

高功率直驅式半導體雷射之發展

Developments of High Power Direct Diode Lasers

宋育誠^{1*}、蘇信嘉²、張耀文³、林士廷³

¹ 工研院雷射中心 積層製造技術組 關鍵模組部 技術副理

² 工研院雷射中心 積層製造技術組 關鍵模組部 工程師

³ 工研院雷射中心 積層製造技術組 關鍵模組部 副經理

摘要：雷射製造已成為世界上不可抵擋之趨勢，其中金屬切割與銲接工程需求不斷地成長，雷射源技術都對應著不同加工應用來推陳出新，過去從二氧化碳雷射進展到光纖雷射後，研究方向開始探討更有效率的製造方式來因應加工需求。進步至今，直驅式半導體雷射的建構技術已開始逐步發展。時間快速推進，具有 40% 以上的電光效率和小於 4 mm·mrad 之光束特性的雷射系統設計中，具備無需複雜的光纖元件熔接與架構簡單之特徵。其證明高品質的直驅式半導體雷射可有效地加工材料，本文將針對過往的高功率雷射製造技術到目前新世代的直驅式半導體雷射進行介紹。

Abstract : Laser processing has become irresistible trend in the world. The demand for metal cutting and welding continues to grow and the laser source technology is designed to cope with different processing applications. This technology has evolved from carbon dioxide laser to fiber laser in the past. Currently researches have focused on exploring more efficient manufacturing methods to meet different processing applications. The fundamental technology for direct diode lasers (DDL) starts to develop gradually and advances quickly with time. The DDL system is to be designed with more than 40% of electro-optic efficiency and less than 4 mm·mrad beam characteristics. With its simple structure there is no need to use complicated fiber optic component fusion. It has been proved that the high-quality DDL laser system can process materials effectively. This study will introduce high-power laser processing technology from the past to the current generation of DDL.

關鍵詞：高功率雷射、光纖雷射、直驅式半導體雷射

Keywords : High power laser, Fiber laser, Direct diode laser

前言

工業雷射應用的至今已被廣泛應用在各領域，如航太、軍事、通訊、科學應用、機械切削、以及 3D 列印等方面，舉例用於銲接汽車，渦輪葉片上的鑽孔，製造 3D 零件以及金屬和塑料上做標記，從而使現代製造業發生了革命性變化。根據 Laser Focus World (2019/01) 的數據顯示，僅材料加工領域的工業用雷射收入就達到 50.5 億美元，佔總收入約 36%。在過去的十年中光纖雷射（製造領域的最新產品）在功率縮放和性能

方面取得了驚人的進步，使其成為增長最快的業務，目前估計價值 26 億美元，其複和年成長率（Compound Annual Growth Rate, CAGR）為 6%，而傳統技術的成長卻有所下降。例如二氧化碳（CO₂）雷射（CAGR 約 0%）和泵浦半導體固態（Diode-Pumped Solid-State Laser, DPSS）雷射（CAGR 約 -4%）。根據市場研究指出的報告，光纖雷射市場在 2017 年價值 18 億美元，預計到 2025 年將達到 44 億美元，從 2018 年到 2025 年的複合年增長率為 12%。高功率光纖雷射對滿足現

有應用以及新興行業的需求不斷增長佔據主導地位。

在 2019 年 初 於 Laser Systems Europe (2019/03) : Bright future for fibre lasers 一文中點出到目前為止高功率光纖雷射在其當前開發第一階段已提供了足夠的原始功率，為現有設備提供服務應用。但不可避免地導致了一個問題：下一步呢？光纖技術是可控低損耗的波導技術，具備許多不同的屬性，到目前為止仍未得到充分的探索。這些特徵舉例包括：穩定模式下光形多變的空間特徵，或是通過設計不同摻雜比例的增益介質至寬光譜輸出、非線性和多種極化光狀態。光纖雷射工程技術將能提供了多元高效的可能性。這驅使了下一代第二階段高功率光纖雷射開發的機會，在該階段內智慧化的導入、能量穩定、節能電光高效轉換與可易於操控等功能將被強化，打造具有附加功能、自由度高可重新配置參數的光雷射引擎製造工具，先進的加工過程監控介面或相關技術，可滿足新興數位製造時代的要求。有望擴大並轉型傳統工業其應用空間，從而進一步提高高功率光纖雷射的市場滲透率。

University of Southampton 的 Y. Jeong, J. K. Sahu 等人於 2004 年在 Optics Express 上發表以摻鏡光纖 (Ytterbium-doped fiber) 作為增益介質產生高功率的作法 [1]。目前全光纖式系統在市場上，高功率架構主流設計仍為泵浦 (Pump) 激發源經過

光纖增益介質 (Gain Medium) 以共振腔形式來回震盪後來達成高功率輸出，其將多個 Pump 經過一高功率光結合器 (Optical Combiner) 接著經過一高反射式光纖式光柵將總和的泵浦光通過增益光纖 (Gain Fiber)，接著再經過一部分反射的光纖式光柵，以此共振形式增益最後經過石英塊輸出頭 QBH(Quartz Block Head) 來達成，如圖 1 所示。無論是上述的光纖雷射共振腔或是主震盪功率放大器 (Master Oscillator Power Amplifier, MOPA) 的設計都需要增加額外的增益介質與光纖式元件才能達到足夠高質量的光束用於材料加工，而近年來低能損耗與系統節能在雷射產業設計已儼然成為一重要的環節，多餘的光學元件意味著效率轉換的損失與成本增加，也將在未來逐漸普及的關鍵雷射源成本上散失競爭力。

在本文將介紹另一種直驅式半導體雷射源 (Direct Diode Laser, DDL) 的下世代雷射，方法是直接驅動半導體雷射，將電能直接轉化為光能量輸出，進而減少了複雜的共振腔和反射組件系統光學設計，所以 DDL 雷射源的電功消耗更低，光電轉化效率更高，因此可有效降低耗電量，大幅降低生產成本。

高功率共振腔技術

過去工研院雷射中心發展高功率大孔徑光纖切割與熔接技術，提升系統內光放大效率及穩定

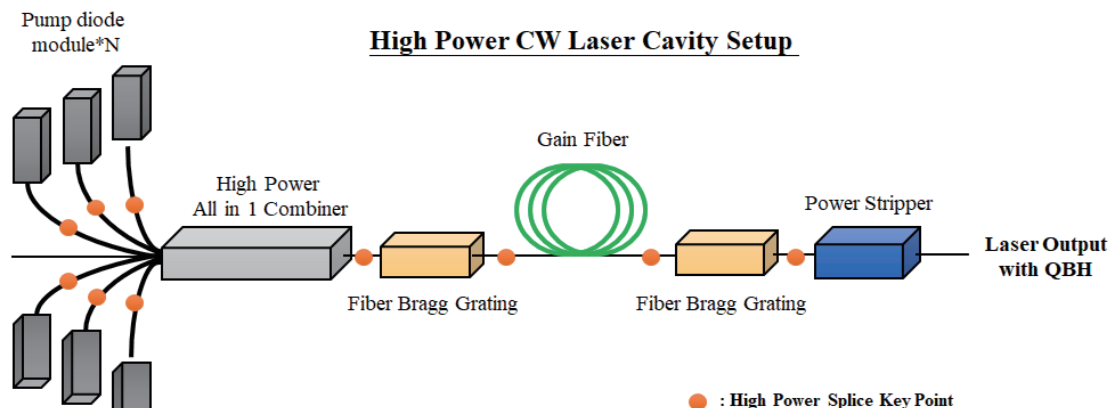


圖 1 千瓦級高功率共振腔式架構示意圖

更完整的內容

詳見 | 機械工業雜誌 | • 443 期 • 109 年 2 月號

機械工業雜誌·每期 **220** 元·一年 **12** 期 **2200** 元

線上訂購網址：<https://www.automan.tw/magazine/orderMag.aspx>

付款方式

1. 郵局劃撥—戶名：財團法人工業技術研究院機械所 帳號：07188562
請於劃撥單的通訊欄寫明：購買期數、金額等
2. 匯款資料—兆豐國際商業銀行新竹分行(代號 017)
帳號：203-07-02288-0 戶名：財團法人工業技術研究院
3. 信用卡—請填寫信用卡[訂購單](#)

麻煩您將繳款收執或信用卡刷卡單傳真至(03)582-2011，我們會盡快處理您的訂單並開通權限，再次感謝您的支持與愛護。

訂書專線：03-591-9339

傳真：03-582-2011

機械工業雜誌·官方網站：www.automan.tw 機械工業雜誌·信箱：jmi@itri.org.tw

機械工業雜誌 優惠訂購單

訂閱一年 **12** 期

\$ 2200 / 續訂戶 \$ 2000

好禮二選一

A 史欽泰墨寶帆布袋

B 工研院機械所無人車USB (8G)

訂閱紙本+電子雜誌

\$ 3000 原價 \$ 4400

一年12期

贈送

A 史欽泰墨寶帆布袋

訂閱二年 **24** 期

\$ 4000 / 續訂戶 \$ 3600

好禮四選二

A 史欽泰墨寶帆布袋

B 工研院機械所無人車USB (8G)

C 工具機叢書任一本

D 智慧機械人叢書任一本

限量專屬精品送給您



A



B



C



D