

Title	高出力銅蒸気レーザーの開発研究
Author(s)	木村, 博信
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/43238">https://hdl.handle.net/11094/43238</a>
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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

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

Osaka University

氏名	木村博信		
博士の専攻分野の名称	博士(工学)		
学位記番号	第 16619 号		
学位授与年月日	平成14年1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	高出力銅蒸気レーザーの開発研究		
論文審査委員	(主査) 教授 井澤 靖和		
	(副査) 教授 岡田 成文    助教授 藤田 尚徳    教授 高橋 亮人 教授 竹田 敏一    教授 山中 伸介    教授 西島 茂宏		

#### 論文内容の要旨

銅蒸気レーザー (Copper Vapor Laser, CVL) は、可視域で発振する高効率のレーザーであり、切断、穴あけ、溶接等の成型加工をはじめとして一般産業加工プロセスに広く応用される可能性があり、その高出力化が強く望まれている。本論文は、高出力 CVL 開発において新しい断熱設計手法や、高速高電圧パルス電源設計法を駆使して出力 650W を達成した成果を纏めたもので、8 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景を述べ、本研究の意義と目的を明らかにした。

第 2 章では、CVL 出力のシミュレーション解析を行い高出力化に必要な条件について検討し、出力 600W を実現するためには、レーザー口径 90mm、放電長 3500mm の他に類を見ない大型装置を開発する必要があることを示した。レーザー管最適温度は 1450~1550°C であり、軸方向温度分布が均一となる設計が必要であること、放電管の口径が一定であれば、放電電流のピーク値と電流の立ち上がり時間に最適値があり、長尺の放電管に於いても最適な放電を可能にする電源設計が重要であること、大口径放電管では、管中心部における励起強度を一定とするためピーク電流値を口径の 2 乗に比例させて増大させる必要があることを示した。

第 3 章では、レーザー放電管の軸方向に均一な温度分布を得るための断熱設計手法について検討した。放電によるレーザー管の加熱と軸方向および径方向への熱伝導および輻射熱伝達を含めて放電管の温度分布を解析し、中心部と端部における断熱材の高密度を制御することにより、1500±50°C の均一なレーザー管内温度分布を達成できることを示した。

第 4 章では、大口径、長尺のレーザー管で、最適の放電が得られる高電圧パルス電源について検討し、新しく LC 反転倍電圧回路、パルストランス、過飽和リアクトルを用いた 2 段の磁気圧縮回路を組み合わせ、立ち上がり ~40 nsec、発生高電圧 80kV 以上、繰り返し周波数 44kHz の高電圧パルス電源を開発した。また、スイッチ素子として、従来使用していたサイラトロンと互換性のある IGBT を 20 直列 - 2 並列接続した半導体スイッチを開発した。

第 5 章では、第 3 章で示した設計手法を用いて最適設計したレーザー管と、第 4 章で開発した高電圧パルス電源を組み合わせ、口径 90mm、放電長 3500mm のレーザー管で要求出力を満足する単機 650W を達成した。また、CVL を 4 台直列に接続し、いわゆる 4 段 MOPA を構成させることにより、MOPA 体系にて 2.45kW の世界最高出力を達成した。

第 6 章では、長時間運転のネックとなっている銅の蒸発消費量について検討した。動作条件を変えて銅の蒸発消費量を測定し、消費量は放電のバッファガス圧力に逆比例し、ガス流量に比例することを明らかにし、実験式を導出し

た。これにより、大口径、長尺のCVLにおいて1000時間の連続運転を可能にした。

第7章では、レーザー上準位密度の向上やレーザー下準位密度の失活に有効な原子を添加し、レーザー出力に及ぼす影響について検討した。その結果、銀単独添加で12%、スカンジウム単独添加で28%、セシウム単独添加で28%、ユーロピウム単独添加で19%、銀とセシウムを同時に添加することにより33%の出力および効率が向上することを初めて明らかにした。

第8章は結論であり、本研究において得られた成果を纏め、本論文の総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

銅蒸気レーザーは可視域で発振する高効率のレーザーで、加工プロセスをはじめとする広い分野でその応用が期待されており、高出力化が重要な課題となっている。本論文はシミュレーション解析に基づいて高出力化の条件を明らかにし、レーザー放電管の断熱設計手法や、最適な放電条件を実現できる高速高電圧パルス電源を開発し、出力650Wを達成した成果をまとめたもので、主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1)レーザー放電管内の放電特性と電子の加熱過程、電子衝突による銅原子の励起過程、レーザー発振特性などをシミュレーションにより解析し、レーザー放電管の口径と放電長、ならびに放電管温度に対するレーザー出力の比例則を明らかにしている。
- (2)シミュレーション結果より、最適放電管温度は $1450 \pm 50^{\circ}\text{C}$ であること、放電管軸に沿って温度分布が均一となる設計が重要であること、放電管口径が一定であれば放電電流のピーク値と電流の立ち上がり時間に最適値があること、励起強度を一定とするためピーク電流値を口径の2乗に比例して増大させる必要があること、などを明らかにしている。
- (3)放電によるレーザー管の加熱と軸方向および径方向への熱伝導と輻射熱伝達を含めて放電管の温度分布を解析し、均一な温度分布を得るため中央部と端部で断熱材の特性を制御する断熱設計手法を提案し、実験によりその有効性を確認している。
- (4)LC反転倍電圧回路、パルストランス、過飽和リアクトルを用いた2段の磁気圧縮回路を組み合わせた高速高電圧パルス電源を開発して最適放電を実現し、上記の新しい断熱設計手法を用いて製作した口径90mm、放電長350mmのレーザー放電管により、出力650Wを実現している。また、これを4台直列に接続し、2.45kWの世界最高出力を達成している。
- (5)銅の蒸発消費量は放電のバッファガス圧力に逆比例し、ガス流量に比例することを明らかにして、消費量に対する実験式を導出するとともに、高出力銅蒸気レーザーにおいて1000時間の連続運転を実現している。
- (6)レーザー上準位密度の向上やレーザー下準位密度の失活に有効な原子を放電管内に添加して効率向上をめざす手法を提案し、効率向上に有効な添加原子の条件を明らかにするとともに、実験でその有効性を実証している。

以上のように、本論文は銅蒸気レーザーの高出力化に必要な放電管の断熱設計手法やパルス放電条件を明らかにし、実験によりその有効性を実証したもので、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。