放射性物質フリー点灯管の開発

Development of Radio Isotope Free Glow-starters

◀キーワード：点灯管，放射性物質フリー，電極材質，放電開始時間遅れ，Zn-Ni，長残光性

大澤 滋
Shigeru Osawa

齋藤 明子
Akiko Saito

石光 一磨
Kazuma Ishimitsu

1. はじめに

従来，点灯管では特に暗所での始動性を改善するために，放射性同位元素（Radio Isotope：以下 RI と記す＝放射性物質）を使用していた。この物質は， ^{147}Pm や ^{85}Kr などが知られており，例えば電極表面にめっき加工（ ^{147}Pm ）したり，ガスとして封入（ ^{85}Kr ）したりしている構造例がある。

この RI は極微量のため，破損した場合においても人体，環境に与える影響はほとんどないが，昨今の世界的な環境問題への関心の高まりの中で廃止が求められてきた。このような背景から，弊社では点灯管に使用している RI 廃止の検討を行い，代替技術を確立して2002年8月に RI を全廃した点灯管を開発した。本資料では，RI フリー点灯管に採用した主な技術について，E 形点灯管の例として100V 仕様の FG-1E を，P 形点灯管の例として200V 仕様の FG-4P をもとに解説する。

2. RI フリー化のための技術的課題

点灯管の始動性は蛍光ランプの点灯時間を決める重要な特性であり，点灯所要時間（スイッチを入れてから蛍光ランプが点灯するまでの時間）として JIS C 7603 に規定されている。

図1に点灯管の始動プロセスを示す。この中で，放電開始時間遅れ（スイッチを入れてから点灯管がグロー放電を開始するまでの時間）は，絶縁破壊のきっかけを作る初期電子の数が不十分であるために起こるもので，HID ランプ¹⁾や冷陰極蛍光ランプ²⁾³⁾などで報告されている。冷陰極放電管の一種である点灯管においては，従来，RI を初期電子の供給源として用いていたが，単に RI を抜いただけでは，光電効果による電子放出が期待しに

くい暗所において初期電子が不足するため，放電開始時間遅れが長くなり，JIS C 7603に規定される「暗所点灯所要時間10秒以下」を超えてしまう場合がある。この対策として，本開発では初期電子の確保，ならびに放電開始を容易にするための材料の選定を行い，RI フリー点灯管の実用化を図った。

3. RI フリー点灯管の開発

点灯管の品種は点灯する蛍光ランプに合わせて多様であり，品種ごとの要求特性に伴い，電極上にめっき，あるいは塗布される電子放射性物質（エミッター）の有無や封入ガス種が異なる。さらに，E 形と P 形といった口金形状の違いやキャップの材質も異なる。従って，その対策も品種ごとに複数必要である。

以下に主な対策内容を示す。

3.1 E 形点灯管

E 形点灯管の対策内容について100V 仕様の FG-1E を例に解説する。図2に E 形点灯管の構造を示す。一般的に，E 形点灯管は，100V 仕様の点灯回路に使用されるため，放電開始電圧を低減させるために，従来の構造は，電極表面に仕事関数の低い Ba，La などのエミッターが塗布されている。また，固定極の電極表面には RI がめっきされている。

一方，近年，一定以上のエネルギーを有し，かつ長残光特性をもつ長残光性蛍光体が開発されたことに伴い，暗所においても長残光性蛍光体の発する光によりエミッターを励起させて，光電効果による2次電子放出を促進させることで，放電開始時間遅れに対して有効であるこ

図1 点灯管の始動プロセス

図2 E 形点灯管の構造例

とが報告されている⁴⁾。なお、ここでいう長残光とは、通常の蛍光体よりも長時間りん光が継続されるもので、最近では時計の文字盤や安全標識などに使用されている。

そこで、E 形点灯管の RI フリー化を実現するための 1 つの解決手段として、上記の長残光性蛍光体の応用を検討した。図 2 に示すように、キャップの樹脂に長残光性蛍光体を混合することで、簡便に点灯管の電極周囲を長残光性蛍光体で覆うことができる。また、樹脂自体は可視光透過率の高いものを使用して、暗所においても蛍光体の残光や周囲の微量な光を効率よくエミッターに当てることで放電開始時間遅れに対して十分な効果を得ている。

具体的な実用例とその効果について以下に示す。長残光性蛍光体はその励起スペクトルや発光スペクトルの違いにより数種類存在するが、今回採用した蛍光体の励起スペクトルと発光スペクトルを図 3⁴⁾に示す。主に蛍光ランプが点灯している際に発する紫外光を吸収し、ピーク波長 440nm の青紫光を長時間発光するため、ランプ消灯後、次に点灯する際にその残光で励起される光電子を初期電子として利用する。

図 4 に実用化した RI フリー点灯管の暗所留置による

図 3 長残光性蛍光体の励起・発光特性

放電開始時間遅れを示す。なお、サンプルは 6000 回点滅耐久試験後のエミッターが飛散・消耗した状態（定格寿命相当）のものを供試した。JIS で規定されている暗所留置 15h では長残光性蛍光体含有キャップの効果で放電開始時間遅れはほとんど発生しない。また、暗所留置時間が長いほど残光強度の低下に伴い効果が薄れていくが、72h 程度までは放電開始時間遅れは最大で数 100ms であり、実用上の問題はない。

一方、図 5 に示すように、長時間（30 日）の暗所留置により残光による効果がほとんど期待できない状態でも、6000 回点滅後の特性は周囲照度が 0.01 lx 以上（三日月の明かり程度）あれば、ほとんど放電開始時間遅れしないことを確認している。

3.2 P 形点灯管

P 形点灯管の対策内容について 200V 仕様の FG-4P を例に解説する。図 6 に P 形点灯管の構造（200V 仕様）を示す。従来の構造では、固定極の電極表面に RI がめっきされているが、エミッターは電極には塗布されていない（100V 仕様では E 形と同様に電極表面に塗布されている）。

一方、P 形点灯管のキャップには熱硬化型のユリア樹脂を使用しているので、先述した E 形点灯管の対策のように、長残光性蛍光体をキャップに含有させることが成

図 5 周囲照度と放電開始時間遅れ（6000 回点滅後）

図 4 暗所留置条件下での放電開始時間遅れ（6000 回点滅後）

図 6 P 形点灯管の構造例

形上、困難である．そこで、以下に述べる別の手段を検討することにした．

200V 仕様の P 形点灯管の対策として、まずは、封入ガスを従来使用していた Ar 系から Ne 系に変更し、放電開始確率を低減することで放電開始確率を向上する方法を検討したが、放電開始電圧が下がりすぎると、ランプ点灯中に再点弧電圧で点灯管が再動作しやすくなるという欠点があり、また、それだけでは放電開始時間遅れの対策として不十分であることがわかった．封入ガスは、後述の電極材質との効果も複合して考慮し、種々の検討・試験を行った結果、Ne+Xe 混合ガスを採用した．

次に、RI フリー化の実現に向け、上記の封入ガス変更に加え、表 1 に示すように、仕事関数の低い電極材質を検討し、電子放出量の増加による放電開始確率の向上を図った．材料の選定に当たっては、従来の固定極に基材として使用していた Ni に対して、仕事関数が低く、かつ比較的安価な Zn に着目した．一方、Zn は Ni よりもスパッタ率が高いという欠点があり(表 1 参照⁵⁾⁶⁾)、寿命中の特性低下が懸念される．このスパッタを抑制する方法として、Zn と Ni を合金化した Zn-Ni を基材の Ni に電解めっきする方法を検討・試験した．Ba などのさらに仕事関数の低いものについては、先述の封入ガスの検討時と同様に再点弧電圧で点灯管が再動作してしまう問題があるため、200V 仕様の点灯管の電極材質としては採用しなかった．図 7 に各電極材質による暗所留置 15h 後の平均放電開始時間遅れと、その点滅始動回数 6000 回(定格寿命に相当)までの推移を示す．

従来の Ni 電極においては放電開始時間遅れが非常に

長いのに対し、電極表面に Zn および Zn-Ni をめっきすることで、初期の放電開始特性は大幅に改善されることが確認できた．一方で、点滅始動を重ねるごとに、Zn をめっきした電極においては特性が低下し、点滅始動回数 6000 回後には Ni 電極と同等になるまで特性が低下した．これに対し、Zn-Ni めっきした電極では、図 8 に示すように、点滅始動 6000 回後でも 50% 以上が 1 ms 以下で放電開始し、1 s 以内に 100% 放電開始する．点灯管始動時のばらつきを考慮しても実用上の問題はない．

次に、Zn と Zn-Ni でこのように点滅寿命中の特性に差が出る原因を調査した結果を示す．まず第 1 に、スパッタ率の高い Zn 単体では、点灯管動作中に電極表面から Zn 原子が遊離・飛散して表面状態が悪化し、仕事関数が増大するためと考えられる．これは、図 7 中の点滅 6000 回後において放電開始特性が基材の Ni に近似していることから明らかである．

第 2 に、Zn と Zn-Ni めっき時のめっき膜構造の違いが挙げられる．図 9(a)に Zn 及び Zn-Ni めっきの断面写真及びガス放出特性を示す．めっきの断面写真から、Zn めっきは、電解めっき工程において発生する不純ガスを吸着しやすい空孔を多く有する断面構造となっているが、Zn-Ni めっきは合金化により析出効率が上がり、めっき膜内の空孔が減少して緻密な膜断面構造となっているため、不純ガスの吸着が少ない．これは、図 9(b)に示す、めっき膜面からの放出ガス特性を比較しても明らかである．すなわち、Zn-Ni めっきでは、めっき品を 500℃ 程度にまで加温しても放出ガスはほとんどないのに対し、Zn めっきでは 300℃ 以上の温度で、めっき膜面に吸着されたガスが徐々に放出されていることがわかる(300℃ 以上で試験容器内の圧力が増加している)．

このことから、Zn は点灯管動作中にめっき表面がスパッタして消耗すると同時に、めっき膜内に吸着された不純ガスが放出されることで、さらに放電開始特性を低下させることになる．これに対して Zn-Ni めっきは、合金化により耐スパッタ性が向上したのに加え、膜の緻密

表 1 電極材質と特性

	材質	製造方法	仕事関数 (eV) ⁵⁾	スパッタ率 (Kr ⁺ : 45kV) ⁶⁾
従来材料	Ni(現行)	基材	4.84	5
検討材料	Zn	電解めっき	3.74	28
	Zn-Ni		3.74+α	—

図 7 電極材質と放電開始時間遅れ

図 8 Zn-Ni めっき電極の放電開始確率

Zn めっき

Zn-Ni めっき

(a) めっきの断面写真

(b) めっきの放出ガス特性

図9 めっき電極の断面写真及びガス放出特性

化により不純ガスの吸着・放出の量が極めて少ないため、Zn めっきと比較して放電開始特性の低下が少なく、点滅始動回数6000回後でも、十分な特性を得ることができた。

以上のことから、200V 仕様の P 形点灯管は、封入ガスを Ne 系に変更し、同時に今回開発した Zn-Ni めっき電極の使用により、RI フリー点灯管を実用化することができた⁷⁾。

なお、電極の仕事関数低下により暗所においても放電開始時間遅れに十分な効果が得られたが、これは電解めっきにより形成された活性化した電極表面から exo 電子（金属表面が加工や相変化などをうけた際に発生する電子⁸⁾）などの電子放出があり、これが初期電子供給源として働くためであると推察している。

4. おわりに

点灯管の暗所における始動性を改善するには、初期電子供給源と放電開始確率の向上があげられる。本開発では、長残光性蛍光体の残光による光電子の利用や、仕事関数の低い金属を電極上にめっきし 2 次電子放出量の増加を図ると同時に、封入ガスの変更により放電開始確率の向上を検討した。その結果、JIS に適合し、実用上始動特性に問題のない RI フリー点灯管を開発し、実用化することができた。

参考文献

- (1) A. Inouye, Y. Terashima and K. Ogawa: "Statistical Analysis of Discharge Lamp Starting Characteristics", J. Light & Vis. Env., 1-1, pp.24-28 (1977).
- (2) 井上, 恒川, 朝倉, 山本: 冷陰極蛍光ランプの放電開始時間遅れ, 照学全大, p.9 (1989).
- (3) 高木, 筒井, 野口: 冷陰極蛍光ランプの放電開始時間遅れの検討, 照学全大, p.77 (1991).
- (4) 塩原, 村瀬, 石川, 坂口: 長残光性蛍光体の発光によるグロースタータの放電開始特性に及ぼす効果, 第12回光源物性とその応用研究会資料, pp.34-41 (1997).
- (5) Michaelson, H.: J. Appl. Phys. 21, p.636 (1950).
- (6) 金原: スパッタリング現象, (財)東京大学出版会 (1984).
- (7) 大澤, 齊藤: 冷陰極放電管の放電開始遅れ時間の改善, 照学全大, p.52 (2002).
- (8) 水島, 玉井, 原留: 薄膜物性工学・界面物性工学, オーム社, pp. 312-320 (1968).

著者紹介

大澤 滋 (正会員)

1974年生。1998年東洋大学大学院応用化学専攻修了。現在、東芝ライテック(株)管球照明社 管球技術部勤務。

齋藤明子 (正会員)

1962年生。1984年中央大学理工学部工業化学科卒。現在、東芝ライテック(株)技術統括部 環境保全・材料技術部勤務。

石光一磨 (正会員)

1963年生。1986年広島工業大学工学部電気工学科卒。現在、東芝ライテック(株)管球照明社 製造課勤務。