水銀ディスペンサを用いたけい光ランプの特性

専門会員 広田 泰輔* 専門会員 大野 宏*
正会員 渡部 宏* 正会員 森藤 博*

Characteristics of Fluorescent Lamp Using Mercury Dispenser

Taisuke Hirota (Fellow Member) Hiroshi Ono (Fellow Member)
Hiroshi Watanabe (Member) Hiroshi Morito (Member)

(Ome Works, Hitachi, Ltd.)

ABSTRACT

Introduction of mercury in tubes is essential because fluorescent lamps exploit the ultraviolet radiation emitted by mercury atoms. The method of dropping liquid mercury into the tube has been employed to charge the tube with mercury. Such present method of production is advantageous in that it aids the exhaust in during processing but is disadvantageous in that it cancel various defects in lamp quality.

To eliminate such disadvantage, a manufacturing method which use a mercury dispenser such as an Hg alloy mounted around the electrodes, and releases mercury within the tube after sealing off by means of an induced current is introduced.

Advantages in use of mercury dispenser are as follows; (1) the quantity of mercury to be introduced into lamp is very precise, (2) the pressure fluctuation of Argon to be introduced can be reduced. Consequently it is possible to prevent the fluctuation of lamp life and increase its average life. In addition, improvement of lumen maintenance is achieved.

1. ま え が き

昭和49年の統計では、光源類の総生産金額は約1千億円で、このうち約4割がけい光ランプで占められており、けい光ランプは光源の主流製品となっている。一般に、けい光ランプには水銀とアルゴンガスが封入されており、水銀は紫外線放射によってけい光体を発光させ、またアルゴンは点灯特性を良好にするとともに、放電による電極の消耗をおさえる役目を果たしている。

さて、水銀の封入方法は、けい光ランプが開発されて以来、液状の水銀粒を排気管を通じて滴下する方法がと

られている。このような水銀封入法は、発光要素となる水銀を封入するという本来の目的以外に、ランプの品質に種々の影響を与えている。

まず第1に、必要一定量の水銀を封入することが困難であるということである。すなわち、水銀滴下後の蒸発による損失、水銀滴下器や排気管への付着分を補償するため、必要量の数倍を滴下しなければならず、大部分のランプには必要量以上の水銀が封入される。これは省資源、省エネルギーの面から好ましくない。

第2に、温度によって蒸気圧が大幅に変化する水銀を排気中にランプ内に滴下することから、ランプの品質を大きく左右する封入アルゴン圧が変動する主要原因になっていることである。

以上のような欠点から、現在の水銀封入方法は製品の

* 日立製作所青梅工場

本原稿の一部は、昭和49年照明学会東京支部大会および昭和50年照明学会全国大会で発表したものである。

品質向上に対する大きな障害の一つになっている。

一方、この欠点を解決する新しい製造法として、水銀合金などの固形物を、あらかじめ電極付近に取り付けておき、排気管溶封後に外部からの間接加熱で水銀を分離、放出させる方法が提案されている¹⁾。この新しい水銀封入法の採用には、間接的に他の製造プロセスの改善が必要であること、原価面でのマイナスがあるものの、前記欠点の根本対策であることから、実用化を図るべく主に特性面での検討を行なった。

以下、本報ではこのような新しい製造法によるけい光ランプの品質向上を主体に述べることにする。

2. 従来の製造法の問題点

2.1 ランプの品質に及ぼす要因

従来のけい光ランプの製造要素が、品質に与える影響を図 1 に示す。水銀粒を滴下してけい光ランプに水銀

図 1 水銀の滴下がけい光ランプの品質に与える影響

図 2 水銀滴下の作用
(1) 不純ガスの排気助成作用 (2) 封入水銀量への影響
(3) 封入アルゴン圧のばらつきへの影響

を封入する方法は、ランプの品質、すなわち安全性、信頼性、性能の各方面にわたって影響を及ぼしていることがわかる。この一例をさらに具体的に示したのが図 2 である。水銀粒滴下には、(1)滴下された水銀の蒸気で管内不純ガスの排気を助成する、(2)滴下器内あるいは排気系への水銀付着による封入水銀量の変動、(3)水銀蒸気による封入アルゴン圧の変動という三つの作用があり、このうち後2者が、品質に悪影響を及ぼす要因となっている。

2.2 封入水銀量

ランプに封入された水銀は、点灯中にけい光体に吸着されたり、放電によって生成される酸素と化合し、消耗される²⁾。したがって、定格寿命を満足する必要水銀量はけい光ランプの大きさ、点灯中のランプ電流によって異なる。図 3 にグロースタート形ランプ 20 W と 40 W の場合の封入水銀量と、継続点灯可能時間の関係を示した。

図 3 封入水銀量と継続点灯可能時間の関係
(注) (1) 試料ランプ: 水銀封入量のばらつき ± 10%, アルゴン封入圧 2.7 ± 0.1 Torr, けい光体ハロゲン酸カルシウム, けい光体付着量 FL-20 SW 4.0 mg/cm^2 , FL-40 SW 5.1 mg/cm^2
(2) 点灯条件: 2時間45分点灯, 15分消灯サイクル
(3) 試料数: 各 $n = 5$ 本

封入水銀量のコントロールは、水銀の封入量が最も精度良くなる酸化第2水銀を使った水銀ディスペンサの保有水銀量を変えて行なったものである。しかし実際にランプ内に封入された水銀量を実測したわけではなく、水銀ディスペンサの高周波加熱前後の重量差から、水銀放出量を求めたものの同一ロットの水銀ディスペンサを用い、同一加熱条件で水銀を放出させた。同一ロットの水銀量のばらつきは ± 10 % 以内であった。おおよそ、20 W では定格寿命 7,500 hr に対し約 3.5 mg, 40 W では定格寿命 10,000 hr に対し約 7.0 mg の水銀が必要で

ある。必要量以下の封入水銀量では、一定時間点灯後、水銀蒸気圧の低下でランプの発光が停止し、ランプの寿命が封入水銀量で左右されることになる。

一方、現在の水銀滴下器による水銀の封入法では、滴下した水銀が滴下器内壁に補足されたり、逆に滴下器内壁に凝集している水銀を伴って滴下される場合があり、実際にランプ内に封入される水銀量は大きな変動をする。このため、必要封入量以下となることを防ぐために滴下水銀量を多くする結果、実際にランプ内に封入される水銀量は、平均で必要量の約3倍となっている。この必要以上の水銀はランプ管壁の最冷点部に凝集して、外観的に商品価値を低下させる原因となる。

2.3 封入アルゴン圧

封入アルゴン圧は、電極の保護のためには高いほうが好ましいが、起動助成の面からは逆に低いほうがよく、品種によって一定の最適値が存在する。このアルゴン圧は電極のオキサイド消耗、すなわちランプの寿命に大きく影響する。その程度は品種によって異なるが、40 Wの場合の一例を図4に示す³⁾。ランプの寿命は電極に塗布されているオキサイド量にもほぼ比例的に影響されるが、実際の寿命変動は $\pm 4,000 \sim 5,000$ h (FL-40 S)⁴⁾となっている。図4の結果から封入アルゴン圧による寿命変動は、1,000 h/0.1 Torr となるので寿命変動の約50%が封入アルゴン圧の変動によるものといえる。

図4 封入アルゴン圧とランプ寿命の関係
(注) (1) 3 h点灯, 0.5 h消灯
(2) $n=5$

すなわち、けい光ランプの寿命に関する信頼性は、封入アルゴン圧の変動に大きく左右されているといえる。

また、封入アルゴン圧は明るさ、すなわち全光束にも影響を与え、アルゴン圧が高くなると全光束値は小さくなる。実際の製品では、封入アルゴン圧の変動による全光束値の変動は約 $\pm 1.2\%$ 程度となっている。

3. 水銀ディスペンサ法の概要

3.1 水銀ディスペンサ材について

水銀ディスペンサは、高温で水銀分離特性を有する固形物とゲッタ材の組み合わせからなっており、種々のタイプが考えられる。一例としてけい光ランプ用に開発されたSAES社製のGEMEDISの仕様と特性を表1に示す。

表1 水銀ディスペンサ材の概要例

	項目	内容
仕様	水銀分離材	Ti-Hgの金属間化合物
	ゲッタ材	Zr-Alの合金
	基板	Niめっき鉄
	形状	基板幅6.3 mm, ゲッタ塗布幅3.4 mmの帯状
	水銀含有量	4.5 ± 0.5 mg/cm
特性	水銀放出量	3.0 ± 0.5 mg/cm
	ガス放出量	900°C加熱で最大 7 Torr・cc/cm

一般に、けい光ランプ用水銀ディスペンサとしては次の性能が要求される。

- (1) 約500°C以下では水銀が分離しにくく、それ以上の温度では可及的に低い温度で分離すること。
- (2) 水銀分離のための加熱で放出される不純ガスを完全に再吸収するゲッタ材および構造であること。
- (3) 必要量の水銀を含有すること。

水銀を分離させるために、水銀ディスペンサを加熱すると、不純ガス(水素、一酸化炭素、二酸化炭素など)が放出される。この不純ガスは加熱停止後、ディスペンサのゲッタ材によって大部分は再吸収されるが、管壁に塗布されているけい光体が、一種のガス吸収材となっているため、不純ガスの放出量が多いほど、管壁に吸着されるガス量も多くなり、動作時のランプ特性に悪影響を与える原因となる。したがって、不純ガス放出がランプ特性に悪影響を与えるかどうかは、放出ガス量の最大値でほぼ決まってくる。

表2 水銀ディスペンサの放出ガス量と点灯特性

放出ガス量(Torr・cc/mg)	8.6	3.3	3.0	1.7
エージング後起動電圧(V)	188	174	163	162

- 注 (1) 試料 FL-40 SW $n=5$ 本
(2) 放出ガス組成(分圧比) $H_2:CO:CO_2=12.4:1.2:1.0$
(3) エージング条件 ランプ電流600 mA, 1.8秒点灯, 0.8秒消灯, 16ヘッド
(4) 測定条件 室温20°C 起動電圧測定はJIS C 7601による。
(5) 従来法によるランプのエージング後、起動電圧は約160~165 Vである。

表2は、水銀ディスペンサの放出ガス量と不純ガスの影響を最も受けやすい点灯特性の関係を示したもので、点灯特性を従来の量産品レベルに保つためには、水銀放出量1 mgに対して約3 Torr・cc以下の不純ガス放出量であることが好ましい。不純ガスのランプ特性への影響はガスの種類によっても異なるが、水素の放出が多けれ

図 5 水銀ディスペンサ法の製作工程図

ば、点灯特性、全光束、光束維持率まで悪影響を与える。水銀ディスペンサを加熱し過ぎると（約 1,000 °C）再吸収能力が低下するので、水銀放出のための加熱は必要以上に高温としないことが重要である。

3.2 製造プロセスの開発

水銀ディスペンサ法の製作工程概略を図 5 に示す。この方式の確立のためには、次の二つのプロセス開発が必要である。

(1) 水銀滴下による排気能力助成効果に代わる排気方法の開発

(2) 水銀ディスペンサの加熱方法の開発

上記(1)については、排気中に 10~20 Torr のアルゴンを管内に入れ、ランプ内の不純ガスと混合させた後、ポンプ能力の高い領域で排気する方法を採用した。表 3 は注入アルゴン圧と、炭酸塩の分解で生ずる CO の残量、および点灯特性について示したものであるが、注入アルゴン圧を 10~20 Torr とすれば、水銀滴下に代わり得る特性となる。

表 3 ランプ内 CO 量と点灯特性

水 銀 滴 下	あり	な し			
注入アルゴン圧(Torr)	3.0	3.0	10.0	20.0	30.0
CO 量(相対値)	1.0	4.7	1.3	1.0	0.8
エージング前起動電圧(V)	169	203	176	170	167

注 (1) アルゴン注入回数 炭酸塩分解開始後 4 回

(2) CO 量測定 質量分析計による。

試料：アルゴン封入なし、管壁温度 20°C

また、(2)については水銀の分離と同時に放出される水素によるけい光体の発光効率の低下を防止する方法をとらなければならない。すなわち、高周波コイルによる高周波電界によりランプ内で放電が発生すると、水銀ディスペンサから放出された水素が、ゲッタ材に再吸収される前にけい光体に作用し⁵⁾、あるいは起動補助用として内面にネサ膜（酸化錫）を有するラピッドスタート形ラ

ンプではネサ膜を還元し、光束を低下させるという問題がある。これに対しては、根本的な対策である高周波電界の低下を行なった。すなわち、高周波出力回路に電流トランスを挿入し、また加熱コイルを 2 分割並列接続した。これによってコイル間電圧を 20 V まで低下することができ、高周波放電は完全に消滅した。

4. 水銀ディスペンサ法によるランプ品質の改善

4.1 封入水銀量精度の向上

水銀ディスペンサ法では、ランプ内に封入される水銀量はディスペンサに含有される水銀量と、ディスペンサを加熱する温度と時間により決まるので、従来の水銀粒滴下法より水銀量の封入精度は一段と向上する。図 6

図 6 けい光ランプ内封入水銀量の分布

(注) (1) 水銀量測定法

① 従来法：ランプ内の水銀を採集し、その量をジチゾンクロロホルム抽出法で測定

② 水銀ディスペンサ法：水銀放出前後の重量差から求める。

誤差 ① 10%以内、② 5%以内

に封入量の分布を示す。水銀ディスベンサ法による封入量の変動は $\pm 20\%$ となり、従来の約 $1/4$ となった。ランプ1本あたりに封入される水銀量は、品種によって異なるが、従来の約 $1/5 \sim 1/2$ となる。また、ランプ1本あたりの製造で使用される水銀量は、従来の約 $1/10 \sim 1/4$ となり、省資源、省エネルギーの面から好ましくなる。

4.2 信頼性の向上

前述したように、けい光ランプの封入アルゴン圧の変動は、ランプ特性、寿命の信頼性に大きく影響を与える。水銀ディスベンサ法では、アルゴン封入時、封入アルゴン圧変動の主原因となる水銀蒸気が存在しないので、封入アルゴン圧の精度が向上する。図7に封入ア

図7 けい光ランプの封入アルゴン圧分布
(注) それぞれ、2.7 Torr, 2.8 Torr
を狙った場合の分布を示す。

ルゴン圧の分布を従来法と比較して示す。水銀ディスベンサ法では、封入アルゴン圧の変動が ± 0.1 Torrになり、従来の約40%となった。これによって光束の変動は従来の約 $1/2$ となり、また寿命の変動も図8に示すように従来の約 $1/2$ となり、ランプの信頼性が増した。

図8 けい光ランプの寿命特性
(注) (1) 試料ランプ FL-40 SW, (2) 3.0 h
点灯, 0.5 h 消灯, (3) 水銀ディスベン
サ法の試料本数75本

4.3 性能の向上

まず第1に、光束効率が改善されることがあげられ

る。これは、過剰な水銀がランプ内に存在しないため、けい光体面への水銀の凝集程度が小さくなること、および電極付近に取り付けられた水銀ディスベンサのゲッタ作用により、点灯中にランプ内の酸化性ガスが吸収されるため、酸化第2水銀などのけい光体面への付着量が減少することによる²⁾。

図9 点灯中の水銀ディスベンサの温度
(注) (1) 測定は放射温度計による。(2) 周囲温度20℃, (3) 測定誤差 $\pm 10\%$ 以内

点灯中の水銀ディスベンサの温度は、その取付け方法によって異なるが、図9に示すように、おおよそランプ電流の大きさと相関がある。特に高出力形と呼ばれるランプ電流0.6 A以上のランプでは、水銀ディスベンサの温度が300℃以上となり、ゲッタ材の不純ガス吸収能力が大きくなって、ゲッタ作用が十分発揮される領域となる⁶⁾。点灯時間に対する光束値の推移を図10に示すが、水銀ディスベンサを用いた効果は、点灯時間が経るにつれて顕著に現われている。

図10 光束維持率
(注) (1) 2時間45分点灯, 15分消灯, (2) 封入アルゴン圧2.7 Torr

次に、光束維持率が向上したこと、および封入アルゴン圧の精度がよくなったことにより、ランプの平均寿命の延長が容易となったことがあげられる。

けい光ランプの寿命を延ばすには、封入アルゴン圧を一定にして電極に塗布するオキサイド量を多くする、あ

るいは封入アルゴン圧を高くして、オキサイドの消耗速度をおさえるの二つの方法がある。しかし、けい光ランプは継続点灯が可能であっても、光束が初期 (100 hr) の 70% に低下すると経済的に寿命とみなされるため⁷⁾、単に前記のような方法により、寿命を延長することには難点があったが、水銀ディスベンサ法による光束維持率の向上により、実質的な寿命の延長が達成される。延長できる寿命の長さは品種によって異なるが、おおよそ従来の 1.2~1.4 倍の長寿命化が可能である。これによって、けい光ランプ 1 本あたりの寿命までの総光量も、従来の 1.2~1.4 倍となり、実質的な効率の向上となる。

また、ランプ内に過剰な水銀が封入された場合には、ランプ完成後、あるいは点灯中に管壁の最冷点に水銀が凝集して外観的にも好ましくなく、また光束が低下する原因となる。特に、起動補助用として管内面にネサ（酸化錫）膜を施したラビッドスタート形ランプでは、水銀のけい光体面への凝集が、放電によってネサ膜の破壊に発展し、著しく外観をそこなう。これらの外観不良を図 11 に示す。しかし、この外観不良の発生は図 12 に示すように水銀の封入量と相関があり、封入量を少なくすることによってその発生を抑制することができるので、水銀ディスベンサの使用が効果的である。

図 11 水銀凝集により発生した外観不良
(ラビッドスタート形内面ネサランプ)

図 12 封入水銀量と水銀凝集による外観不良発生の関係
(注) (1) 試料 FLR-40 SW, (2) 周囲温度 10~20℃, (3) 点灯=実使用状態, (4) 総点灯時間 1,000 hr

5. 結 言

省資源、省エネルギーの面から従来の光源を見直し、これらの点に適応した新しい光源や製造方法の開発が、現在要求される技術革新の一つとなってきた。水銀ディスベンサを用いた新しいけい光ランプの製造法では、封入水銀量の精度向上、封入アルゴン圧の精度向上によるランプ特性と寿命の信頼性向上、および総光量増加による性能の向上が達成される。これは、現在求められている技術革新の一つであるといえる。

参 考 文 献

- (1) 米国特許：3,385,644 (1966)
- (2) 真 室：照学誌 42 (昭 33)
- (3) R. N. Thayer：Illum. Engng 49 (1954) 527
- (4) 照明学会：照明のデータブック (1968) 114
- (5) Richard W. Mooney, W. Galvin Gungle：Illum Engng 12 (1956) 793
- (6) T. A. Giorgi, P. della Porta：Residual Gases in Electron Tubes (1972) 123
- (7) 日本規格協会：日本工業規格 C 7601 (1967)

(受付 1975 年 5 月 23 日)