

氏 名	福 家 皎
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 3 年 11 月 13 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 37 年 3 月 東京大学教養学部教養学科卒業
学 位 論 文 題 目	ホロー陰極型 He-Cd 白色レーザの高性能化に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 稲場 文男 東北大学教授 小野 昭一 東北大学教授 潮田 資勝

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 総 論

1本のレーザ管で少なくとも赤, 緑, 青領域に発振波長を有するレーザは, それらを同時に発振させた場合に得られる出力の色から白色レーザと呼ばれる。従来, 映像, 画像, 医療計測などの分野で白色レーザ光を使用したい場合は He-Ne レーザ, Ar レーザ, 陽光柱型 He-Cd レーザなど 2~3本のレーザ発振器を必要とし, それらのレーザ光を混合して用いていたが, 装置の大型化, 保守の煩雑さ, 3本のビームを1年の光軸に調整することの困難さなどの不便があり, 白色レーザの出現が強く望まれている。

白色レーザにはホロー陰極型 He-Cd レーザの外に陽光柱型 Kr-Ar レーザ, Kr レーザ, He-Se レーザがあり, ホロー陰極型 He-Zn レーザも可能性があるが, ここでとりあげたホロー陰極型 He-Cd レーザは, (1) 赤 (635.5nm, 636.0nm), 緑 (533.7nm, 537.8nm), 青 (441.6nm) の発振波長が理想的光の三原色波長である610nm, 540nm, 450nmに近い, (2) 可視光領域において赤, 緑, 青以外の波長を含まない, (3) 緑の波長がリバーサルカラーフィルムの緑の感光剤に最適で赤および青の他の感光剤の波長には感光しない, という特徴があるため白色レーザの中でも特にその実用化が強く望まれている。しかし, これまで連続発振で高出力が得られ, しかも出力安定性の良いものはなく, 従って, その発振諸特性も明らかではなかった。

本論文は以上の理由からホロー陰極型 He-Cd⁺白色レーザをとりあげ, その高性能化を目的として連続発振で効率良く高出力の得られるホロー陰極構造の検討, 発振諸特性の解明, 出力安定化, 高出力化, 小形化などについておこなった研究の成果をまとめたものである。

第2章 ホロー陰極型 He-Cd⁺ 白色レーザーの設計試作

連続発振で高出力、しかも安定性の良い白色レーザーを得るため、従来種々のホロー陰極構造が提案されているが、フルート型を改良した新しい構造を提案することによって、連続発振で高出力が得られる可能性のあることがわかった。図1にその基本構造を示す。この構造は、(1) スパッタ生成物が陰極ボア外へ排出されやすく、しかもCd溜内のCdと混合しない。(2) Cd溜が陰極外にあるためCd蒸気圧をコントロールしやすい。(3) ガラス管が陰極外周部に接しているため陰極外面への放電が生じない。従って、グローを有効にボア内に閉じ込めることができるため発振効率が良い。という従来のフルート型では得られなかった特長を有している。また、ホロー陰極の性能は使

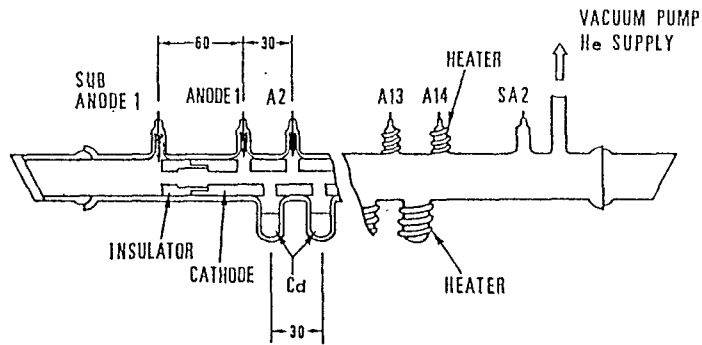


図1. レーザ管の構造 (Fタイプ)

用される陰極材料によっても大きく変わる。SUS304L, Ti, Al, Cu, Fe, Mo, W の7種類の金属で実際に陰極を作り白色レーザーを発振させ性能を比較したところ、Feが効率、出力安定性ともに最も優れていることがわかった。

第3章 ホロー陰極型 He-Cd⁺ 白色レーザーの諸特性

新しい陰極構造により高出力で安定な白色レーザー光が得られることから、主としてFタイプ構造の陰極を用いてホロー陰極型 He-Cd⁺ 白色レーザーの発振諸特性、即ち、He 圧力依存性、Cd 蒸気圧依存性、陽極電流依存性、共振器ミラーの影響、ブリュースタ窓の影響、また、陰極ボア径、陽極ピン間隔、陰極長など陰極の構造パラメータの影響を示し、最後に単一モード発振特性を示した。特に、ホロー陰極型 He-Cd⁺ レーザにおいても陽極の構造及び長さが決まれば He 圧力 P とボア径 d との間には $Pd = \text{一定}$ の関係が得られること、陰極材料によって Pd 値は変わらないことがわかった。図2はボア径の異なる陰極における最適 He 圧力を示す。しかし、この Pd 値は陰極長により図3のように変わる。図3は陰極長10cmから61cmまでの赤出力について示している。また、単一モード発振ではアパーチャ径、ボア径、ミラーの反射率、He 圧力など赤出力の増大に留意する必要があることがわかった。

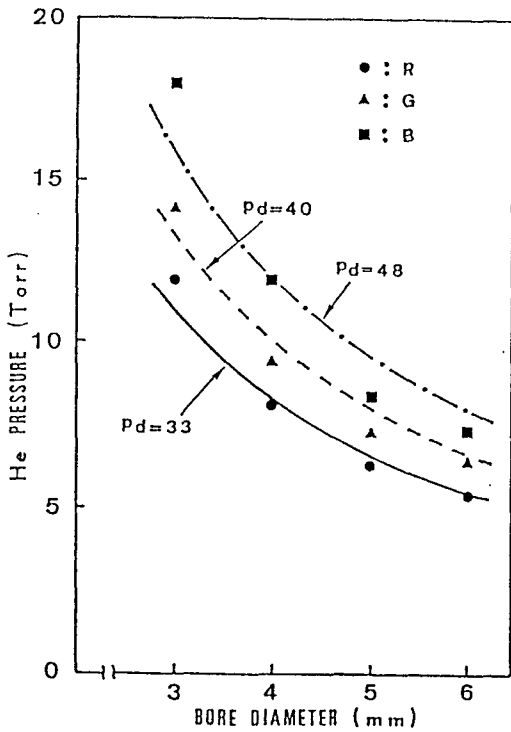


図2. ボア径と最適 He 圧力 (Cタイプ, SUS304L)

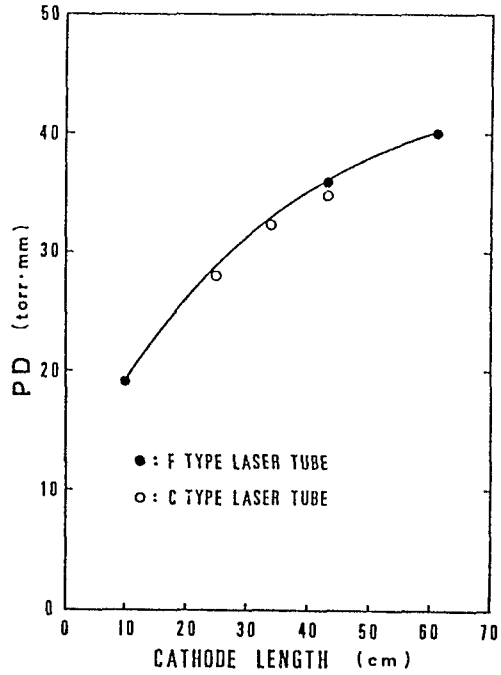


図3. 赤出力の陰極長による Pd 値の変化

第4章 ホロー陰極型 He-Cd⁺ 白色レーザの出力安定化

Fタイプ構造は多数の陽極が付いている構造であるが、複数個の陽極を有するホロー陰極型 He-Cd⁺ 白色レーザの出力安定化方式として、総括陽極電力制御方式、個別陽極電力制御方式、光フィードバック制御方式の各方式を提案し、それぞれの性能を比較した。通常は総括または個別方式で十分であるが、さらに高い安定性を必要とする場合は光フィードバック制御方式が優れている。図4は個別陽極電力制御方式を示し、図5はこの時の出力安定化性を示す。出力安定性は赤、緑、青出力に対してそれぞれ $\pm 0.90\%/H$ 、 $\pm 1.06\%/H$ 、 $\pm 1.11\%/H$ である。また、ヒータ線による数ガウス程度の弱い磁界によってレーザ出力が影響を受け、その状態が発振波長によって異なること

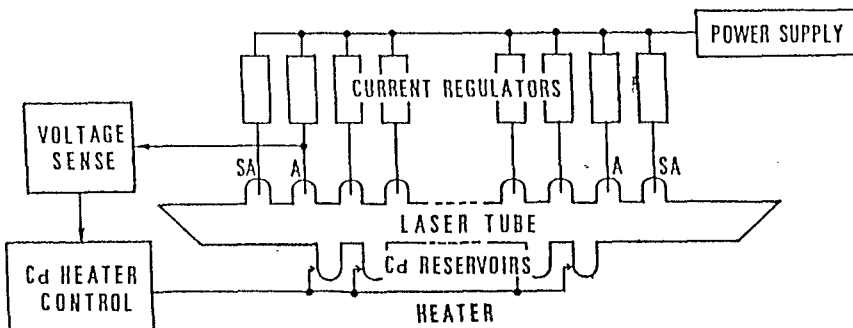


図4. 個別陽極電力制御方式

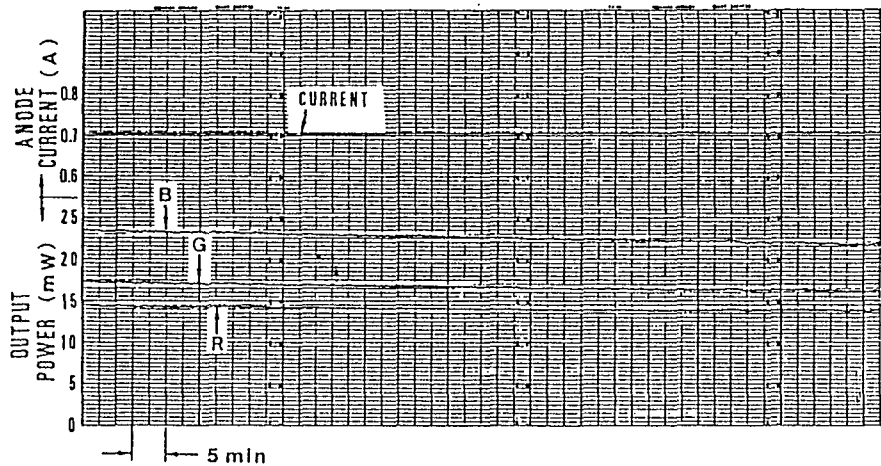


図5. レーザ出力安定性

が観測された。しかし、ヒータ線の無誘導巻きにより消磁効果がありレーザ出力に影響を与えないことが確認された。これらの出力安定化方式により高安定なレーザ光が得られたことからホロー陰極型レーザにおいても光ガルバノ効果が観測された。図6にその一例を示す。各色出力に対して光ガンバノ効果の程度は異なるが放電維持電圧に与える影響は非常に小さく、レーザ光出力に及ぼす影響は殆どない。

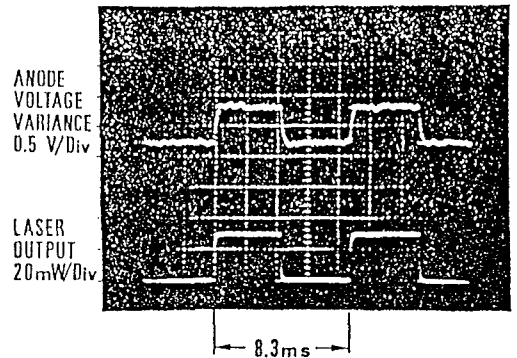


図6. 光ガルバノ効果

第5章 ホロー陰極型 He-Cd⁺ 白色レーザの高性能化

これまで得られた結果に基づき新しいホロー陰極型構造で有効長61cmのレーザ管を試作し、その諸特性、最大出力とそれをを用いた利得測定、ダブルットラインの出力特性について実験的に検討した。図7に示すように3色同時発振時の最大出力は陽極電流2Aにおいて赤、緑、青それぞれ41.3mW, 60.4mW, 92.5mW, 合計出力194.2mWが得られ、さらに高出力化が可能であることが判明した。また、10Hz~10MHzでの雑音は0.1%RMS以下であった。

赤と緑はそれぞれ0.5nmおよび4.1nm離れたダブルットラインで発振する。図8は赤出力のダブルットラインの特性を示す。ダブルットラインのCd蒸気圧依存性においては、赤および緑ともに長波長側の発振線の出力が大きい。Cd蒸気圧が低くなると赤および緑ともに短波長側の発振線の出力がなくなる。He圧力依存性においては、赤はHe圧力が高くなると短波長側の発振線はなくなるが、緑では短波長側の発振線はほぼ横這いとなり長波長側発振線のみ減少する。陽極電流依存性においては、赤の長波長側発振線に飽和がみられる。このような現象から、赤および緑ともに長波長側発振線のみ得られる領域が存在することがわかった。この高出力性と高安定性を利用して増

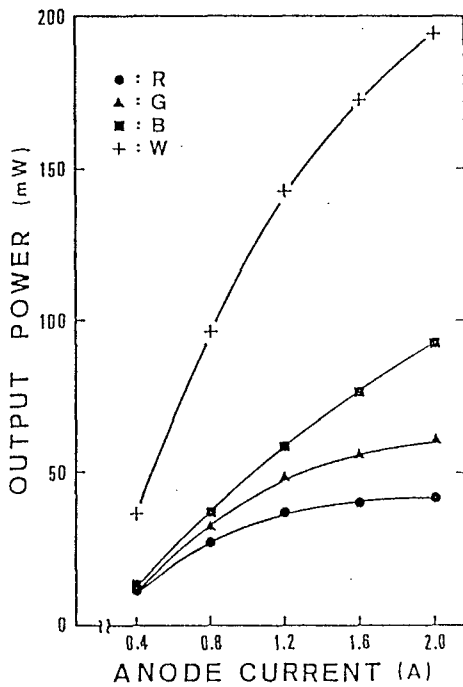
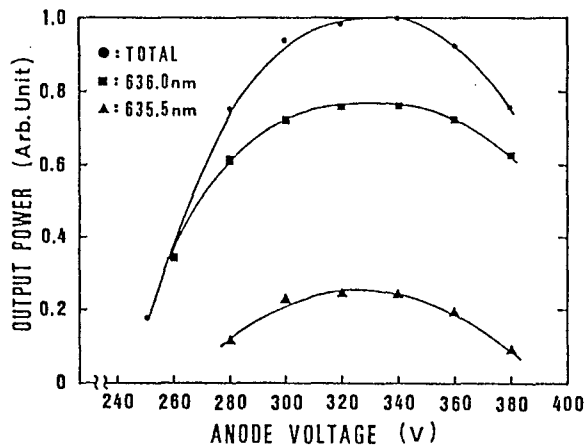
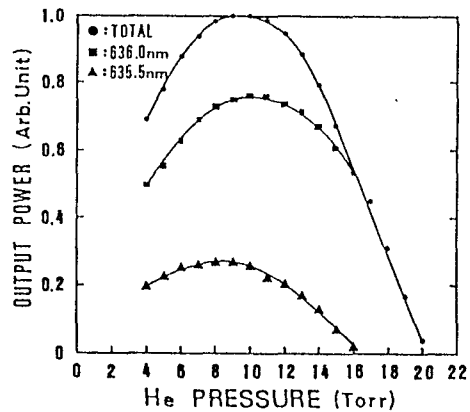


図7. 陽極電流依存性

幅器法により可視光領域の5本の発振線の各々の利得を測定した。最も普通使用する条件 He 圧力10torr, 陽極電流1A, 平均陽極電圧300Vにおいて, 636.0, 635.5, 537.8, 533.7, 441.6nmの各波長に対して, 小信号利得係数はそれぞれ5.6, 3.6, 6.9, 4.2, 9.5%/mが得られた。



(a) Cd 蒸気圧依存性



(b) He 圧力依存性

図8. 赤のダブルレットラインの発振特性

第6章 ホロー陰極型 He-Cd⁺白色レーザの小形高性能化

第6章ではレーザ管の小形化について, 陰極長を短くする方法と内部鏡化を検討し, それらの諸特性を測定した。3色同時発振の得られる陰極長の限界を検討し, 陰極長10cmのレーザ管において3色同時発振が得られ, 主陽極電流0.3Aにおいて合計出力3.1mWが得られた。補助陽極電流のレーザ光出力に与える影響は大きく, 特に, 青出力に与える影響は大きい。青は励起エネルギーレベルが低く, 補助陽極で形成される陽光柱部分が青の発振に寄与しているためである。また, 赤は利得が低いのでCd蒸気圧を高めることにより得られ, 陰極長10cmは赤の出力の得られる限界に近い。陽極電流特性を図9に示す。

小形化のもう一つの方法である内部鏡型については陰極長43cm管と10cm管について外部鏡型と比較しながら実験的に検討した。最適 He 圧力, および最適 Cd 蒸気圧は内部鏡型と外部鏡型とはほぼ同じである。図10は一例として43cm管における陽極電流依存性を示す。レーザ光出力は内部鏡

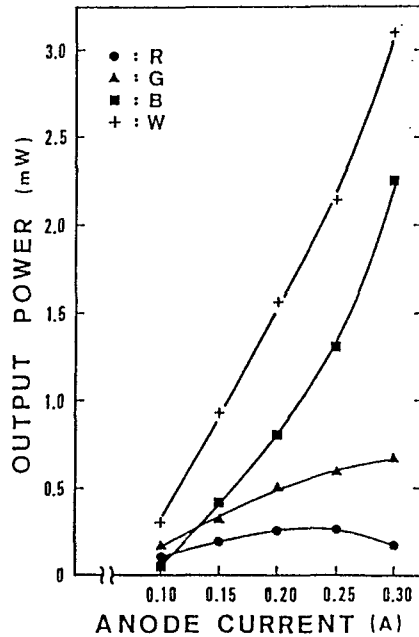


図9. 10cm管の陽極電流依存性

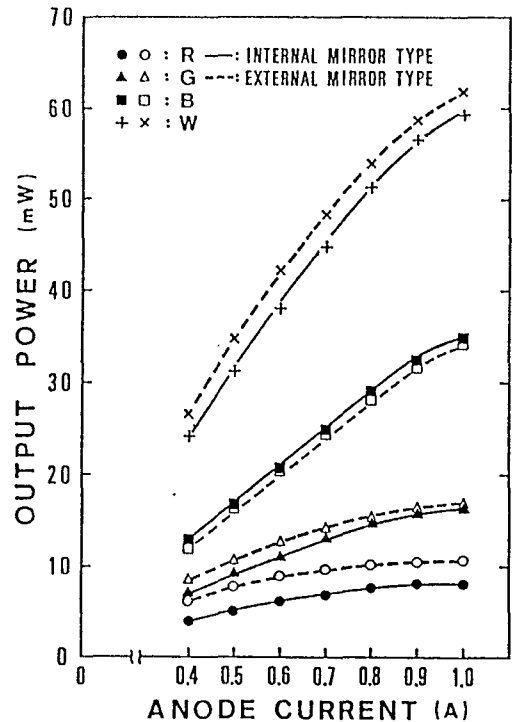


図10. 内部鏡型と外部鏡型の比較

型では外部鏡型に比べ、青は増加するが赤と緑は減少することがわかった。これはブリュースタ窓による共振器内損失が少なくなったため励起エネルギーレベルの低い青が一層発振しやすくなり、逆に高いエネルギーレベルへの励起原子数の減少から、赤が発振しにくくなり、赤のカスケード遷移による緑の上準位への遷移も減少することから緑の出力も減少していることによると考えられる。従って、内部鏡型と外部鏡型とではミラーの反射率特性を変える必要がある。

第7章 結 論

ホロー陰極型 He-Cd⁺白色レーザの実用化を目的として連続発振で高出力が得られる新しい陰極構造を提案，それを用いて白色レーザの諸特性を実験的に解明し高出力化を実現した。また，小形化の限界，内部鏡型の特性を示した。出力安定化方式については総括，個別，光フィードバックの3つの方式を提案，それらの性能を比較して前述のごとき結果を得た。

以上のことから本研究によりホロー陰極型 He-Cd⁺白色レーザの実用化への基盤技術が確立されたものと考えられる。本研究では特に述べなかったが，寿命については既に約3000時間を達成している。しかし，実用化にあたっては他のレーザ並にさらに長寿命化と信頼性が要求される。また，このレーザを応用製品に組み込む場合の小形化が要求され，今後の課題であるが，本レーザを応用した新しい製品の研究が促進され，新製品が早く出現することを願って結びとする。

審査結果の要旨

He-Cd 気体レーザーは赤、緑、青の波長域で同時発振が可能なることから白色レーザーと呼ばれており、各種の画像処理や映像表示、計測をはじめ多くの分野でその実用化が強く望まれていた。しかし、従来このレーザーで高出力の連続発振が得られ、しかも安定性の優れたものは実現されていなかった。著者は、その実用化のための諸課題に取り組み、新たなホロー陰極構造を提案し、それをを用いて白色レーザーの諸特性を実験的に解明して高出力化を図ると共に、出力安定方式や小型化の限界の追求など一連の研究を行ってきた。本論文はその成果をとりまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は総論である。第2章では、He-Cd 白色レーザーの連続発振を実現すると共に、効率と安定性を向上するために新しい構造のホロー陰極を用いることを提案している。また、赤、緑、青の3色のレーザー光の同時連続発振の実験を試みて、最も適した陰極材料の検討および選定を行っている。

第3章では、前章で得られた結果に基づいてHe-Cd 白色レーザーの動作実験を行い、その発振特性のHeおよびCdの圧力や陽極電流、出力鏡の反射率、放電管の構造パラメータなどへの依存性を詳細に測定し、このレーザーの最適設計・動作のための検討を加えている。

第4章では、複数個の陽極を備えたホロー陰極型 He-Cd 白色レーザーの出力安定化方式として、2種類の陽極電力制御方式と光フィードバック制御方式を提案し、従来行われている温度制御方式との比較実験を行い、光フィードバック方式が最も優れていることを定量的に明らかにしている。これは実用上有用な成果である。

第5章は、ホロー陰極型 He-Cd 白色レーザーの高出力化を試みた結果を記述したものであって、陰極長を約60cmと長くすることにより、全出力約200mW が得られたことを述べている。

第6章では、さらにこのレーザーの小型高性能化を目的として、陰極長が10cm程度までのレーザー管を試作し、小出力応用に向けた実用化の具体的方策を明らかにしている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、He-Cd 気体レーザーの連続発振動作とその高性能化ならびに実用化のための一連の研究を行い、いくつかの重要な知見をえたものであって、電子工学ならびに光エレクトロニクスの発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。