連続スペクトルを発光するメタルハライドランプ

専門会員 東 忠利* 専門会員 森 礼於* 長野 敏*

New Metal Halide Lamps Emitting Continuous Spectrum

Tadatoshi Higashi, Leo Mori, Satoshi Nagano

(Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.)

SUMMARY

New, stannous halide-mercury lamps have been developed based on a new principle. Continuous spectrum caused by the molecular emission of stannous bromide and stannous iodide is used in the discharge tube, and it constitutes more than 80 per cent of the light output. The CIE general color rendering index Ra of the lamp is 94, which is comparable with the value for super de luxe fluorescent lamps. The color temperature is $5300^{\circ}\text{K} \pm 200^{\circ}\text{K}$ and the chromaticity lies on the locus of natural daylight. The efficiency is about 55 lm/W for the lamp rated 400 W. Lamps rated 250 W and 125 W are also available.

Another characteristic feature of the lamp is small fluctuation of light output with a. c. operation. The flicker ratio $(I_{\text{max}} - I_{\text{min}}) / (I_{\text{max}} + I_{\text{min}})$ of the lamp is 18%, which is about one fourth as compared with the conventional mercury lamps.

1. ま え が き

高圧水銀ランプは効率が比較的良好なことと、小型で大出力のランプが容易に得られるため、外管にけい光体を塗付することで、色の見え方の極端な悪さがやや改善されて以来、屋外照明の主力となり、一部の屋内照明にまでますます広く使われている。しかしけい光体を用いて色補正したけい光水銀ランプにおいても、なお光色および演色性の悪さが、その用途をかなり制限していることもまた事実である。一方、白熱電球の約3倍とかなり高い水銀ランプの効率も、けい光ランプの効率の著しい向上により不満に思われるようになってきた。

このような状況に対し、水銀放電中に他の金属をハロゲン化物、特によう化物の形にして封入することにより、水銀ランプの効率および演色性を向上しようとする古くから知られていた方法¹⁾が取り上げられ、各国で研究が行なわれ始めた。その結果、タリウム²⁾、ナトリウム³⁾、インジウム^{3)~7)}、スカンジウム⁸⁾、トリウム⁹⁾な

どのような化合物を単独または組み合わせた高効率ランプが研究され、すでに一部実用化されている。金属のハロゲン化物を使う方法は、金属元素の多くが金属単体よりもハロゲン化物にしたとき、より高い蒸気圧をとるという事実を利用したものである。この方法は効率の向上には著しい効果を得たが、スペクトル線の組み合わせによって、白色光を得るために演色性の向上という面では限界があった。

これに対し、ハロゲン化物の出す分子的な連続スペクトルを利用すれば、さらに演色性を向上できることが見つけられ、これを応用したランプが開発された。以下、ハロゲン化物の連続スペクトルを利用した高演色性ランプの開発とその特性について報告する。

2. 連続スペクトルを発光するハロゲン化物

高圧水銀放電中に添加するハロゲン化物としては、

(1) 石英製発光管の動作温度である $500 \sim 700^{\circ}\text{C}$ の温度で発光に十分な蒸気圧をもち

(2) 発光管の動作温度の $500 \sim 700^{\circ}\text{C}$ では分解せず、またアークの中心部の高温部では、分解しても管壁近く

* 東京芝浦電気株式会社中央研究所

の低温部では再結合して安定な分子を形成することなどが、まず必要な条件である。

これらの条件を考慮しつつ、分子的な連続スペクトルを可視域に発光するハロゲン化物を探したところ、元素周期律表のⅢb, Ⅳb, Ⅴb 族に属する金属のハロゲン化物に蒸気圧が高く、連続スペクトルを比較的よく発光する物質があることを知り、その中で一般照明用光源の発光材料としては、臭化すずおよびよう化すずがすぐれていることが判明した。われわれはこの臭化すずとよう化すずを用いて、演色性の非常に良い放電灯を得ることができた。この新しいランプの演色性は、かつて放電灯で得た最高の演色性に匹敵するとともに、その効率も従来の水銀ランプと同等以上の高いものである。

なお封入時によるよう化すず、臭化すずの形で封入する場合は四よう化すず (SnI_4)、四臭化すず (SnBr_4) よりも二よう化すず (SnI_2)、二臭化すず (SnBr_2) を用いるほうが蒸気圧が低いため取り扱いに便利である。

3. ハロゲン化すず蒸気圧とランプの発光特性の関係

よう化すず、臭化すずの蒸気圧とランプの発光特性の関係を調べるために、長さ 4 cm の枝管をつけた特別な試験用の発光管 2 本を製作した。この発光管は内径 18 mm ϕ 電極間距離 50 mm の特に小型のもので、発光管中には一定量の水銀と常温で 20 Torr のアルゴンガスと、さらに 1 本には臭化すず (SnBr_2) を他の 1 本にはよう化すず (SnI_2) を発光管の容量 1 cc につき 2 mg の割合で封入した。この発光管の枝管部を 350~600°C までの範囲で任意に変えられる小型電気炉中に入れ、炉の温度を変えることにより、臭化すずまたはよう化すずの蒸気圧を変化させてランプの発光特性を測定した。測定中、発光管には 400 W の電気入力を持続させるように供給電流を調節した。また発光管は大気中で点灯したため、下側の電極周辺の管壁にキャップをはめ、保温をはかり、発光管の枝管部以外の管壁は、ほぼ 600°C 以上に

図 1 臭化すず、よう化すずの温度-蒸気圧特性

図 2 枝管の温度と臭化すずランプ、よう化すずランプの効率の関係

なるように注意した。

図 1 は臭化すず、よう化すずの温度-蒸気圧特性を示す。図 2 は、この実験によって得られたランプの効率と枝管部の温度との関係を示す。枝管部の温度に相当する臭化すずおよびよう化すずの蒸気圧を横軸に示す。枝管部の温度が 380°C 以下になると水銀が凝固し始めることにより、枝管部の温度が 380°C 以上の範囲では発光管内の水銀の蒸気圧は、約 1.5 気圧であることがわかった。

高圧水銀放電中に、臭化すずまたはよう化すずの蒸気を加えていくと、はじめ効率は急速に低下し、やがて最小値に達し、さらにハロゲン化すずの蒸気圧を増すと、こんどは逆に上昇をはじめる。すなわち純粋な水銀の放電であれば、約 50 lm/W の効率であった発光がハロゲン化すずを 5~10 Torr 程度えることに 20 数 lm/W の低効率まで落ちる。さらにハロゲン化すずの蒸気圧を増すと、こんどは効率は逆に上昇をはじめ、よう化すずの場合はほぼ 50 lm/W に回復し、臭化すずの場合は 50 lm/W を越えて 65 lm/W に達する。

よう化すずの場合には 50 lm/W、臭化すずの場合には 65 lm/W の効率に達するところから、蒸気圧が増すと放電が不安定となり、アーク揺れやアーク曲がりを起こす。アークの曲がりやアーク揺れが起きると、配光方向による色むらを生じる。したがって 400 W 人力、管壁負荷 10 W/cm 程度の実用的なランプの効率は、よう化すずランプの場合は 50 lm/W、臭化すずランプの場合は 65 lm/W を越えることはむずかしい。

なお図 2 中に記入しておいたよう化すず、臭化すずの蒸気圧の数値は、(1) 平衡温度に達するにはかなりの時間を必要とする、(2) たとえ平衡態に達しても、場所による分圧の差がかなり大きいなどの理由により、かなりの誤差があるものと思われる。

図 3 は、異なる枝管の温度に対するよう化すずランプ、臭化すずランプの分光分布を示す。図 4 は Hg の 5461 線、Sn の 5632 線および連続スペクトル成分が枝管の温度の上昇—すなわちハロゲン化すず蒸気圧の増加によって、どう変わるかを示したものである。

図 3 枝管の温度と臭化すずランプ、よう化すずランプの分光分布の関係

図 4 枝管温度の変化による各スペクトル成分の変化

図 3、図 4 より水銀放電中により化すずまたは臭化すずの蒸気を 5 Torr 前後加えたときに起きる効率の低下は、水銀のスペクトル線が非常におさえられるためであることがわかる。5 Torr 前後の蒸気圧ではハロゲン化すずの連続スペクトルはまだ小さく、入力エネルギーは紫外部にあるすず原子のスペクトル線として失われる。5 Torr 以上のハロゲン化すず蒸気圧で起きる効率の上昇は、連続スペクトル成分の増加によるものである。

図 5 は枝管温度の変化によるランプの光色の変化を、 x - y 色度図上に示したものである。ランプの色温度はハロゲン化すずのわずかの添加によっては上昇するが、ハロゲン化すずの蒸気圧がさらにふえると逆に低下し、遂には臭化すずの場合約 6,000°K、よう化すずの場合

図 5 枝管温度の変化によるランプ色度の変化

図 6 SnBr₂, SnI₂ 蒸気の分光吸収率

は約 4,300°K に達する。この実現できる最低色温度の差は図 6 に示すように、よう化すずの光吸収が臭化すずよりも長波長で起きているためである。

4. よう化すずと臭化すずの混合

4,300°K と 6,000°K の中間の色温度のランプを得るには、よう化すずだけを使っても得られるが、それよりもよう化すずと臭化すずを混合するのが良い方法である。よう化すずと臭化すずの混合によって 4,300°K と 6,000°K の中間の色温度のランプを製作した場合、その効率、よう化すずランプと臭化すずランプの効率の間の値をとる。

また、臭化すずとよう化すずを混合することは他の観点からも望ましい。すなわち臭化すずだけのランプは、寿命的に良好なランプをつくりにくい傾向があるからである。

このようなわけで、実用的なランプとしては臭化すずとよう化すずを混合封入したランプが適当であり、われわれは色温度、効率、寿命特性などを考慮して、臭素とよう素の原子数の比が、ほぼ 3 対 2 のランプを試作した。

5. ハロゲン化すず入りランプ

上述のような実験の結果、よう化すずと臭化すずを混合封入した形式のランプを 400 W, 200 W, 125 W の各定格を目標として試作した。以下ではよう化すずと臭化すずを混合封入したランプを、ハロゲン化すず入りラン

ブまたはハロゲン化すずランプと呼び, このランプについて 400 W 定格のランプを中心に その諸特性を述べる.

5.1 ランプの構造

ハロゲン化すず入りランプの構造は, 従来の水銀ランプの構造によく似ており, 発光管は熔融石英よりなり, 真空にした外管内に封じられている. 400 W 定格のランプの発光管は内径 19~20 mm ϕ , 電極間距離 60 mm である. したがって管壁負荷は約 10 W/cm² となる. 電極周辺の発光管管壁は白色耐熱酸化物でおおわれ, 管壁の温度分布を一樣ならしめている. この電極部の保温と外管内の真空と, 管壁負荷が水銀ランプに比べてやや高くしてあることにより, 400 W ランプの発光管管壁は点灯中約 550°C 以上の温度となり, 封入物は完全に蒸発するように設計されている.

5.2 分光分布と演色性

図 7 は ハロゲン化すず入りランプの典型的な分光エネルギー分布を色温度 5,500°K の CIE 合成昼光の分光エネルギー分布と比較したものである*. このランプの色温度は 5,300°K $\pm$ 2.00°K にあり, 光色は色度図上でほとんど昼光の軌跡上にある¹⁰⁾. 分光分布は 550~600 m μ に極大値をもつ山形の連続スペクトルの上に弱められた水銀原子のスペクトル線 (5770/90, 5461, 4358, 4047) と, すず原子のスペクトル線 (5632, 4525) があり, さらに波長 504 m μ に帯頭をもった Hg と Br の結合によるバンドスペクトルと波長 444 m μ に帯頭をもった Hg と I によるバンドスペクトルがある.

図 7 ハロゲン化すずランプの分光分布と 5500°K CIE合成昼光の分光分布

このランプ, 水銀ランプおよび [TII+NaI+InI₃] 混合ランプのスペクトル写真を図 8 に示す.

ハロゲン化すずランプの CIE 演色評価数を, 他のランプのそれと比較して表 1 に示す. 平均演色評価数の Ra=94 という値は真天然色形けい光ランプの値よりもよい. この演色性のよさは, 光出力の 80% 以上を占め

図 8 各種ランプのスペクトル写真
(a) 水銀ランプ
(b) [TII+NaI+InI₃] ランプ
(c) ハロゲン化すずランプ

表 1 ハロゲン化すずランプと各種ランプの特性比較

ランプの種類		基準光源 (°K)	平均演色 評価数 Ra	特殊演色評価数						効 率 lm/W
				赤 R ₉	黄 R ₁₀	緑 R ₁₁	青 R ₁₂	膚色 R ₁₃		
ハ ロ ゲ ン 化 物	SnI ₂ +SnBr ₂	D 5300	94	72	88	92	91	92	(400W) 55	
	TII+NaI+InI ₃	D 6000	63	-195	22	70	20	76	(400W) 83	
	ScI ₃ +NaI	P 4600	73	-73	76	70	82	73	(400W) 83	
水 銀 ラ ン プ	水銀ランプ	D 5800	25	-301	-42	-12	-24	4	(400W) 54	
	けい光水銀ランプ	P 3900	52	6	-5	17	-13	38	(400W) 52	
け い 光 ラ ン プ	白色	P 4500	69	-75	53	51	61	65	(40W) 83	
	真天然白色	P 4500	91	94	80	94	79	95	(40W) 52	
短アークキセノンランプ		D 5900	94	82	81	97	94	91	(500W) 27	

る分子的な連続スペクトルの存在によるものである.

分光分布, したがって色温度, 演色性については 250 W, 125 W 定格の小型のランプでも, ほとんど同様の発光特性を得ることができる.

5.3 効 率

ハロゲン化すず入りランプの初期効率, 400 W 型の場合 55 lm/W であり, 250 W 形で 50 lm/W, 125 W 形で 44 lm/W の効率を得ることができる. これらの効率は同定格の水銀ランプに比べると若干高くなっているが, タリウム, ナトリウム, インジウムのような化合物を組み合わせた高効率形のメタルハライドランプと比べると劣る. ハロゲン化すずランプと, 高効率形のメタルハライドランプの関係は, 天然色形けい光ランプのと標準形けい光ランプ関係に似ている.

ハロゲン化すず入りランプの寿命中の光束維持率は 2,000 時間で 90%, 6,000 時間で 80% 以上である. この数値は, ナトリウムなどを用いた他の種類のメタルハライドランプの光束維持率に比べてかなり良い値である. 平均寿命は 6,000 時間以上と推定されている.

* 図 7 の点線のうち 830 m μ 以上の波長域は, Hinzpeter の測定による地上における太陽光の分光分布を CIE 合成昼光に接続したものである.

5.4 電 気 特 性

ランプ電圧は、従来の水銀ランプに準じて 130 V にした。このランプは他のメタルハライドランプの場合と同様、酸化バリウムなどのすぐれた電子放射物質が使えないため、起動用補助電極を用いても確実に起動させるには AC 300 V の電圧を電極間に印加する必要があるが、点灯装置で AC 100 V または AC 200 V の電源電圧を 300 V に昇圧する。このランプの電極は酸化トリウムを含む特殊な電極を用いている。

5.5 光 束 の 脈 動

このランプの有益な特長の一つに、交流電流による点灯に対し光出力の脈動が、他の放電灯より著しく少ない

の分光分布によく近似しているため、その演色性は真天然色形けい光ランプの演色性に匹敵する。またこのランプは交流電力による点灯に対し、光束の脈動が少ないという特長があり、効率に関しても水銀ランプと同等以上のかかなり高い効率を得られるものである。

ハロゲン化ナズ入りランプは、このような特長のため従来の水銀ランプの応用分野だけでなく、演色性と高出力を必要とする屋内照明の多くの方面に使用できるであろう。また紫外部から波長 1μ の近赤外までの波長領域で、分光エネルギー分布が地上における太陽光の分光分布によく近似しているため、模擬太陽光としても応用できるものと思われる。

図 9 各種ランプの光出力波形
(a) ハロゲン化ナズランプ (b) [TlI+NaI+InI₃] ランプ (c) 水銀ランプ

表 2 各種ランプの光束脈動率

ラ ン プ の 種 類	脈 動 率 $\frac{I_{\max}-I_{\min}}{I_{\max}+I_{\min}}$
ハロゲン化ナズランプ	18%
(TlI+NaI+InI ₃) ランプ	38
(NaI+ScI ₃) ランプ	48
水銀ランプ	67
けい光ランプ	32
40 W 白熱電球	5

性質がある。50 Hz(c/s)の交流に対し、安定器にチョークコイルを用いた標準的な回路で点灯したとき、脈動率 $(I_{\max}-I_{\min})/(I_{\max}+I_{\min})=15\sim18\%$ である。図 6 は、このランプ、[TlI+NaI+InI₃] ランプおよび水銀ランプの光出力波形を示し、表 2 に上式により計算した脈動率を載せる。このようにハロゲン化ナズ入りランプの光出力の脈動が少ないのは、ハロゲン化ナズによる連続スペクトルの脈動が非常に少ないためである。

6. 結 論

ナズの化合物、および臭化物の分子的な連続スペクトルの発光を利用した新しいランプを開発した。このランプは、その分光分布が色温度 5,000~5,500°K の昼光

終わりに、研究をご指導、ごべんたつくださった東(堯)博士、また当ランプの商品化にご努力いただいている野村、加納、大沢の各氏に感謝する。

文 献

- (1) British Patent A. D. 1900 No. 14, 121
- (2) D. A. Larson, H. D. Fraser, W. V. Cushing, M. C. Unglert : Illum. Engng 53 (June 1963) 434
- (3) E. C. Martt, L. J. Smialek, A. C. Green : Illum. Engng 54 (January 1964) 34
- (4) G. H. Reiling : J. opt. Soc. Amer. 54 (1964) 532
- (5) P. Delrieu, A. Taxil : Lux (1964) 397
- (6) A. Dobrusskin : Lichttechnik 17 (1965) 49A
- (7) M. C. Unglert, D. A. Larson : Westinghouse Engineer 25 (July 1965) 116
- (8) A. Bauer : Lichttechnik 16 (1964) 118
- (9) J. F. Waymouth, W. C. Gungle, J. M. Harris, F. Koury : Illum, Engng 55 (1965) 85
- (10) D. B. Jadd, D. L. MacAdam, G. Wyszecki : J. Opt. Soc. Amer 54 (1964) 1031

(受付 1968年1月5日)