

横放電型 N₂ ガスレーザーの試作

巴 根*, 大森健三, 大石正和, 齊藤 博

岡山理科大学応用物理学科

(昭和58年9月20日 受理)

1. まえがき

紫外域窒素レーザーは, Heard¹⁾によって, 最初に発振が実現されて以来, 紫外域波長で, ナノ秒パルスの発振が得られ, しかも, 高速繰返し発振が得られることから, いろいろな改良や研究がなされて来た. 特に, 色素レーザーの励起光源として, また, 半導体の高密度励起や有機化合物の電子状態の研究に, 幅広く利用されている. 紫外域窒素レーザー装置の製作については, いくつかの報告が, 既になされている.²⁾ 構造上の特徴から大別すると, 放電励起の場合, レーザー管, スパークギャップ, コンデンサーを, 同軸構造にした同軸型,³⁾ LC 反転回路を用いた横放電型⁴⁾ (TE 型: Transverse Excitation). Blumlein 型⁵⁾ がある. 同軸型は, 比較的小型で低出力であっても, 高速繰返しを要する場合に用いられ, 横放電型は主として, 大型で高出力を必要とする場合に用いられている.

放電励起以外の励起方法で, 高効率のものが開発されており, 最近注目されているものもある.

我々は, 製作が, 容易な上に, 高出力が得られ, 繰返し発振が可能で, 実験に充分使用できる装置として, 横放電型窒素レーザーを選び, 試作したので, ここに, その製作過程を中心に報告し, 窒素ガスレーザーの動作並びに, その特性についても言及する.

2. 横放電型窒素ガスレーザーの構造

2-1 レーザー管

製作したレーザー管の構造を図1に示す. レーザー管本体と放電電極には, 種々の材質の検討と工夫がなされているが, 今回, 試作したレーザー管は, 図1に示すように, 電極をはさんだ箱型管で, 上下板は, 厚さ10mmのポリカーボネート板で, 電極の座になる側板は, 厚さ25mmのアルミニウム板である. そして電極は L 型アルミニウムアングルを加工して作った. 電極の取替えや, 保守の便宜を考えて, 全部ネジ止め構造にしている. レーザー管の真空漏れを, 防止するため, 側板と上下板の接合部に, 半径 3.5 mm の真空用 O リングを利用した. レーザー管の両端に, アクリル製フランジをシリコン系ゴム糊

*現住所: 中国内蒙古自治区通遼市内蒙古民族師範学院

(信越シリコン, KE 45) で, パッキングして (アクリルフランジの接合面上に, 幅 3 mm, 深さ 2 mm 程度の溝を掘り, シリコンゴム糊を均等に溢れる程度まで注入した。) ネジ止めした. またフランジと石英窓ガラス枠との間の接合には, 真空用 O リングを使用した. これは, 窓ガラスの調整が可能となるように工夫した. レーザー出力光の窓には, 厚さ 2 mm の透明石英ガラス板を用い, シリコン系ゴム糊で, 枠に張り付けた.

放電管の電極の長さは, 使うコンデンサーの形状, 容量の関係で, 50 cm にし, 先端を直径 5 mm の半円形にした. アーク放電防止のため, 電極の両端は勿論, ネジ止めの穴の部分等に, 尖った個所のないように配慮して, 加工した.

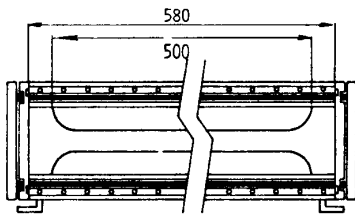


図1 N₂ ガス放電管の構造 (単位 mm)

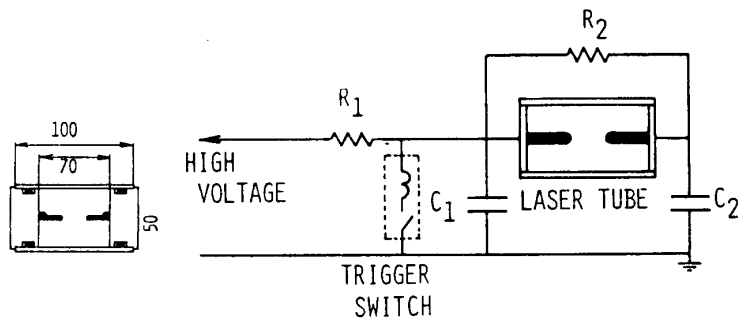


図2 Blumlein 回路

2-2 高圧放電用コンデンサー

紫外域窒素レーザーの上準位の寿命は, 下準位より約 2 桁短く, 40ns である. そこで, 立上り時間が短く損失の小さい起動スイッチと, 伝送路を用いて, この寿命より短いナノ秒電流パルスを使って, 励起を有効に行う必要がある. また, このようにして, 大電流の放電を行わせることは, 電子密度を高めて, 励起効率を上げるのにも有効である.²⁾ 以上の事柄を考慮し, 窒素ガス分子の励起に用いる高電圧パルスは, 高圧放電用のコンデンサーに充電した高電圧を, トリガースイッチによって素早くスイッチングする方法で得ることにした. 図 2 に, 高圧放電用コンデンサー, トリガースイッチ, 放電管等からなる Blumlein 回路を示す. このような回路は, 次のような特性が要求される.

- ① 放電管にかかる電圧は, 短時間 (<40ns) で立上ること. 即ち, 回路のインダクタンスが十分小さいこと.
- ② コンデンサーには, 高い充電電圧が, 加わるため十分な絶縁耐圧があること. また, 大きなエネルギーを蓄えるため, 容量が十分大きいこと.

以上の条件を考慮し, コンデンサーを次のようにして作った. コンデンサーの誘電体材料として, マイラー(テイジンテトロンフィルム, 厚さ 100 μm , 誘電率 3.1) を用い, これを, 厚さ 75 μm の電解銅フォイル一枚と片面プリント基板とで, はさんで形成した.

コンデンサーの一方の極板をプリント基板にしたのは, コンデンサーの形状を, しっかりさせると共に, 取扱い易さという利点があるからである. また, 誘電体薄板中のボイド(void) による絶縁破壊防止のため, 厚さ 100 μm のマイラーを三枚用いて貼り付けた. マ

イラーと電極板とを、貼り付ける際には、スプレー接着剤(住友スリーエムスプレー糊55)を用い、むら無く吹き付け、気泡が極力入らないように注意する必要がある。コンデンサーの極板の端で、電界の集中による絶縁破壊を防ぐため、図3に示すように、銅フォイルの端を丸めて、シリコンゴム糊で埋込み、プリント基板の端も、シリコンゴム糊で覆った。

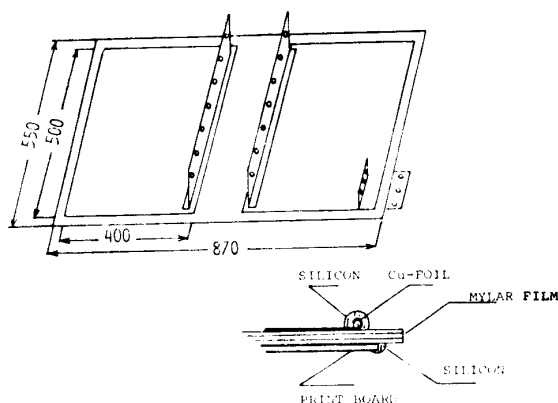


図3 下部極板構造とコンデンサー端面の処理 (単位 mm)

本装置では、レーザー管の側板が直に、放電管の電極の一部になっている。これは、特性インピーダンスを、小さくするためと、組立てや取外し修理の便宜を計ったためである。そこで、コンデンサーと放電管側板の連結に厚さ1mmの真鍮を用いた。この真鍮板とコンデンサーの極板とは、低温ハンダで、一方、放電管の側板とは、ネジ止めで、接続した。

トリガースイッチの高圧側とコンデンサーとの連結にも同様の工夫をした。

コンデンサーの誘電体として用いたマイラーの絶縁破壊電圧は、6.2 kV/25 μ m である。従って、今回製作したコンデンサーは、厚さ100 μ mのマイラーを三枚重ねて作っているのので、計算上は、74.4kVとなる。絶縁破壊電圧のテストは、行っていないが、20kV程度までは、十分に使用可能であった。また、マイラーの誘電率は3.1、極板の面積は2000 cm²であるから、コンデンサーの容量は $C_1=C_2=35.4$ nF となる。

2-3 トリガースイッチ

トリガースイッチとしては、繰返し速度の調整が可能であること、大電流のスイッチングによる耐久性とが、必要である。そこで、我々は、摩耗の激しい、スパークギャップ電極を、ステンレスで製作し、交換が容易に出来るようにネジ止めにした。また、スパークギャップの高圧側電極には、電極の中央に窒素ガス導入口を設け、窒素ガスを常に0.5~2気圧に保ち、安定したスイッチングを行わせるとともに、トリガー電極の酸化防止を計った。図4に示すように、トリガーには、スパーク・プラグを用い、絶縁体兼フードとして、内径47mm ϕ の亚克力管を用いた。

トリガーパルス発生回路を、図5に示す。トリガーパルスの繰返しの調整は、トリガーパルス回路にある時定数を決定する。可変抵抗の調整によって行った。

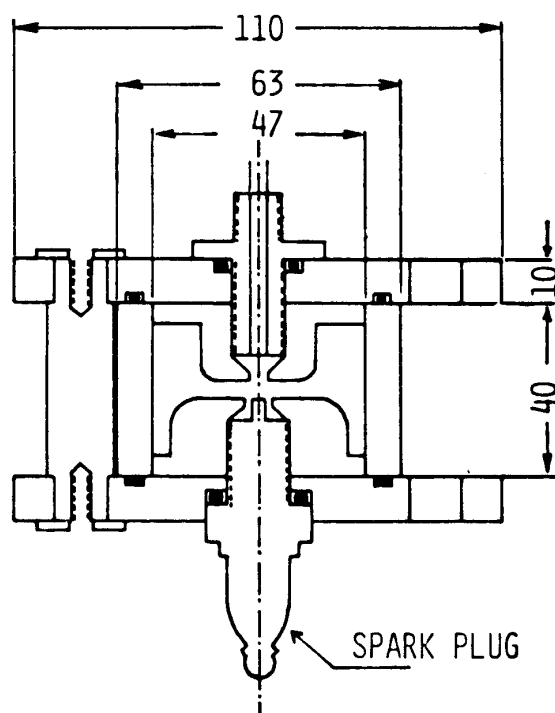


図4 トリガースパークギャップの構造 (単位mm)

2-4 窒素ガス給排系

窒素ガスは、窒素ガスボンベから、減圧弁（ニードルバルブ付のもの）を通してレーザー管に導入し、レーザー発振に適したガス圧になるように、レーザー管内の窒素ガスを油回転ポンプ（排気速度が330 l/min）で排気した。レーザー管中のガス圧測定は、ガス導入口と、出口での圧力を測定し、その平均圧力を放電管中の圧力とした。圧力の測定には、水銀マンノメーターを用いた。また、トリガスイッチ内への窒素ガス導入は、レーザー管への導入と違った系で行った。トリガスイッチ内の窒素ガスは、実験前に、一度ガス導入しておけば、余程のガス漏れが無い限り、十分に使用に供せた。

3. 試作窒素レーザーの特性

レーザー出力とパルス繰返し測定の測定は、サーモパイルパワーメーター（Sciencetech, inc. Model 360001）及び、PIN ホトダイオード（YHP 4220）とオシロスコープ（YHP 1740 A 100 MHz）とを使って行った。

3-1 レーザー出力の放電管中窒素ガス圧、印加電圧依存性

図6に繰返しパルス一定で、放電用コンデンサーに印加した高電圧をパラメーターとした、出力強度とレーザー管内窒素ガス圧との依存性を示す。図6より、窒素レーザーでは、同じ電圧で発振できるレーザー管中の窒素ガス圧に、上限と下限とがあることが、見出される。

これは、Cartwright²⁾による窒素分子のエネルギー準位と基底状態からの励起断面積との関係（図7）より定性的に解釈することができる。つまり、窒素ガス圧が低ければ、励

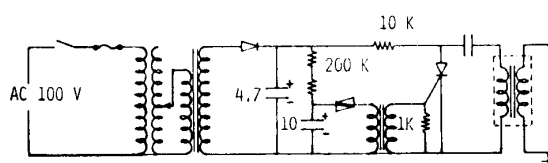


図5 トリガーパルス発生回路

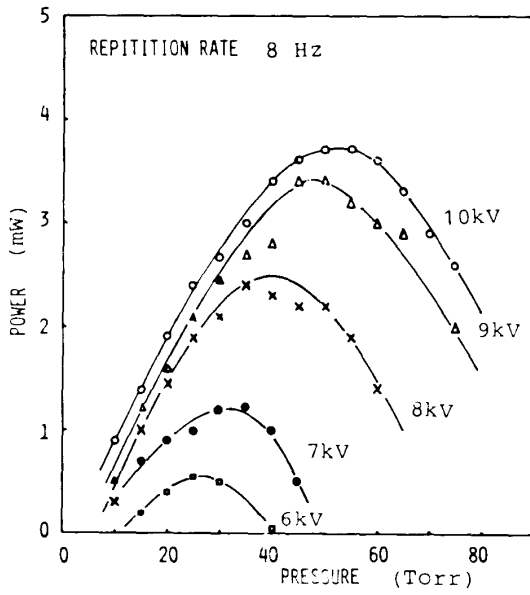


図6 レーザー出力と N₂ ガス圧力

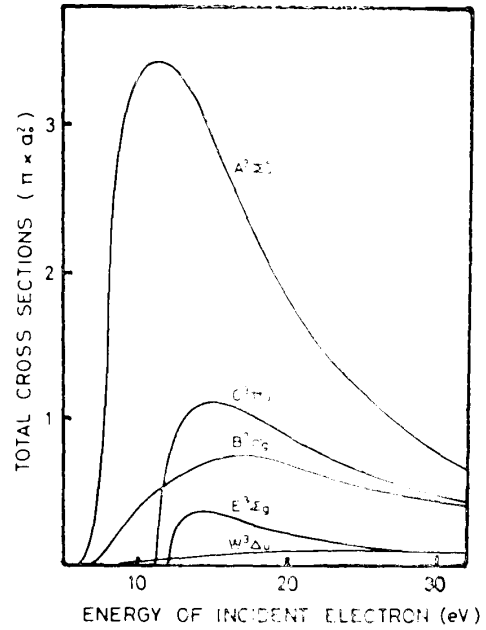


図7 入射電子エネルギーと全断面積

起電子の平均自由行程が長くなり励起電子のエネルギーが大きくなるので C³Π_u 準位の励起断面積が減少し、B³Π_g 準位との間の反転分布も減少するので、レーザー出力が低下する。一方、窒素ガス圧を高くすれば、平均自由行程が短くなり、励起電子のエネルギーは減少する。この時、窒素分子の C³Π_u 準位の励起断面積が減少するので、レーザー出力が低下する。また、図6より最適プラズマ・パラメーター E/P を計算した結果は、204V/cm・Torr で、理論値⁹⁾の 250V/cm・Torr にかかなり近い値が得られた。

3-2 レーザー出力強度のパルス反復率依存性

電源電圧を一定にし、放電管内窒素ガス圧をパラメーターとして、one pulse 当りの出力強度のパルス反復率依存性を測定した。図8にその結果を示す。出力強度は、パルス反

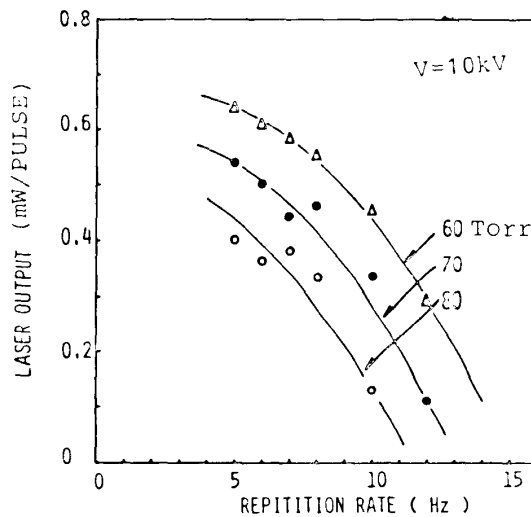


図8 レーザー出力と反復率

復率の増加に伴い, 低下する傾向が見られる. この原因としては, 高圧電源の容量や, コンデンサーへの充電時定数による繰返し周波数の制限が考えられる. しかし, 発振が停止した周波数でも, グロー放電は存続していること, 及び, N_2 ガスの流量を増すと発振光が強くなるという事実から, 一度励起された N_2 ガスが, 次の励起が行われる前に完全に, 放電管から排出されていないことによる.

$B^2\Pi_g$ 状態から, 基底状態 $X'\Sigma g^+$ への緩和を促進し, 出力改善をはかるために, SF_6 を N_2 ガスに混合することも行われている.⁹⁾ 現段階で, 改善すべきことは, 放電管のコンダクタンスを大きくすること, 即ち, 放電管への N_2 ガスの給排系を, 検討し効率的にガスの置換が行えるようにすることが, 必要である. 我々の製作したレーザーでは, 充電用抵抗が, $100k\Omega$ で, 最大繰返し周波数 $16Hz$ で発振可能である.

3-3 窒素レーザーのパルス時間幅

我々は, 正常発振している窒素ガスレーザー光を, 光検出器 (YHP の PIN ホトダイオード) で検出し, オシロスコープ (SONY Tektronix 485 型 $350 MHz$) で, そのパルス波形を観測した.

図9に示す写真は, 約300パルスを, 露光したものである. これより, パルス時間幅は, 約 $6 ns$, time jitter は $1 ns$ 以下である. また, 強度の変動は, 約7%以下におさまっていて, 十分に光物性の実験に供せられる安定性を有している. さらに, 電氣的 noise も少なく, 他の測定器に及ぼす影響も少ない.

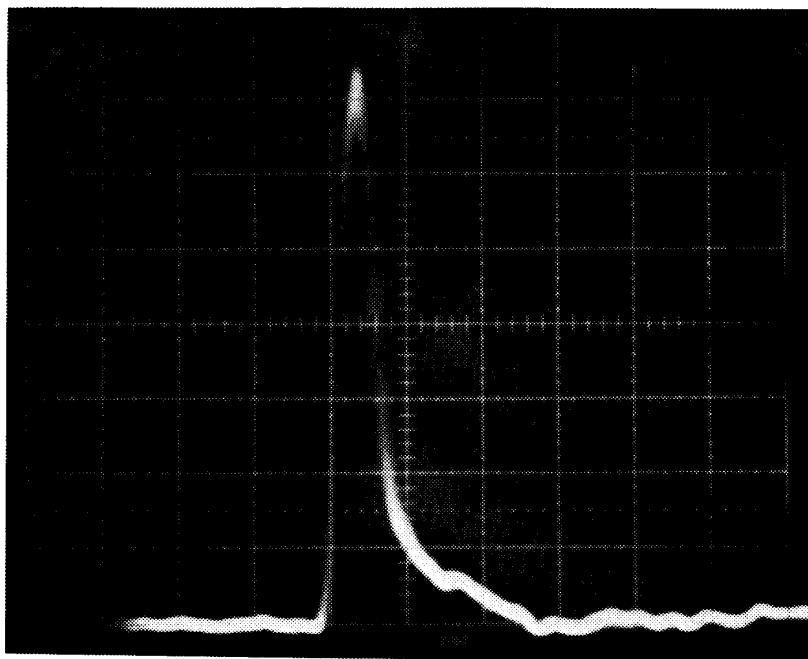


図9 レーザー発振光のパルス波形 (10 ns/DIV)

3-4 窒素ガスレーザー発振スペクトル

分光器 (JOBIN YVON HR-1000), フォトマルチプライヤー (浜松ホトニクス R-562), の組合せにより, 発振スペクトルを測定した. その結果を図10に示す. このスペクトルは,

3371 Å を中心とする何本かのスペクトル線からなっているが、顕著な三つのピーク波長は、それぞれ、3370.8 Å, 3371.1 Å, 3371.4 Å とであることがわかった。

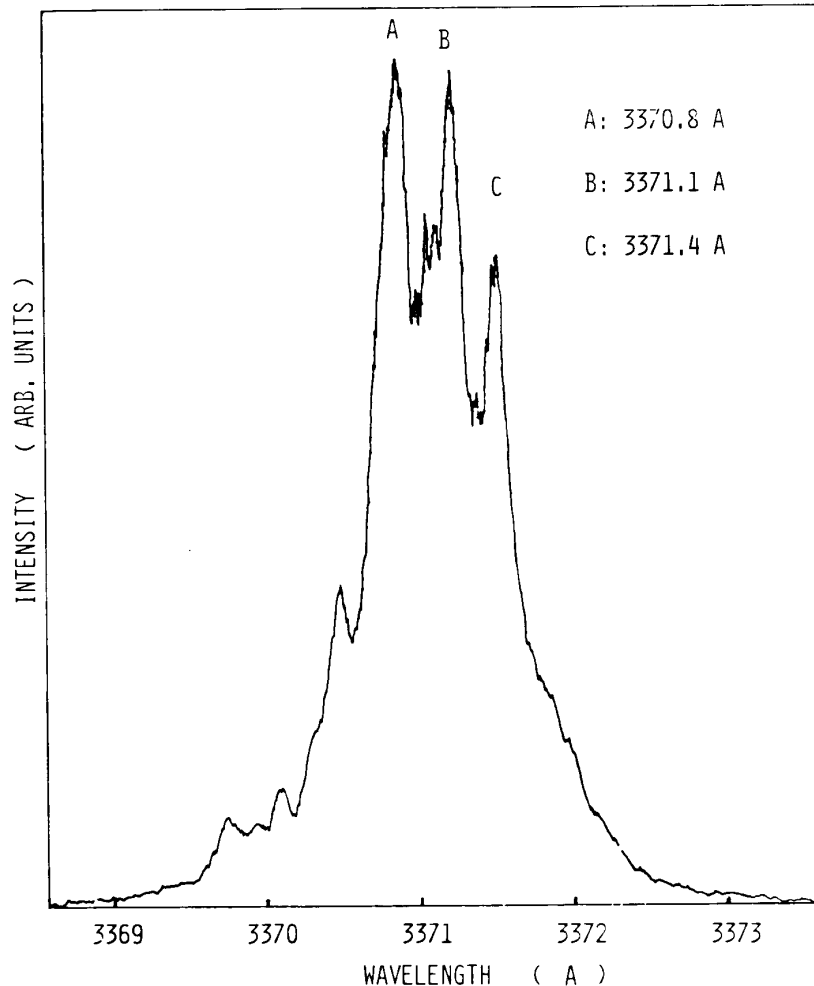


図10 3371Å 近傍のスペクトル

今回の実験で、電源電圧 10kV での最高出力は、放電管内窒素ガス圧 55 Torr, 繰返し 8 Hz で動作させた場合、パルス幅が 6 ns で、約 150 kW のピーク出力を得た。これらの特性は、色素レーザー励起光源及び、紫外光源として、光物性の測定に十分耐えうるものである。

以上の結果から、試作した横放電型窒素レーザー装置についての特徴は

- (1) 構造が比較的簡単で、取扱い並びに、保守が容易である。
- (2) レーザー発振は、比較的安定で、電氣的 noise が少ない。
- (3) 出力が比較的大きい。
- (4) 励起電圧が高いほど、また、繰返しパルスが、遅いほど、出力が大きいが、コンデンサーの絶縁性による限界がある。

などである。

レーザー発振の効率は、今回試作したものについては0.18%と見積られ、既発表の値⁵⁾と比べて、遜色ないが、今後、さらに高効率化を計ってゆく必要がある。最後に、今回作成したレーザーの外観（高圧電源を除く）の写真を図11に示す。

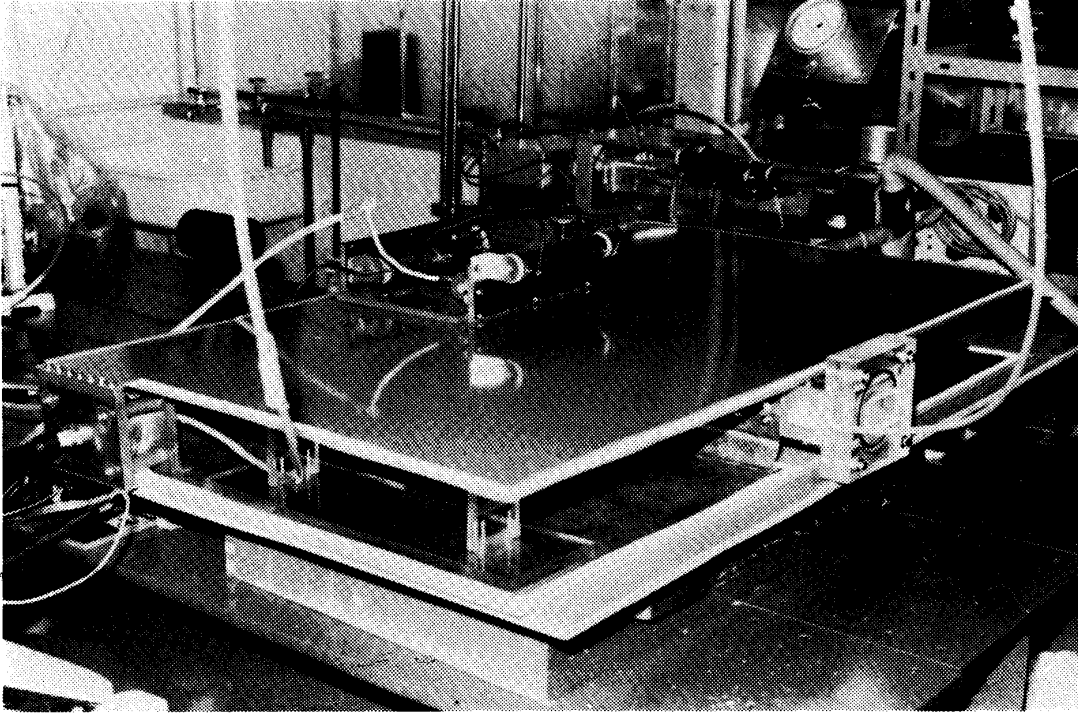


図11 試作レーザーの外観

References

- 1) H. G. Heard : Nature 200 (1963) 667
- 2) 例えば 石田祐三, 矢島達夫 : 応用物理 第46巻 第16号 (1977) 996
 小黒洋一 : 長岡技術科学大学修士論文 (1982)
 Y. Mizumoto and C. Yamanaka : Techno. Rep. Osaka Univ. 20 (1970) 131
- 3) M. Geller, D. E. Altman and T. A. Detemple : J. Appl. Phys. 37 (1966) 3639
- 4) D. A. Leonard : Appl. Phys. Letters 7 (1965) 4
- 5) J. D. Shipman Jr. : Appl. Phys. Letters 10 (1967) 3
 D. Basting, F. P. Schafer and B. Steyer : Optoelectronics 4 (1972) 43
 B. Godard : IEEE. J. Quant. Electron. QE-10 (1974) 147
- 6) E. L. Patterson, J. B. Gerardo and A. Wayne Johnson : Appl. Phys. Letters 26 (1975) 619
- 7) D. C. Cartwright : Phys. Rev. A 2 (1970) 1331
- 8) 田中省作, 川見繁, 小林洋志, 笹倉博 : 鳥取大学工学部研究報告 第6巻 第一号 (1976) 148
- 9) J. I. Levatter and S. C. Lin : Appl. Phys. Letters, 25 (1974) 174
 C. S. Willett and D. M. Litynski : Appl. Phys. Letters 26 (1975) 118
 S. H. Suchard, L. Galvan and D. G. Sutton : Appl. Phys. Letters 26 (1975) 521
- 10) J. H. Parks : Appl. Phys. Letters 13 (1968) 143

TE-TYPE UV N₂ GASS LASER

Bagan*, Kenzo OHMORI, Masakazu OHISHI and Hiroshi SAITO

*Departement of Applied Physics, Okayama University of Science,
Ridai-cho, Okayama 700, Japan*

(Received September 20, 1983)

The process of constructing the TE (Transverse Excitation)-type UV N₂ gas laser and some characteristics were reported. The laser pulse duration was about 6 ns and peak fluctuation was less than 7%. The maximum peak power was 150 kW at repetition rate 8 Hz, N₂ gas pressure 55 Torr and charging voltage 10kV. The optimum plasma parameter and the efficiency were estimated as 204 V/cm•Torr and 0.18%, which are comparable to previously reported. The spectrum around 3371 Å are composed of many lines, however the prominent lines were identified as 3370.8 Å, 3371.1 Å and 3371.4 Å, respectively.

*present address : Teachers' College of Inner Mongolians, Inner Mongolia Tong Lio City,
The People's Republic of China