

環境配慮型高輝度放電ランプを実現する 放電電極用トリアフリー材

ThO₂-Free Cathode Material for Realization of Environmentally Conscious High-Intensity Discharge Lamps

山本 慎一

青山 斉

■ YAMAMOTO Shinichi

■ AOYAMA Hitoshi

LSIや液晶の露光装置及び樹脂硬化装置用の高輝度放電 (HID) ランプなどの放電電極には、熱電子放出特性に優れたタングステン - 酸化トリウム (W-ThO₂) 陰極が用いられている。しかしThO₂は放射性物質であるため、近年、その使用や輸送に関する規制が強化されつつあり、ランプメーカーからはThO₂を用いない (トリアフリー) 代替材料の開発が求められている。

東芝マテリアル(株)は、このような市場ニーズに応じて、放電電極に必要とされる高融点、高沸点、及び低仕事関数の合金を製作し、W-ThO₂と同等の特性を持つ放電電極用トリアフリー材を開発した。環境配慮型材料として早期の実用化へ向け、現在ランプに組み込んだ状態でのフィールドテストを進めている。

Tungsten-thoria (W-ThO₂) cathodes are mainly used in high-intensity discharge (HID) lamp products applied to lithography systems for large-scale integrations (LSIs), liquid crystal display (LCD) exposure devices, and resin curing equipment, taking advantage of the high melting point, high boiling point, and small work function of ThO₂. W-ThO₂ has a ThO₂ content of 1 or 2% to improve the emission characteristics of tungsten; however, the ThO₂ material is radioactive. With the tightening of regulations on the use and transportation of ThO₂ in recent years, alternatives to W-ThO₂ are required by manufacturers.

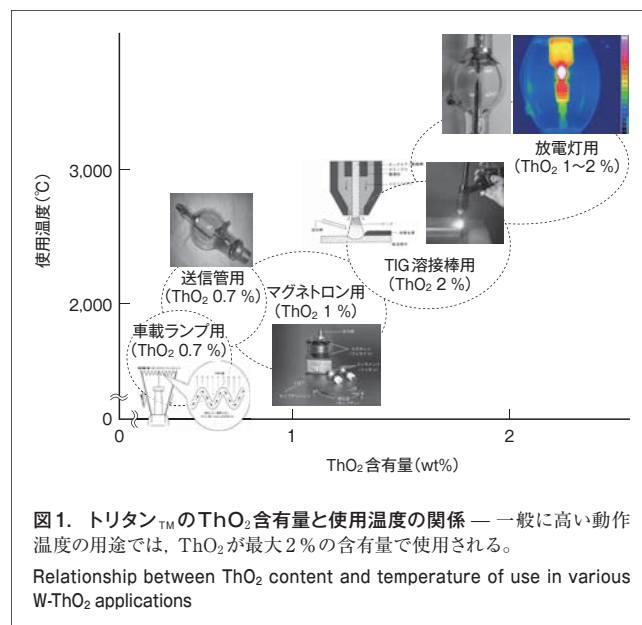
Toshiba Materials Co., Ltd. has developed a ThO₂-free material for HID lamp cathodes by using its proprietary equipment to evaluate the emission characteristics of various candidate materials based on their discharge behavior. The new ThO₂-free material, which is currently undergoing field tests, has emission characteristics equivalent to or better than those of W-ThO₂ and is expected to contribute to the realization of environmentally conscious HID lamps.

1 まえがき

LSIや液晶の露光装置及び樹脂硬化装置用のHIDランプなどの放電電極にはタングステン (W) に数%の酸化トリウム (ThO₂) を含んだW-ThO₂が使用されている。東芝マテリアル(株)は、この材料をトリエーテッドタングステンとして、“トリタン™”を製品化している。

ThO₂を放電電極に用いる理由は、高融点、高沸点、及び低仕事関数であることから、Wのエミッション特性向上に寄与するためである。ThO₂は放射性物質であるが、原子炉規制法などの現行法令の規制対象にならない量で微量添加されている。しかし近年、文部科学省のガイドライン⁽¹⁾に代表されるように、この放射性物質を使用した製品を環境面から規制する動きがあり、材料メーカーではThO₂含有量を更に低減させた製品の開発や、放射性物質を含まない代替材料の開発が進められている。

今回当社は、エミッション特性を評価する独自の設備を製作し、各種材料系の放電挙動に基づいて、W-ThO₂と同等の特性を持ち、かつ放射性物質を含まない材料を開発し評価した。ここでは、ThO₂代替材料の選定と、HIDランプの一種であるショートアークランプ (超高圧水銀ランプ) の放電電極に今回開発したトリアフリー材の適用を検討した結果について述べる。



2 トリタン™の適用製品

ThO₂を含有したW製品は、合金化されたThO₂の分散強化によるW再結晶粒の制御、高温強度と変形性の改善、及び仕事関数の低減により、多くの熱電子を放出できる。

トリタン™のThO₂含有量とその使用温度を図1に示す。ThO₂含有量は製品の用途及び動作時に到達する温度によって使い分けられている。用途として、放電灯用のショートアークランプや、TIG (Tungsten Inert Gas) 溶接棒、熱電子放出性が求められるマグネトロン部品、送信管、高温強度が求められる車載用ランプなどに使用されている。今回対象としたショートアークランプでは、2,700℃を超える超高温環境下で用いられることから、電極の損耗に対する対策も必要である。

3 ThO₂代替材料

3.1 ThO₂の規制状況

ThO₂は、その濃度が2%以下の場合、放射能濃度が原子炉規制法や労働安全衛生法の規制値74 Bq/g以下に対して71.4 Bq/gであり、現行法令下での規制対象には当たらない。しかし、近年では文部科学省ガイドラインに示されるように、作業員や一般消費者が1 mSV/年を超えることがないように必要な被爆量低減の措置や、情報提供と記録などの指針がまとめられている。また、国際連合が勧告する危険物輸送の危険物リストにUN2909「放射性物質、適用除外輸送物－天然ウラン又は劣化ウラン又は天然トリウムで製作された物品」が定められており、国内の陸上輸送での制限はないが、海上輸送では国内、海外を問わず、輸送物に関する表示と規定放射性濃度が5 μSV/hを超えない梱包形態とが必要になる。

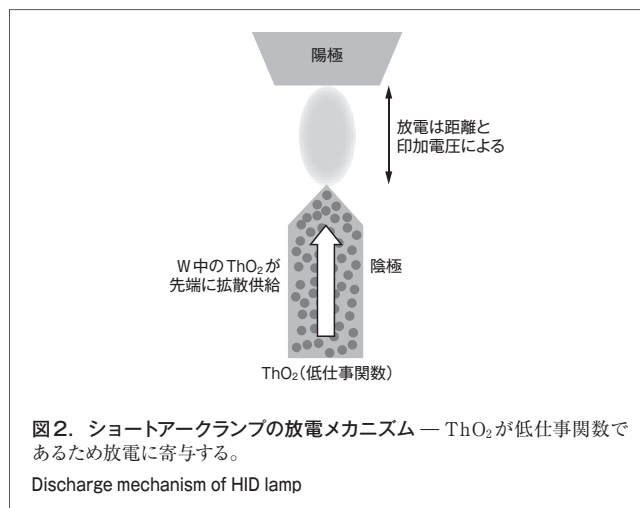
そこで業界全体として、ThO₂の使用濃度の低減や代替材の開発が行われている。また当社で取り扱う製品は、前述したとおり濃度規制以下であるが、自主基準を設け厳格な管理下で製造を実施している。

3.2 代替材料の選定

一般的なショートアークランプの模式図を図2に示す。このランプは、近接し対向した陰極－陽極間で発生したアーク放電により高い輝度を持つ光が放射される。この光を擬似点光源とし、レンズや、ミラー、ファイバなど光学デバイスと組み合わせでランプとして用いる。ThO₂は、酸化物の中でも低仕事関数並びに高融点であり、W中に存在することで、陰極－陽極間での放電を容易にさせるとともに、動作中も陰極先端に供給されることから、先端が高温強度及び耐変形性を維持し先端の損耗がなく長時間の高温点灯に耐えることができる⁽²⁾。この特性により、ガラス管の黒化などによる照度維持率の低下やアークのちらつきを防ぐことができる。

ThO₂に替わる材料は、アーク放電を発生させるための熱電子の放出量とエミッション特性として、電極での電流密度の高さを測定し評価して選定した。

金属の熱電子放出による電流密度(J)は仕事関数と温度の関数であり、式(1)で表わされるRichardson-Dushmanの式で与えられる^{(3), (4)}。



$$J = AT^2 \exp(-W/kT) \quad (1)$$

A : 材料定数

T : 金属温度 (代替材の融点)

W : 仕事関数

k : ボルツマン定数

ここで、 A は式(2)から求まる。

$$A = 4\pi mk^2 eh^{-3} = 1.20173 \times 10^6 \text{ (A/m}^2\text{K}^2\text{)} \quad (2)$$

m : 電子質量

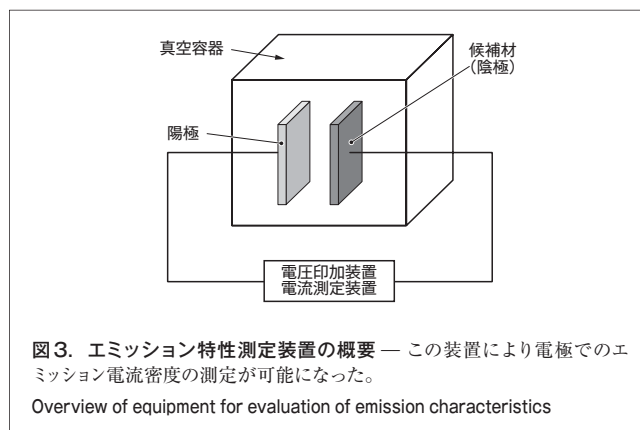
e : 電荷

h : プランク定数

式(1)にThO₂の仕事関数と融点 ($W=2.71$ eV, $T=3,300^\circ\text{C}$)⁽⁵⁾を代入し、金属及び希土類を含む酸化物系、炭化物系、窒化物系、及びホウ化物系を候補材としてその材料定数を用いて評価し代替材料を選定した。

今回使用したエミッション特性測定装置の概要を図3に示す。各候補材を陰極に取り付け電流密度を測定した。

一例として、当社の従来材トリタン™ (ThO₂を2%含有)と前記方法によって選定した炭化物系の代替材料について測定



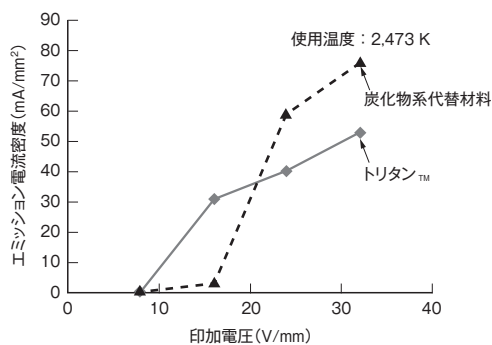


図4. エミッション特性の比較 — 候補材の中で炭化物系がトリタン™よりもエミッション電流が高く代替材料としての可能性を示した。
Comparison of emission characteristics of cathodes made from W-ThO₂ and carbide-based alternative material at 2,473 K

した印加電圧と電流密度の関係を図4に示す。ショートアークランプで一般に使用される20 V/mm以上では代替材料の電流密度はトリタン™よりも高い値を示したが、20 V/mm以下ではトリタン™よりも低い値を再現性よく示した。この20 V/mm以下で低くなるメカニズムは現在調査中であるが、検討対象のショートアークランプは比較的高い印加電圧で使用されることが多いため、この材料で検討を進めることとした。

4 ショートアークランプでの評価

3.2節の一次評価結果を受けて、実際のランプを試作して特性を評価した。評価には1 kWのショートアークランプを作製し、寿命評価試験を実施した。炭化物系で含有量を最適化した代替材料を用いて作製した開発品のランプ寿命を試験した。

炭化物系代替材料は1,500時間においてトリタン™と同等の照度維持率であった(図5)。また、炭化物系代替材料はトリタン™と比べ電極先端の損耗も同等の特性を持っていることがわかった(図6)。

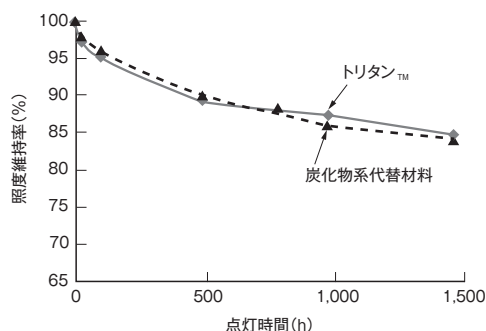


図5. ランプ寿命試験での特性比較 — 炭化物系代替材料はトリタン™と同等の特性を示した。
Comparison of characteristics of lamps using cathodes made from W-ThO₂ and carbide-based alternative material

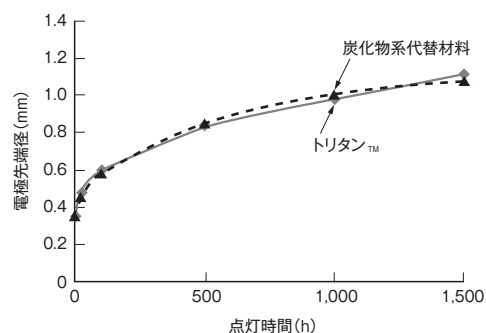


図6. ランプ寿命試験での電極の損耗比較 — 炭化物系代替材料は電極損耗においてもトリタン™と同等の特性を示した。
Comparison of cathode wear in lamp life tests

5 あとがき

ここで述べた特性評価を基に、放射性物質をいっさい含まない環境配慮型材料として、ランプメーカーにおいてこの代替材料を使用したショートアークランプのフィールドテストが開始されている。

今後当社は、従来同様の厳格な管理の下でトリタン™の製造を継続するとともに、代替材料の要望があるメーカーにはここで開発した材料を提案し、環境面を視野に入れた製品開発を積極的に実施していく。

文 献

- (1) 文部科学省. ウラン又はトリウムを含む原材料、製品等の安全確保に関するガイドライン. 2009, 25p. <http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/shiyou/data/1291646_1.pdf>, (参照2013-12-12).
- (2) Schneider, P. Thermionic Emission of Thoriated Tungsten. J. Chem. Phys. **28**, 4, 1958, p.675 - p.682.
- (3) Richardson, O. W. The Electron Theory of Contact Electromotive Force and Thermo-Electricity. Phil. Mag. **23**, 134, 1912, p.263 - 278.
- (4) Dushman, S. Thermionic Emission. Rev. Mod. Phys. **2**, 4, 1930, p.381 - 476.
- (5) 日本化学会編. 化学便覧 基礎編. 改訂5版, 丸善出版, 2004, 1872p.



山本 慎一 YAMAMOTO Shinichi

東芝マテリアル(株) 開発・技術部 生産技術担当主務。
タングステン・モリブデン製品の開発に従事。
Toshiba Materials Co., Ltd.



青山 斉 AOYAMA Hitoshi, D.Eng.

東芝マテリアル(株) タンモリ製造部 タンモリ技術担当
グループ長, 博士(工学)。タングステン・モリブデン製品の
開発・製造に従事。
Toshiba Materials Co., Ltd.