



Title	高出力半導体レーザーの高性能化とその応用に関する開発研究
Author(s)	宮島, 博文
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45990
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	宮 島 博 文
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19650 号
学位授与年月日	平成 17 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	高出力半導体レーザーの高性能化とその応用に関する開発研究
論文審査委員	(主査) 教授 井澤 靖和 (副査) 教授 堀池 寛 教授 朝日 一 教授 乗松 孝好 助教授 河仲 準二

論文内容の要旨

本論文は、半導体レーザー (Laser Diode: 以下 LD) の高出力化、高効率化、高ビーム品質化、長寿命化の研究と、これを用いた LD 励起固体レーザーおよび、産業応用 (直接加工応用) の研究成果をまとめたものであり、全 7 章から構成されている。

第 1 章は緒論であり、LD 高出力化や冷却技術開発の課題や重要性について述べ、本研究の意義と目的を明確にした。

第 2 章では、高出力 LD 実現のための重要な要素技術である水冷ヒートシンクの開発研究を行った。本研究では、新規に LD 直下を衝突噴流により冷却する噴流水冷ヒートシンクを開発し、平均出力 100 W 級 LD バー用ヒートシンクの要求仕様 (熱抵抗として世界最高 0.25°C/W 以下) を十分に満たすヒートシンクの熱設計が確立できることを明らかにした。

第 3 章では、LD 高出力化技術の開発研究について述べた。LD バー高出力化のための基本設計について種々の検討を行い、また、LD バーとヒートシンクの接合 (実装) 技術開発を実施した。第 2 章で開発した噴流ヒートシンクとこれら技術を統合し、世界最大である 255 W 出力 (808 nm 帯) を達成した 1 cm 長 LD バーの動作特性および熱的特性を示した。また、この LD バーの積層技術開発により、加工用高出力半導体レーザーの基本単位となる単一の積層 LD モジュールとして、2 kW 以上の出力特性が得られることを示した。

第 4 章では、高出力 LD バーの LD 励起固体レーザー、また直接利用光源への応用について述べた。特に直接利用光源として 808 nm 単一波長で 5.6 kW 以上の出力と、実用的な焦点距離 $F=100$ mm においてパワー強度 467 kW/cm² を両立した Direct Diode Laser (DDL) 装置を実現した。単一波長 DDL 装置として世界最大出力であると同時に、エネルギー効率 45% はあらゆる加工用レーザーの中で世界最高の効率である。また、開発した DDL 装置を用いて金属の溶接加工実験を行い、産業応用上実用的な溶接速度において世界最高水準の溶接加工品質が得られた。

第 5 章では、加工用装置としてのさらなる性能向上のニーズから、LD バーのビーム品質向上に関する開発研究について述べた。新たに V 字形導波路構造を提案すると共に設計、評価を実施し、従来型広開口 (ブロードエリア) LD バーに比べ 3~4 倍の高輝度化に成功した。また、高輝度 LD バーとして世界最高となる CW105W 以上の光出力を実証した。さらに空間 (角度) フィルタの多重化による高性能化について提案し、今後の方向性を示した。

第 6 章では、産業応用上重要な信頼性評価とコスト分析の結果について述べた。本研究における高出力 LD バーは、

産業応用上必要十分な平均故障寿命 (Mean Time To Failures : MTTF) 20,000 時間以上の信頼性を有することを明らかにした。準 CW 動作において、10 Hz で 24 時間連続動作した場合 30 年間に相当する 10^{10} shots の実動作を確認し、非常に高い信頼性を実証した。また、学習曲線を用いたコスト分析により、レーザー核融合ドライバ用の LD 目標コストが見通せることを示した。

第 7 章は結論であり、得られた成果をまとめ、本論文の総括を行った。

論文審査の結果の要旨

半導体レーザー (Laser Diode、以下 LD) の高出力化とともに、情報処理用信号源としての従来からの役割に加え、高効率エネルギー源としての役割が期待されるようになった。LD は他のレーザーに比べて、格段に高効率ではあるものの、単一素子からの出力は小さく、エネルギー源として利用するには素子を横方向ならびに縦方向に積層化する必要がある、一層の高効率化とともに、積層化技術、冷却技術などの開発が重要である。本論文は、高出力 LD のさらなる高性能化をめざして、LD 素子の構造や冷却、積層化などの技術開発を行った研究の成果をまとめたものである。主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) V 字形の導波路構造を有する LD を提案、開発し、従来の広開口型 (ブロードエリア) LD に比べ 3 倍以上の高輝度化を達成している。
- (2) LD 直下を衝突噴流により冷却する新方式噴流水冷ヒートシンクを開発し、 $0.25^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 以下という世界最高性能の熱抵抗値を実現している。
- (3) LD 素子とヒートシンクの接合部に生じる微細な空乏や接合不良を改善できる新しい接合技術を開発し、噴流水冷ヒートシンクとの併用により、横方向に積層した長さ 1 cm の LD パーから世界最高出力 255 W を取り出すことに成功している。また、これを縦方向に積層した 2 次元アレイから 5.6 kW 以上の出力と $467 \text{ kW}/\text{cm}^2$ の強度を実現し、金属の溶接加工への適用が可能であることを明らかにしている。
- (4) 産業応用上重要となる LD の信頼性評価とコスト分析を行い、開発した LD について連続運転で平均故障寿命 20,000 時間以上、10 Hz のパルス動作で 10^{10} shots という、実用上十分な長寿命を実現している。

以上のように、本論文は、高出力 LD をエネルギー源として実用化する上で重要な多くの新しい知見を提供しており、半導体工学およびレーザー工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。