K r Fエキシマ励起放電中の陰極輝点とガス温度の検討

正員 齊藤善夫 (三菱電機株式会社)

正員 佐藤行雄 (三菱電機株式会社)

Study of Cathode Spots and Gas Temperature in KrF Excimer Excited Discharges.

Yasushi Minamitani, Member, Yoshio Saitoh, Member, Yukio Sato, Member (Mitsubishi Electric Co.)

キーワード：エキシマレーザ、陰極輝点、励起放電平均温度、電荷量、

1. はじめに

エキシマレーザはグロー状の高気圧放電を発生させることによってレーザ媒質を励起しているが、このとき陰極表面に陰極輝点が発生する。陰極輝点が発生すると放電電流が輝点に集中し[1]、そのポイントの電極消耗を早めるため電極寿命を短くする。また、電極が融解した時に出る不純物はレーザ発振における過程の妨げとなりガス寿命も短くする[2]。長寿命のエキシマレーザを開発するためには陰極輝点をなくし、放電状態を均一なグロー状放電にする必要があり、そのためには、励起放電中に発生する陰極輝点の基礎的特性を把握する必要がある。筆者らは既報にて陰極輝点温度を明らかにし、充電電圧を上げると陰極輝点の発生数が増加し励起放電平均温度を上げることが示している[3]。今回、陰極輝点発生数の増加による励起放電平均温度の上昇について、電極消耗量に大きく影響する通過電荷量[4]で検討し、その相関性を確認した。

2. レーザ発振器の構成および実験装置

今回実験に使用したレーザ装置は既報[3]と同様に容量移行型の励起回路であるが、有効放電長が約500mmのチャン型励起放電電極[5]を使用しているので、電極単位長さあたりのコンデンサ容量を同じにするため C_1 、 C_2 とも12 nFとした。また、実験におけるガスの混合比は $Kr=1.25\%$ 、 $F_2=0.125\%$ 、残りは Ne で全圧を3.75atmとした。

放電温度の測定[3]は、陰極輝点温度、グロー状放電温度、放電平均温度について行なった。実験装置の構成を図1に示す。グロー状放電または陰極輝点温度の測定は、陰極輝点の発光強度が強いことを利用し、フォトマルで検出される信号の大きさにグロー状放電と陰極輝点を判別し行なった。放電平均温度は、グロー状放電と陰極輝点を判別しない時間平均の測定温度である。放電温度はNeの594.48 nmから703.24 nmまでの発光スペクトル強度分布を観測し、ボルツマンプロット法[6]で算出した。

単位面積当たりの平均電荷量を算定するための放電幅はここではレーザ光を計測しその半値幅を等価的に用いた。レーザ光のビームプロファイルの測定には浜松ホトニクス

図1 放電温度測定装置

Fig.1. Experimental system to measure temperature of discharges

製の1次元のイメージセンサC2326とマルチチャンネルアナライザC2491を用いた。イメージセンサはレーザの部分反射鏡から1mの位置に設置した。

3. 実験結果および検討

図2に、観測された各発光のスペクトル強度分布より算出した陰極輝点温度、グロー状放電温度、および励起放電平均温度を示す。既報[3]と同様に、グロー状放電温度は充電電圧にかかわらずほぼ一定値をとった。陰極輝点温度も大きくなればつきはあるがほぼ一定値となった。励起放電平均温度は、17kVまではほぼ一定でグロー状放電温度とあまり変わらないが、17kVを越えると上昇しグロー状放電温度との差が大きくなり陰極輝点温度に近づく。このことから既報[3]で使用したレーザ装置と同様に、今回使用したレーザ装置においても17kVを越えると陰極輝点の発生数が増加し励起放電平均温度を引き上げていることがわかる。

ここで、レーザビームのプロファイルを充電電圧を変え

図2 ガス温度の充電電圧依存性

Fig.2. Dependence of gas temperature on the charged voltage

て測定し、充電電圧値によるビーム半値幅の変化を測定した。結果を図3に示す。同図より充電電圧が高くなるとレーザービームの広がりには飽和傾向にあることがわかる。これはチャン型放電電極断面の曲率の関係で、放電幅が広がるほど放電端でのギャップ長の広がりが大きくなるため、充電電圧増大によって放電開始電圧が上がった場合においても、その電圧に対応する放電可能ギャップ長の領域の広がりが小さくなるためと考えられる。図3のレーザービームの半値幅を基に放電電極単位面積当りに投入される平均電荷量を算出した。その結果を図4に示す。図より15kVから17kVまでは単位面積当りの平均電荷量はほぼ一定値をとるが18kVから急激に単位面積当りの平均電荷量は増加することがわかる。この結果は図2における励起放電平均温度の動きに対応するものであり、励起放電平均温度の上昇は単位面積当りの平均電荷量の増加が一因であると推測される。励起放電平均温度の上昇は陰極輝点数の増加によるところが大きい[3]、単位面積当りの平均電荷量の増加は陰極輝点数の増加に大きな影響があると考えられる。単位面積当りの平均電荷量が増えるとグロー状放電に投入されない電荷が増加し、その余剰電荷が陰極輝点となり、陰極輝点数を増加させ、放電平均温度を上げていると考えられる。この結果、充電電圧を高くしても陰極輝点の発生数を増加させず励起放電平均温度の上昇を抑えるには、放電幅が充電電圧に対応して広がるような電極形状にして、単位面積当りの平均電荷量を一定に保てば良いことがわかる。

4. まとめ

エキシマレーザー励起放電における放電平均温度の上昇について、単位面積当りの平均電荷量をレーザービーム半値幅により算出した値で検討した。これより、単位面積当りの平均電荷量の増加が陰極輝点発生数の増加をもたらし、放電平均温度を上昇させると推測される。

図3 ビーム幅の充電電圧依存性

Fig.3. Dependence of beam width on the charged voltage

図4 単位面積当りの平均電荷量の充電電圧依存性

Fig.4. Dependence of average charge quantity at a unit area on the charged voltage

(平成9年3月13日受付)

文献

- [1] 八田：気体放電、p169 (昭43) 近代科学社
- [2] 前田：エキシマレーザー、p100 (平5) 学会出版センター
- [3] 南谷、中谷：「エキシマレーザー励起放電内に含まれる陰極輝点の光学的観測と温度の測定」、電学論A、116、783 (平8-9)
- [4] 高橋、吉野、松井：「スパーク放電の電極消耗量」、分光研究、15、23 (1966)
- [5] T. Y. Chang: Rev. Sci. Instrum. 44, 405 (1973)
- [6] 村山精一、ぶんせき、No. 5、p296 (1979)

南谷靖史 (正員)	(電学論A、116、12参照)
齊藤善夫 (正員)	(電学論A、116、4参照)
佐藤行雄 (正員)	(電学論A、116、4参照)