

チューナブルエキシマレーザの開発

A Development of a Tunable Excimer Laser

山下一郎、齊藤陽一郎、大屋正志、瀬々新二、桂敏明、上野和昭、水井順一

I.Yamashita, Y.Saito, M.Oya, S.Zeze, T.Katsura, K.Ueno, J.Mizui

三菱重工業(株) 広島研究所

Mitubusi Heavy Industries,LTD. Hiroshima R&D Center

A high power tunable Excimer laser for diagnosis of combustion flames by LIF or LIPF has been developed. This laser is constructed by an oscillator which has a prism beam expander and a grating for tuner, and an amplifier which has an unstable resonator. The linewidth and maximum output energy are 2pm and 500mJ/p for KrF laser(248nm), 5pm and 250mJ/p for ArF laser(193nm). The scanning range and gas life of both lasers are 1200pm and over 2×10^4 shots.

1. はじめに 狭帯域化チューナブルエキシマレーザを利用し、LIF、LIPFによる燃焼ガス中のOH、NO等の濃度、温度分布の計測法が開発されており、エンジン内の燃焼計測に応用された例が報告されている⁽¹⁾。これらの計測データは、燃焼効率の向上や、排ガス中の有害物質の低減対策を行なう際に重要となる。

当社では、大型の燃焼器におけるこれらの計測に対応するため、現在市販されている装置より高出力のチューナブルエキシマレーザの開発を行なった。この結果、KrFレーザ(248nm)では最大出力500mJ/p、波長幅2pm以下、ArFレーザ(193nm)では、最大出力250mJ/p、波長幅5pm以下、波長可変範囲は両者共に1200pm程度で、ガス寿命は 2×10^4 ショット以上を確認した(Table.1に出力特性を示す)。

以下、本レーザ装置の構成および出力特性について報告する。

2. 装置の構成 本装置は、Fig.1に示すように市販レーザ装置と同様な狭帯域化チューナブル発振段と増幅段から構成されているが、市販品より放電長および動作ガス圧力を大きくしている(最大5atm)。

発振段の光共振器は、反射率8~10%の出力鏡と、プリズムビーム拡大素子(KrF発振時は合成石英製プリズム4個、ArF発振時はCaF₂製プリズム3個)および回折格子から構成される。

プリズムビーム拡大素子と放電管との間には、50%反射鏡を設置できるようにしており、プリズムおよび回折格子の光軸調整時には、50%反射鏡と出力鏡とによって発振するエキシマレーザ光を利用する。調整終了後、50%反射鏡を取り外すと、容易に狭帯域化発振させることが出来る。

増幅段は、後部鏡に狭帯域化光入射用ピンホールを持つ不安定共振器で構成され、最終的に出力されるレーザビーム形状は、電極ギャップ方向が18mm、電極幅方向は約5mmである(ただし、KrFレーザの最大出力は、電極ギャップ22mmにおいて得られている)。

放電回路の構成をFig.2に示す。基本的には自動予備電離容量移行型回路であるが、サイラトロン1台で2台の放電管をドライブしている。2台の放電管は容量移行回路の並列回路であるが、陰極がパルスのには独立しているため、電極間距離やガス圧力の違いによって、放電開始電圧が異なる。発振段と増幅段の放電タイミングの微調整は、ガス圧力によって行なっている。

3. 出力特性 増幅後の波長幅計測をフィゾウ干渉計(フィネス~10)によって行ない、その計測結果の例をFig.3に示す。波長幅は、干渉縞の半値全幅によって表している。Fig.4は、ArFレーザを約10m空气中を伝播させた時の酸素の吸収線を測定した結果で、20pm程度異なる吸収線を観測することが出来ている。

Table.1 Characteristic of the tunable excimer laser.

		KrF	ArF
Linewidth	[pm]	1.2-2	2.8-4.2
Tunable range	[pm]	1200	1200
Max energy	[mJ/p]	500	250
Beam divergence	[mrad]	0.15	0.12
Fluctuation	[±%]	2.5	5.4
Gas life	[shot]	more than 4×10^4	more than 2×10^4

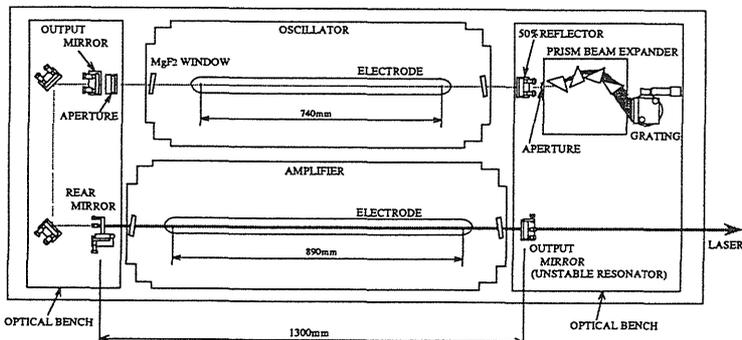


Fig.1 Optical arrangement of the tunable excimer laser.

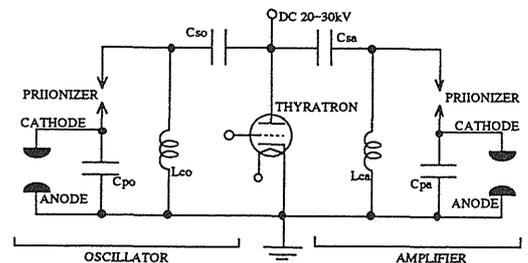


Fig.2 Schematic of the drive circuit.

波長スキャン時の発振段レーザー出力と、増幅後の波長幅、レーザー出力特性をFig.5、Fig.6に示す。ArFは長波長側において波長幅が広がる傾向にあるが、KrF、ArFともに波長可変範囲は1200pm程度である。

インジェクションロック効率は、発振段の偏向比 $((E_p - E_s)/(E_p + E_s))$ と増幅段の偏向比との比によって表し、これの放電遅延時間と発振段出力エネルギーに対する依存性をFig.7、Fig.8に示す。放電遅延時間の最適値は約30nsで、インジェクションロック効率は、発振段出力が0.5mJ/p以上において90%以上となっている。

Fig.9にKrFレーザーの充電電圧依存性を示す。30kV充電時に500mJ/p以上が得られている。Fig.10は10pps連続運転時における出力変化と、出力の変動幅を示している(ArFレーザーの出力が最大となるよう放電部を調整しているため、KrFレーザーの出力最大値は380mJ/pに減少している)。2×10⁴ショット後の出力減少量は、KrFで1割、ArFで3割程度である。

4 まとめ

LIF、LIPFによる燃焼ガスの計測用高出力チューナブルエキシマレーザーの開発を行なった。最大出力はKrFで500mJ/p(KrFレーザー用に放電部を最適化した場合)、ArFで、250mJ/p、波長幅は2~5pm、波長可変範囲は1200pm程度が得られた。ガス寿命は2×10⁴ショット以上を確認したが、今後ガス浄化系等による寿命の向上を図る予定である。

なお、本装置の開発に当たって、九大村岡教授、梶原助教授、岡田助教授、平川助手、電総研宮崎室長、東大渡辺教授のご指導をいただきました。厚くお礼申し上げます。

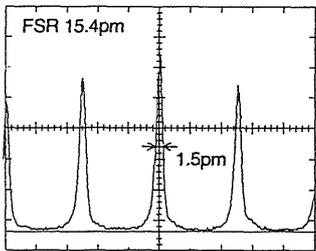


Fig. 3 Measurement of the linewidth of KrF laser by Fizeau interference.

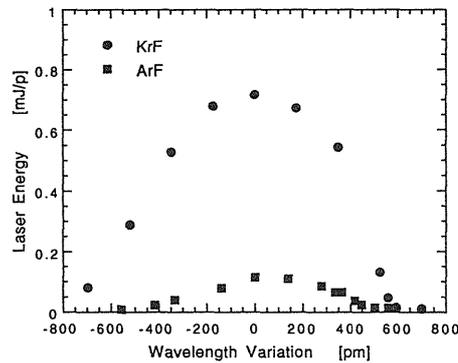


Fig. 5 Laser output energy of the oscillator.

(1) P.Andresen et al.: Appl.Opt.29(1990)2392

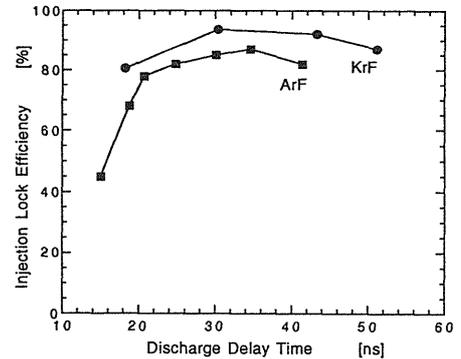


Fig. 7 Injection lock efficiency as a function of discharge delay time.

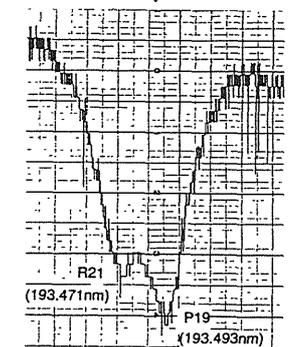
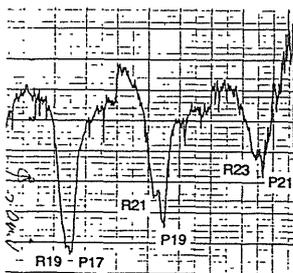


Fig. 4 Absorption spectrum of O₂ by the tunable ArF laser.

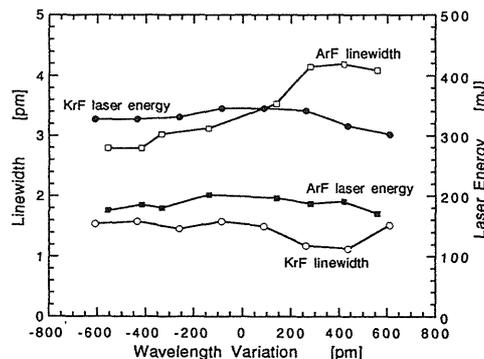


Fig. 6 Linewidth and laser energy as a function of wavelength.

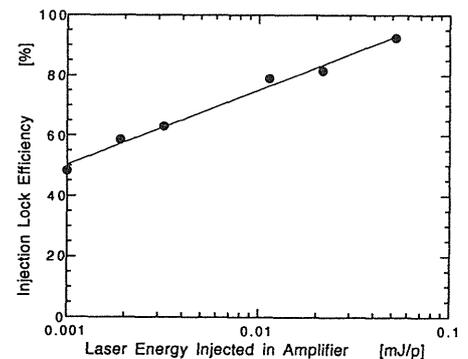


Fig. 8 Injection lock efficiency of KrF laser as a function of laser energy injected in the amplifier.

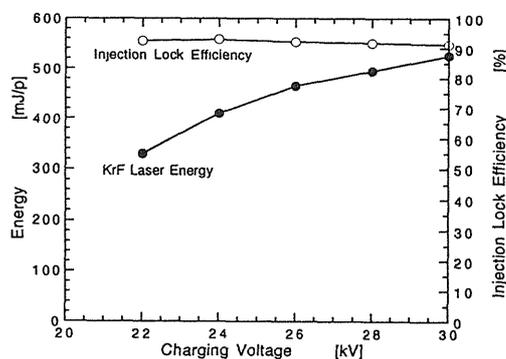


Fig. 9 KrF laser energy as a function of charging voltage.

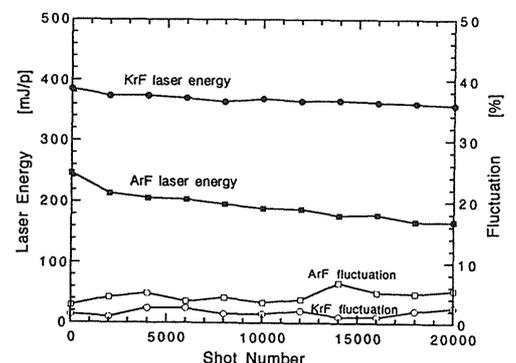


Fig. 10 Gas life of KrF and ArF laser.