レーザーノート 2

窒素レーザーの作り方

永田伍雄* 田中恒久* 木村吉武**

Let's make Nitrogen Laser

Itsuo NAGATA* Tsunehisa TANAKA* and Yoshitake KIMURA**

1. まえがき

Heard¹⁾がsecond-positive bandにおける窒素分子の電子遷移からのレーザー発振を発見して以来、その発振波長が3371 Åと短いのでN₂レーザーは色素レーザーの励起光源として又分光学、生物学等への応用研究に盛んに使われている。N₂レーザーにはいろいろな方式の発振装置が考えられたが、これらを大別すると放電管の軸方向に放電させるCoaxial Type²⁾と直角に放電させるCross-Field Type³⁾があるが、現在電子ビーム励起方式をのぞいて、高出力を得ているのは後者の放電方式のもので、その内でもBlumlein回路を用いた装置⁴⁾である。しかしBlumlein回路方式のN₂レーザー装置は低インピーダンス伝送線路にマイラーフィルムで作ったコンデンサーを使用しているために自作してもマイラーフィルムがよく絶縁破壊を起こす。又コンデンサーを形成する伝送線路の面積が大きく取扱いが不便である。そこでマイラーフィルムの代りに小型で高耐圧、高容量の市販のセラミックコンデンサーを使用すると、小型で高出力のN₂レーザー装置⁵⁾を作る事が出来る。ここでは大出力のN₂レーザー装置についても述べるが主に簡単に自作出来て、しかも色素レーザーを発振させるに十分な出力数100kWのN₂レ

ザー装置の作り方について筆者らの経験にもとずいて述べる。

2. コンデンサーおよび伝送線路

窒素ガスで波長3371 Åのレーザー発振を得るためには励起電流の立上がりがか上準位の自然放出の寿命40nsより短く数ns以下の急峻な大電流励起が必要となる。これを満足するにはBlumlein回路の伝送線路のインピーダンスを下げる必要があるため薄くても高耐圧の性質を持つマイラーフィルムが使われて来た。平行平板伝送線路の単位長さあたりの特性インピーダンスZは次式で与えられる。

$$Z = 377 \text{ S} / \epsilon^{1/2}$$

ここで ϵ : 誘電率 S : 誘電体の厚さ

もしマイラーフィルムの代わりにセラミックコンデンサーを使用するならば、その絶縁破壊電圧は相対的に低いのでマイラーフィルムの場合と同じ電圧を印加してレーザー発振させるためにはセラミックスの厚さを厚くして耐圧を上げなければならない。マイラーフィルムの誘電率は3.25である。ここで誘電体の厚さを0.3mmとすると伝送回路の特性インピーダンスは $0.063 \Omega \text{m}^{-1}$ となる。他方セラミックコンデンサーの誘電率は2500で誘電体の厚さは8mmのものを使用すると特性インピーダンスは $0.06 \Omega \text{m}^{-1}$ となりマ

* 大阪府立工業技術研究所

* Osaka Prefectural Industrial Research Institute

**甲南大学理学部

**Department of Physics, Konan University

イラーフィルムを使用した時の特性インピーダンスとほぼ等しい。この事からセラミックコンデンサーで出来ている伝送回路がマイラーフィルムの伝送回路の代わりに使える事がわかる。これはセラミックの誘電率がマイラーの誘電率のほぼ 10^3 倍大きいのでマイラーに比べてセラミックの厚さが大きくても、特性インピーダンスは低くなる事を示している。他方レーザー装置の横方向が小さく作れる事をも示している。しかし現在ではマイラーフィルムに代わる板型のセラミックコンデンサーは市販されていないし又作る事も不可能である。そこで市販されているカラーテレビの多段整流回路用のセラミックコンデンサーが入手しやすいし比較的安価なのでこれを放電管の横に一例に並べて使用した。

Table 1. Ceramic capacitor for N_2 laser device.

NO	Type	Voltage(kV)	Capacity(pF)	Size(mm)
1.	VD2 Y5S 4F601L (Taiyoyuden)	30	600	26 ϕ X16
2.	DH30AYW 751M (Murata)	30	750	30 ϕ X25
3.	DHL24YW 751M (Murata)	15	750	24 ϕ X14
4.	NM2030 (Nichicon)	30	2000	50 ϕ X32
5.	NM1030 (Nichicon)	30	1000	40 ϕ X32

Fig. 1. Ground plane and cross-section of N_2 laser device.

N_2 レーザー装置に使用可能なセラミックコンデンサーの一例をtable 1 に列挙した。このセラミックコンデンサーは小型で高耐圧、高容量でしかも充放電のくり返しに対しても破壊しないし静電容量の電圧特性が良好で実効容量の変動がないものがよい。放電長の長い大出力の N_2 レーザーを作る時は取り出しターミナルがネジになっている方が組立てるのに便利である。今回はFig. 1 に示す様に放電長40cmの小型の N_2 レーザーであるのでtable 1. No. 3 を使用したが他の高耐圧、高容量のセラミックコンデンサーを使用してもかまわない。

次に伝送線路であるが、これには厚さ 0.4mm 以下の銅板を使用する。これ以上の厚さになるとセラミックスコンデンサーの端子をハンダ付けするのに熱容量の大きなハンダゴテがいるために不便である。放電管の真空シールはすべて信越化学のシリコンゴムKE-42を使用したために、この接着材から放出される酢酸による酸化の影響が少ない様に電極材料にはステンレスの丸棒を使用した。もしレーザー管の真空シールに酢酸の出ないシリコンゴムあるいは他の方法で真空シールを行なうならば電極材料は真ちゅうの方がステンレスに比べて電子の放出場所が均一になり良い結果が得られる。しかしこの場合はレーザー管を作った後も電極の酸化に注意しないと出力低下を引き起こす。電極は両端でのアーク放電が起こるのをふせぐためにFig. 1 に示す様に曲げてある。ステンレス電極と銅板のハンダ付けは特殊なフラックスが必要でステンレス用フラックスとして市販されているのでこれを使う。ハンダ付けは完全に付けないとレーザー出力が低下する原因となるので注意してほしい。

次にセラミックコンデンサーの取り付けであるが銅板に直接コンデンサーをハンダ付けすると上下の銅板間でセラミックコンデンサーの耐圧以下で放電が起こるのでコンデンサーと銅板の間に厚さ 0.1mm 位のマイラーフィルムをはさむ。なおコンデンサーを5mm以下に接近させて取り付けなければならないのでマイラーとコン

デンサの間もシリコンゴムで接着する。コンデンサの取り付け場所は出来る限り放電管に近ずけてハンダ付けを行う。たとえば放電管近くにコンデンサをハンダ付けしたのと8cmはなして付けたのと比較するとレーザー出力が $\frac{1}{2}$ に下がる。又コンデンサを2段にする即ち同じ装置を反転して積みかさね放電管を共有すると特性インピーダンスが $\frac{1}{2}$ になり、より早い立上りの放電が得られるために同じ長さの放電長でもレーザー出力が増加する。

3. 放電管

放電管の設計で一番問題なのは電極間隔であるが、これはCartwright⁶⁾によると印加電圧をE放電管内の圧力をPとすると理論上は $E/P = 250 \text{ V/cm} \cdot \text{torr}$ となるが、Blumlein回路に於て実験では $E/P = 200 \text{ V/cm} \cdot \text{torr}$ ⁷⁾が得られているのでこの値を電極間隔の設計の目安にする。今回はあまり高気圧で最大出力を得るように設計すると放電が部分的なアーク放電になりかえって出力低下をまねくので電極間隔は2cmとした。放電管はアクリル、デルリン、ガラスが使われるが、アクリルは加工、接着が簡単であるが放電による紫外線の影響で重合が進みヒビ割れが起こる欠点がある。しかし普通の使用状態ではほとんど悪影響はない。放電管の内面はスリガラス状にしておかないと管壁による全反射が起こり出力モードがみだれる。アクリルを使用する場合はNTカッターで表面にこまかいキズをつけると全反射が起こらず出力モードが良くなる。この他に管壁をつたって起こる沿面放電のためにレーザー発振モードが悪くなる事がある。これをふせぐためにレーザー管壁を電極からはなしてセットされている装置⁸⁾があるがこれは放電エネルギーを集中出来ない欠点がある。

最後に窓の取り付け方法としてOリングを放電管の端にシリコンゴムで接着するか直接放電管の端にシリコンゴムを2~3mm厚に付け上から平らなテフロン又はポリエチレンなどシリコンゴムが接着しないものでおさえて2~3日し

て取り除くと真空パッキングが出来上る。

4. むすび

トリガーギャップは市販のものを使用すると安定な高出力レーザー光が得られるが放電管の自作費に比べて非常に高価であるので筆者らはFig. 1に示す様な構造のギャップを自作した。これは時々分解して内面を清掃する必要があるため簡単に分解出来しかも低インピーダンスのものが望ましい。又ギャップの取り付けはビスで完全に取りつけないと出力が低下する。

このN₂レーザーに使用する電源は高電圧を必要とするために高価であるが出力電圧15kVのネオトランスを倍電圧整流すれば安価で出力電圧30kVの高圧電源が作れる。トリガー用の高圧パルスはUJTでパルス発振させたパルスをSCRを介して自動車用の高圧トランスで昇圧すると任意の周期の強力な高圧パルスが得られる。

以上述べた方法で製作したセラミックコンデンサー40ヶ使用した放電長40cmの装置で片側反射鏡をつけて印加電圧18kVで操作した時、パルス幅3ns、出力300kW以上のレーザー光を得た。又コンデンサー196ヶ使用した放電長175cmのレーザーは出力10MWを有し、現在物理測定に役立っている。なお高出力で安定なレーザー光を得るために改良を進めている。

参 考 文 献

- 1) H. G. Heard: Nature **200** 667 (1963)
- 2) M. Geller et al: J. Appl. Phys. **39** 3639 (1966)
- 3) D. A. Leonard: Appl. Phys. Lett. **7** 2232 (1968)
- 4) J. D. Shipman: Appl. Phys. Lett. **10** 3 (1967)
- 5) I. Nagata and Y. Kimura: J. Phys. E: Scientific Instruments **6** 1193 (1973)
- 6) D. C. Cartwright: Phys. Rev. A **2** 1331 (1970)
- 7) B. Godrd: IEEE, J. Q. E. QE-10, 147 (1974)
- 8) D. Basting et al: Opto-electronics **4** 43 (1972)