カタホレシス管の構造と応用

正会員 岩 田 倫 典* 正会員 宮 田 豊 夫**

Study of the Structure and its Application of the Cataphoresis lamp.

by Tomonori Iwata (Member) and Toyoo Miyata (Member)

(Dept. of Electric Engineering Defense Academy)

ABSTRACT

Though the cataphoresis phenomena was found in 1934, yet its application has not been studied.

The original cataphoresis lamp was proposed by Druyvesteyn, and we studied more advantaged structure of the cataphoresis lamp as a temperature indicator, and the length of poly color in the tube can be varied with the tube current and ambient temperature respectively.

The properties of seperated color and the sharpness of color transition are also studied in this paper from the view point of the nature of atoms in the tube. Poissoner current is also decided by the relation between the atom nature of rare gas and metal vapour.

論 文 要 旨

カタホレシス現象の発見は古く 1934 年にさかのぼるが、その応用は全くといって良い程かえりみられていなかった。

この現象の発見にともなうカタホレシス放電灯が、M. J. Druyvesteyn 氏によって提案された。筆者はこの放電管が、温度表示灯としての応用面を有し、さらに多色発光放電灯としての実用価値のあることを提案し、この放電灯の発光色が多色であり、かつこの発光帯の伸び、管壁温度および管電流によって容易に伸縮し、これが電流および管壁温度の関数であることを認めた。

この発光帯の境界は封入される希ガスの性質によって異なり、さらに Poissoner Current による境界の性質および磁界によるカタホレシスの各発光帯の不連続集束も論述する。

1. は し が き

カタホレシス現象は古く F. M. Penning 氏¹⁾によって発見され、M. J. Druyvesteyn 氏²⁾によって解析され、1, 2 のカタホレシス管がこの応用として提唱された。

しかしこの放電管はあまり実用性がないとして放置されていた。R. Rietz 氏と G. H. Diek³⁾氏は逆にこの現象をガスの浄化の手段として利用しようと提案している。

筆者はこの現象を積極的に利用し、新しいカタホレシス管を提案し、その実用化を報じて来ている⁴⁾。

カタホレシス管の特徴は 2 種以上のガスを同一放電管内に封入し、何ら外部より手を加えることなく同一管内に 2 色以上の発光を生ぜしめ、かつこの発光の領域が電

流および外圍温度により容易に変動する点である。

筆者の実験においては Hg-A, Hg-Ne の放電管を用いたが、この場合において、希ガスは媒体ガスとして管内に封入されるが、同時に封入される金属蒸気原子の、蒸気源の位置が最も大きな問題となり、この構造を各種作成し、その機構上の考察を試み、さらにこの特異なるガスの管内における配置に対して、磁界を加え不連続集束という現象を発見し、これが漂遊陰極としての応用性、または単なる光束の管内場所における移行の面からみても、はなはだ興味のある現象であることを報告する。

カタホレシス現象を利用し多色発光灯を作成することは、この応用として最も興味があり、この重要な点は各発光部分の境界の幅の決定である。この幅は封入ガスの物理的性質により大きく左右され、これをスペクトルの強度分布の測定より各種吟味を行った。

*防衛大学校電気教室（現日立製作所武蔵工場）

**防衛大学校電気教室

2. カタホレス管の構造

カタホレス現象とは 2 種以上のガスを同一放電管内に封入し直流点灯したとき、イオン化電圧の小なるものより陰極に集まり管軸にそって多色の発光をする現象である。

この現象を応用した放電管であるから、媒体ガスの種類および金属蒸気の源の位置と構造が問題になる。

筆者等の実験においては Hg-Ne、および Hg-A を用いたものであるから Hg の蒸気源の位置が問題になる。

※1 図は Hg 蒸気源としての水銀プールの構造を示したもので、(a)(b)(c)(d) の 4 つの形にそれぞれ分類される。

※1 図 カタホレス管の構造

(a)図は水銀プールが単に直線的に放電管主部とつながり、陰極前面において図のような関係を有する。これは水銀が管主部に入り易く、主部と分岐の端部の中間に水銀蒸気が付着し、放電管の主部の水銀蒸気圧を制御し得ない欠点がある。またこのため主部の水銀蒸気圧が外周温度で制御しうる範囲がはなはだせまい。

(b)図は放電管主部と水銀プールの継ぎ目に細いネックを作り、(a)図の放電管において認められるような水銀蒸気を、水銀蒸気の発生源の壁に付着しないようにしたものである。これは水銀蒸気を外周温度で制御するのに、きわめて有効で実験操作を容易にする。またこれは水銀粒が管主部に転入するのを防ぐ面で有効である。

(c)図は陰極端部において水銀蒸気源としてのプールの分岐を、管と直線になるよう設けたものであるが、これは電界によるポンプ作用が大きく働くために、温度範囲は(a)(b)より大きい。実用範囲は $15^{\circ}\text{C} \sim 16^{\circ}\text{C}$ である。これはプール分岐が管主部にない点が長所である。

(d)図は M. J. Druyvesteyn 氏によって初めて提案されたカタホレス管であるが、水銀粒がすぐ管主部に転入するため(a)図のカタホレス管より不利である。

3. 動作特性

カタホレス管とは一本の放電管に、2 色の発光領域を有するものであり、Hg-Ne および Hg-A のカタホレス放電においては、Hg 蒸気による発光帯の伸びがこの動作を決定する最も興味のある問題となる。この動作特性を明らかにするには、次の各項を検討することが必要となる。(1)管壁温度によって水銀発生帯長はどの様に

変化するか、(2)管電流によって水銀発光帯長はどの様に变化するか、(3)2 色発光したとき発光帯の境はどのような要素で決定されるか、(4)Hg 発光帯で Hg 原子はどのような分布をしているかである。

3.1 発光時の外観

Hg-Ne、Hg-A のカタホレス放電をしたときの各発光状況は、※2 図に示されることきものである。

2 図であきらかなとおり Hg-Ne のときの境界は明確であり、すり鉢状をなしているが Hg-A のときの境界は不明確である。このとき Hg 発光帯の長さは、電流によって容易に変化すると共に管壁温度で制御される。

※2 図 カタホレス発光状態

※3 図は Hg-Ne カタホレス管を用いたときの電流温度による Hg 発光帯の伸びの関係である。

※3 図 Ne-He 放電管の温度電流特性

の独立に行なわれるときは、M. J. Druyvesteyn 氏による運動量平衡の関係が成立する。

$$-D \frac{dN_a}{dx} \pi R^2 = 1.36 n_i \mu E + R^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし D : 拡散定数 N_a : 金属蒸気密度
 x : 陰極からの距離 E : 電位の傾き
 R : 管径 n_i : プラズマ内のイオン密度

(1)式が成立する条件は、金属蒸気による発光帯の電位の傾きが一定であり、また、イオンの移動度も一定でなければならない。この関係は Hg-Ne のときによく成立つ。

(1) 式を積分すれば (2) 式が得られる。

$$N_a(x) = N_0 - \frac{1.36 \mu n_i E}{\pi D} \cdot x \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし, N_0 陰極前面のイオン密度.

金属蒸気による発光帯の伸びを d とすれば, (2)式において $N_a(x)=0$ のときの x が d となる. (2)式における x の係数で μ_+n+E は電流密度を表わし, かつ発光帯の長さ d は一定温度時において N_0 は一定であるゆえ (3)式の関係が成立する.

$$d \propto \frac{1}{i} \dots\dots\dots (3)$$

第3図はこの関係の妥当なることを示している. ㉞3図の放電管は 8 mm Hg の Ne 管を用いたもので, 管径は 30 mm で電極間隔は 27 cm のものである.

Hg 発光帯長 d にわたって存在する Hg 原子の数は, (2)式を Hg 発光帯長 $x=0 \sim d$ まで積分すれば与えられる.

$$2\pi R^2 \int_0^d N_a \cdot dx = \frac{1.36\mu_+u_+E}{2\pi D} d^2 \dots\dots\dots (4)$$

この全原子数は管壁温度 T_0 で定められたものと等しい使用中の温度範囲においては, Hg 原子数は指数関数であたえられるから(5)式が導かれる.

$$N_a(T_0) = A \exp(bT_0) \dots\dots\dots (5)$$

(4)式と(5)式を等しいとおくことにより, (6)式が与えられる.

$$d = \sqrt{A} \exp(bT_0/2) \dots\dots\dots (6)$$

第3図の電流をパラメータとして書けば㉞4図が与えられる. これは(6)式の妥当性を更に明らかにする.

Hg-A のときは(1)式の関係が成立しないゆえ, この関係は成立しなくなる.

㉞4図 管壁温度とg帯の伸び

3.2 発光スペクトルによる吟味

前節においては Hg 発光帯の分布を, すべて外見上で吟味し, これが実験とよく一致することをのべたが, この発光帯の Hg 原子の分布をさらに CuCl_2 溶液フィルタおよび UG-1 フィルタと RCA 1P2B の光増幅管を用いることにより, Hg スペクトルの内 3654.8 Å, 3650.1 Å を探り出し, そのスペクトル強度を測定した. ㉞5図はその測定装置を示す.

Hg-Ne のときの Hg 原子の分布を示したものが㉞6図(a)であり, この図より明らかなごとく Hg 発光帯は

直線分布をすることがわかる. 直線領域よりはずれた領域は, いわゆる Poissoner 流であり, これは管壁附近の粘性流である. Hg 原子の分布の勾配と電流の関係を求めたのが㉞6図(b)である.

これは(2)式における μ_+n+E/D の一定の関係が正しいことを証明している.

Hg-A のとき, すなわち累積電離の行なわれるときは M. J. Druyvesteyn 氏による関係より一層複雑なものになる. H. Morgenorth³⁾ 氏はこのときの Hg 原子の分布を与えるものとして(7)式を与えている. これは累積電離の機構を考慮したもので, Hg-Ne の境界の分布式と似たものになる.

$$N_a(x) = N_0 \exp \left\{ -\frac{\alpha i}{\mu_+} \int_0^x \frac{S_{0\infty}}{kT_e} \cdot dx \right\} \dots\dots\dots (7)$$

ただし $\alpha = 1/D \cdot e \cdot \mu_+$ i : 管電流密度

$S_{0\infty}$: 累積電離を考慮せる衝突断積で x の関数

これは A を 8 mm Hg で Hg-Ne の放電管と同一のものを用いたもので, スペクトル測定による結果の㉞7図とよく一致する.

㉞5図 スペクトル測定回路

3.3 カタツス 発光の境界

カタホレスシ発光の境界を最初に取り扱ったのは, M. J. Druyvesteyn 氏により与えられ, この理論によれば運動量平衡の関係から(8)式が与えられる.

$$\begin{aligned} -D \frac{dN_0}{dx} \cdot \pi R^2 \\ = \beta \cdot S \cdot 1.36 R^2 \\ \left(N_{a+} \frac{dN_a}{dx} \cdot S \right) \end{aligned} \dots\dots\dots (8)$$

S は管壁電流 i_0 より次式で与えられる.

$$\begin{aligned} 1.36 R^2 \mu_+ n_+ E \\ = i_0 / e \cdot S \\ = 5.21 \mu_+ u_+ V_0 S \end{aligned}$$

㉞6図(a) Hg スペクトル強度と陰極からの距離

㉞6図(b) 管電流と Hg 原子密度の勾配

(8)式の解は

$$N_a(x) = N_0 \exp \left(- \frac{2.1 \times 10^{10} i \cdot \beta \cdot \lambda - \sqrt{k T_e / e} \cdot x}{D + 0.28 \times 10^{10} i \beta E / \lambda W \left(\frac{k T_e}{e} \right)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad (9)$$

但し $\beta N_a = n_+$ であり λ は電子の平均自由行程

この式において β は x の関数であるが、若し β を一定とすれば Hg-Ne に対しては $D \ll 0.28 \times 10^{10} i \beta / \lambda \cdot \left(\frac{k T_e}{e} \right)^{\frac{3}{2}}$ であり x の係数に単純なものとなる。

※7図 Hg-A のときの Hg スペクトル強度と陰極からの距離の関係

に示す測定装置を用いて x 軸をパラメータとして y 軸に対して測定した。

※8図 (a) は Hg-A のときである、※8図 (b) は Hg-Ne のもので、実線は直接測定したもので、点線は管中央の断面におけるスペクトルの相対強度である。これより管壁流の管中央のイオン流の値を知ることができる。またこれより Hg-Ne のごとくイオン化電圧の差の大きいものほど管壁流が大きい。

※8図 (a) y 軸方向の Hg スペクトル分布

※8図 (b) y 軸方向の Hg スペクトル分布 (点線は光源の量でスペクトル強度を割った相対値)

大きく、イオン化電圧の差の小さいものほど管壁流が小さいことがわかる。Na-Ne のときはほとんど管壁流になりカタホレス現象が管径方向に生ずる。※1表のカタホレス管として使用されうる原子の電離電圧と原子の関係よりみても明らかである。

※1表 電離電圧、準安定電圧

面積にある程度限界があることがわかる。この作成された放電管は高温表示灯としても使用可能であり、この発光色は温度および電流によって制御される。

4. 磁界による不連続集束

カタホレス放電が電子温度、空間電荷密度分布、電位の傾きよりみて、半導体の P-N 接合に似ていることを指摘したが⁷⁾、磁界によるカタホレス放電陽光柱の集束の状況ははなはだ興味のある様相を呈する。

一般に放電陽光柱の磁界による集束は、磁界に逆比例するが、カタホレス陽光柱のようにイオンの質量の全く異なるものが存在するとき、この磁界による集束がその位置により完全に異なることが了解されよう。

※9図 磁界による陽光柱の不連続集束

この点よりみて次のように推論される。すなわち多色発光放電灯は、これらのガスを任意に組みあわせれば可能であるが各原子のイオン化電圧、衝突断

面積にある程度限界があることがわかる。この作成された放電管は高温表示灯としても使用可能であり、この発光色は温度および電流によって制御される。

筆者は、この放電陽光柱に磁界を加える際、直線状放電管および円環状放電管の両者に関しての実験を試みた。※9図 (a) は直線型放電管に磁界を加えた際の集束の状況であり (b) は円環状放電管

※10図 各発光帯と磁界の関係

に磁界を加えたときの外観である。円環放電管のときは放電管内部に加えられ磁界の強さは、磁石中央磁界の約 $1/4$ であるが、この際における陽光柱の集束の状況は※10図に示されるようなものである。この機構と

しては Hg イオンおよび、Ne イオンの拡散係数および移動度の差によるものと考えられるが、細い希ガスの集束陽光柱と太い Hg 蒸気の陽光柱が、不連続的に集束する点に興味あり、筆者はこれを不連続集束となづけた。

5. む す び

筆者はカタホレスシ放電現象を取り扱って、以下のとき応用性のある点を指摘し、かつ、この放電現象自体が陽光柱の内部に空間電荷層を発生させる点で、各種の興味を抱いた。

(1) カタホレスシ放電管は温度表示灯として使用され、その応用性は大きい。

(2) 混合ガスを種々使い、カタホレスシ管を作成すれば高温の温度表示灯の製作が可能になる。

(3) 環状カタホレスシ管の磁界による、不連続集束の現象は鮮やかであり、希ガス発光帯と水銀発光帯の磁界による、集束の割り合いが甚だしく異なるために、希ガスの発光帯の集束プラズマのイオン源、または漂遊陰極の作成を可能にする。

(4) 混合ガスの電離電圧、電離能率の差はカタホレスシ発光の、各発光帯の発光境界の幅を規定する要素となる。この際各種の封入ガスの種類により発光境界の様相は異なり、かつ、これは多色発光放電灯を作成する上に重大なる示唆を与える。

なお本研究を行なうにあたり種々御指導頂いた、名大山本教授および山本研究室各位、ならびに防大安宅教授に謝意を表わします。(受付. 35-8-10. 再35-11-17)

参 考 文 献

- (1) F.M. Penning : Physica 1. 763 (1934)
- (2) M.J. Druyvesteyn : Physica 2. 255 (1935)
- (3) R. Rietz & G.H. Diek : J. appl. Phys. 25. 196 (1954)
- (4) 岩田：電子工業，8，63，昭34
- (5) 岩田：連大予稿，88，昭35
岩田：物理学会年会，2PH1，昭35
- (6) 岩田：電学誌，80，858，昭35
- (7) 岩田：電子工業，83，66，昭35
- (8) H. Morgenorth ; Ann, der phys, 3. 7. 373 (1959)

新 製 品 紹 介

超高出力ビームけい光ランプ

1. 名称 超高出力ビームけい光ランプ
2. 原理 特殊な電極構造，封入ガスを採用した超高出力けい光ランプ (FLR-110 EH) において，管の内面に 30° ないし 60° の開口部を残して，光反射物質およびけい光体を塗布した反射型けい光ランプである。

本ランプでは光束の大部分は透明な開口部分から射出されて，鋭い集光性をもっている。

3. 定格 寸法. 特性は下表の通りである。

型 式	種別	大きさ (W)	管径 (mm)	管長 (mm)	ランプ電流 (A)	口金	開口部光束平均寿命 (時間)
FLR-110E H・A・W	白色	110	38	1,150	1.5	R.D. C.	237,000 7,000

4. 用途 本ランプは特に設計された器具 (AFR 灯具) と組合わせて道路，橋梁，駐車場，滑走路等の照明を行なうものである。

5. 製作所 新日本電気株式会社