



Title	高速軸流型CO2レーザーの開発
Author(s)	菅原, 宏之
Citation	大阪大学, 1995, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39474
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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文について 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	菅 原 宏 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 2 0 6 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 7 年 8 月 8 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	高速軸流型 CO ₂ レーザーの開発
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 中井 貞雄 教授 西川 雅弘 教授 青木 亮三 教授 権田 俊一 教授 中塚 正大 教授 桂 正弘 教授 西原 功修 教授 三間 罔興 教授 井澤 靖和

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、金属加工用の高効率高速軸流型 CO₂ レーザーの開発研究に関する成果をとりまとめたもので、8章から構成されている。

第1章は序論であり、CO₂ レーザーの高出力化、高効率化のために開発された各種型式について述べ、そのような背景のもとで本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章では、高速軸流型 CO₂ レーザーの開発研究の成果をとりまとめている。すなわち、世界でも例のない放電効率 26 %、総合効率 14 %などを達成した国内初のマルチ kW レーザーとしての 2.5kW CO₂ レーザー、通産省大型プロジェクトで開発を進めていたものと同じ大出力の 20kW CO₂ レーザー、60Torr の高気圧化を図ることにより、小型化を達成した 500W CO₂ レーザー、および平均出力は 50W 級と小さいが、ピーク出力は 1kW と大きなセラミックの精密加工用パルスレーザーなど開発した装置の構成、新開発の技術、動作特性等について述べている。

第3章では、放電現象としても例の少ない高速流下の放電特性について理論的に検討し、放電による圧力損失、放電電界、電流の径方向分布などを明らかにし、また、26 % の高い放電効率も理論的に説明できることを示している。

第4章では、放電によるレーザー励起と発振特性について解明している。すなわち共振器シミュレーションプログラムを開発すると共に、CW レーザーの出力を求める際に良く用いられる Rigrod の式に代わる、より精度の高い式を新たに導出している。さらに高出力化上の問題は、熱励起で出力が飽和する以前に、放電が不安定になることであることを明らかにすると共に、その防止策について述べている。

第5章では、汎用の電気回路過渡現象解析用プログラムと組み合わせて、レーザー出力を計算できる、簡単化したパルスレーザー用の新放電モデルを開発し、各種パルスレーザーの放電電圧や電流波形と比較して、実験と良く一致することを示している。

第6章では、従来困難であった高速フーリエ変換を用いた不安定共振器のモード計算、および縮退のあるマルチモードの安定型共振器のモード計算プログラムを開発し、発振器のモード解析を行っている。

第7章では、幾何光学の伝播計算と波動光学による伝播計算とを結合した伝播計算プログラムを開発し、波動伝播計

算の困難なフレネル数の大きい伝播計算を可能にすると共に、この手法により設計した20kW用の大出力伝播光学系について述べている。

第8章では、前章までに得られた研究成果を要約して述べ、本研究の総括としている。

論文審査の結果の要旨

レーザーの高効率化、大出力化はレーザーの産業応用を展開するうえで必須の課題であり、産業技術としてのレーザー応用の重要性、可能性の大きさから高効率でかつ安全なハイパワーレーザーの開発が活発に行われている。本論文は、加工用の高速軸流型CO₂レーザーについて、その大出力化、高効率化、小型化およびパルス化に関する研究、ならびにレーザーガスの放電、CO₂レーザー光の増幅・伝播などの基礎特性について系統的に研究した結果をまとめたものであり、その主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 高速軸流型の高効率性を生かして、以下に述べるCO₂レーザーの開発に成功している。
 - (i) 国内初のマルチkWレーザーとして、2.5kWCO₂レーザーの開発に成功し放電効率としては、他に例のない26%の高効率発振を達成している。総合効率としても、14%の高効率を達成している。
 - (ii) 2.5kWCO₂レーザーの技術を基に、20kWCO₂レーザーの開発に成功し放電効率も25%を達成している。
 - (iii) 薄板金属切断加工用500W機には、ルーツプロアを採用することによって、陽極グローを疑似電極とする放電技術を開発して、60Torrの高圧力放電を達成し、小型高出力発振器の開発に成功している。
 - (iv) 500W機の技術を基に、平均出力50Wの小容量ながら、30 μ sの短パルス化を達成することにより、1kWの高峰出力、1kHzの高繰返し、セラミックスクライブ用の発振器を開発することに成功している。
- (2) 高速ガス流中のグロー放電特性を調べ、以下のことを明らかにしている。
 - (i) C.J.Elliottらのモデルに基づき、ボルツマン輸送方程式を解くことにより、放電電界の理論計算を行い、種々のガス混合比で、計算値と測定値を比較し、両者がほぼ一致する結果を得ている。
 - (ii) プラズマの両極性拡散係数を用いて、プラズマ密度の軸方向および径方向分布を計算し、測定結果に良く一致する分布が得られたことから、電流密度分布はプラズマの拡散により決まることを明らかにしている。
- (3) 放電励起・発振特性を理論的に検討し、以下のことを明らかにしている。
 - (i) 放電特性で計算した電子温度分布を用いて放電励起レート係数を計算するとともに、緩和時間、誘導放射係数を計算し、レーザー発振特性定数である小信号利得と飽和パラメータを計算し、種々のガス混合比で、実験値と比較した結果、両者は良く一致し、高速軸流型の高効率性を理論的にも説明している。
 - (ii) 小信号利得と飽和パラメータから出力を計算するRigrodの式を修正した新しい平衡状態の出力計算式を導入し、新しい出力計算式は、レート方程式の解に良く一致し、精度の高い計算式であることを示している。
 - (iii) 安定なグロー放電からアーク放電へ移行する原因として、(a) 陰極部の電流密度が高くなりすぎることからアーク放電へ移行する。(b) 下流側ガス温度がある限度(160度)以上に上昇するとアーク放電へ移行するという2つの移行形態があること、ガス圧力が高くなると、陰極点の電流密度の増加、プラズマの拡散係数の低下により、アーク放電への移行が起こり易くなることを明らかにしている。
 - (iv) 放電の動特性を理論式で表すモデル化に成功し、各種放電型レーザーの電圧-電流波形について計算した結果は測定波形によく一致することを示している。
- (4) 不安定型および安定型共振器のそれぞれについて、Fresnel-Kirchhoffの式を高速フーリエ変換で解き横モードを計算するプログラムを開発することに成功している。
- (5) 幾何光学による伝播計算法である光線追跡法とFresnel-Kirchhoffの式を直接計算する伝播・集束計算プログラムの開発に成功し、具体例について計算することにより発振モードの解析を行い、20kW級の大出力ビームの光学系の開発に成功している。

以上のように、本論文は高効率、大出力CO₂レーザーについて、高速ガス流と放電特性、レーザー励起に関する物理的、工学的な多くの知見を得るとともに、光学設計の手法を開発し、これらの成果を統合することにより、大出力CO₂レーザーの開発に成功している。これらの成果はレーザー工学、電磁エネルギー工学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。