パルス立ち上がり時間による放電発光色の制御

専門会員 竜子 雅俊* 藤野 達士* 佐藤 輝男*
久保 寔** 専門会員 板谷 良平**

A Method to Change Luminous Color of a Positive Column by Controlling Pulse Rise Time

Masatoshi Ryohko (Fellow Member) Tatsushi Fujino Teruo Satoh
(Department of Electrical Engineering, Akashi Technological College)

Makoto Kubo and Ryohei Itatani (Fellow Member)
(Department of Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Kyoto University)

ABSTRACT

This paper describes a new method to change luminous color of a positive column of a low pressure Hg-Ne discharge lamp.

Pulses of triangle wave form, whose width, rise time and recurrence frequency had been changed widely, were applied to discharge lamps of 10 cm in interelectrode distance and from 1 cm to 5 cm in diameter.

The color of the positive column could be controlled electronically from blue to red by varying pulse rise time only, keeping pulse voltage, pulse width and pulse recurrence frequency constant.

In general, when the pulse rise time is shorter than 10 μ s, the color is red and, on the contrary, it is blue when the rise time is longer than 150 μ s.

The optimum recurrence frequency, at which the change of color from red to blue and vice versa is favorable by varying only the pulse rise time, has such a relation with diameter of discharge lamp that $f=210/(2R)$ Hz and is insensitive to change of the pulse width.

1. はじめに

視覚を通して情報を伝達する場合、多色表示することは見る者に印象強く訴えるだけでなく、伝達情報の量の増大ならびに質の向上をももたらすので、単一色表示に比べてきわめて有効である。種々の表示装置や光源においても、この多色化への努力は行なわれてきている。しかし現段階では、ネオンサインや電光サインのように色の異なる光源（光点）を並置する方法、または舞台照明光源のように、フィルタの切り換えによる方法のいずれかである。前者においては光の色を変えると光の位置が変わる。後者においては、機械的方法では速応性を欠き、電子的方法には液晶を用いる方法があるが速度は早くない。また、いずれの場合にも光の色を連続的に変化させることはできない。

これに対し、筆者らは1個の放電管の発光色を外部点灯回路で電子的に制御する“可変色放電”の研究を進めてきた^{1)~3)}。

これは原理的にパルス放電であって、パルスの繰り返し周期ならびに、パルス幅を変えることによって発光色を変えるものである。しかし、周期やパルス幅を大幅に変える方法は色の変化とともに輝度が変化するので実用的でなく、またこの放電を（現在単一色表示である）プラズマ・ディスプレイに応用することを考えると周期は一定でなければならず、パルス幅も大きく変えるのは好ましくない。この二つのパラメータ以外に発光色を制御できそうな因子としては、パルスの波形が考えられる。

筆者らは放電に三角パルスを使用し、その立ち上がり時間を変えることによって発光色を制御する方式について実験を行ない、上述の方法と同様、可変色放電が可能なことを確かめた。必要とされる長さ・径の放電管に対して、封入ガス圧、電源電圧、パルス幅、繰り返し周波数など、他の選択の許される放電諸因子が発光色にどのように影響し、かつそれらの因子をどのような値に設定すべきかについても実験を行なった。

本論文は、パルス繰り返し周波数とパルス幅を一定にしたままでパルス波形だけによって放電の発光色を制御する方法についての研究結果を述べたものである。この方法では周波数とパルス幅を変えずに発光色を制御できるだけでなく、色を変えても放電陽光

* 明石工業高等専門学校電気工学科

** 京都大学工学部電子工学教室

この論文の一部は、電気関係学会関西支部連合大会（昭和53年11月）G13-9で藤野が、照明学会全国大会（昭和54年4月）23で竜子がそれぞれ講演している。

柱の輝度はほとんど変わらないので、可変色放電の実際的な利用およびプラズマ・ディスプレイへの応用にたいへん有効である。

2. 可変色放電の原理と発光色制御方式

放電中の電子の運動エネルギーを外部回路で電子的に制御することにより、発光色を変えるのが可変色放電であるが、その原理について詳しいことは省略する(文献1参照)。Ne と Hg とを混合封入した放電管にパルス電圧を印加し、陽光柱電界の時間的变化を利用して発光色を制御するパルス制御方式には、次の3とおりが考えられる。

2.1 パルス幅による制御

図1(a)のようなパルスで放電させる場合、立ち上がり部分(A部)では赤色が、後のほうのBの部分では青色が原則的には発光する。周期 T を適当な値に保ち、パルス幅 τ を小さくすればA部分の占める割合が大きくなるので発光色は赤色となり、逆に τ を大きくすればB部分の占める割合が大きくなり、発光色は青色となる。この場合、赤色発光時の duty factor τ/T は青色発光時のそれよりも小さいので、電圧を一定とするならば赤色は青色より暗い。

図1 各種パルス波形

2.2 繰返し周期(周波数)による制御

パルス幅 τ を小さな値(一定)にしておいて、周期 T を大きくすると放電休止時間 $T-\tau$ が大となり、管内の消イオンが進行するのでA部分での電界は大きく、したがって発光色は赤色となる。逆に T を小さくすると残留イオンが多くなるためにA部分での電界は大きくなり、発光色は青色となる。この場合にも赤色発光に対する τ/T は青色発光のそれよりも小さいので、2.1同様、赤色は青色よりも暗いことになる。

2.3 パルス立ち上がり時間による制御

図1(b), (c)のように、パルスの立ち上がり時間が異なる2種類の三角パルスで放電させる場合について考えてみる。立ち上がりの急峻な(b)の $\wedge$ 形パルスでは、立ち上がり部分で赤色が発光した後は電流が減少し、Bに相当する部分での青色発光が抑えられるので発光色は赤色となる。一方、立ち上がりの緩やかな(c)の $\nearrow$ 形パルスでは急激な電圧印加が行なわれないので、立ち上がり部分での電界は大きくなり、赤色発光が抑えられ発光色は青色となる。そして図1(d)のようにパルスの立ち上がりを連続的に変えると、発光色は赤と青の間を連続的に変化するものと考えられる。このとき周期 T およびパルス幅 τ を一定にしておけば、 τ/T は一定となるので、発光色が変化しても輝度はほとんど一定となる。輝度を変えないで発光色が変わえられるということは、実用上たいへん都合である。しかも周期 T 、幅 τ は共に一定のままでよいので、マトリックス電極を用いるプラズマ・ディスプレイへの応用も原理的に可能となる。

このようにパルス立ち上がり時間による制御方式は、回路が多少複雑化するものの利点が多い。

3. 実験装置および実験方法

3.1 放電管

実験に使用した放電管は基本的には図2に示すような構造で、直円筒のガラス管内に1対の平板電極を対向させたものである。管径については主として、1 cm ϕ 、1.95 cm ϕ 、2.73 cm ϕ 、4.7 cm ϕ の4種類とした。電極間距離はいずれも10 cmである。放電管には十分な量のHgと、所定の圧力のNeとが封入されている。Neの圧力は主として8, 16, 32, 64 Torrについて実験を行なった。その他にも数種の管径、封入圧の放電管を作って補助的な実験に供した。特に電極間距離を任意に変える場合には可動電極放電管を使用した。

図2 放電管

3.2 点灯回路

図3(a)に示すのが基本点灯回路で、直流電源、放電管、トランジスタの三つが直列に接続されている。電源電圧はゼロから2,000Vまで変えられる。パルス発生回路で周期・幅・立ち上がりを設定された三角パルスをトランジスタのベースに入力し、放電の発光色を制御する。そしてこのベース電流の振幅によって放電管の輝度を調節する。この回路では放電管の電極はどちらも接地されないで、管電圧の波形観測には不便である。電圧波形を観測する場合には同図(b)の回路を用いた。

図3 点灯回路

3.3 実験方法と光学測定

放電管内のHg蒸気圧は管壁温度によって変動するので、放電管全体を恒温槽に入れて温度管理しながら実験を行なった。温度は -50°C から $+150^{\circ}\text{C}$ まで変えられる。

スペクトルの測定には、図4に示すように回折格子モノクロメータを使用し、光電子増倍管の出力は増幅器を通してシンクロスコープで波形を観測するとともに、平滑増幅回路を通して分光分布をペンレコーダに記録する。この分光分布から計算によって発光色の色度を求める。輝度の測定には $1/3^{\circ}$ のスポット輝度計を用いた。

図4 光学測定系

4. パルス立ち上がり時間と発光色

立ち上がりの急峻なパルスで放電させると発光色は赤色となり, 立ち上がりの緩やかなパルスでは青色になるであろうことは前に述べた. そのことを確かめるため, 繰返し周波数を 100 Hz, パルス幅を 300 μ s に保っておいて, 立ち上がり時間を

図5 電圧・電流・発光波形
(a)(b)(c)共 横軸 50 μ s/div, 縦軸上から(1) ベース電流 (ピーク一定), (2) 放電管電圧 500 V/div, (3) 放電電流 500 mA/div (4) 435.8 nm HgI, (5) 640.2 nm NeI (4), (5) は任意単位 (一定) $2R=1.95$ cm, $L=10$ cm, Ni 電極, Ne 封入圧 15 Torr, 周囲温度 20°C, 電源電圧 1 kV, $f=100$ Hz, $\tau=300$ μ s, τ_r : (a) 0.7 μ s, (b) 75 μ s, (c) 300 μ s, 輝度 50 nt

0.2 μ s から 300 μ s まで変えて実験を行なった.

まず 図 5 に放電電圧, 電流, 発光スペクトルなどの波形を示す. 図 5 (a), (b), (c) はパルス立ち上がり時間がそれぞれ, 0.7 μ s, 75 μ s, 300 μ s の場合で, 各図共上から順に点灯制御トランジスタのベース電流, 放電管電圧, 放電電流, HgI 435.8 nm, NeI 640.2 nm の波形を示す. 立ち上がりが緩やかになるにつれて Ne の発光が弱まるとともに, Hg の発光が強くなっていくことがわかる. このときの発光色と陽光柱輝度の変化の様子を 図 6 に示す.

図6 パルス立ち上がり時間による発光色と輝度の変化
図中の数字は上側立ち上がり時間, 下側 ( ) 内輝度を示す.

立ち上がりが急峻であれば発光色は赤色であるが, 立ち上がりが緩やかになるにつれて青色となっていく, 発光色は赤と青の間を連続的に変化することが確かめられた. 立ち上がり時間が 10 μ s ぐらいまでは発光色は変化せず, 10 μ s から 100 μ s ぐらいまでの影響がきわめて大きい. すそ幅の半分の 150 μ s から最後 300 μ s までの立ち上がりの影響は小さく, 発光色はわずかにしか変化しない. この間, 発光色は色度図上で赤と青の間を直線的に移動している.

一方, 輝度は立ち上がりの両極端の赤色と青色で 50 nt であるのに対し, 立ち上がりの中ぐらいな中間色の領域ではやや低下し, 40~100 μ s で最小の 40 nt となっている. しかし, この程度の変動は実用上はほとんど問題にならないと考えられる.

ここで重要なのは両端の発光色の色度差である. 中間の色を出すのは容易である. したがって, この赤・青両端の色度差 (変色幅) ができるだけ大きくなるように, Ne 封入圧, 電源電圧, パルス幅, 繰返し周波数などの諸因子を設定しなければならない.

5. 発光色に影響を及ぼす放電諸因子とその適性値

放電の発光色に関係する因子には, 製作された放電管に付随したものと点灯時に回路側で選定できるものとがある. パルス立ち上がり時間だけで発光色を制御しようとする場合に, これらの放電諸因子が発光色にどのように影響し, かつそれらの値をどう設定すればよいのかについて実験結果をもとに述べていく.

5.1 放電管に係わる因子

放電管側に係わる因子としては, (1)管径, (2)電極間距離, (3)電極面積, (4)Ne 封入圧, (5)Hg 蒸気圧の五つが挙げられる. これらのうち, (1)と(2)は文字など表示上の “needs” から決まるもの

である。これに対応して(3), (4)および回路側の因子の値を選定することになる。

5.1.1 管 径

管径は消イオンの速度に大きな影響をもつので、繰返し周波数の最適値に影響するはずである。事実、実験によってこのことを確かめその関係式を求めた。詳細は5.2.4 繰返し周波数の項で述べるが、それによると管径を大きくすると繰返し周波数を小さくしなければならない。人間の目は40 Hz 以下ではちらつきを感じるので、使用できる放電管の径には上限があることになり、それはおよそ5 cm ϕ である。

また、管径は放電開始電圧*に影響し、管径が小さくなるほど放電開始電圧は大きくなるので、電源電圧を大きくしなければならない。

5.1.2 電 極 間 距 離

放電開始電圧は、電極間距離とともにほぼ直線的に増大するので、電源電圧の値を決定する場合には電極間距離の影響は大きい。しかし電源電圧を十分大きくしておけば、発光色に対して直接影響するものではない。

5.1.3 電 極 面 積

可変色放電は duty factor の小さいパルス放電であるから、平均電流に比べてピーク電流は相当大きな値となっており、数アンペアに達することもまれではない。したがって、平均電流はそれほど大きくなくとも電流のピーク時に陰極面積が不足となれば、スポットを生じて動き回り放電が不安定となる。陰極単位面積当たり安定に流し得る電流値はNeの封入圧によって決まる。一例を表2に示す。Ne封入圧と必要な輝度とから電極面積を決めることになる。

5.1.4 Ne 封 入 圧

Ne封入圧の選定に際しては、発光色のほかに負グローの厚さ、放電電流(輝度)の上限、放電開始電圧を考慮する必要がある。

(1) 発 光 色

Ne封入圧は、Ne原子数およびNeとHgの分圧比を決定し、消イオンの速度にも影響するはずであるから、発光色に対しても当然影響を及ぼすことが予想される。そこで、Ne封入圧が8 Torr から64 Torr までの4本の放電管(管径1.95 cm ϕ)を使用し、繰返し周波数を40 Hz から2 kHz まで変えて発光色の变化を調べた。パルス幅は Λ 形、 Δ 形共に150 μ s一定とし。陽光柱輝度は50 nt一定とした。その結果を図7に示す。Ne封入圧をパラメータとし、横軸に周波数、縦軸にCIE色度図の x 座標をとってある。本論文で扱っている可変色放電は赤 $\leftrightarrow$ 青変色であり、図6の例のように、発光色は色度図上の決まった直線($y \approx 0.247x + 0.180$)に沿って動く。したがって発光色は x 座標だけで決まるといえる。

Λ 形パルスによる発光色には、Ne封入圧による差異がほとんどないが、 Δ 形パルスによる発光色のほうは、 x の最大値が圧力によって多少異なっていて、16, 32, 64, 8 Torrの順に大きい。すなわち、十数 Torr 以上ではNe封入圧の小さいほうが赤の発光色が良く、 Δ 形 Λ 形の色度差も大きい。しかし、発光色-周波数特性に対するNe封入圧の影響については、あまりはっきり

図7 Ne封入圧をパラメータとした発光色周波数特性

した傾向は示していない。実用上、Ne封入圧の違いによって周波数を変える必要はほとんどない。

(2) 負グローの厚さ

可変色放電で発光色が変わるのは陽光柱であり、負グローの色はNeの赤橙色のまま変わらない。したがって使用に際してはこの部分は何らかの方法で隠さなければならない。放電ディスプレイなどでは、負グローを見えなくするには構造に多少の工夫を要すると考えられるが、このような場合には負グローの厚さはたいへん重要である。Ne封入圧が8 Torr から64 Torr までの4種類の場合について、負グローのおよその厚さを実測した結果を表1に示す。Ne封入圧が大きくなるにつれて急激に薄くなり、64 Torr ではほとんど測定できないほどである。この厚さは管壁温度(Hg蒸気圧)によっても大きく変わり、150°C (2.8 Torr) では負グローは見えなくなる。

表1 負グローの厚さ

Ne封入圧 (Torr)	8	16	32	64
負グローの厚さ (mm)	10	3	0.3	~0.1

2R=1.95 cm, L=10 cm, Al電極, 周囲温度: 17°C, 輝度50 nt
電源電圧: 1 kV, f=100 Hz, $\tau=300 \mu$ s, Λ 形パルス

表2 陰極点でできるはじめる電流密度(ピーク値)およびそのときの輝度

Ne封入圧 (Torr)	最大輝度 (nt)	電流ピーク値 (A)	電流密度ピーク値 j_p (A/cm ²)	j_p/p^2 (mA/cm ² Torr ²)	j_p/p_1
64	500	5	2.24	0.55	6.63
32	250	2	0.9	0.88	7.03
16	150	0.7	0.32	1.25	6.60

2R=1.95 cm, L=10 cm, Al電極, 周囲温度: 15°C
電源電圧: 1 kV, f=100 Hz, $\tau=300 \mu$ s, Λ 形パルス

(3) 放電電流(輝度)の上限

電極面積の項で述べたように、陰極電流密度には上限があり、その値はNeの封入圧で決まる。表2にその実測例を示す。この上限はおおよそ封入圧の1.4乗に比例しており、封入圧の大きいほど輝度を大きくできる。

(4) 放電開始電圧

放電開始電圧は、Ne封入圧の増大とともに大きくなる傾向はあるが、常温付近ではその影響は比較的小さいので、電源電圧の選定にはさほど影響しない。

* パルス電圧の波高値を徐々に上げていって放電しはじめるときの値を指す。
今回の実験では周波数は40 Hz 以上、パルス幅は数十 μ s 以上であるが、この範囲では実測の結果、周波数やパルス幅によってほとんど変わらず、直流放電の開始電圧とほぼ同じ値であった。

5.1.5 Hg 蒸気圧 (管壁温度)

放電管には Hg が十分多量に封入されているので, Hg 蒸気圧は管壁温度によって変動する. Hg 蒸気圧は放電開始電圧, 負グローの厚さだけでなく発光色にも影響を及ぼす. 極端な場合には変色が不能となったり (低温), 可変色そのものが異質となる (高温) こともある²⁾. 放電管はけい光灯などと同様, 特に温度管理せずに使用するのが通常であるから, 温度特性を無視することはできない. しかし, 放電開始電圧は常温付近ではほぼ最小となり, 発光色も常温付近が最も良い. 本論文では温度は常温付近に保ち, 温度特性およびその補償法については省略する.

5.2 点灯回路に係わる因子

点灯時に, 放電管に合わせて回路側で選定する因子には, 電源電圧, 放電電流, 繰返し周波数, パルス幅の四つがある.

5.2.1 電源電圧

使用する電源の電圧は, 放電開始電圧以上でなければならないのは当然であるが, 放電が可変色となるための電圧は通常, 開始電圧より相当大きい. 電源電圧による発光色の変化の一例を図 8 に示す. 繰返し周波数を 150 Hz, パルス幅を 150 μ s, 輝度を 50 nt にそれぞれ保ち, 電源電圧を 400 V から 1 kV まで変化させた. Δ 形パルスによる放電の発光色は, 電源電圧によらず一定 (青) である.

図 8 電源電圧による発光色の変化

一方, Δ 形パルスの場合には, 電源電圧の変化に伴ってその発光色が大きく変化している. 図は放電開始電圧 450 V, 維持電圧 170 V の場合であるが, 放電開始後電源電圧をいったん下げて 400 V とした場合には, Δ 形パルスによる発光色とほとんど同じ (青色) である. 電圧の上昇とともに赤色が強くなり, やがて一定となる. 発光色が赤色となるためには, パルスの立ち上がり時に大きな電界が必要である. そのために電源電圧は放電開始電圧よりある程度大きくなければならないと考えられる. 電源電圧はあまり大きくしても効果はなく, 両パルスによる発光色の色度差が十分な大きさになるように設定すればよく, 図の例では 800 V 以上であればよい. 開始電圧と必要電源電圧の差は管径が細い場合は小さく, 太くなるほど大きくなる傾向がある.

5.2.2 放電電流 (輝度)

陽光柱の輝度は放電電流 (平均値) で調節する. 極端に輝度の小さい場合を除き発光色にはさほど大きな影響はない. ただし, 実験用の放電管には Hg 十分多量にはいっているのので, 電流を大きくしていくと管壁温度が上昇し, Hg 蒸気圧が増大して発光色に影響を及ぼすことがある.

5.2.3 パルス幅

繰返し周波数を 150 Hz 一定にしておいて, パルス幅を変えた

ときの発光色の変化を図 9 に示す. Δ 形パルスによる発光色は 15 μ s から 1 ms までの広い範囲にわたってほとんど一定 (赤色) であり, 1 ms を超えると青色に向かっていく. 一方, Δ 形パルスの場合にはパルス幅が狭いと赤色が強く, 15 μ s ではほとんど Δ 形パルスと同じであるが, 幅を広くするにつれて青色が強くなり, 150 μ s 以上ではほとんど一定 (青色) となる. 両パルスによる発光色の色度差は, 150 μ s から 1 ms までの広い範囲にわたって一定になるので, パルス幅の値はこの範囲から任意に選べることになる. 電極をマトリックス状に配置するディスプレイパネルでは T/τ が掃引行数の上限となるので, τ は小さいほうが望ましいが, 単一放電管では特別問題とならない. 図の管径 1.95 cm ϕ の場合, τ は最小 150 μ s でよかったが, 管径がこれより小さい場合 τ はもう少し広いほうがよく, 温度の低い場合も広めが良いので, 単一放電管では 300 μ s 程度にしておけば, ほとんどの場合に適合する.

図 9 パルス幅による発光色の変化

5.2.4 繰返し周波数 (周期)

パルスの立ち上がり時間だけによって発光色を制御する方式では, Δ 形, Δ 形両パルスによる発光色の色度差ができるだけ大きいことが望ましい. そのためには繰返し周波数を適切な値に設定することが最も重要となる. 1 cm ϕ から 4.7 cm ϕ までの 4 種類の管径の放電管を使用し, パルス幅を 150 μ s 一定とし, 周波数を 40 Hz から 2 kHz まで変化させたときの発光色の変化の様子を図 10 に示す. Δ 形パルスによる発光色は, 管径の大きい放電管では周波数に対してほとんど変動しないが, 管径の小さい放電管では周波数が低くなると Ne の発光がみられるようになり, 白っぽくなる傾向がある. 一方 Δ 形パルスによる発光色は, 周波数の低いところでは赤色であるが, 周波数が高くなるにつれて青色に向かい, 遂には Δ 形パルスによる発光色と同じになってしまう.

図 10 繰返し周波数と発光色の関係

この発光色-周波数曲線 ($x-f$ 曲線) に関して興味深いのは、どの管径についても曲線の形はほとんど同じで、ただ管径によって周波数が平行移動しているということである。つまり管径が小さくなると曲線が周波数の高いほうへ移動していくのである。

各管径に対する最適周波数は、両パルスによる発光色の色度差が最大となる周波数を求めるのが基本となる。

CIE 1931 標準色度図 ((x, y) 色度図) 上で表わされる二つの色度点間の距離は、感覚的な色の性質の差に比例しない。CIE では、感覚的により均等な色間隔を問題とする場合には、CIE UCS 色度図 ((u, v) 色度図) を用いることを推奨している。そこで、今問題にしている両パルスの色度差を (u, v) 色度図上での距離で表わすことにする。Λ形、Λ形パルスに対する発光色の座標をそれぞれ、 (u_r, v_r) , (u_b, v_b) とし、その2点間の距離を Δw とすれば、 $\Delta w = \{(u_r - u_b)^2 + (v_r - v_b)^2\}^{1/2}$ となる。この Δw をもって色度差とする。

図10の実験結果を (u, v) 色度図に移し替えて Δw を求め、その周波数に対する変化を 図 11 に示す。 $\Delta w-f$ 曲線も $x-f$ 曲線と同様に管径によって周波数が移動している。 Δw の最大値付近では曲線は比較的平坦であるから、適性周波数には多少の幅が許される。そこで、最終的に最適周波数を求めるには実際に点灯し、 Δw の最大となる周波数の前後で、赤・青双方の発光色が目で見て良い色となる周波数を探し出すことになる。

図 11 Λ形、Λ形パルスによる発光色の差異 Δw の周波数と管径による変化 (図10の移し替え)

各管径に対する最適周波数は、温度 20°C の場合、4.7 cm ϕ でおよそ 40 Hz、2.73 cm ϕ で 70 Hz 前後、1.95 cm ϕ で 100 Hz 前後、1 cm ϕ で 210 Hz 前後である。また、別の目測実験では 0.5 cm ϕ に対しておよそ 450 Hz という結果も得ている。これらの結果から、内径 $2R$ (cm) の放電管に対する最適周波数 f (Hz) は、実験式

$$f \approx 210 \cdot (2R)^{-1.1} \text{ (Hz)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

で表わすことができ、0.5~5 cm ϕ の放電管に対して点灯実験とよく合致する。前述のように周波数には多少の幅が許されるので、

$$f \approx 210 / (2R) \text{ (Hz)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

としても実用上はほとんど問題ない。

6. 考 察

可変色放電に関するパラメータについて実験結果を述べてきたが、これらのうち応用上重要なものについて若干の考察を加える。

(1) Ne 封入圧について

この可変色放電は利用する立場からは、陽光柱だけが有効である。陰極は全面負グローでおおわれて赤色だけを示し、いわゆる異常グロー放電であるので、負グローの厚さは薄いほどよい。一般に負グローの厚さは、正規グロー・異常グロー共に p^3 に逆比例するといわれているが⁴⁾、これは直流放電の場合である。表1の実測値によれば、およそ p の2乗強に逆比例しており、パルス放電であることを考えると一応妥当な傾向であるといえよう。

(2) 管径 $2R$ と最適周波数 f の間の関係について

管径一定として、最適周波数より高い周波数では赤が出にくく、より低い周波数では赤は出やすいかわりに青が出にくくなる。このことは、可変色に都合のよいパルス休止時間の存在を示しており、残留イオンの最適値を与えるパルス間隔によって、最適周波数が決まるであろうことを暗示している。

軸方向に一樣な陽光柱では、(2)式を変形することにより、

$$f = \frac{210}{2R} = 52.5 \times \frac{2\pi R}{\pi R^2} = 52.5 \times \frac{\text{断面的周辺長 (cm)}}{\text{放電管断面積 (cm}^2\text{)}} \text{ (Hz)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

と考えることができる。ここで断面が円形ではなく、 a (cm) $\times b$ (cm) の矩形の放電管に対して上式を適用してみると、

$$f = 52.5 \times \frac{2(a+b)}{ab} \text{ (Hz)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。筆者らは 1.5 cm $\times$ 4.6 cm の放電管を試作したが、(4)式によれば、 $f \approx 93$ (Hz) となる。この値は実験して得られた最適周波数がおおよそ 90 (Hz) であることとよく一致している。

以上のことから、断面の形が軸方向に一定な放電管の最適周波数は実験的に $f = 52.5 \times (\text{断面周辺長} / \text{断面積})$ としてよいといえる。

パルス休止期間中に放電空間から消えていくイオンは、再結合を無視すれば軸方向に一樣で十分長い陽光柱では、

$$\frac{d\bar{n}}{dt} = \frac{S}{V} \Gamma = \left(\frac{\text{周辺長}}{\text{断面積}} \right) \bar{n}u \quad \dots\dots\dots(5)$$

と表わすことができる。ここで、 $\bar{n}$ はイオンの空間平均密度、 u はイオンの等価流失速度、 V は放電空間の体積、 S はその表面積、 Γ は S から出ていくイオン流束である。

この系の時定数は $V/S = A$ において、 $\tau \approx A/u$ となる。拡散理論に従うとすれば $u \approx D/A$ (D は拡散係数) であるから、最適周波数は $f \approx D/A^2$ となるはずであるが、これは実験と合わない。 u が A によらないと仮定すれば、 $fA = \text{const}$ となり、実験結果を一通り説明できるが、この仮定の成立については別途吟味する必要がある。

(3) ディスプレイパネルの構成について

画像の分解能は画素径で決まり、掃引可能行数は T/τ で決まる。ところが画素径 ($2R$) と周波数 f の間には $f \approx 210/(2R)$ の関係があるから、掃引可能行数 N_m は

$$N_m = T/\tau = 1/f \cdot \tau = (2R)/210 \cdot \tau \quad \dots\dots\dots(6)$$

で表わされる。パルス幅 τ を 300 μs とすれば、 $N_m \approx 16(2R)$ となる。この N_m より行数の多いパネルを作る場合は、 N_m 行を単位としたパネルをいくつか並べて構成することになる。画素が大きいほど掃引行数の多いパネルが作れる。

(4) 駆動回路について

今後この制御方式により、可変色放電の実用化を進めていく上で、回路的に問題になると考えられるのは次の点である。

(a) 高圧直流電源を必要とする上に、三角波の立ち上がりを変

えるので回路がやや複雑となり, 装置全体が大がかりとなる。

(b) 制御トランジスタを線形領域で使用するの、コレクタ損失が大きくなり, トランジスタの負担が大となる。

(c) 現在入手可能なトランジスタの耐圧は高々 2,500 V であるので, ネオンサインのような長い放電管は制御できない。

これらの問題点に対しては種々の解決法が考えられ, 筆者らは引き続き基礎実験を行なっており, 近い機会に稿を改めて報告する予定である。

7. む す び

放電の発光色を電子的に制御する方法として, パルスの立ち上がり時間を利用することを試み, 周波数とパルス幅を一定としたまま陽光柱の発光色を Hg の青色から Ne の赤色付近まで連続的に変えられることを実証した。

可変色放電の設計に際して, 放電諸因子をどのような値に設定すべきかについては次のことが明らかとなった。

(1) Ne 封入圧は十〜数十 Torr であれば, 可変色放電管として使用できる。発光色は圧力の低いほうが良いが, 負グローを薄くしたい場合, および輝度を大きくしたい場合には圧力が高いほうがよい。

(2) 電源電圧は赤色が十分発光できる値に選ぶ。この値は一般

に放電開始電圧より大きい。

(3) パルス幅は 150 μ s ~ 1 ms であればよいが, 300 μ s ぐらいにしておけばほとんどの場合に適合できる。

(4) 繰返し周波数は, $f \approx 210 (2R)^{-1.1}$ とすればよい。実用的には $f \approx 210 / (2R)$ としてよい。

この制御方式により, 可変色放電を放電ディスプレイパネルに応用できる見通しとなった。筆者らは基礎実験によりそれが可能であることを確かめており, その方面の研究をも進めつつある。

今回は放電ガスとして Hg・Ne の混合気体を用いた。この方法は原理的に, 負グローと陽光柱で発光色を異にするいかなる単一または混合気体に対しても適用できることはいうまでもない。

おわりに, 本研究に対しご協力いただいた明石高専電気工学科鍛冶幸悦教授に深謝します。

参 考 文 献

- (1) 青野, 久保, 板谷: 照学誌 60-10 (昭51) 529~536
- (2) 竜子ほか: 電気学会光源関連装置研究会資料 LS-78-2, 3 (昭53)
- (3) 竜子ほか: 照明学会全国大会講演論文集 23 (昭54)
- (4) 野畑: 電学誌 81 (昭36) 155

(受付1981年4月30日)

11 月 号 掲 載 予 定 目 次

随 想	○ “ひょうそく” の思い出 ○ 四国・宇和島の照明講演旅行の思い出
施 設 報 告	○ 一中央鉄道病院一視器医学適正研究室の研究実験設備
資 料	○ まぶしさ量のチェックを基幹としたテニスコートの照明設計基準の提案 ○ 東北上越新幹線の車内照明について
委員会報告	○ 光源システム研究委員会公開研究会報 (昭和55年度第2回・第3回) ○ 実大火災実験における火災感知器ならびに簡易形火災報知機の作動に関する調査報告書 ○ 関西・編集懇談会報告
	その他