高周波放電破壊による放電灯の評価

正会員 寺島 喜昭* 今村 人士*

Diagnostics of the Discharge Lamps by High Frequency Breakdown

Yoshiaki Terashima (Fellow Member) Hitoshi Imamura (Member)

(Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd, Consumer Products Engineering Lab.)

ABSTRACT

As is well known, the high frequency (RF) breakdown voltage is independent of the cathode material (γ) provided that the electron trapping condition is satisfied. Applying this principle to the discharge lamp, the complex of the phenomena in a lamp are separated into two parts, gas and electrodes. The frequency condition of the electron-trap for the actual HID lamps was found to be more than few MHz.

This RF breakdown method was applied to the diagnostics of the actual high pressure Hg lamps, high pressure Na lamps and metal halide lamps. The quantity of impurity in Hg lamps of high starting voltages could be estimated, without breaking the lamps. The behavior or the quantity of the impurity which had absorbed in the electrodes or the metal halides was also evaluated.

Thus, RF breakdown method for the diagnostics of the discharge lamps was found to be useful.

1. ま え が き

けい光灯, 水銀灯, メタルハライドランプなどの放電灯のプロセス技術上, 放電灯内の電極と封入ガスの両者を放電灯を破壊することなく分離して評価することの必要性は, 以前から認識されていたがまだ十分にはなされていない. そのため放電灯内のガスの特性や電極の特性を評価する際, 従来より放電開始電圧が最も広く用いられている. しかし商用周波数の交流を含めて直流的**電圧印加によるグローあるいは, アーク放電開始電圧はガスの特性と電極の特性の両者に依存するため, 放電灯の始動特性に差異があっても, それは電極に起因しているのか封入ガスに起因しているのか断定することは困難である.

放電灯内の封入ガスの簡単な評価法としては, グローテスラーで放電灯を放電させて, そのときの発光の色, グローのしほれ具合からガスを評価する方法が時々用いられている. しかしこの評価法は経験的要素が強いもので定量化することは困難であり, 標準的評価法とするには難点がある.

筆者らは以上を考え, できるだけ簡単に放電灯内のガスの特性を電極のそれとは分離して定量的に評価することを検討した. Diffusion Controlled Breakdown はガス状態だけに依存するから, 高周波放電破壊電圧によりガスの分離評価は可能と考えられ

る. それを実際の HID ランプに応用する際の条件を調べ, その条件を満足した上でランプ内のガスの定量評価に適用してみた.

2. 実 験

平行平板電極を有する放電管 (図1), および実際のメタルハライドランプの発光管 (図2) を用いて, 直流および高周波電界印加による放電破壊電圧 DC. V_S , RF. V_S を測定した.

図1 平行平板電極放電管

図1 は用いた平行平板電極放電管の構成を示すが, このさきは既述の排気系に接続している. 放電管は内径 32 mm の硬質ガラスで, 両端にはコバルリングを介して直径 70 mm のステンレスフランジが取り付けられている. 電極は平面部分 19 mm, 外径 25 mm (端部は 3 mm の R を持たせただけ) の厚さ 6 mm のステンレス円板, あるいはこの表面に Ba を塗布したものである. 電

* 東京芝浦電気株式会社技術研究所

** ギャップ間のイオン走行時間が電界の半周期より短い.

本原稿の一部は, 昭和53年4月照明学会全国大会, 昭和53年7月電気学会光源関連装置研究会で発表したものである.

極表面の Ba は BaN_3 の粉末と純水の懸濁液をステンレス表面に塗布し、温風乾燥後、真空中に排気しながら放電管全体を 300°C に加熱して BaN_3 を分解することにより得た。電極間距離は直線導入機によって 0 ないし 20 mm の範囲で調整ができ、その精度は 0.1 mm である。これらの電極は放電管全体を 300°C で加熱排気した後、Ar ガスを導入し数分間グロー放電 (50 Hz, 40 W) をさせ排気するという工程を繰り返してガス出しを行なった。

直流電圧による放電破壊電圧 DC. V_s は、放電管にガスを導入した後、上述の電極間に 10,000 V/sec の割合で増大する直流電圧を印加していったときのグロー放電開始電圧の分布²⁾を測定し、その分布の最低値とした。

高周波電界による放電破壊電圧 RF. V_s も同様に電極間に 3 V/sec の割合で徐々に増大する、8.5 MHz の高周波電圧を印加していった、放電管が放電破壊するときの電圧を測定した¹⁾³⁾。用いた測定器および方法は既述¹⁾のものとほぼ同じである。

図 2 400 W メタルハライドランプの発光管

図 2 にあるような実際の放電管の高周波放電破壊電圧を測定する場合、放電灯の主電極間に高周波電圧を印加しては電界のひずみが大きいと考えられる。したがって、ここでは 2 枚の平行平板の間に放電管の軸が平板と平行になるように設置し、平行平板間の高周波電圧を増大していった、放電管が放電破壊するときの電界強度を平板間電圧から求めた。

石英製発光管（図 2）は、測定に先立って $1,050^\circ\text{C}$ で 1 時間以上加熱排気した後、Ar ガスを導入して数 10 sec ずつ 3 回アーク放電させて電極のガス出し、活性化を行なった。用いたガスは Ar あるいは Ne-Ar (1%) 混合ガス、およびこれらと Hg との混合ガスである。

3. 結 果

3.1 平行平板電極放電管

Ne-Ar (1%) 混合ガス、および Ar ガス単体を図 1 の放電管に導入した場合の全圧力 p (Torr) と、8.5 MHz 高周波電圧による放電破壊電圧 RF. V_s 、あるいは直流電圧による最低グロー放電開始電圧 DC. V_s との関係を図 3 および図 4 (a), (b) に示す。ここでは直流電圧によるグロー放電開始電圧と比較するため、高周波電界による放電破壊の臨界値は電界強度ではなく、電極間電圧（ピーク値）とした。各測定値の相対誤差あるいは測定の際のばらつきは図中に示してあるが、誤差範囲を示してないものについては 5% である。

Ne-Ar (1%) 混合ガスの場合（図 3）、RF. V_s は 10 Torr 以上では圧力とともに単調に増大するが、10 Torr 以下では逆に圧

図 3 平行平板電極放電管の圧力と DC. V_s RF. V_s の関係

力の減少とともに増大している。電極材料と V_s の関係を比較した場合、DC. V_s ではステンレス電極と Ba 電極ではっきりした差異があり、当然 Ba 電極のほうが低い RF. V_s では差が小さく、1 ~ 2 Torr の低圧でだけ有意差がある。

Ar ガス単体の場合（図 4）、電極間距離が 1.5 cm（図 4 (a)）のときは、1 から 30 Torr の全圧力範囲にわたって DC. V_s , RF. V_s は、共に圧力の増加とともに単調に増大している。また、RF. V_s は電極材料に依存しないのに対し、DC. V_s は Ba 電極のほうが低い。ただし Ba 電極の場合の RF. V_s はステンレス電極の場合のそれと一致するため一部だけ示してある。電極間距離が 0.5 cm（図 4 (b)）のとき、RF. V_s は 10 Torr 以下では圧力に対してはほぼ横ばいでその値は電極材料によって異なっている。これに対して、10 Torr 以上では RF. V_s は圧力の単調増加関数となっていて電極による差異は少なく実験の誤差範囲内である。DC. V_s は全圧力にわたって Ba 電極のほうが低く、ステンレス電極との差異は圧力が低くなると拡大している。

図 4 (a) 平行平板電極放電管の圧力と DC. V_s RF. V_s の関係 ($d=1.5$ cm)

図 4 (b) 平行平板電極放電管の圧力と DC, Vs RF, Vs の関係 ($d=0.5\text{cm}$)

3.2 実際の放電管

図 2 の放電管に Ar ガス単体, および Ar-Hg 混合ガスを導入した場合の全圧力 p (Torr) と 4 MHz あるいは, 8.5 MHz 高周波電界による放電破壊の電界強度 RF, E_B (実効値) との関係を図 5 に示す。

図 5 放電灯発光管の圧力と RF, E_B の関係

Hg の分圧は室温(26°C)での飽和蒸気圧である。同図には比較のために MacDonald ら⁴⁾の結果も示す。Ar ガス単体の RF, E_B は彼らの値と一致しているが, 特性拡散長 λ はわれわれの場合のほうが小さいから, RF, E_B は彼らの値より大きくなるはずで, この一致は絶対値の測定誤差に起因していると考えられる。なお同一周波数での測定値相互の相対誤差は 5% である。この場合も図 4(a)同様, 8.5 MHz では Ar 単体の RF, E_B は 1 から 40 Torr の全圧力範囲で圧力 p の単調増加関数であるが, 4 MHz では 1 ないし 2 Torr 以下で圧力の減少とともに逆に上昇している。

図 6 は同様に Ne-Ar (1%), およびこれと Hg との混合ガスに対する RF, E_B と圧力 p との関係を示す。図中 (▲) は, 管径 92 mm の硬質ガラス製放電管を大きさ 150 mm×200 mm, 平板

図 6 放電灯発光管の圧力と RF, E_B の関係

間距離 110 mm の平行平板の間に設置して測定したもの, (×) は MacDonald ら⁴⁾の測定値, その他は図 2 の放電管を用いての結果である。この場合, 径が 20 mm の放電管では図 3 と同様, Ne-Ar (1%) の RF, E_B は 10 Torr 近傍 (8.5 MHz ではやや低い) を境として, それ以上では圧力の増加関数, それ以下では圧力の減少関数となっている。Ne-A-Hg 混合ガスの場合も, 管径が 20 mm の放電管では 10 Torr までは RF, E_B は圧力の減少とともに減少し, 管径が 92 mm の放電管では, 1 Torr まで圧力の減少とともに RF, E_B は単調に減少している。

4. 考 察

直流電圧による放電破壊は, タウンゼントの第 1 電離係数を α , 電極表面における二次電子放出係数を γ , 電極間距離を d として, タウンゼントの条件式

$$\gamma \left\{ \exp \left(\int_0^d \alpha dx \right) - 1 \right\} = 1 \quad \dots \dots \dots (1)$$

で与えられる。これに対し高周波電界中での Diffusion Controlled Breakdown は電離周波数を ν_i , 電子の拡散係数を D , 放電管の特性拡散長を λ として

$$\nu_i = \frac{D}{\lambda^2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

で与えられる。ただし, ここで特性拡散長 λ は内径 $2R$, 長さ l の円筒放電管では次のように定義される。

$$\frac{1}{\lambda^2} = \left(\frac{2.405}{R} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

したがって直流電界による放電破壊はガスの特性 α , および電極の特性 γ の双方に依存するのに対し, 高周波電界による放電破壊は電極あるいは, 管壁近傍の荷電粒子による γ 効果が無視できれば, ガスの特性にだけ依存して電極あるいは管壁表面の特性には依存しない。

Diffusion Controlled Breakdown の条件式 (2) を導くには次のような仮定がある⁴⁾。(a)均一電界, (b)電子の平均自由行程 λ は, 放電管の特性拡散長 λ より小さい。(c)高周波電界による電子の最大振幅は放電管の特性拡散長 λ より小さい。本実験においては(a)は満足されていると仮定する。また(b)は通常の放電灯の大きさと

圧力範囲では満足されている。条件(c)は次のように表わされる。

$$A > \frac{eE_p}{m\nu_c\omega} \quad (4)$$

ここで、 e および m は電子の電荷量および質量、 ν_c は電子の衝突周波数、 ω は高周波電界の角周波数、 E_p は電界強度のピーク値である。そしてこの条件(電子捕捉条件と呼ぶ)からはずれると、拡散損失以外の電子の損失が増大して、放電破壊の電界強度 RF. E_B は増大する。

次に高周波放電破壊電界 RF. E_B の圧力依存性を考える。高周波電界から電子が得るエネルギーと、電子が原子との衝突で失うエネルギーの単位時間当たりの割合は等しいと置くと、本実験で用いた高周波のように、周波数が衝突周波数より十分小さい場合には

$$e\mu E_B^2 = f e \bar{V} \nu_c \quad (5)$$

となる。ここで $\bar{V}$ は電子の平均エネルギー、 μ は電子の移動度、 f は電子と原子の衝突による電子の平均エネルギー損失係数である。これに

$$\mu = \frac{e}{m\nu_c}, \nu_c = \sqrt{\frac{2eV}{m}} p \cdot P_c \quad (6)$$

なる関係³⁾ を代入して整理すると、RF. E_B の圧力依存式として次式を得る。

$$E_B^2 = 2fV^2 p^2 P_c^2 \quad (7)$$

ただし、ここで p は圧力、 P_c は衝突確率(1 Torr 中での全衝突断面積)である。したがって、Diffusion Controled Breakdown の場合には(7)式より RF. E_B は圧力の減少とともに低下し、さらに圧力が低下して電子捕捉条件(4)が満足できなくなると、逆に RF. E_B は上昇する。そして γ 効果が大きくなる。

上の予備的考察から測定結果を考える。図4(a)の $d=1.5$ cm で Ar 単体の場合には 1 Torr 以下、図4(b)の $d=0.5$ cm で Ar 単体の場合には 10 Torr 近傍、図3(Ne-Ar 混合ガス、 $d=1.5$ cm)では 10 Torr 近傍が電子捕捉の臨界圧力と考えられる。電子捕捉条件(4)式より臨界圧力を見積ってみる。図1の平行平板電極放電管の特性拡散長 A は電極間距離が 1.5 cm、および 0.5 cm のとき、それぞれ 0.39 cm、0.15 cm である。封入ガスが Ar 単体の場合、放電破壊電界近傍での電子の平均エネルギー $\bar{eV}$ は、Ar の電離電圧(15.7 eV)の 1/3 程度⁴⁾ の 5 eV とし、文献⁴⁾より Ar 中での 5 eV の電子の衝突周波数 $\nu_c \approx 5 \times 10^9 p$ を用い、また図4より RF. E_B の極小値近傍での実効値 $E_B \approx 50$ V/cm ($d=1.5$ cm)、あるいは 220 V/cm ($d=0.5$ cm)を用いると、(4)式から電子捕捉の臨界圧力はそれぞれ 1.4 Torr、および 16 Torr となる。Ne-Ar 混合ガスの場合も同様にして、電子の平均エネルギーは Ne の準安定レベルの 1/3 程度の 5 eV、そのときの Ne 中での電子の衝突周波数 $\nu_c \approx 1 \times 10^9 p$ ⁴⁾ を用いると臨界圧力は約 5 Torr となる。図2の放電灯発光管の場合には、特性拡散長は $A=0.41$ cm であるから放電破壊の電界強度、電子捕捉の臨界圧力は 8.5 MHz の場合には、上で述べた電極間距離 $d=1.5$ cm の平行平板電極放電管($A=0.39$ cm)のそれらとほぼ同じ値となる。また 4 MHz の場合には電子捕捉の臨界圧力は 8.5 MHz の場合の約 2 倍となる。

上で求めた電子捕捉の臨界圧力は、見積りのあらさを考えると測定結果から推定されるそれらとよく一致している。したがって圧力が減少して RF. $V_S(E_B)$ が上昇するのは、電子捕捉条件が成立しなくなるためであり、逆に RF. $V_S(E_B)$ が圧力の増加関数であるような圧力範囲での放電破壊は、Diffusion Controlled

Breakdown と考えられる。そしてその範囲内では図3、図4にあるように RF. $V_S(E_B)$ は電極材料にほとんど依存しない。またその圧力範囲では、放電灯発光管($A=0.41$ cm)の RF. E_B は $d=1.5$ cm の平行平板電極放電管($A=0.39$ cm)のそれとほぼ一致している。したがって放電灯発光管を2枚の平行平板ではさんで、RF. $V_S(E_B)$ を測定する方法においても、管壁近傍の荷電粒子による管壁表面での γ 効果はほぼ無視でき、RF. $V_S(E_B)$ はガスの特性(封入圧力、不純物量)にだけ依存すると考えられる。

図5、図6にあるような室温での飽和蒸気圧の Hg が混合している場合、Hg の全圧に対する混合比は圧力とともに変化するから、RF. $V_S(E_B)$ と圧力 p との関係から電子捕捉条件を議論することはできない。Ar-Hg 混合ガスの場合、Hg 原子の分圧は Ar ガスのそれに比較して十分小さく、電子の衝突周波数 ν_c は Ar との衝突が主であると考えられる。ただし Hg の存在によって放電破壊時の電子の平均エネルギーは減少し、その結果 ν_c も減少する。今、Ar-Hg 混合ガス中の放電破壊時の電子の平均エネルギーを前同様、Ar の準安定レベルの 1/3 程度の 3 eV とすると、そのときの Ar 単体中(Hg との衝突は無視)での電子の衝突周波数は、5 eV のとき(Hg が無い場合の仮定)のその 1/2 程度に減少する⁴⁾。これに対し RF. E_B は図5にあるように、Hg の存在によって 1/3~1/4 程度に低下するから、(4)式より電子捕捉条件はより容易に満足される。したがって Ar-Hg 混合ガスの場合には Ar 単体と同程度の圧力範囲で、電子捕捉条件は成立していると考えられる。Ne-Ar-Hg 混合ガスの場合も同様で、実際、管径を 9.2 cm にすると 1 Torr まで、圧力の減少とともに RF. E_B は単調に減少している。

以上から、通常のけい光灯、メタルハライドランプで使用される始電ガスの圧力範囲では、数 MHz 以上で電子捕捉条件は満足されているといえる。そしてこの周波数で RF. $V_S(E_B)$ を測定することにより、放電灯内の電極あるいは管壁内面の特性に影響されことなく、放電灯内の不純物ガスの有無あるいは、封入圧力といったガスの特性を非破壊で定量的に評価することができると考えられる。

5. 実用ランプへの応用

一定圧力の始動ガスを封入された同一サイズの放電灯では、商用周波数の交流を含めた直流的な電圧印加によるグロー放電あるいは、アーク放電開始電圧は電極とガスの両者の特性に依存する

図7 RF. V_S と DC. V_S の相関

のに対し、高周波電界による放電破壊はガスの特性にだけ依存する。したがって RF. V_s に差異が無いのに、DC. V_s にだけ差異が有るのは電極に起因するものであり、RF. V_s , DC. V_s 共に差異があるのは少なくともガスに一要因がある。それを図式化したものが 図 7 である。

つまり、最適に作られた放電灯の DC. V_s および RF. V_s をそれぞれ DC. V_{so} , RF. V_{so} とし、試験放電灯のそれらとの比の相関を取った場合、DC. V_s が高い要因が封入ガスだけにあるものは、A のような相関を示し、電極だけに起因するものは B のような相関を示す。そして A と B の間の領域にあるものは両方に起因するものである。ただし DC. V_s としてグロー放電開始電圧を用いた場合、それはガス状態の影響は受けやすいが電極状態 (γ) の影響は受けにくい⁶⁾ ので、 γ の小さな差異として精度良く電極を評価することは困難である。もちろん γ が大きく変化する要因がある場合⁷⁾ には可能である。

また DC. V_s として、通常のアーク放電開始電圧を用いた場合には、前段階のグロー放電によって電極から放出される不純物ガスといった要因も電極の特性に含まれることになる。

以下、実際の放電灯の評価に応用した例について述べる。この場合、放電灯はチップされた単品であるため、RF. V_s は平行平板間にテフロン[®]の土台を設置し、その上に放電灯を置いて前述と同様な方法で測定した。

図 8 1kW 水銀灯の評価例

図 8 は試作した 1 kW 水銀灯 (封入ガス Ar) のうちアーク放電開始電圧 V_s の高いもの 3 灯、および比較のために V_s が低いもの 1 灯についてのメインギャップ間の DC グロー放電開始電圧 DC. V_s と RF. V_s との相関を示す。ただしここでは RE. V_s 値として放電破壊時の発振器三極管のプレート電圧を用いている。これと発振電圧にはリニアな関係がある。この場合、標準品の DC. V_{so} , RF. V_{so} は不明であるから、図 7 のような標準品との比ではなくそれぞれの測定値で示した。ガスの特性だけに起因する相関(図 7 の A)は不明なため、電極についてははっきり言及できないが、 V_s が高い 3 灯についてはその要因の少なくとも一部は封入ガスにある (不純物ガスが混入している) と判定できる。また、3 灯のうち少なくとも 2 灯には電極にも V_s が高くなる要因があると考えられる。そしてさらに既報の不純物ガス混入量と RF. V_s との関係から、RF. V_s が最も高い 2 灯については混入不

純物ガスが H_2 とすると、その分圧は 2×10^{-2} Torr 程度と推定される。ただし V_s が低い 1 灯については不純物ガスは無視できるとした。

図 9 高圧ナトリウムランプの評価例

図 9 は、実験的に試作した高圧ナトリウムランプのうち通常のアーク放電開始電圧 V_s が高いもの、および低いものを各 1 灯ずつ比較した結果を示す。この場合の高周波電界の周波数は 4 MHz で、封入ガスは Xe であるが電子捕捉条件が満足されていることは前述と同じ方法で確認した。まず最初にそれぞれの RF. V_s を 5 回測定したところ有意差は無く、この時点では放電灯内部のガス状態は双方はほぼ等しい。したがって V_s が高い要因は電極にあるといえる。しかしこれらに 10 mA, 1 sec の DC グロー放電を数回行なわせた後、RF. V_s を測定すると、アーク V_s が低いものはほとんど RF. V_s が変化していないのに対し、 V_s が高いものは RF. V_s が上昇して大きな差異が現われている。そしてその値は、放電によるガスのクリーンアップ⁸⁾ のために測定のために減少している。RF. V_s の測定を繰り返して V_s の高いもの、および低いものの RF. V_s に差異が無くなった時点で、さらに DC グロー放電をさせると、その後の RF. V_s はアーク V_s の高いものでは再び上昇している。

この結果は、最初に考えたようにアーク V_s の高い要因が電極にあるとするより、電極に吸着している不純物ガスが、グロー放電によりガス空間中に放出されるためと考えたほうが、説明がつく。

表 1 は 400 W タイプの同一形状の石英製発光管を用い、封入ガス、圧力を一定にして不純物ガス混入の原因およびその量を検

表 1 メタルハライドランプの評価例

Discharge Lamp			RF・ V_s (V)		(B)/(A)	Impurity Gas Partial Pressure
No.	Hg	MX	Initial (A)	Aging (30min) (B)		
1	×	×	474	457	0.96	—
2	×	×	496	487	0.98	—
3	○	×	141	138	0.98	—
4	○	×	141	138	0.98	—
5	○	○	139	395	2.84	7×10^{-2} (Torr)
6	○	○	138	235	1.76	2.8
7	○	○	140	272	1.94	3.5
8	○	○	138	223	1.55	2.5
9	○	○	138	256	1.85	3.2
10	○	○	146	302	2.06	3.7

討した結果を示す。No. 1 と No. 2 のランプは希ガスだけ、No. 3 と No. 4 は希ガスと Hg, No. 5 から No. 10 は希ガスと Hg とハロゲン化金属を封入してある。第 2 欄には点灯前の RF. V_S 値, および 30 分間定格で点灯したあと, 十分長い時間放置してから測定した RF. V_S 値を示す。また第 3 欄は点灯前後の RF. V_S 値の比を示す。希ガスだけ, あるいは希ガスと Hg だけを封入したものは, 点灯後の RF. V_S はやや減少しているのに対し, ハロゲン化金属を封入したものは, 点灯することによって RF. V_S 値が上昇している。希ガスと Hg を封入したものの RF. V_S は, 点灯前にはハロゲン化金属の有無によって差異が無いこと, またハロゲン化金属を含まないものでは, 点灯によって RF. V_S が上昇しないことを考えると, この上昇は放電灯の製作時にハロゲン化金属が外部から不純物ガスを持ち込んでいたためといえる。そしてさらに, 30 分点灯後の不純物ガスが H_2 (H_2O で混入しても点灯によって H_2 に分解) とすると前同様, 不純物ガス混入量と RF. V_S の関係からその分圧は第 4 欄に示される値程度と推定される。

6. む す び

放電灯内の封入ガスを, 放電灯を破壊することなく電極とは分離して定量的に評価するため, 高周波電界による放電破壊現象を利用することを検討した。具体的には放電灯の発光管を 2 枚の平行平板ではさみ, この平板間の高周波電圧を上昇していった, 放電管が放電破壊するときの電圧を測定するものである。この場合, 管壁近傍で発生した荷電粒子による管内面での γ 効果が問題と考えられるが, 電子捕捉条件が満足されるような周波数の高周波電界を用いれば γ 効果はほぼ無視できる。通常の放電灯ではこ

の条件は数 MHz 以上で満足される。そしてそのときの放電破壊の電界強度は, 放電管のサイズとガスの特性だけに依存する。したがって RF. $V_S(E_B)$ の測定により封入ガス圧力あるいは, 不純物ガス量を電極や管壁表面の影響を受けることなく, 非破壊で定量的に評価できる。また, これと従来の直流的 V_S との関係より電極の分離評価も可能である。次に本評価法を実際の高圧放電灯に応用してみた結果, 不純物ガスの混入量の推定, あるいはその挙動を探る上で本方法は有効な方法であると判明した。

最後に, 本研究にご指導をいただいた東京芝浦電気軽電技術研究所次長小川一行博士に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) Terashima, Inouye and Ogawa: J. Light & Vis. Env. 2-1 (1978) 2
- (2) Inouye, Terashima and Ogawa: J. Light & Vis. Env. 1-1 (1977) 24
- (3) Bergmann: Proc. XII th Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gas (1975) 85
- (4) MacDonald: Microwave Breacdown in Gases, John Wiley & Sons (1966)
- (5) Brown: Introduction to Electrical Discharges in Gases John Wiley & Sons (1966)
- (6) 鷺見: 照学誌 59-2 (昭50) 590
- (7) たとえば, 渡部, 齊藤: 照学誌 62-4 (昭53) 175
- (8) 特開 昭52-68770

(受付1979年11月2日)