

超高密度ホロー陰極放電の アルゴンイオンレーザー管への応用

新井邦芳,* 田辺利夫,* 真瀬 寛,* 真鍋 隆*

(昭和55年9月8日受理)

Application of Super-dense Hollow Cathode Discharge to Ar Ion Laser Tube

KUNIYOSHI ARAI, TOSHIO TANABE, HIROSHI MASE and TAKASHI MANABE

Abstract— A glow discharge mode in which the current density is very large compared with the conventional hollow cathode discharge (HCD) is realized by means of a specially constructed hollow cathode. In such mode, super-dense HCD mode, the ions in the cavity are strongly excited by the primarily electron beams and the intense spectral lines of ArII and/or ArIII are observed. In this paper, the voltage-current characteristics, the spectroscopic measurements in the super-dense HCD and its application to an Ar ion laser are discussed.

1. はじめに

放電管の陰極構造を円筒形にし、その中に負グローが現われるようにすると、(1)維持電圧が低下する、(2)陰極電流密度が増加する、(3)イオンのスペクトル強度が増す、(4)陽光柱に比べて高エネルギー電子が増すなどよく知られたホロー陰極効果が生ずる。負グローをよく封じ込める陰極構造にすると、(1)~(4)の効果は著しく高められ、グロー放電のモードで極めて大電流の放電が可能になる⁽³⁾⁽⁴⁾ (超高密度ホロー陰極グロー放電 (Super-Dense Hollow Cathode Glow Discharge))、以下にSDHCGDと略する)。

われわれはこれまで、SDHCGDをプラズマ源へ応用してきたが、今回は、前述の(3)に着目して、それをアルゴンイオンレーザーへ応用することを考え、小型で高効率のアルゴンイオンレーザーの製作を試みた。

アルゴンイオンレーザーは、発振波長が青から緑の帯域にあるので、カラーホログラフィーやカラーディスプレイ光源または海底通信などへの応用が期待されるため、最近非常に注目されている。しかし、原子イオンの遷移による発光を利用するため、原子イオンが多量に発生す

るような放電で励起する必要があり、さらに、レーザーレベルが高い所にあるので効率が悪く、これまでの放電管では大電流密度の放電を用いなければならず、放電管の寿命が短い、大電力の安定化電源が必要である、水冷装置が必要になるなどの問題があった⁽⁶⁾。SDHCは、比較的小さな放電電流でも負グロー部の電子エネルギーが高く、原子イオンをレーザーレベルまで効率よく励起することができる。また、非常に小型に出来る可能性がある。さらに、陰極が真空容器をかねており小型の陽極-陰極対を一つのセクターとして、これをいくつか結合することによって、レーザー媒質の長さの調整を極めて容易に行える。このようにSDHCはアルゴンイオンレーザーのための放電管として極めて有望であると思われる。

以下に、SDHC型放電管の構造およびその特性について記述する。

2. ホロー陰極型放電管の構造

ホロー陰極型放電管は、陰極(K)、陽極(A)、プリュスター窓、ガス注入・排気用フランジ、テフロンシート、水冷装置および排気装置から構成されている (Fig. 1)。図からわかるように、電極は真空容器の一部を構成して

* 茨城大学工学部電子工学科 (日立市中成沢町)

** 茨城大学大学院工学研究科電子工学専攻 (日立市中成沢町)

おり、電極の着脱、交換は極めて容易である。陰極は、内径13mm、長さ100mmのSUS304のパイプで、両端に内径5mmのオリフィスを設け、一次電子ビームが陰極内部に効率よく捕捉されるようにし、イオンの励起効率を高めている。陽極は、SUS304のフランジで、中心に直径5mmの穴があいており、ブリュスター窓を取りつけるためのポートと一体になっている。ブリュスター窓で、デルリン製の円管にスライドガラスを接着したものと、ブリュスター角は $55.6^\circ (\tan^{-1} 1.46)$ である。陽極と陰極の間にアルミニウム製のガス注入・排気用フランジを取り付け、それぞれはテフロンシートで絶縁されている。水冷装置としては、直径5mmの銅パイプを陰極および陽極に巻きつけ、小型ポンプでその中に水を循環させて水冷した。なお、銅パイプの上には熱伝導性

のよいセメント(サーモンT63)を塗布し、冷却効果を上げている。排気装置としては、排気速度を小さくして陰極内部の圧力勾配をなるべく小さく抑えるために、排気速度 250 l/min のロータリーポンプのみを使用し、ガス洗浄を十分に行うようにした。なお、放電管は左右対称構造になっており、両方の陽極を用いて同時に放電させることもできる。また、陽極-陰極対をいくつか連結して出力の増大を図ることが出来るのも従来のレーザーにはない特徴といえよう。これまでホロー陰極を用いた希ガスイオンレーザー管がいくつか発表されているが、⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾陰極構造はフルート型であり通常のホロー陰極放電のモードを利用したもので、ホロー陰極効果を十分に引き出しているとは言い難い。また、上述のようなセクターにすることもむずかしい。

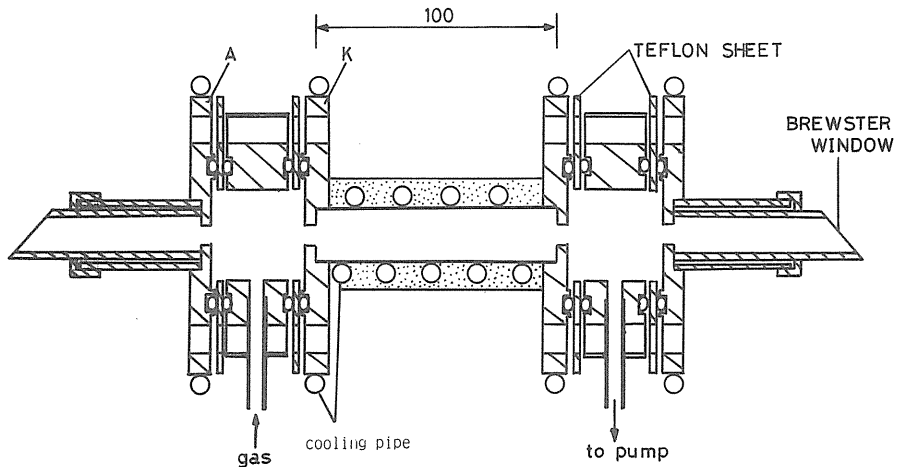


Fig. 1 Structure of Ar ion laser tube.

3. 実験結果とその考察

3.1 放電特性

実験には最大定格1A、3000Vの定電圧源を用い、放電を安定化させるために 500Ω 、500Wの保護抵抗を2本電源に直列に接続して使用した(Fig. 2)。ヘリウムおよびアルゴンを注入し、ガス圧をパラメータとして放電電流 I_d と放電電圧 V_d の関係を調べた。放電電流を換算電流密度 J/P^2 で表わしたものをFig. 3, Fig. 4に示す。ヘリウムにおける電流-電圧特性は、ほぼ定電圧特性を示し、ホロー陰極効果の著しいことを示してい

る。これに対して、アルゴンの場合には放電電流の増加とともに多少電圧の増加がみられる。これは、陰極内部への一次電子ビームの捕捉が不十分であるためと、ヘリウムの場合よりも放射損失が大きいためと考えられる。図には平板陰極の場合の電流-電圧特性を併記してあり、○印は正規グロー放電における値を示したものであるが、それと比べて換算電流密度が 10^4 倍以上大きくなっているのがわかる。

3.2 イオン線のスペクトル強度の測定

イオン線の分光測定は、放電管内部の光をブリュスター窓を通してモノクロメーター(Nikon P250)で測定

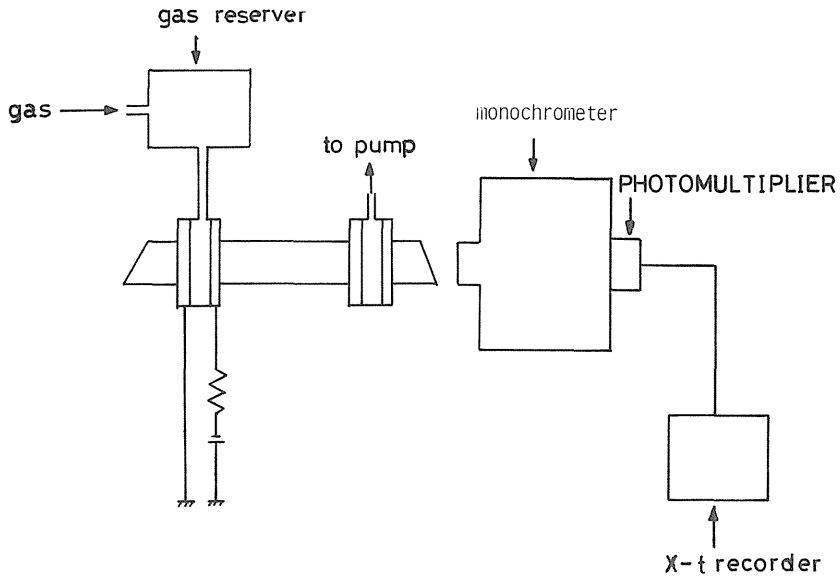


Fig. 2 Experimental arrangement.

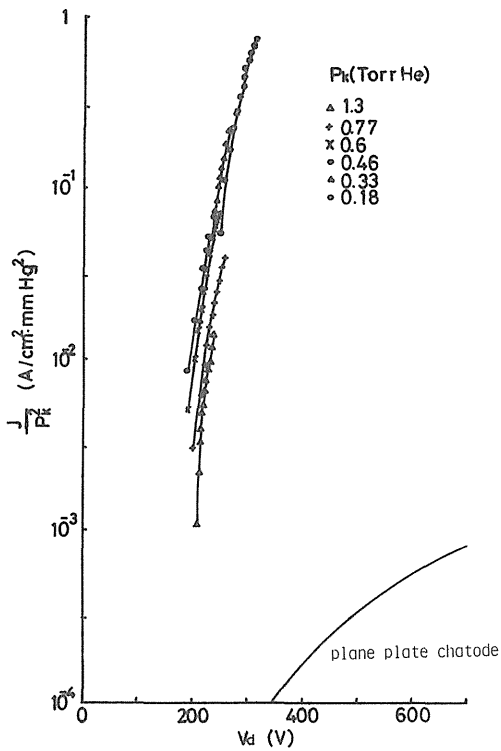


Fig. 3 Voltage-current characteristics of superdense hollow cathode glow discharge when the tube is filled with helium. The current is indicated by the reduced current density at the pressure of 1 torr.

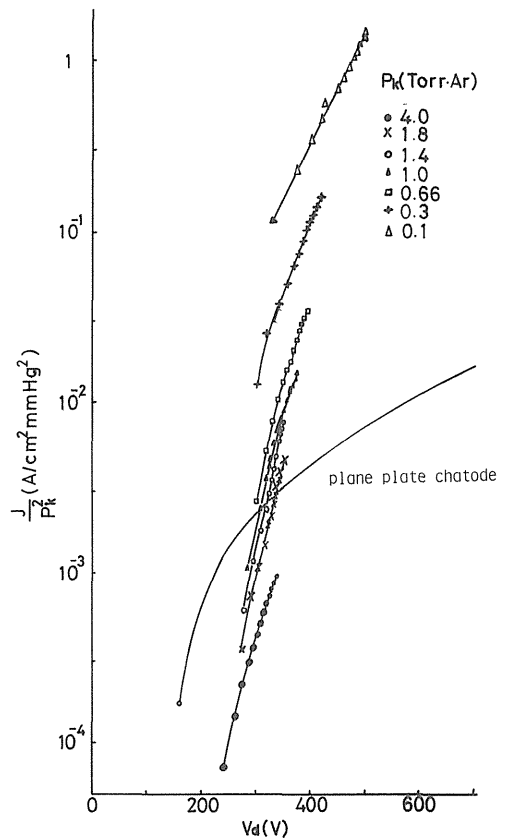


Fig. 4 Voltage-current characteristics of SDHCGD when the tube is filled with argon.

し、x-tレコーダーを用いて記録した (Fig. 2)。その一例として、ガス圧0.66 Torr, 放電電流0.7 A, 放電電圧390 Vにおいて測定されたイオン線のスペクトル分布を Fig. 5 に示す。アルゴンイオンレーザーのおもな発振線である4880 Åと5145 Åが確認された。Fig. 6に4880 Åのスペクトル強度とガス圧 P_k の関係を電流をパラメータとして示してある。スペクトル強度は圧力に依

存して変化し、ある圧力の値で最大値をもつ。最大値を与えるガス圧は放電電流の増加に伴いガス圧の高い方にずれている。高い気圧では、一次電子の衝突によるエネルギー損失が大きく、イオンを励起するに足る電子数が減少し、スペクトル強度は小さくなる傾向を示す。一方低い気圧では、イオンの寿命が短くなり励起の確率が減るためスペクトル強度が小さくなると考えられる。

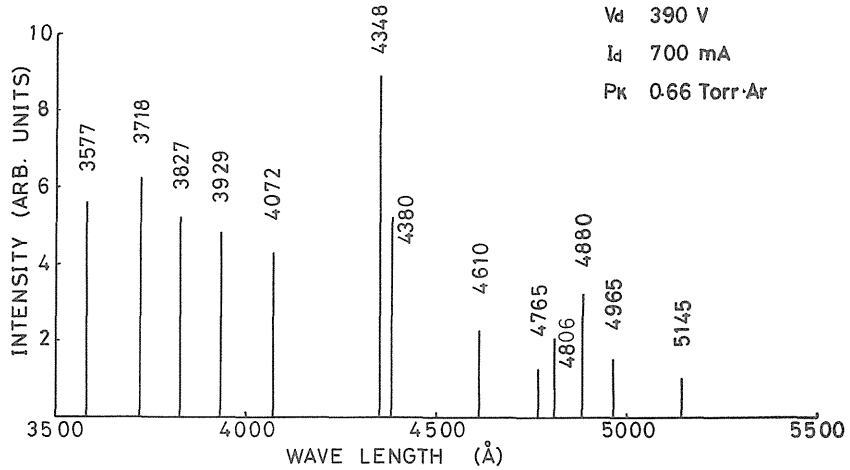


Fig. 5 Spectral lines of ArII emitted from the SDHCGD.

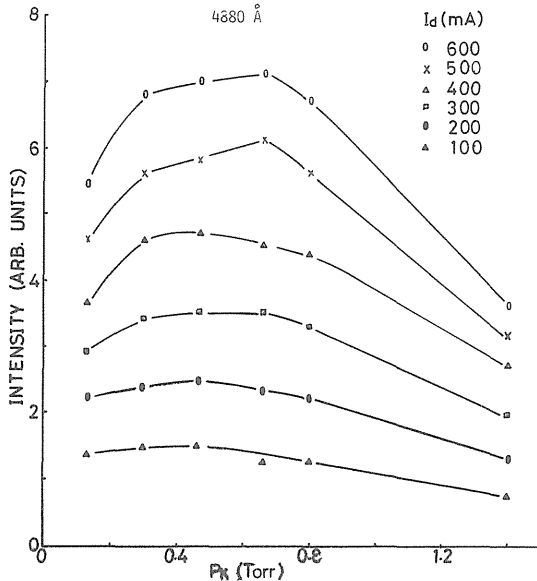


Fig. 6 Variation of the line intensity with the pressure and the discharge current.

したがって、ある圧力値でスペクトル強度が最大値を示すことになると思われる。最大値を与える圧力値の電流依存は、放電電圧の上昇つまり一次電子のエネルギーの上昇で説明出来るだろう。

3.3 レーザー発振

共振器として反射率100%の平面鏡 M_1 と透過率5%、曲率半径3 mの凹面鏡 M_2 を使用し、 H_e-N_e レーザーを利用してミラー調整を行い、レーザー発振の試みをした。しかし、ミラー調整の不備、電源の出力不足、レーザー媒質の長さの不足などのいずれかの理由によりレーザー発振をさせるに至っていない。

4. まとめ

超高密度ホロ-陰極放電を用いたアルゴンイオンレーザーを試作し、その基本的な特性を測定した。レーザー発振には至らなかったが、極めて簡便に、かつ効率的に4880 Å, 5145 Åなどの強いスペクトル線が得られた。

レーザー媒質の長さを考慮し, ミラー調整を入念に行えば, レーザー発振の可能性は十分あるものと思われる。また, 多価のイオンが簡単に励起出来るので, 新しい多価イオン源としての応用も考えられよう。

最後に, 実験の一部を担当して頂いた銭谷弘(現, 沖電気K.K), 清浦澄洋(現, 日本電気K.K)の両君に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 例えば, 放電ハンドブック, (電気学会, 1974) 第5章.
- (2) 真瀬, 山本, 佐藤, 八田: 物理学会秋の分科会 14pG3 (1966-10).
- (3) 川村, 竹井, 田辺, 真瀬: 電気学会プラズマ研究会資料, EP-79-3.
- (4) 川村, 新井, 田辺, 真瀬: 物理学会秋の分科会, 3p-N-4, (1979-10).
- (5) 川村, 竹井, 田辺, 真瀬: 物理学会秋の分科会, 4a-D-13, (1979-10).
- (6) 例えば, 高橋: レーザー入門 稲場文男監修, (電子通信学会, 1979).
- (7) Y. Pacheva, P. Pramatarov and M. Stefanova: Optics Comm. 21, 121 (1978), 31 203 (1979).
- (8) M. G. Grozeva, N. V. Sabotinov, P. K. Telbizov and N. K. Vuchkov 31 211 (1979).
- (9) K. Rozsa, M. Janossy, J. Bergou and L. Csillag: Optics Comm. 23 15 (1977).