



2. いろいろな光源

2.3 無水銀蛍光ランプ

神野 雅文, 本村 英樹

(愛媛大学)

Variety of Light Sources Mercury-Free Fluorescent Lamp

JINNO Masafumi and MOTOMURA Hideki

Department of Electrical and Electronic Engineering, Ehime University 3 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

(Received 30 August 2005)

As interests in environmental friendly products, demands from market for mercury-free fluorescent lamps become stronger. Xenon is the most expected material as a substitution for mercury for fluorescent lamps. So many researches have been done by so many researchers and recently by using external electrode with conventional discharge tube with internal electrodes droved by pulsed discharge has achieved 90 lm/W and 12000cd/m². Another effort is using molecular gas as discharge medium. For example Ar-N₂ mixture and CO are proposed.

Keywords:

light sources, energy efficient, discharge light source, mercury-free, molecular discharge

2.3.1 はじめに

現在, 一般照明の主力を担っている光源は水銀蛍光ランプです。水銀蛍光ランプについては, 2.1節で説明していますように, 白熱電球に比べて長寿命で高効率であるために長年にわたって広く使用されています。しかし, 水銀といえはかつて水俣病の原因となったメチル水銀の構成元素であり, 現在は有害物質として認識されています。そのため, 例えば欧州では RoHS 指令により水銀の工業製品への使用と, 製造過程での使用が原則として禁止されています[1]。しかしながら光源分野では他に代替物質が無いために, 使用量に制限が設けられてはいますが, 例外的に水銀の使用が認められています。

今のところ, 光源に水銀を使うことは欧米でも日本でも認められていますが, できれば使用しないに越したことはなく, そのため世界中の光源メーカーは無水銀光源の開発・研究に力を入れています。特に市場の大きな一般照明用の水銀蛍光ランプに代わる無水銀蛍光ランプの研究は光源分野では現在最も重要なテーマの一つとなっています。国内でも光源メーカーや大学などにより蛍光ランプの無水銀化の研究が行われています。

本節では, 最近実験室レベルながら従来の蛍光ランプを凌駕する輝度と発光効率を達成した筆者らのキセノン蛍光ランプを中心に, 国内外で行われている無水銀蛍光ランプの研究を紹介します。

2.3.2 蛍光ランプの無水銀化の課題

水銀蛍光ランプは2.1で説明しているように, アルゴンの準安定原子との衝突により電離された水銀原子が再結合してそのエネルギーを下位準位への遷移により失い, 最終的に共鳴準位から基底準位に遷移する際に発する紫外域の共鳴放射 (185 nm と 254 nm のうち主に後者) を蛍光体の励起に利用しています。従って, 蛍光ランプを無水銀化するためには, 何よりもまず, 水銀の代わりになる紫外線放射源を見つける必要があります。

水銀代替物の備えているべき条件ですが, 現状では紫外放射の波長が水銀の共鳴線の波長に近いことが望ましいといえるでしょう。これは, もし蛍光体の励起光の波長が変われば, それにあわせて新しい蛍光体を開発する必要が生じるため, 現在存在する蛍光体を使用できる方が実現の可能性が高くなるからです。しかし, 見方を変えれば, 励起波長に適合した蛍光体が用意できるのであれば紫外放射の波長には制限がないことになります。長期的視点に立てば, むしろ, 波長を変換する際の損失 (ストークス損) を考えて蛍光体の励起光は波長ができるだけ可視域に近い近紫外域が望ましいことになります。

現在, 近紫外の発光ダイオードの開発が進められていますが, これと並行して近紫外励起の蛍光体の開発も進められています。この近紫外励起蛍光体が実用化されれば, 蛍光ランプにおいても水銀に代わる紫外放射源の選択の幅が広がります。実際, これを見越して, 分子発光など, 近紫

外を放射する放電ランプの研究も始まっています[2, 3].

2.3.3 キセノン蛍光ランプ

現在、水銀に代わりうる紫外放射源として最もよく研究されている物質はキセノンです。これはプラズマディスプレイで使用されていることからご存知の方も多いでしょう。蛍光ランプへの使用を想定した真空紫外放射に関する発表は数多くなされていますし[4]、最近では平面型のキセノン蛍光ランプも発表されています[5]。また、誘電体バリア放電を利用した片側外部電極構造のランプ[6]や、両側外部電極構造のランプ[7, 8]なども発表されています。

キセノンの紫外発光は147 nmの原子の共鳴放射と172 nmを中心としたエキシマ放射があり、6.7 kPa (50 Torr) 以下では主に147 nmの発光が、それ以上の圧力では172 nmの発光が見られるようになり147 nmの発光は自己吸収により減衰するようになります。いずれの紫外放射も水銀の254 nmよりも波長が短いこともあって、蛍光ランプとしての発光効率は高くありません。そのため輝度を得ようと放電管の電流を増加させると陽光柱が収縮してしまい、いわゆるアーク放電となります。そのために電子温度が上昇して上位準位の発光である可視放射が増えてしまい、紫外線の発光以外でのエネルギー消費が急増して、結果として蛍光ランプとしての発光効率が激減します。キセノン蛍光ランプの研究は、いかにして陽光柱の収縮を防ぎつつ注入電力を増加させることができるか、が最重要課題であり、陽光柱収縮現象との戦いであるといえるでしょう。

この陽光柱の収縮についてはコンピュータシミュレーションが行われており、拡散陽光柱から線状陽光柱への急変の再現に成功しています[9]。バリア放電型のランプについては外部電極を複数組用いることで陽光柱の拡散を防ぎつつ放電管への注入電力を増加させて光束を増加させるというアイデアも報告されています[10]。

従来はキセノンの紫外放射は真空紫外域であることからストークス損が大きいために水銀蛍光ランプほどの効率(大体100から120 lm/W)は得られないと考えられていましたが、最近、筆者らのグループの考案した外部電極併用型のキセノン蛍光ランプでは、水銀蛍光ランプと同等の12,000 cd/m², 90 lm/Wという性能を達成しています[11]。Fig. 1にランプを点灯させたときの写真を示します。

このランプは、内部電極を2組有しており、放電管の外面に接地したアルミテープを巻きこれを外部電極とした、外部電極併用型の構造をしています。このランプを放電休



Fig. 1 外部電極併用型キセノン蛍光ランプ

止期間のあるパルス放電させると、従来のキセノン蛍光ランプでは達成できなかった高輝度かつ高効率な蛍光ランプとなります。

このランプでは、外部電極を併用することで放電管内の電界が歪を受けて電子がガラス管壁に引き寄せられて結果的に陽光柱が径方向に拡大します。そのため、より多くの電流を流してランプの輝度が上昇します。また発光効率も外部電極がない場合に比べて30~40%程度改善されます。しかしながら、147 nmの共鳴放射の自己吸収の低減、壁面再結合時のキセノン原子からの運動量移行による蛍光体の衝突励起など効率向上の原因は考えられますが、まだ明確になっていません。今後は、プラズマパラメータの計測等により効率向上のメカニズムの解明が期待されています。

2.3.4 分子ガス蛍光ランプ

蛍光ランプの水銀代替物質としてはキセノンが最も有望視されていますが、その他の物質を探求しようという研究もなされています。その中でも特に近年注目されているのが、分子ガスの紫外発光を利用する蛍光ランプです。第10回光源の科学と技術国際会議(10th International Symposium on Science and Technology of Light Sources)においてHilbigにより分子ガス放電光源のレビューがなされており[2]、低気圧から高気圧に至るいずれの領域においても放電光源としての分子ガスの探求は始まったばかりであり、新しい光源が生まれる可能性が高いと総括されています。実際、日本でも分子ガス蛍光ランプに関する研究が進められており、COを使用したもの[12](Fig. 2にCO放電の分光分布を示しています)、そして筆者らによりAr-N₂の混合ガスを使用したものが発表され[3]、注目を集めています。

Ar-N₂混合気体ではペニング様効果によりAr準安定原子から窒素分子のC³Π_uへエネルギーが転移し、これにより窒素分子の2nd Positive Bandの発光(300~400 nm)が生じることを利用しています(Fig. 3のエネルギー準位図およびFig. 4の分光分布参照)。

ペニング効果を利用したAr-Hgの蛍光ランプと同じように、Ar中のN₂の分圧はわずかに0.1%程度で窒素の発光が確認できます。

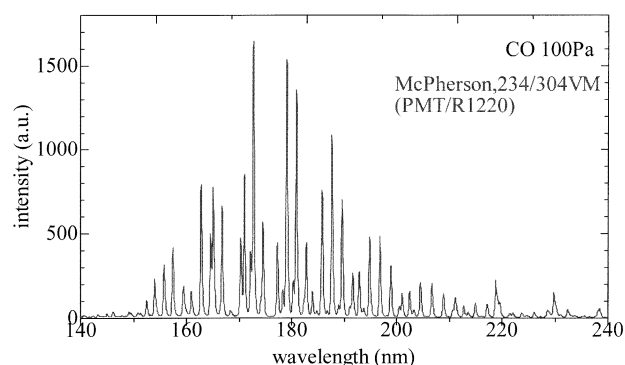
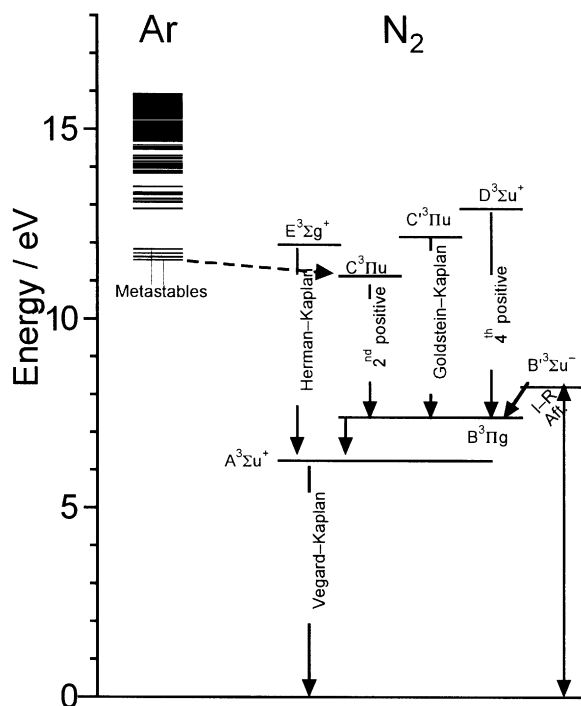


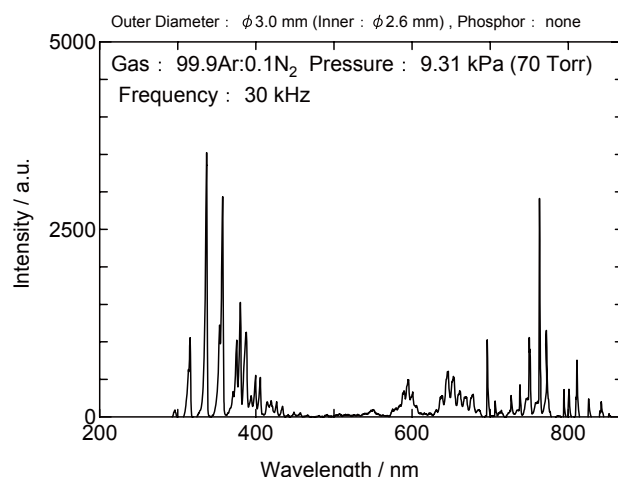
Fig. 2 COの分光分布

Fig. 3 Ar と N₂ のエネルギー準位

まだメカニズムはよくわかっていませんが、微量の窒素の添加により陽光柱が拡散する効果もあります。通常分子ガスは回転と振動のエネルギーをもつために、希ガスの放電時に比べてガス温度が上昇してしまいます。窒素のみを封入した放電管では温度が高くなりすぎて放電管が溶けてしまいますが、この Ar-N₂混合気体の場合は窒素の分圧が非常に低いために放電管の温度は Ar のみの場合と同じで低いまです。このように、これまで誰も着目していなかった Ar-N₂混合気体においてペニング様効果を利用することで、水銀代替物質として窒素にもその可能性があることが明らかになり、今後の研究の進展が期待されています。

2.3.5 まとめ

本節ではごく簡単に、無水銀蛍光ランプ研究の現状を紹介しましたが、キセノン蛍光ランプ、分子ガス蛍光ランプのいずれも、日本における研究が世界をリードしている現状を感じていただけたと思います。蛍光ランプというと歴史も長く、水銀蛍光ランプが実用化されてからすでに半世紀が過ぎていることもあり、もはや研究することはないかのように思われることが多いのですが、実は蛍光ランプの無水銀化というのは最も困難な課題であり、まだまだこれからも研究を続けていかなければならないテーマなのです。

Fig. 4 Ar-N₂の混合気体の分光分布

参考文献

- [1] Official Journal of the European Union: Restriction of the use of certain hazardous Substances, 2002/95/EC.
- [2] R.Hilbig, A. Koerber, J. Baier and R. Scholl, *Institute of Physics Conference Series 182 Light Sources 2004 (Proc. 10th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Toulouse, July 2004)* p.75.
- [3] M. Jinno, S. Takubo, Y. Hazata, S.C. Kitsinelis and H. Motomura, *J. Physics D: Applied Phys.* **38**, 3312 (2005).
- [4] 例えば, E. Kindel and C. Schimke, *Proc. 7th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Kyoto, July 2004*, p.182.
- [5] T. Shiga, S. Mikoshiba, S. Shinada, *Electronics and Communications in Japan, Part II: Electronics (English translation of Denshi Tsushin Gakkai Ronbunshi)*, (2001) Vol.84 (8), p.55.
- [6] H. Noguchi, H. Motomura, M. Aono and H. Yano, *Proc. 9th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Ithaca, August 2001*, (2001) p.445.
- [7] M. Jinno, H. Kurokawa, M. Aono, *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, 4613 (1999).
- [8] 浅賀 崇, 志賀智一, 五十嵐 清, 御子柴茂生: 平成17年度照明学会全国大会講演論文集 (2005) p.248.
- [9] K.H. Loo, M. Jinno, H. Motomura, M. Aono, 電気学会放電研究会資料 ED-03-262 (2003).
- [10] M. Jinno, K. Toryu, T. Murakami, H. Motomura, K. Loo and M. Aono, *Institute of Physics Conference Series 182 Light Sources 2004 (Proceedings of the 10th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Toulouse, July) (2004)* p.145.
- [11] 鳥生健二郎, 村上 忠, 岡本正弘, 黒河久悦, 本村英樹, 神野雅文: 電気学会放電研究会資料 ED-05-08 (2005).
- [12] 矢内啓資, 八田章光: 電気学会プラズマ研究会資料 PST-05-21 (2005).