

分子ガスレーザー励起用大出力CO₂レーザー

Very High power CO₂ Laser

for Pumping Infrared Molecular Gas Lasers

宮崎和彦、笠田洋文、奥田圭二、西垣祐介、二本森辰悟

Kazuhiko Miyazaki, Hirofumi Kasada, Keiji Okuda

Yusuke Nishigaki, Shingo Nihonmori

鳥取大学 工学部

Fuculty of Engineering, Tottori University

Abstract: Line selective CO₂ laser using with the unstable resonator and the grating was developed in order to obtain very high power CO₂ laser as a pumping source for infrared molecular gas lasers with high power, and about 60J/pulse of 9R(30) 9.22 μm line of CO₂ laser could be observed.

【はじめに】

本研究室では、レーザーによる同位体分離や化学反応制御などへの応用が考えられる、赤外域同調可能（波長可変）SFR（Spin-Flip Raman）レーザーの研究を行ってきた。これまでに、分子法によるウラン濃縮用レーザーとして16μm域で同調可能な性能を持つ、NH₃レーザー励起InSbSFRレーザーの開発を行い、波長同調特性の点で当初の目標を達成できた。今までの実験から、NH₃レーザー励起InSbSFRレーザーの発振出力は、励起光強度が強い場合に安定することが分かっている。また、我々の実験室の5J程度の出力を持ったCO₂レーザー用いてNH₃レーザーを励起した場合、その出力が飽和に達していないため、励起エネルギーを上げることによりさらにNH₃レーザーの高出力化が期待できる。このため、波長選択可能でしかも大出力なCO₂レーザーを開発する目的を達成するために、共振器の構成を大出力の取り出しに適した不安定型共振器と、波長選択素子であるグレーティング（回折格子）を組み合わせた実験を行った。

【実験装置と方法】

実験装置は、大阪大学レーザー核融合研究センターの、「烈光Ⅷ号」システムの主増幅器を発振器として用いた。その特徴は、レーザー媒質の励起を効率よくするために、放電による電離と励起を完全に分離させた電子ビーム放電型発振器である。発振器の構成は、Fig. 1に示すように不安定型共振器とした。波長の選択は、凹面鏡と凸面鏡で構成される不安定型共振器内に置いたグレーティングを

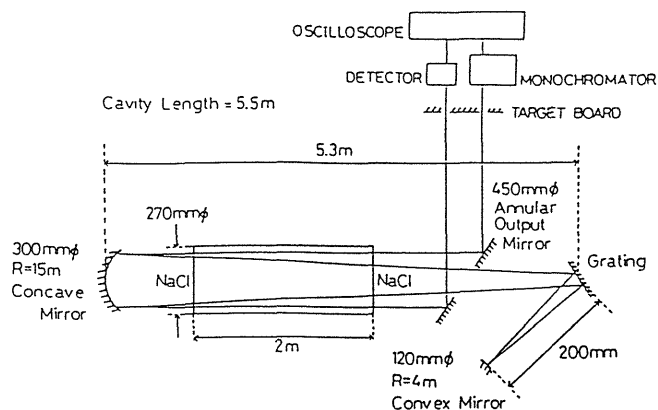


Fig. 1 Experimental setup of Unstable Resonator

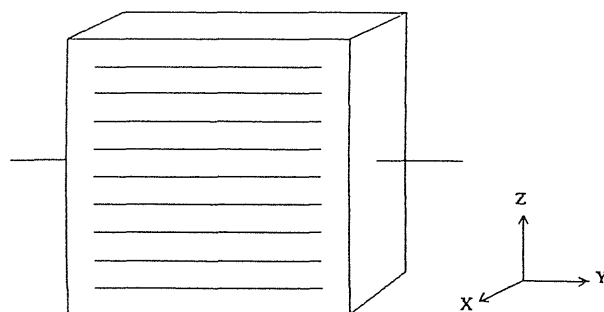


Fig. 2 The relation of alignment to Grating

変えることで行った。使用したグレーティングは、ブレイズ波長：10.6 μm 、グループ数：135 mm^{-1} である。実験における、光軸とグレーティングの関係をFig. 2に示す。また、レーザ出力光のビームパターンは、ターゲット板に貼った感熱紙により記録した。発振出力と発振波長は、ターゲット板上の直径1cmの穴から取り出し、ジュールメータと回折格子分光器によって測定した。

【結果と検討】

CO₂レーザ出力光のビームパターンをFig. 3に示す。また、Table.1に発振出力と発振波長の測定結果を示す。観測されたビームパターンには、多数の波長の発振が見られ、単一波長での発振を起こさせることは出来なかったが、PブランチとRブランチの分離を行うことは出来た。

本実験により得られた結果に関して、波長選択が単一波長で得ることが出来なかった理由を述べる。グレーティングで回折された光が凸面鏡の中心に当たる場合は、平面ミラーとして扱うことができる。この時凸面鏡で反射された光は、入射してきた方向へ戻り回折角度は変化せず、軸からずれることなく共振器中を伝搬する。一方、グレーティングで回折した光が凸面鏡の中心をずれた場合は、光は凸面鏡の各点で決まる方向へ拡散され、入射してきた方向とは異なった方向へ進む。この場合、グレーティングにおいて回折される角度が変わってしまい、拡散された形で共振器中を伝搬する。しかし、共振器の構成が不安定共振器であること、また発振器における増幅媒質体積が大きいことから、軸とずれた方向に伝搬する光も利得が得られ、多数の発振線が同時に観測されたと考えられる。

次に、ビームパターンがきれいなリング状にならなかった理由を述べる。光軸に対してグレーティングの溝の右側と左側で反射した光が、凸面鏡までの光路差を考えると異なってしまうこと、また角度を変えることが2軸変化になる影響で、ビームパターンがひし形になると考えられる。

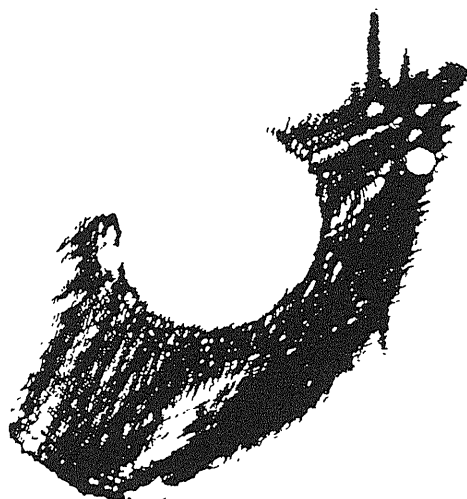


Fig.3 Beam pattern 9R(30), 57J

発振線	発振波長 (μm)	検出器 (mV)	発振出力 (J)
9P(14)	9.503	24.0	105
9R(16)	9.294	8.0	111
9R(24)	9.250	66.0	94
9R(26)	9.240	4.0	42
9R(30)	9.220	44.0	57
9R(32)	9.210	72.0	51
10P(20)	10.591	9.0	235

Table.1 Output and Wavelength with CO₂ Laser

【おわりに】

本実験では、波長選択において単一波長の発振線を得ることは出来なかったが、9 μm 帯と10 μm 帯を分離できたことは大きな成果であった。また全体の出力としては、数100Jであった。

今後は、実験を進めさらに検討を加えていく。また、以下に示す「烈光Ⅷ号」を用いて単一波長を得るための構成の共振器3例についても、実験をする予定である。

- ①グレーティングと出力ミラー間でレーザ作用を起こした後、凹面鏡と凸面鏡の間で光を増幅させ、単一波長を得る。(Fig. 4)
- ②フラットミラーを使用する。(Fig. 5)
- ③グレーティングに当たる光を平面波に変換して、波長選択を簡易にする。(Fig. 6)

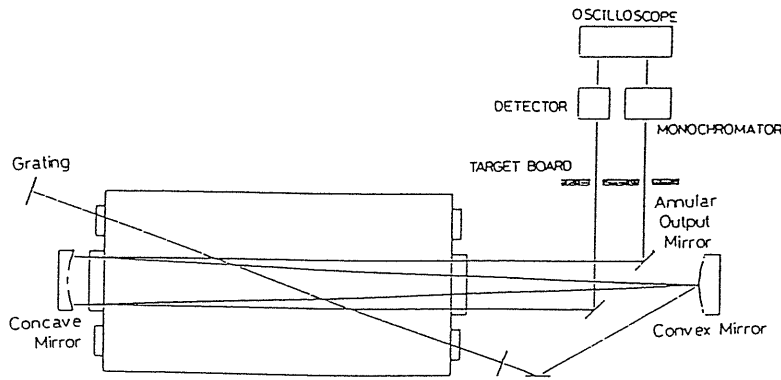


Fig.4

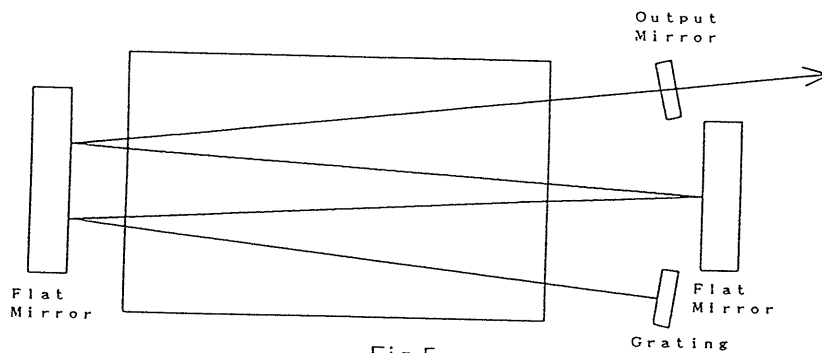


Fig.5

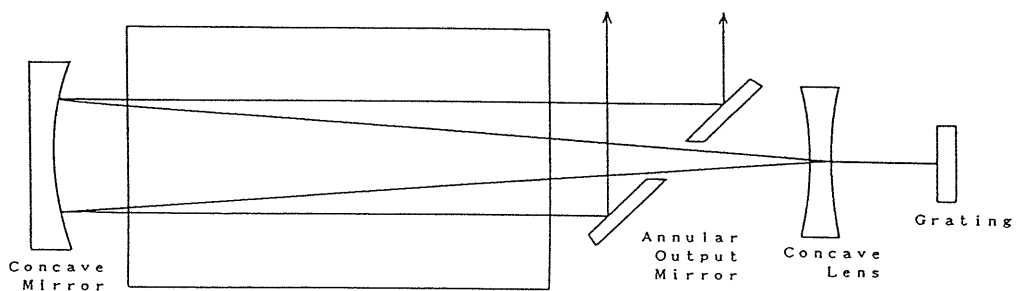


Fig.6

【謝辞】

本研究は、大阪大学レーザ核融合研究センターの共同研究(装置利用研究)として行ったものである。本研究を進めるにあたり、御助力して頂いた研究センターの北川米喜助教授、並びに沢井清信技官に感謝します。

【参考文献】

奥田圭二：鳥取大学大学院工学研究科修士学位論文

【付録】

【不安定型共振器】

不安定型共振器は、Fig.7のように2枚の全反射ミラーと出力取り出し用の穴開き全反射ミラーとで構成される。この共振器は、一方の凸面ミラーによりビームを拡大し、他方の凹面ミラーにより等位相・平面波の平行ビームにするもので、45°の角度に配置された穴開き全反射ミラーからリング状強度分布の出力ビームを取り出す方式の共振器である。この共振器は、部分反射ミラーを使用する必要がない上、2枚の曲率半径を選定することによりモード体積を大きく設定することが出来るので、大出力取り出し用に適した共振器である。

不安定型共振器のビーム径と発散角は、得られるビームの外径 D_1 と内径 D_2 との比、すなわち拡大率の M (D_1/D_2) に依存する。拡大率 M を決めると、共振器を構成するミラーの曲率半径 R_1 、 R_2 が共振器長 L の関数として決定される。この計算例をFig. 8に示す。これは2枚のミラーが焦点を共有し、かつ、その焦点を共振器内に持たない正分岐共焦点型の不安定共振器について計算したものである。 M が大きくなると、リングモードビームの中抜き部分の部分が小さくなり、集光性が良くなる。Fig. 8から分かるように、 R_1 、 R_2 を選べば M の値を変えることができ、安定型共振器のモード次数に対応して、いろいろな発散角のビームを得ることができる。

また、ビームの内径は、ビーム取り出し用穴開きミラーの内径（光軸方向から見た内径）で決定され、外径はそれに応じた値となる。従って不安定型共振器では、ビームの内径と外径を任意に選ぶことができ、それにより発散角も決定される。

不安定型共振器の特徴をまとめると、次のようになる。

- 1) 凸面鏡の曲率半径を変えることにより、リング状ビームの内径と外径を任意に選ぶことができる。
- 2) ビームパターンはリング状であるが、等位相・平面波の平行ビームであるので、ビームの外径を大きくすれば発散角を回折限界までに小さくすることができる。
- 3) 裏面で水冷可能な金属の反射ミラーのみで共振器を構成でき、1)の点と合わせて大断面の放電管からの大出力の取り出しに適している。
- 4) 光の回折現象により不安定型共振器からのビームは、遠視野と近視野でのパターンが異なる。

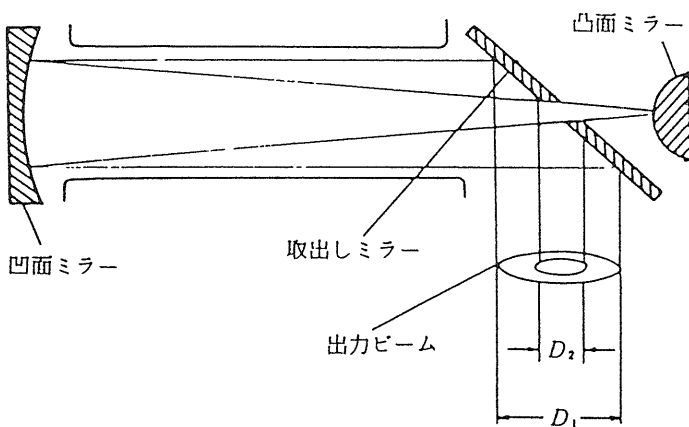


Fig.7 Unstable Resonator and Beam pattern

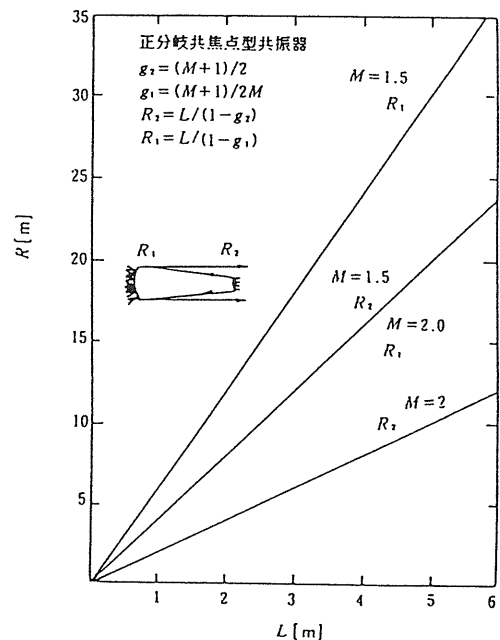


Fig.8 A radius of curvature in mirror with Unstable Resonator