

E 3

高出力放電励起エキシマレーザ High power discharge pumped excimer laser

深津 透^{*}, 宮崎 健創, 挟間 寿文, 山田 家和勝, 佐藤 卓蔵
T. Fukatsu, K. Miyazaki, T. Hasama, K. Yamada, T. Sato
電子技術総合研究所 荏原製作所^{*}
Electrotechnical Laboratory Ebara Corporation

1. はじめに

自動予備電離放電励起エキシマレーザは、小型で高繰返し動作の可能なことから活発に高性能化の研究が進められている。従来、この型のエキシマレーザでは、パルス当りの出力が 200~400mJ のものが多かった。エキシマレーザ応用分野の広がりと共に、パルス当りの高出力化が望まれている。筆者らはこれまで、自動予備電離放電励起エキシマレーザを試作し（1号機）、その動作特性を調べてきた^{(1), (2)}。それをもとに、高出力（1J 以上）動作の可能なエキシマレーザを試作し（2号機）、高出力、高効率動作が得られたので、装置と発振特性について報告する。

2. 装置

装置断面図をFig.1 に示す。ストレージキャパシタ C_1 を+HV で充電し、スパークギャップスイッチを閉じる。 C_1 の電荷は電極の横に並んだギャップ列を通してピーキングキャパシタ C_2 に移行する。そのときに、ギャップ列で発生するアーク放電のUV光で主電極間のガスを予備電離する。引き続いて起こる主電極間の放電により、レーザガスを励起する。

レーザ出力を決定するパラメータは、放電体積、コンデンサー容量、主放電回路のインダクタンス、全ガス圧及びガス組成、充電電圧等である。レーザ設計に当っては、目的とする出力からこれらを決定する。今回の装置では、XeClで全圧6atm以下、充電電圧40kV以下、最大出力1J以上を目標とした。Table.1 に 1号機と 2号機の装置パラメータを示す。放電体積は、電極の長さ、幅、形状、間隔などで決定される。1号機では、Table.1 の電極を使用することにより、116cm³ の体積で680mJ(5.8J/l) のエネルギーを取りだせた。2号機では、単位体積当りのエネルギー取りだし量を 3.5J/l と予想し、Table.1 の電極パラメータより、放電体積~ 290cm³、レーザ出力1Jを期待した。コンデンサー容量については、 C_1 充電電圧30kV、効率2%で1Jと考え、

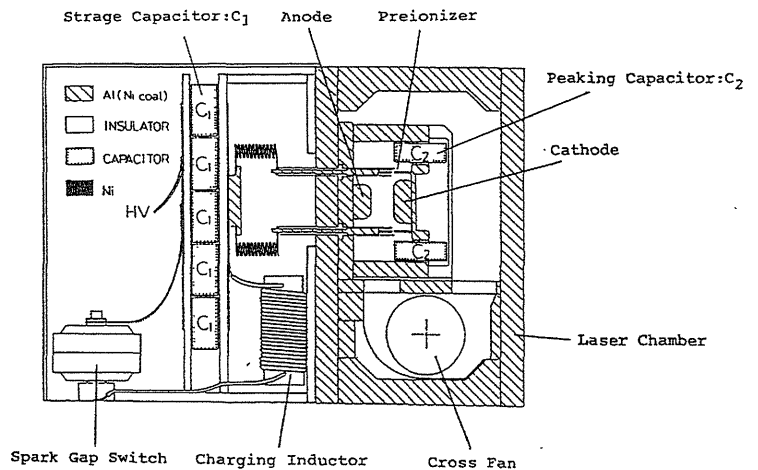


Fig.1 装置断面図

Table.1 1号機と 2号機の装置パラメータ

		No.1	No.2
CAPACITOR	C1	59.4 nF	120.0 nF
	C2	54.0 nF	86.4 nF
ELECTRODE	WIDTH	ANODE	40 mm
		CATHODE	40 mm
	LENGTH	600 mm	1000 mm
	SPACING	18 mm	22 mm

$C_1 = 120\text{nF}$ とした。 C_2 として電極の両横に、 2.7nF 、 30kV 耐圧のセラミックコンデンサーを配置し、全容量 $C_2 = 86.4\text{nF}$ とした。主放電回路のインダクタンスは、励起強度に関係するので、エキシマレーザではできるだけ小さくするのが望ましい。このインダクタンスは、実際の素子配置からソレノイド近似を用いることにより計算できる。1号機では、計算上 4nH 、主放電電圧波形から測定すると 3nH であった。2号機では 3nH になるように設計した。

レーザチェンバーは、長さ 1200mm 、幅 235mm 、高さ 390mm の直方体で、アルミにニッケルコートしてある。レーザの調整のため、スイッチ素子として、スパークギャップスイッチを使用しているが、将来はサイラトロンに交換する予定である。予備電離ピンは、電極の両側に 2cm 間隔で合計 96 本配置し、分割用のインダクタ($1\mu\text{H} \times 96$ 本)を通して、 C_1 と接続している。チェンバー下部にはガス循環用に、直径 90ϕ 、長さ 1000mm のクロスファンを取り付けた。

3. 発振特性

Fig.2に、 $\text{HCl}:4\text{Torr}$ 、 $\text{Xe}:30\text{Torr}$ 、 $\text{Pt}(\text{Ne})6\text{atm}$ のときのレーザ出力の充電電圧依存性を示す。充電電圧 28kV 以上で 1J 以上の出力が得られ、最大出力は 1.2J であった。また、同じガス条件で、 20kV で最高効率 2.9% が得られた。最大出力時のビームパターンは $22 \times 22\text{mm}^2$ で、パルス幅は 22ns であった。このときの放電体積、単位体積当りのエネルギー取出し量、ピークパワーを1号機と比較してTable.2に示す。放電幅が 22mm と当初の予想(14mm)よりかなり広がったため、放電体積は 455cm^3 と1号機の3倍になった。その結果、単位体積当りのエネルギー取出し量は、1号機のそれに比べて低下したと思われる。このことから、より高密度の励起により、更にレーザ出力が増大することが期待される。そのために、 C_2 を 86.4nF から 109.8nF にした。Table.3に ArF 、 KrF 、 XeCl の三種類のレーザについて、この二つの場合の最大出力、最高効率をまとめた。 ArF では、 C_2 の容量の増加にともない、ほぼ同じ割合で出力が増大し、最高効率も 2% 近くまで上ったが、 KrF 、 XeCl では最大出力はほとんど変わらず、最高効率はむしろわずかに低下した。また、 ArF 、 KrF ではパルス幅は 5% 程度ながくなっただけであったが、 XeCl では 22ns から 34ns へと 55% も増大した。これらの原因については、電圧波形の測定等を行い、検討を進めている。

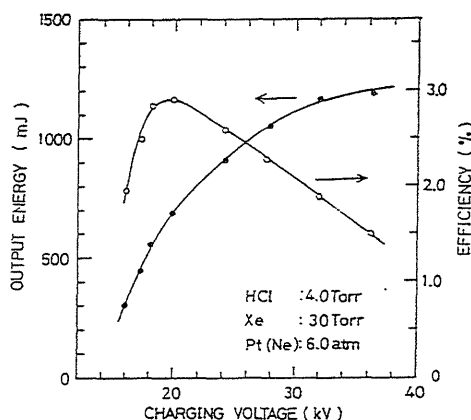


Fig.2 XeClレーザ：出力及び効率の充電電圧依存性

4. おわりに

自動予備電離放電励起エキシマレーザのスケールアップを行い、 ArF 、 KrF 、 XeCl の各レーザで 1J 以上の出力が得られた。高繰返し動作については、これから取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 戸田、宮崎、挾間、山田、酒井、佐藤：レーザ研究12(1984)426.
- 2) 宮崎、挾間、山田、佐藤、江浦、深津：レーザ研究13(1985)814.

XeCl Table.2 1号機と2号機の出力特性の比較

EFFICIENCY	2.9 %	2.9 %
OUTPUT ENERGY	680 mJ	1200 mJ
BEAM SIZE	$18 \times 12 \text{ mm}^2$	$22 \times 22 \text{ mm}^2$
PULSE WIDTH (FWHM)	20 ns	22 ns
DISCHARGE VOLUME	116 cm^3	455 cm^3
ENERGY EXTRACTION	5.8 J/l	2.6 J/l
PEAK POWER	34 MW	55 MW

Table.3 最大出力と最高効率

C	86.4nF		109.8nF	
	MAXIMUM OUTPUT ENERGY	MAXIMUM EFFICIENCY	MAXIMUM OUTPUT ENERGY	MAXIMUM EFFICIENCY
ArF	860mJ	1.6%	1070mJ	1.8%
KrF	1270mJ	3.2%	1340mJ	2.9%
XeCl	1200mJ	2.9%	1230mJ	2.7%