

進歩した半導体レーザーによる、 効率と信頼性の向上

マティアス・シュレーダー、マルコ・コショレック、アンドレアス・ソス

非はんだ接合部と新しい冷却機構を備えた、パッシブ冷却の高出力半導体レーザーは、ハードパルス動作と連続波動作において高い信頼性を示す。

高出力半導体レーザーは、産業用レーザー技術の主力製品となっている。すべてのファイバレーザーの中核をなし、ディスクレーザーやその他の固体レーザーの励起に用いられるほか、ダイレクトダイオードレーザーとしての利用もますます増加している。

半導体レーザーの開発は、その産業ユーザーの優先順位に従って進行する。主要な性能指標は、ワットあたりコストで表される。半導体レーザーはかなり長期間にわたり、商業量と品質の面で絶えず向上しているが、性能面でも新しい応用分野を開拓する重要な進歩があった。そして今でも、特に効率、ピーク出力、輝度、放射波長範囲において、進化し続けている。1kWで60%を超える変換効率や、1cmのバーから1.5kWを超える出力パワーなど、性能面での新たな記録が、学術研究によって達成されている⁽¹⁾。

パッシブ冷却バーから275W

出力パワーのさらなる向上には、設計時の複雑な考察が必要である。最も重要な項目だけでも、材料、固体物理学、熱処理、光学系などが挙げられる。また、レーザーシステムを最適化して出力パワーを上げることは可能だが、寿命、効率、ビーム品質といった他のパラメータの最適化と切り離して、それを達成することはできない。

独イエナオプティック社 (Jenoptik)

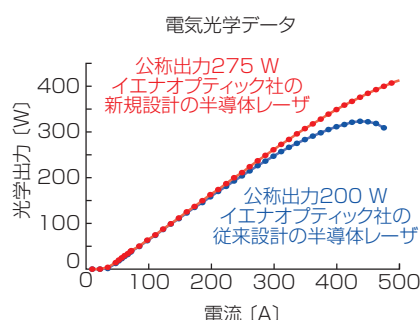


図1 新しい半導体レーザーは、400W以上の出力が可能である。しかし、最大変換効率を達成するために、動作点は約275Wに設定されている。

は、数十年間に及ぶ研究に基づき、新しいモジュール型半導体レーザーを開発した。パッシブ冷却が採用されており、ハードパルス動作（約1秒間隔でレーザーのオン／オフを繰り返す周期動作）と連続波（Continuous Wave：CW）動作に適している。400Wを超える出力パワーで試験済みだが（図1）、60%という最大限の出力変換効率と最大限の寿命を確保するために、実際の動作出力レベルは275Wに設定されている。

出力パワーは、他社の半導体レーザーと比較すると2倍以上で、イエナオプティック社の従来の半導体レーザーと比べても、40%以上向上している。この進歩は、冷却機構を変えたことに起因する（図2）。この新規設計では、ヒートシンクが実際の排出口よりも大きく、両側から冷却する構造が採用されている。熱伝導過程の数値シミュレーションにより、現実的な条件下での半導体

レーザーの温度分布が示されている。

熱負荷が200W（275Wの光学出力パワーに相当）、冷却プレートの熱抵抗が室温で0.05K/Wという条件下で、イエナオプティック社の従来設計では最大で76℃まで温度が上昇したのに対し、新規設計の最大温度はわずか68℃だった。

非はんだ接合部による 信頼性の向上

ダイオードは、硬質合金によって銅製ヒートシンクに接着される。これには、出力を切り替える際の安定性が高いというメリットがある。駆動電子部品により、半導体レーザーを「ハードパルス」動作させることができる。ハードパルスとは、最大出力でのレーザーのオン／オフを、技術的限界なく繰り返す動作である。

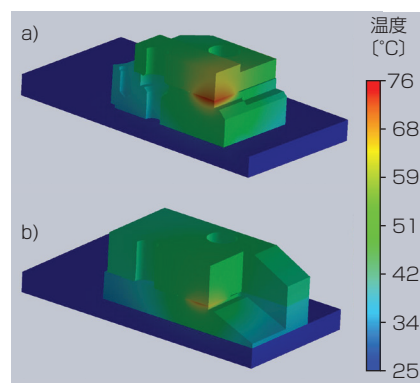


図2 イエナオプティック社の従来設計（a）と新規設計（b）の半導体レーザーの数値解析結果をグラフィック表示したもの。消費電力は200W。従来設計の最大温度が76℃だったのに対し、新規設計は68℃にとどまった。

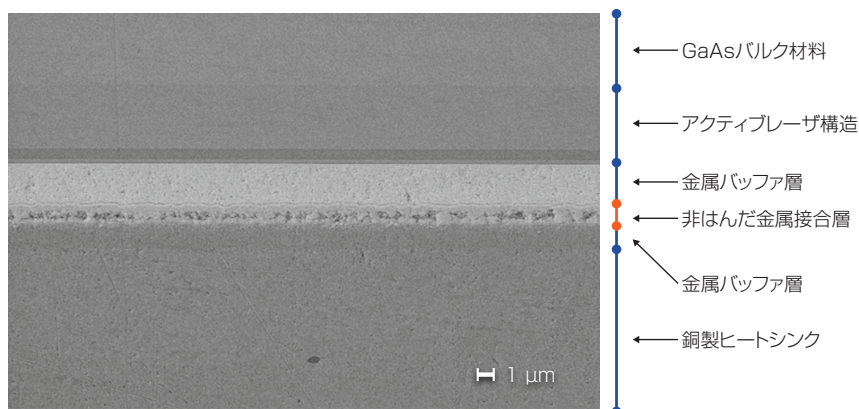


図3 半導体レーザとヒートシンク間の金属構造を示した電子顕微鏡画像。

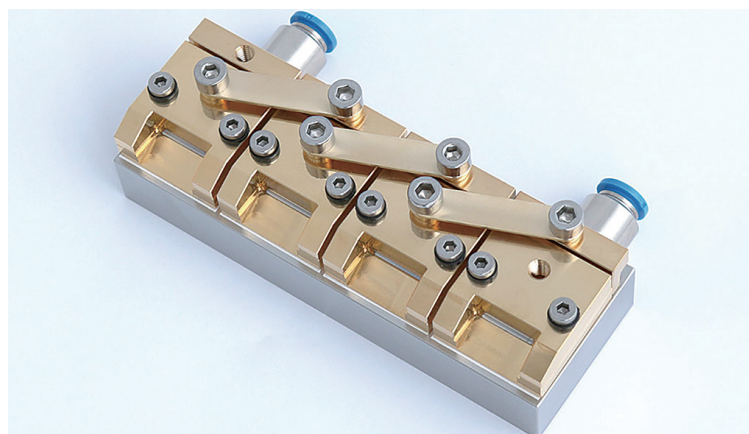


図4 4個のダイオードバーで構成された1kWモジュールのフットプリントは、わずか10×5cmである。

GaAs(ガリウム砒素)レーザバーを銅製ヒートシンクに取り付けるための従来の方法は、インジウムはんだである。銅は、熱伝導率が高く、コストが低く、加工しやすいなど、ヒートシンク材としての利点がよく知られている。銅の問題は、GaAsとの熱膨張率(Coefficient of Thermal Expansion: CTE)の差が大きいこと(CTEのミスマッチ)である。これは、システムの温度が変化する場合の機械的応力につながる。インジウムは柔軟性と展延性がけた外れに高く、その性質は、ハンダ付け後の冷却時のGaAsの亀裂を防ぐために必須だが、ハードパルス動作時には、ハンダ付けされた接合部を疲労させる要因となる。

イエナオプティック社は、はるかに強力な金属接合を達成する新しい手法を採用している。ハンダ付けではない

金属接合層を2枚の金属バッファ層の間に使用する、新しい構造が用いられている(図3)。この接合材により、ハードパルス動作で生成される応力に耐えられる強度が得られ、銅の使用が可能になる。

数kWレベルへの出力の拡大

アセンブリ技術と新しい冷却機構により、この半導体レーザはパッシブ冷却モードで使うことができる。フットプリントは約1インチ四方で、多数のダイオードバーでダイオードアレイを構成するのに適している。複数のモジュールで構成された合計10kWの高出力システムというのが、この半導体レーザの典型的な応用例である。

イエナオプティック社は、全長104mm、幅36mm(冷却コネクタを入れて54mm)

のテストモジュールを開発した。4個のダイオードバーと、追加水冷用の冷却部品で構成されている(図4)。ちなみに、80Wの従来型のバーで同等のモジュールを構成するには、約14個のバーと冷却部品が必要である。

応用分野は、材料加工から医療まで

この新しい技術は、切断、溶接、ろう付けといったあらゆる種類の材料加工に対応する、小さなフットプリントのシンプルなモジュールの実現を可能にする。レーザクリーニングなどの新しい応用分野は、サイズが50%縮小し、複雑さが緩和されたシステムのメリットを直ちに享受する可能性がある。

レーザプリントやマーキングなど、材料加工以外にもこのようなレーザの高出力のメリットを享受する分野が存在する。一方、医療分野の用途は、一般的には最大限の出力が求められることはなく、レーザ寿命のほうがさらに重要である。寿命は、より低い出力レベルで動作させることによって引き延ばすことができる。また、半導体レーザを光ファイバと結合させることにより、患者の患部に出力を供給することができる。

参考文献

- (1) P. Crump and A. Thoss, "Diode Lasers: Research gives high-power diode lasers new capabilities," *Laser Focus World*, 55, 1, 77-80 (Jan. 2019); <http://bit.ly/ThossRefl>.

著者紹介

マティアス・シュレーダー(Matthias Schröder)は、独イエナオプティック社レーザ部門(Jenoptik Laser, www.jenoptik.com/products/lasers)のプロジェクト・マネージャー、マルコ・コショレック(Marco Koschorreck)は同R&D部門責任者。アンドレアス・ソス(Andreas Thoss)は、独ソス・メディア社(THOSS Media)の最高経営責任者(CEO)。e-mail: th@thoss-media.de