

小型放電励起XeClエキシマレーザの研究

(課題番号 56550267)

昭和57年度科学研究費補助金(一般研究C)

研究成果報告書

昭和58年3月

研究代表者 後藤俊夫

(名古屋大学工学部助教授)

はしがさ

本報告書は一般石研究(C)「小型放電励起XeClエキシマレーザー」の研究に関して、昭和56年度および57年度の2年間に得られた実用的レーザー装置製作のための基礎的研究の成果をまとめたものである。現在はその結果をもとに改良した装置を製作中であり、今後さらに石研究を積み重ねていく予定である。

石研究組織

研究代表者	後藤俊夫(名古屋大学工学部助教授)
研究分担者	内田悦行(名古屋大学工学部助手)
	玉野順次(名古屋大学工学部教務員)

石研究経費

昭和56年度	1,700	千円
昭和57年度	200	千円
計	1,900	千円

研究発表

(1) 学会誌等

後で述べる、図9のレーザー装置に関する実験結果を得た後、「A compact and stable discharge excited XeCl excimer laser」(仮題)として発表予定

(2) 口頭発表

(i) 平松、田中、後藤、服部

「放電励起XeClエキシマレーザーの基礎的研究」

電気関係学会東海支部連合大会、昭和57年11月

(ii) 平松、後藤

応用物理学関係連合講演会 昭和58年10月

発表予定

(iii) 平松、後藤

電気関係学会東海支部連合大会 昭和58年10月

発表予定

(iv) 平松、後藤

電気学会プラズマ研究会 昭和58年度中に

発表予定

研究成果

1. 本研究の目的と概要

エキシマレーザは効率がよく、大きなパワー出力が得られるので、比較的高いエネルギーを必要とする励起用光源として有用である。¹⁾ これらのほかで放電励起型希ガスハロゲンエキシマレーザは、電子ビーム励起型のものより小型の装置を使って、紫外領域で多くのレーザ線を得ることができ²⁾³⁾⁴⁾る。特にXeClレーザは、Clを用いるのでフッ素を用いるものより他の物質との反応性が弱く、比較的安定なレーザ発振を長時間得ることができ⁵⁾る。本研究の目的は、(1)いろいろな電極構造を持つ放電型XeClレーザ(308nm)を製作し、出力特性、パルスの再現性、不純物の影響等を調べること、(2)その結果をもとにして、励起用光源として使用できる小型のくり返し紫外レーザ装置を製作するための基礎データを得ることであった。そこで56年度は励起回路、レーザ管、ガス供給装置を製作し、放電実験を行った。57年度はそのデータをもとにして電極、励起回路を一部改良した後、レーザ発振実験を行って、その動作を調べた。またそのデータをもとにさらに改良した小型のレーザ装置を設計した。以下現在までに得られた研究成果について述べる。

2. レーザ装置の設計、製作(56年度)

最初にコンデンサを含んだ横方向励起型レーザ管、励起回路、ガス供給システムを設計製作した。

製作した装置全体のブロックダイアグラムを図1に示す。ガス供

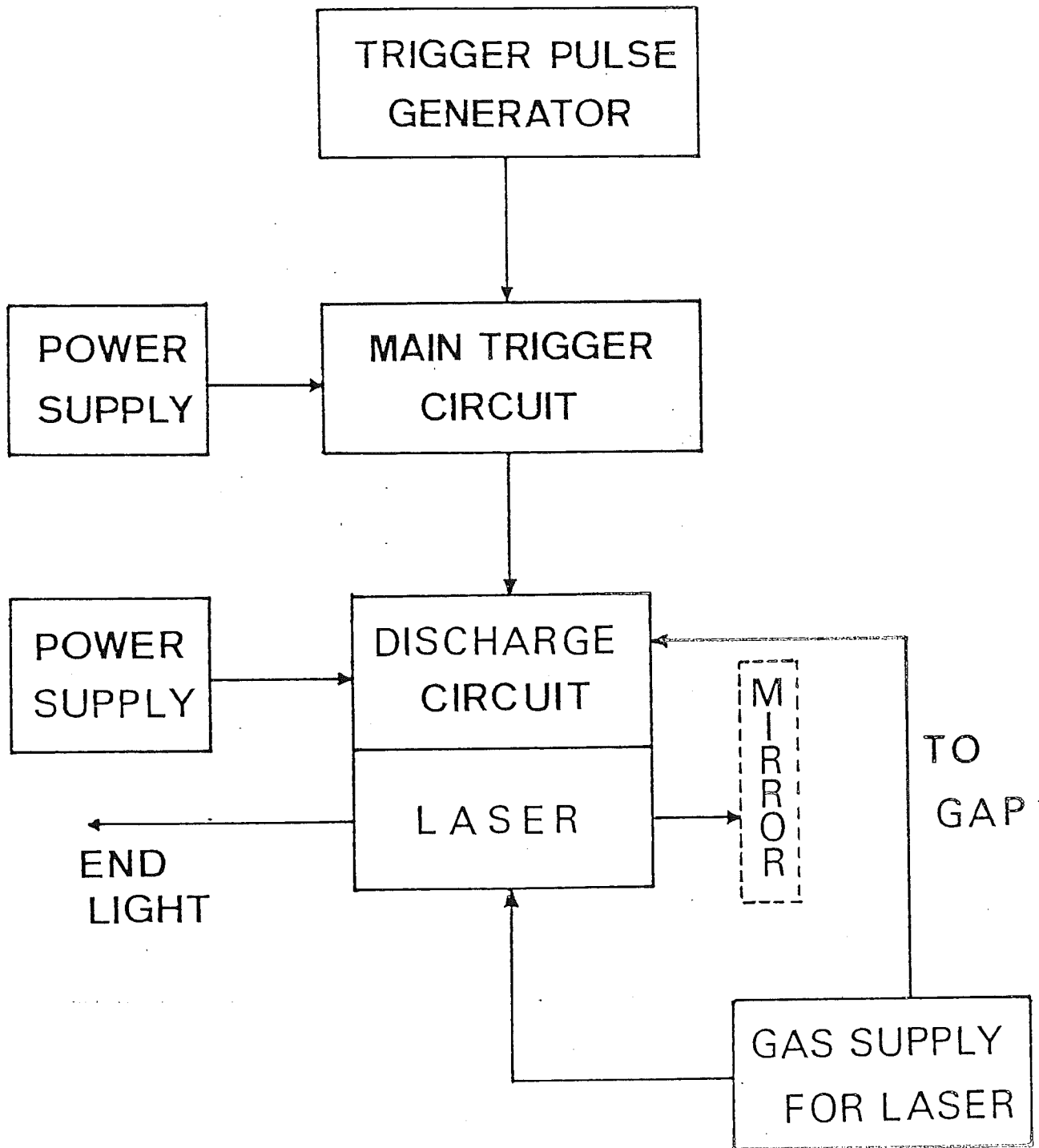


図1 装置全体のブロックダイアグラム。

給装置を使ってレーザー管中にHe(又はNe), Xe, HClを適当な圧力で封入し、励起回路を用いてパルス放電を得る。

このなかで放電回路、トリガ回路を含む励起回路の実際の配線図を図2に示す。回路の動作を簡単に説明する。まず高圧電源から R_1, R_2 を通して C_1 に充電した後、スパークギャップにトリガを加えて導通状態にすると、 C_1 の電荷は C_2 の上側のヒコン状電極間ギャップを通して C_2 に移動する。このときヒコン状電極間に生ずるコロナから放射される紫外光によって、封入されている気体が予備電離される。従って C_2 の充電電圧が一定値を越すと、主電極間に大電流パルス放電が生じ、レーザー準位が励起される。この方式はKearsley等によって考案されたもので、予備電離と C_2 への充電が同時に行われるようになっていたため、装置が簡便になる。ここで用いたコンデンサ及び抵抗の値は $C_1 = 100 \text{ nF}$, $C_2 = 27.2 \text{ nF}$, $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ である。この C_1 は1個 10 nF のコンデンサを10本並列に接続してあり、 C_2 は1個 1.7 nF のセラミックコンデンサを16個並列に接続してある。下半分の回路はスパークギャップのトリガパルス発生用の回路で、ここでは C_3 の充電電圧をサイクロトロンを通してくり返し周波数1 PPSでトリガに加えるようになっていた。トリガパルスのピーク値は $10 \sim 13 \text{ kV}$ であったが、この程度のピーク電圧でスパークギャップは比較的よく動作した。

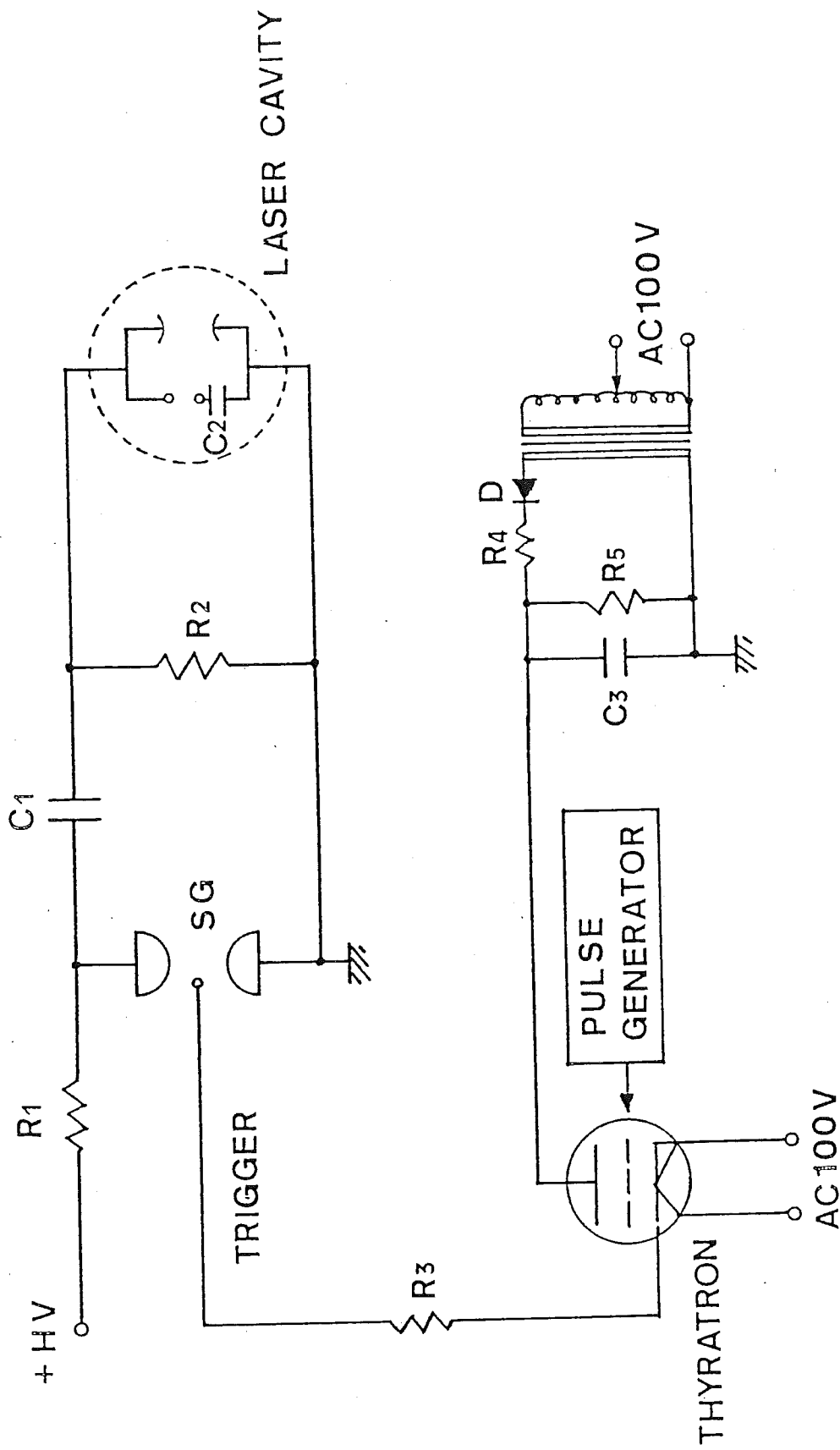
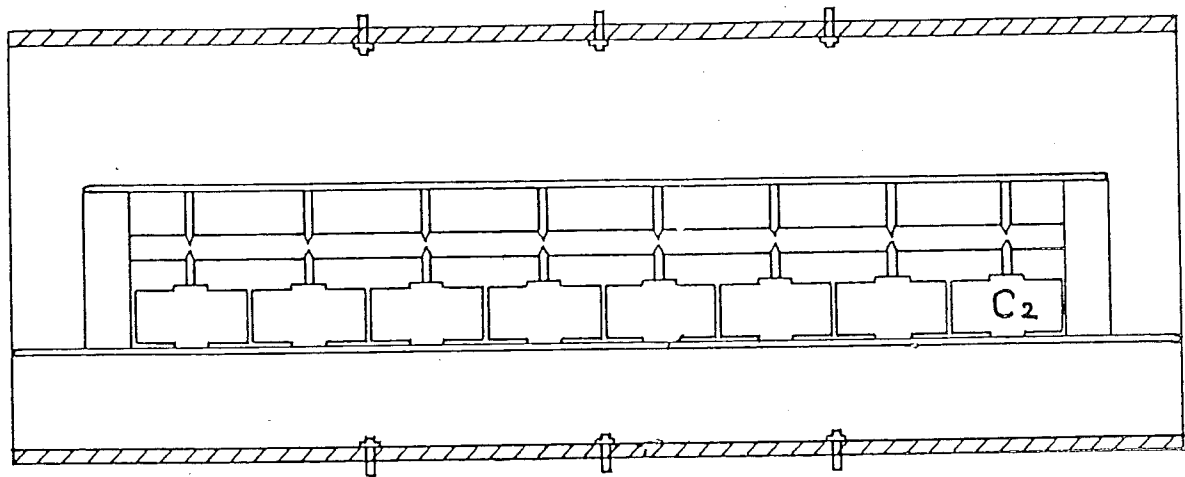


図2 励起回路の実際の配線図。

製作したレーザ管の構造及びレーザ管、コンデンサC₁、スパークギャップ間の実際の接続方法を図3に示す。上図はレーザ管の軸方向の概観図で、コンデンサC₂は軸に沿って8個並べられている。コンデンサの直径は48mmなので、円状電極間の間隔は48mmである。下図の右側はレーザ管の断面図で、C₂は真中の凸状の主電極をはさんで両側に8個ずつ2列平行に置かれている。電極はアルミ製で、主電極間の距離は9mm、中は6mm、放電長は約40cmである。陽極と陰極の板はアクリルの棒で支えられている。これらの電極及びコンデンサはガラス製の円筒管の外側に封入されている。今回ガラス管を用いたのは、横方向から放電の様性を目または写真で直接見るためである。管内は油回転ポンプで 10^{-3} Torrまで排気した後、He, Xe, HClを封入する。

放電管、コンデンサC₁、スパークギャップの間は、回路のインダクタンスをできるだけ減らし、C₁からC₂への電荷移動を速かに行って高速パルスを作るために、銅板を用い、できるだけ平行になるように接続してある。2枚の銅板の間はアクリルで絶縁してある。電極と放電管の外の回路もインダクタンスを減らすために、やはり銅板が平行になるように接続されている。



TRIGGER

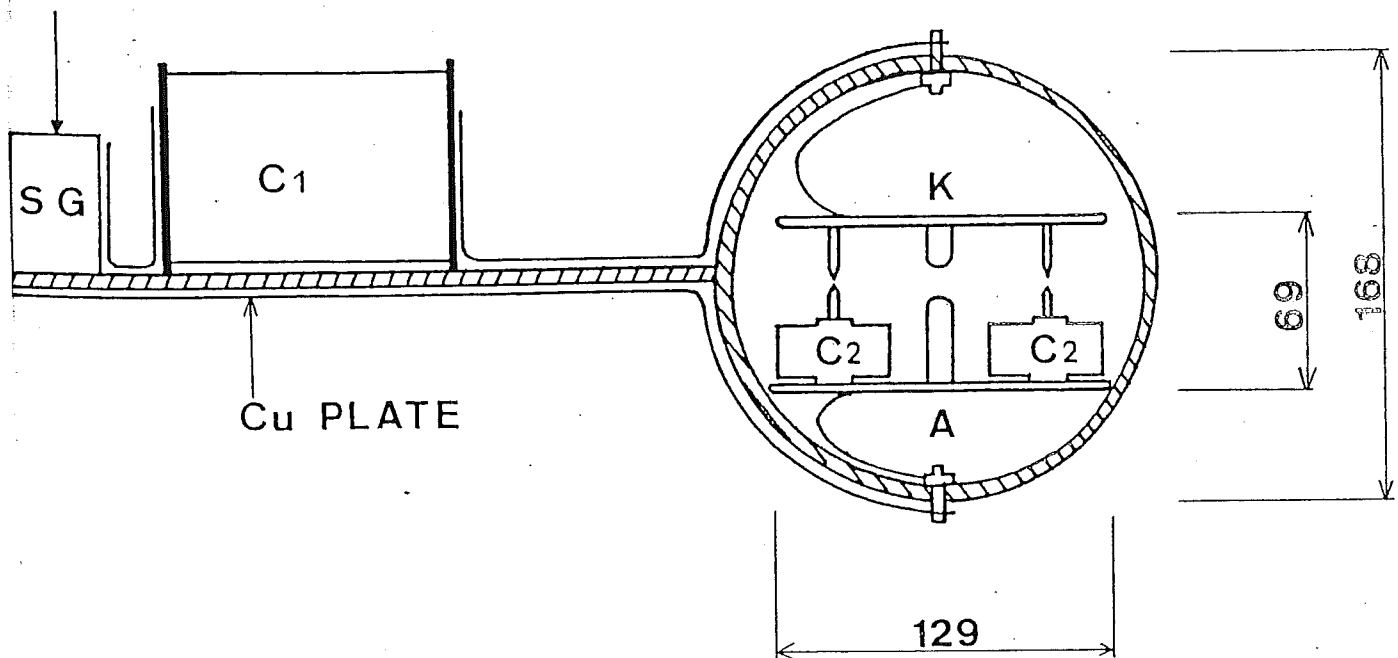


図3 レーザ管の構造及びレーザー管、コンデンサC₁、スパーク
ギャップ間の接続方法。単位：mm。

3. 放電実験とその結果 (56年度)

2で述べたレーザ装置を製作した後、He 760 Torr, Xe 10 Torr, HCl 数 Torr, C₁の充電電圧 15 kV (レーザ発振が得られると予想される放電条件)において放電をつけ、発光スペクトル、放電の一樣性を観測した。

放電管の横方向から目及び写真によって観測した結果によれば、ピン状電極の付近から放射される光の強度はピンとピンの中間付近からのそれより大きく、完全に一樣ではない。これは用いたセラミックコンデンサ C₂の直径が 48 mm と大きいことによると考えられる。しかし一箇所には電流が集中するいわゆるアーク状の放電は生じていない。

放射された end light の分光写真を図4に示す。放電条件は He 760 Torr, Xe 10 Torr, HCl 0.5 ~ 4 Torr, C₁の充電電圧 15 kV である。これは分散 0.8 nm/mm の分光器を用いて撮ったスペクトル写真である。写真のように XeCl の 308 nm 線 (実際は 307.6, 307.9, 308.2, 308.4 nm の4本の線から成る) は他の線に較べて非常に強く現われ、多くの XeCl エキシマが作られていることが分かる。図4から 308 nm 線の HCl 依存性を知ることは難しいが、後で述べられるように 1 ~ 1.5 Torr が最適圧力範囲である。

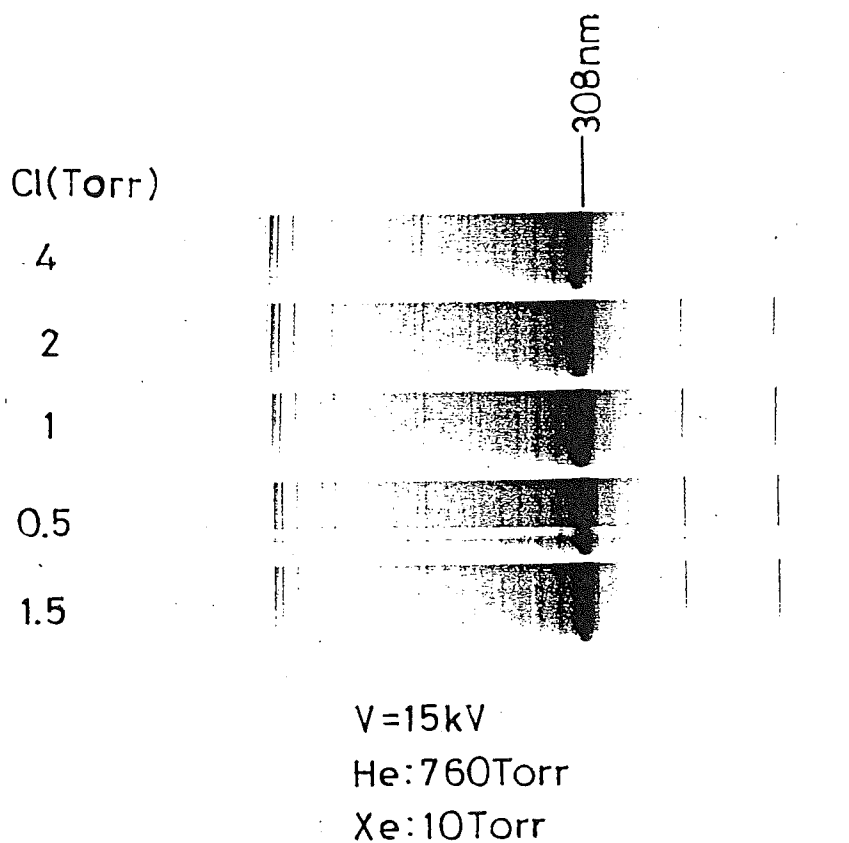


図4 end lightの分光写真。 分散0.8 nm/mm。

写真に現われている他のスペクトルはほとんど電極のアルミニウム、不純物の酸素や窒素のスペクトル線である。この写真は気体を封入し、放電をつけて数時間程度経過した頃に撮られたものであるが、放電によって生ずる反応生成物(主にNO、ハロゲン化合物等の分子)のスペクトルはあまり現われていないようである。このようにXeClは不純物の除去を行わずとも比較的長時間きれいな放電を得ることが出来る。

4. レーザ発振実験とその結果(57年度)

前年度の結果をもとにして、予備電離用のピン状電極の軸方向間隔が24 mmになるように工夫し、さらに配線用銅板の接続法を一部改良して回路インダクタンスを減らした。これによって放電の軸方向一様性を改善し、パルス放電の立ち上りをより速くして、レーザ発振実験を行った。

レーザ管から放射された308 nm endlightをモノクロメータ、光電素子、オシロスコープで観測すると、図5のようなパルス波形が得られる。ただし放電条件はHe 760 Torr, Xe 10 Torr, HCl 1.5 Torr, C₁の充電電圧15 kVで、図の写真は300個の光パルスを重ねたものである。

写真から光パルスの中は約50 nsecで、これはほけい光のパルス中よりかなり狭くなっている。この結果は308 nm光が増幅され、レーザ発振が得られていることを示している。また300個の

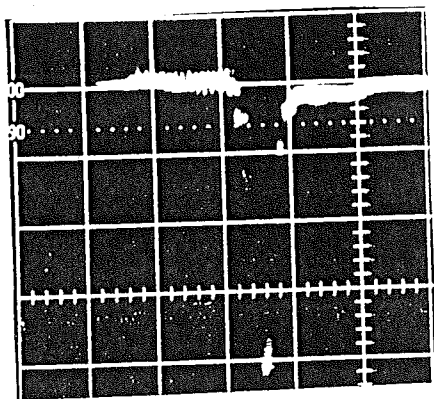


図5 光パルスのオシロスコープ写真。ただし横軸は100 nsec/div.

光パルスが写真のようにほぼ完全に重なっていることは、光パルスの再現性が非常によいことを示している。光出力はまだ正確に分かっていないが、1 mJ 程度と思われる。

光パルスと同時に、コンデンサ C_1 から C_2 への充電電流の波形も回路中に低抵抗をそう入して測定した。それによると電流は周期数百 nsec の減衰振動をしている。図5のような狭い光パルスが得られるのは第1の電流パルスの期間内だけであるから、2番目以降の電流パルスのエネルギーは光に変換されずに捨てられていることになる。これは全体の効率を悪くすることになるので、今後回路をさらに改良する必要がある。

図6は He 760 Torr, Xe 10 Torr, C_1 の充電電圧 15 kV において求めた 308 nm 光ビーム出力の HCl 圧力依存性を示している。図から光ビーム出力は HCl 圧力とともに急激に変化し、最適圧力は 1 ~ 1.5 Torr であることがわかる。He 圧力、Xe 圧力を増すと最適 HCl 圧力もいくらか増加するが、混合気体の最適分圧比は約 He 760 : Xe 10 : HCl 1.5 で、ほぼ一定であった。この最適分圧比は他の人々の報告とほぼ一致している。なお本実験ではガラス製のレーザー管を用いているため、2 気圧以下の全圧力領域で実験を行った。しかし、光ビーム出力の全圧力依存性はゆるやかなので、⁴⁾ここで得られた出力は最適全圧力での出力に比較的近いと思われる。

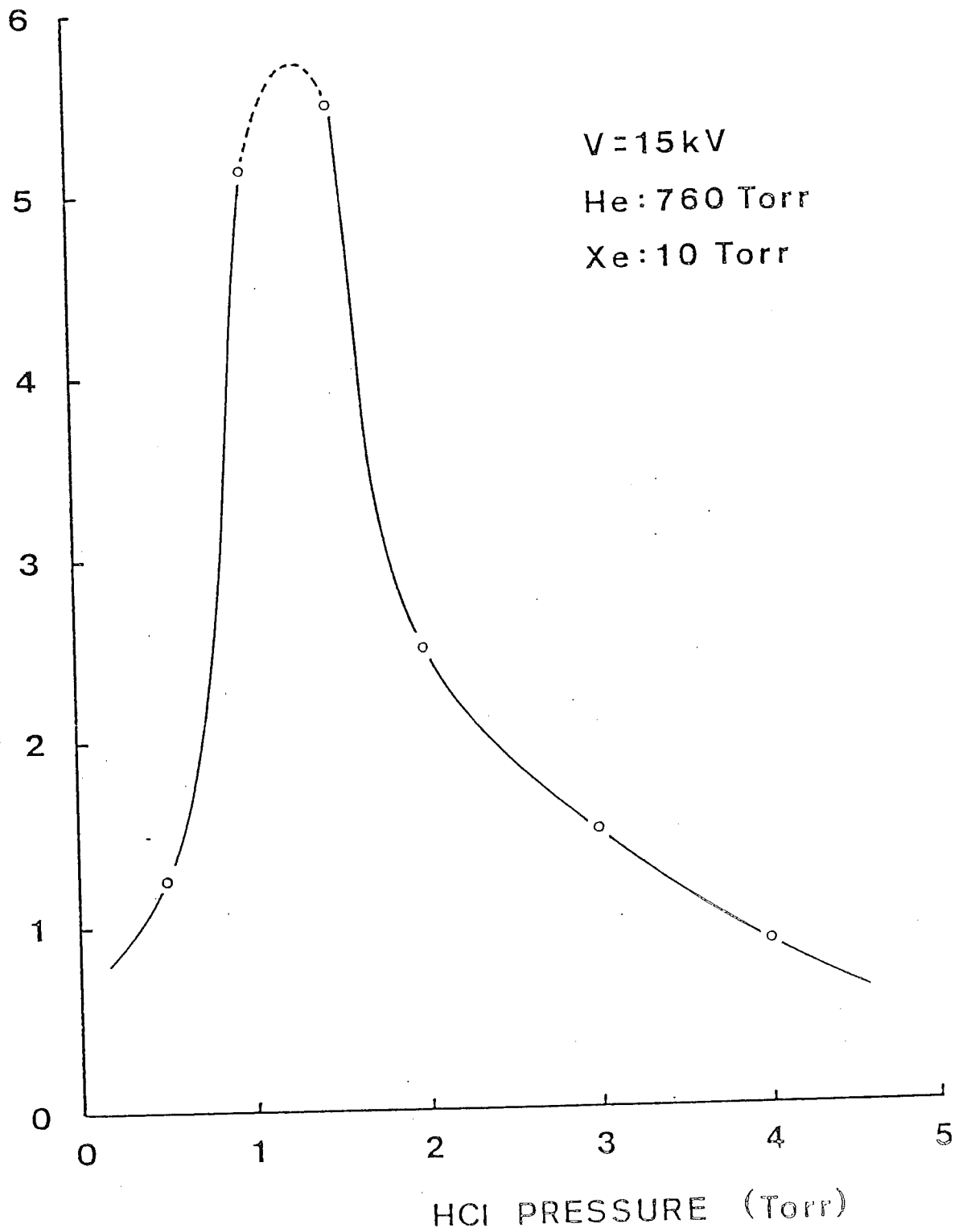


図6 308nm光ビ-7出力のHCl圧力依存性。

図7はHe 760 Torr, Xe 10 Torr, HCl 1~4 Torr において得られた308nm光パルス出力のC₁充電電圧依存性を示している。図からパルス出力は電圧とともにゆるやかに増加していることが分かる。

一方光パルスの全エネルギーはコンデンサC₁の充電電圧とともにもつと急激に増加する。これは光パルスのパルス値とともにゆるやかに増加するためである。また誤差も大きく、不完全なデータであるが、図8に308nm光パルスエネルギーの充電電圧依存性を示しておく。現在はまた20kV以下の比較的低い電圧で実験を行っているが、大きな光出力を得る場合には、さらに充電電圧を上げる必要がある。

反流生成物が光パルス出力に与える影響についても調べたが、現在はくり返し周波数が1ppsと低いこと、入力もそれほど高くはないこともあって、数時間(約10⁴ショット)程度の運転では光パルス出力の時間変化はそれほど顕著でなかった。しかしくり返し周波数および入力をさらに上げた場合は反流生成物の影響は大きくなるものと思われるので、この問題については、分光写真によるデータも組み合わせて、今後さらに詳しく調べる予定である。

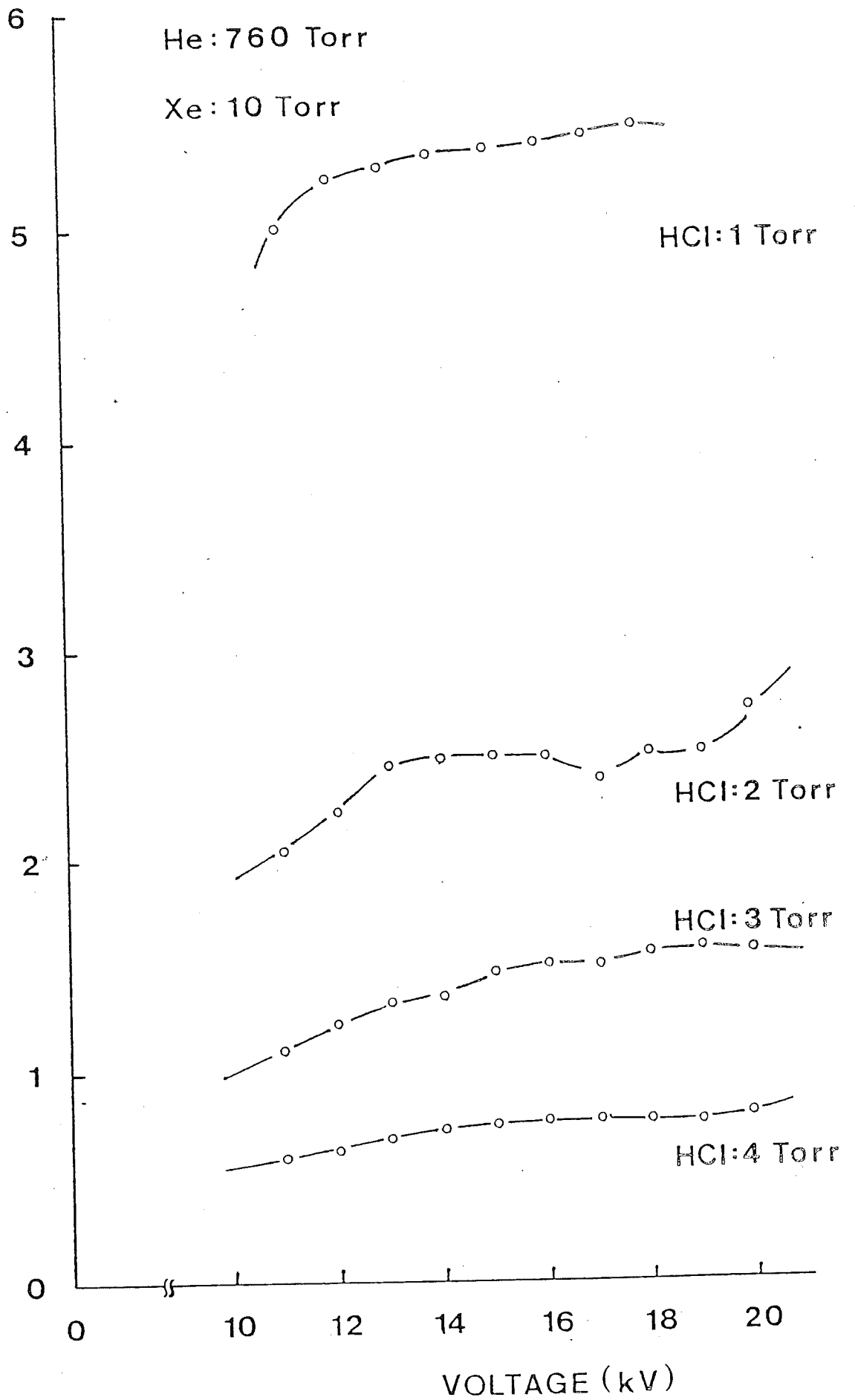


図7. 308 nm光ビーム出力の電圧依存性

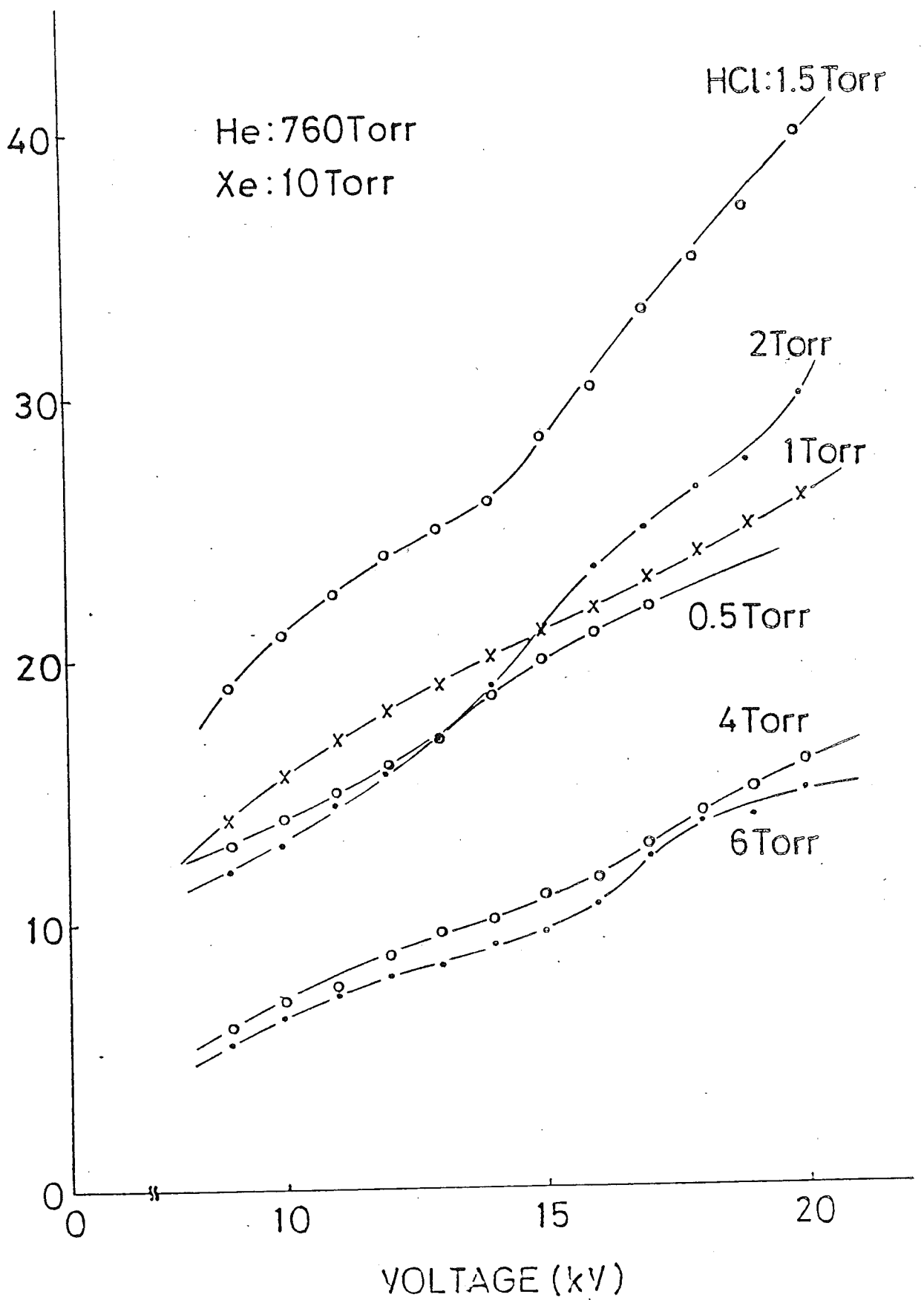


図8 308nm光ハルスイネレギーの充電電圧依存性

5. 改良型レーザ装置の設計(57年度)

2, 3, 4の研究によって、かなり安定な再現性のよい光パルス出力を発生するXeClエキシマレーザ装置を作ることができた。しかしこのレーザ装置はレーザ管、コンデンサC₁、スパークギャップが分離して、銅板で接続されているため、また簡便な装置とはいえない。

そこで2~4の結果をもとにして図9に示すようなコンパクトな装置を設計した。放電管はガラスを用いず、アルミでできた陽極と陰極、放電管の側壁を構成する絶縁物から成っている。この放電管の上にコンデンサC₁をのせ、さらにその上にスパークギャップをのせて、スパークギャップの上端と陽極を銅板で接続してある。このような構造を用いることにより、装置が小型化できるだけでなく、回路のインダクタンスも減少させることができると思われる。C₁は1個1.7nFの容量のコンデンサを25個並列に接続し、C₂は1個0.9nFの容量のコンデンサを20個並列に接続してある。またピン状電極の間隔は20mmで、放電の軸方向一様性がさらによくなるようにしてある。凸状の主電極の間隔は9mm、中は6mm、放電長は約40cmで、この大きさは図3のレーザ装置と同じである。またピン状電極と凸状の主電極の間の距離も図3のそれと同じである。図9のような一体化によってレーザ装置の本体はかなり小型化できる。封入気体としてHeの代わりにNeも用いる予定である。

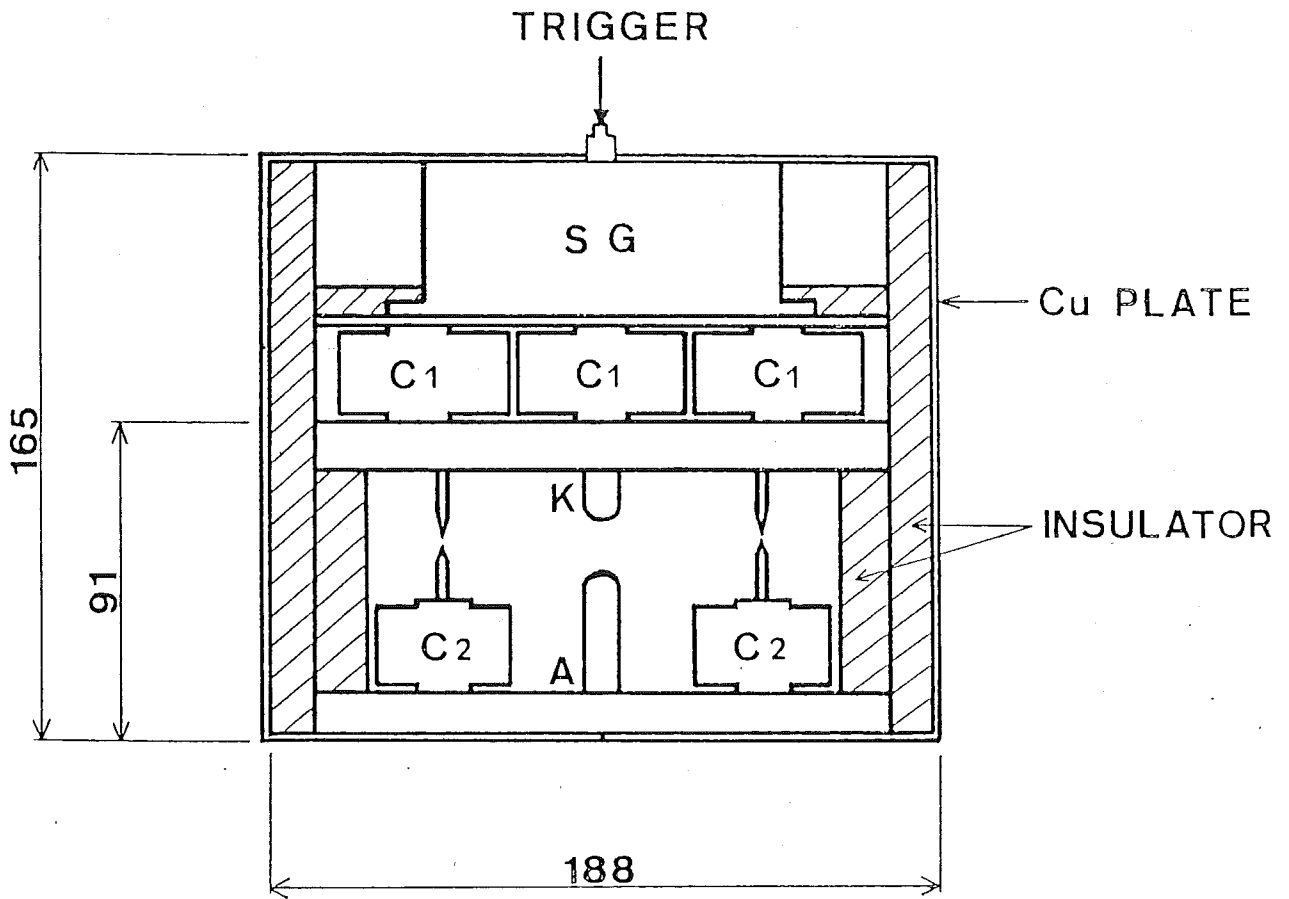


図9 改良型XeClエキシマレーザー装置の構造。単位：mm。

6. まとめ

現在までに得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 自動予備電離方式の比較的小型のレーザ管及び励起回路を設計製作した。
- (2) 製作したレーザ管に He 760 Torr, Xe 10 Torr, HCl 数 Torr を封入して、コンデンサ充電電圧 15 kV で放電実験を行った。この条件下で得た分光スペクトルの写真から、308 nm 光を放射する XeCl エキシマが多く作られていることが分かった。
- (3) レーザ発振実験を行い、(2)で述べた条件下で、 50 nsec の安定で再現性のよいレーザパルスを得た。またこのピーク出力の圧力依存性の測定から、混合気体の最適分圧比 (He 760 : Xe 10 : HCl 1.5) を求めた。光パルス出力は 20 kV 以下の領域では充電電圧とともに増加すること、反応生成物の光パルス出力への影響は 10^4 ショット以内では比較的小さいことも確かめた。
- (4) 以上の結果をもとにして、レーザ管、コンデンサ、スパークギャップを一体化したより簡便なレーザ装置を設計した。

今後の研究計画

現在図9に示したレーザー装置を製作中で、今後その出力特性、光パルスの再現性、反応生成物のレーザー出力への影響、寿命を調べて、さらに装置の改良を計る予定である。論文としてまとめるのはこの時点で行うつもりである。

その後励起パルスのくり返し周波数を10 PPS以上(現在は1 PPS)に上げ、中程度のレーザー出力及びくり返し周波数におけるレーザー装置の安定性、寿命等も調べる予定である。そして最終的には実験室段階で励起用光源として使用可能な比較的小型で中出力のくり返しXeClエキシマレーザー装置を製作する。

上記の研究と並行して、現在までに金属イオンレーザーの励起機構研究に関して蓄積した経験と実験装置を生かして、反転分布形成に参与していると考えられる電子衝突励起断面積の測定を行い、XeClエキシマレーザーの励起機構も研究したいと考えている。

参考文献

1. C. K. Rhodes: Topics in Applied Physics, Vol.30, Excimer Lasers (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg and New York 1979)
2. J. J. Eving and C. A. Brau: Appl. Phys. Lett. 27 (1975) 350
3. J. Tellinghuisen et al : J. Chem. Phys. 64 (1976) 2484
4. V. N. Ishchenko, V. N. Lisityn and A. M. Razhev: Opt. Commun. 21 (1977) 30
5. A. J. Kearsley, A. J. Andrews and C. E. Webb: Opt. Commun. 31 (1979) 181