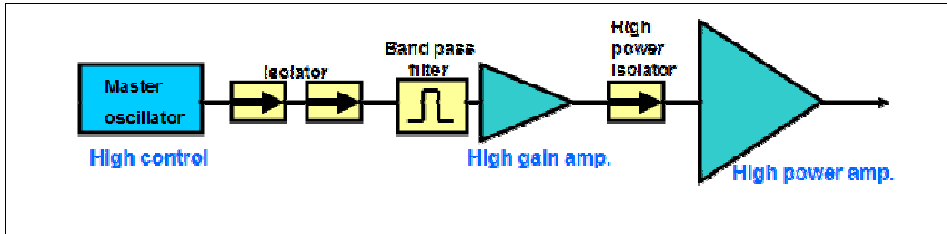
1064nm 基頻光全光纖雷射

一般開發主震盪源多級功率放大器(Master Oscillator Power Amplification, MOPA)雷射系統，主要的技術可分為機構、電路、光學三部分整合，電路上有電脈衝驅動種子源與泵浦源技術以及時脈控制、電脈衝種子源重複率與脈衝寬度調變、快速觸

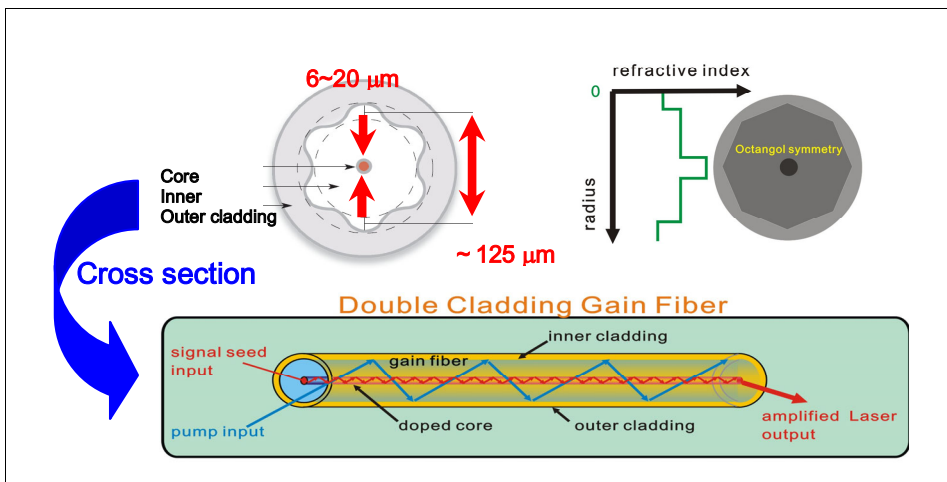
發控制；光路上主要為各級最佳化增益介質控制、端面與各級放大器抗反射技術、光纖鍍膜技術、熔接點防燒毀技術與光纖披覆、不同尺寸纖核(fiber core)纖衣(fiber cladding)異質(Heterogeneity)光纖融接、機構上有高功率被動元件散熱設計、低凹折損耗機構控制以及氣冷散熱技術。

基頻光全光纖雷射 MOPA 系統，包含電脈衝驅動主振盪器種子源與多級光纖後級放大器，主被動元件如：單、多模泵浦光源、種子源雷射二極體、光隔離器(isolator)、帶通濾波器(bandpass filter)、光耦合器(combiner)、光場分割器(coupler)、摻鏡增益光纖(ytterbium doped gain fiber)；圖一為 MOPA 雷射系統概念圖，主種子源震盪器可經由電腦主動控制雷射重複率、脈衝寬度、功率大小，並具備快速觸發訊號啟動，而種子源與前級高增益放大器(high gain amplifier)中間必須有雙光隔離器與帶通濾波器來阻隔不必要反射訊號及純化種子源雷射訊號，雙光隔離器提供大於 60dB 的隔絕度(反射光訊號衰減 10^6 保護種子源)，來保護增益放大器所產生的摻鏡原子不定向自發輻射(amplified spontaneous emission, ASE)，帶通濾波器則限制訊號雷射波長 1064nm 正負 1nm 通過來純化訊號雷射；MOPA 雷射在前級產生夠大的種子源功率後，最後須使用多級高泵浦功率放大器(high power pump amplifier)來達成高峰值脈衝雷射基頻光輸出。

為達成高峰值功率基頻全光纖雷射，在整體架構上必須要考量 5 項因素：1.量子光轉換效率(quantum efficiency, QE)，2.窄化雷射頻寬，3.光纖長度最佳化控制以抑制非線性光學效應，4.抑制泵浦與訊號光反射毀損雷射，5.系統融接點與增益光纖熱處理。圖二所繪製的雷射放大器中，使用摻鏡雙包層光纖(double cladding gain fiber)雷射，其折射率分布為給單模種子源輸入訊號(signal input)傳遞的圓形纖核最高，提供單模種子源輸入訊號全反射傳



圖一
MOPA 脈衝光纖雷射示意圖



圖二
摻鏡光纖放大器

透，內包層(inner cladding)光纖折射率略小於纖核，且形狀為最密堆積八角形以產生非對稱性反射，外包層(outer cladding)折射率又比內包層略小，功能在於把泵浦光輸入(pump input)全反射傳遞，由於泵浦光源走內包層，其泵浦光纖直徑約 $125 \mu\text{m}$ ($\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)，可使用高功率的多模泵浦雷射，來提升整體種子源放大器功率，而纖核直徑 $6\sim 20 \mu\text{m}$ 可讓雷射訊號保持單模輸出。

基頻光摻鏡光纖脈衝雷射的物理能階躍遷機制，包含基態(ground state)、泵浦態(excited state)、上能態(meta-stable state)，還有下能態(lower state)的準四階雷射，能階示意圖如圖三所示。處於基態 $2F_{7/2}$ 的鏡離子吸收 $910\sim 980\text{nm}$ 泵浦波長光源躍遷至泵浦態 $2F_{5/2}$ ，以非輻射(non-radiative)方式快速衰減(fast decay)至上能態，摻鏡原子在二氧化矽光纖中能階生命期約 $878 \mu\text{s}$ ($\mu\text{s}=10^{-6}\text{s}$)，當上能階光子比下能階光子多，此時達光子居量反轉(population inversion)，光子會快速躍遷至暫穩態，在 MOPA 雷射系統種子

源不斷供應下，暫穩態光子會被種子源誘發落下，所放大的輸出光訊號則會與種子源頻率相同且有雷射方向性的光子；若沒有種子源輸入或種子源平均功率過小，MOPA 雷射系統將產生不定向 ASE 訊號，雷射將不穩定且危險，特別在摻鏡光纖中，稀土族(rare-earth)鏡原子因為高原子序，因而游離能低導致 ASE 的門檻低，約 5 瓦平均功率連續輸出的 915nm 波長泵浦光源就足以產生幾百毫瓦級的 ASE 訊號。

在散熱方面，由於光纖表面積與體積的比值約為 Rod 的 80 倍，為 Disk 雷射約 8 倍，散熱效果極佳如圖四所示，加上光纖可撓性，使得光纖可以拉長並使用氣冷散熱機制即可，不需固態雷射水路散熱的特性對於工業相容性更高。

使用摻鏡光纖原因在於可產生 1064nm 主波長雷射，現階段工業雷射大多使用 1064nm 雷射進行倍頻或直接加工，摻鏡光纖主要吸收峰值波長在 $900\sim 1000 \text{nm}$ 區間如圖五所示，其中 976nm 波長多模



更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】323期・99年2月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011