

液晶バックライト用水銀ランプのプラズマ諸量

後藤 みき¹・大谷 清²・荒井 俊彦¹

¹ 電気電子工学科

² 東芝ライテック (株)

Plasma Parameters in Mercury Lamp Used for Liquid Crystal Display Backlighting

Miki GOTO¹, Kiyoshi OHTANI² and Toshihiko ARAI¹

Abstract

The electric field strength, electron temperature and the mercury ion density in the tube axis of a narrow Ar-Hg discharge lamp for LCD backlighting were measured by means of a probe method and a modified absorption method. The positive column of Ar-Hg discharge system is studied under the following conditions: tube inner diameter 4mm; cold-spot temperature 0-80 °C; discharge current 10mA; Ar pressure 3-80Torr. We compared measured values of the narrow diameter lamp ($d=4\text{mm}$) with a classical lamp ($d=36\text{mm}$). These values of electric field strength E/P (P : pressure) and electron temperature in narrow diameter lamp are higher about 2 times than that in classical lamp. The optimum conditions of UV radiation intensity in narrow diameter lamp are wall temperature 60 °C and Ar pressure 10Torr. It is shown that above Ar pressure 20 Torr Ar₂ molecular ions are dominant.

Key Words: Plasma parameters, Ar-Hg discharge, LCD backlighting, Positive column

1. まえがき

従来、比較的大きな管径である一般の照明用蛍光ランプ($d=36\text{mm}$)^{1)・2)}とコンパクト蛍光ランプ($d=12\text{mm}$)^{3)・4)}の低圧Ar-Hg陽柱放電については多くの研究が行われ、電離機構についてはかなり理解されている。

一方最近では液晶ディスプレイのバックライトとして管径が2~6mmと細い蛍光ランプが使用されている。バックライトユニットは薄型の傾向にあるためバックライトも高輝度細管化が望まれている。しかしその蛍光ランプについての物性的研究はまだほとんど行われていない。

蛍光ランプの最適水銀蒸気圧付近では階段電離が主要な過程と考えられるので、細い管径の蛍光ランプと36mm管との相似則が厳密に成り立たない可能性がある。また細い管径の蛍光ランプと一般の照明用蛍光ランプのHg(I) 253.7nm線強度の最大となる水銀蒸気圧は異なる⁵⁾。それ故細い管径の蛍光ランプの電離機構を定量的に解明するには、各種パラメータを直接測定し直し、解析を行う必要があると思われる。

そこで我々はこれまでに一般の照明用蛍光ランプ($d=36\text{mm}$)と比較するためアルゴン封入圧力3Torrの条件で液晶バックライト用低圧水銀ランプにおいて水銀蒸気圧を変化させて粒子密度とプラズマパラメータ⁶⁾を測定してきた。

本研究では管径4mmの液晶バックライト用水銀ランプにおいて電極のスパッタリング防止に有利な高いアルゴン圧力のときの電子温度、電界強度、水銀の紫外線のサイドライト強度及び水銀イオン基底準位密度を測定した。それらの結果を用いて電子密度とアルゴン分子イオン密度を決定したので報告する。

2. 装置及び測定方法

放電管は内径4mmの石英製である。水銀蒸気圧は放電管全体を水槽の中に入れ、水温を変化させることにより制御した。電界強度はAr-Hg放電プラズマ中の管軸上に沿った2つのプローブ間の電位差より求めた。管軸上の電子温度と電子密度はプローブ法で測定した。陽光柱放電

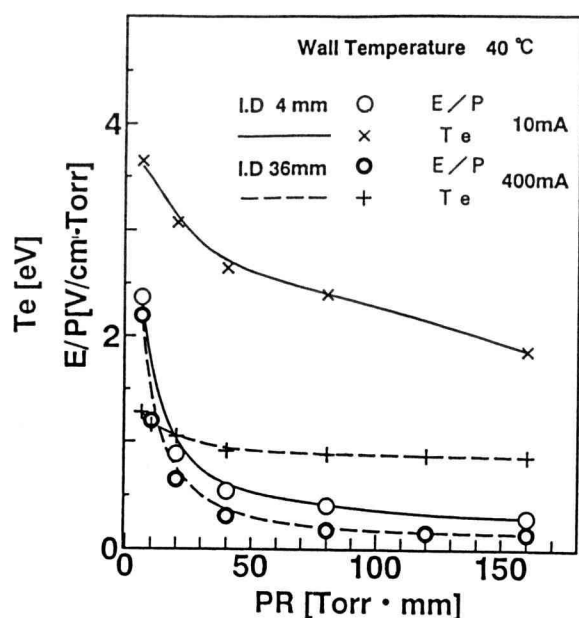


Fig.1. The electron temperature and E/P (electric field strength / pressure) as a function of the Ar pressure.

から放射されるサイドライト強度は管壁に取り付けた光ファイバーから、チョッパ、レンズ、モノクロメータ、光電子増倍管、ロックインアンプを用いて測定した。水銀イオン基底準位密度は改良型吸収法³⁾を用いて測定した。水銀イオン基底準位密度の測定に適用した改良型吸収法の装置と測定方法は文献8)に詳細に示してある。

3. 実験結果と考察

Fig. 1はアルゴン圧力を変化させたときの管壁温度40 °Cにおける電子温度と電界強度の測定結果を示している。ここで横軸のRは管半径である。ガス圧力Pで換算した電界強度E/Pと電子温度Teはアルゴン圧力とともに減少している。4mm管のE/P, Teは36mm管のものに比べ約2倍高くなっている。

Fig. 2 は放電電流は10mA、アルゴン圧力は15Torrのときの管壁温度（水銀蒸気圧）に対するHg(I)185, 253.7nm, Hg(II)194.2, 226nmおよびAr(I)696.5nmのサイドライト強度を示している。水銀線のサイドライト強度はいずれも管壁温度60-70°Cでピークを持ち、アルゴン線強度は40°Cでピークを示す。

Fig. 3は放電電流10mA、管壁温度を40°Cと60°C一定にしたときのアルゴン圧力の変化に対する水銀の253.7と185nm線のサイドライト強度を示している。管壁温度40°Cのときサイドライト強度はいずれも5Torrから10Torr付近でピークを示す。管壁温度60°Cのときではサイドライト強度はアルゴン圧力の増加と共に増加し、15Torr以上では飽和の傾向を示している。

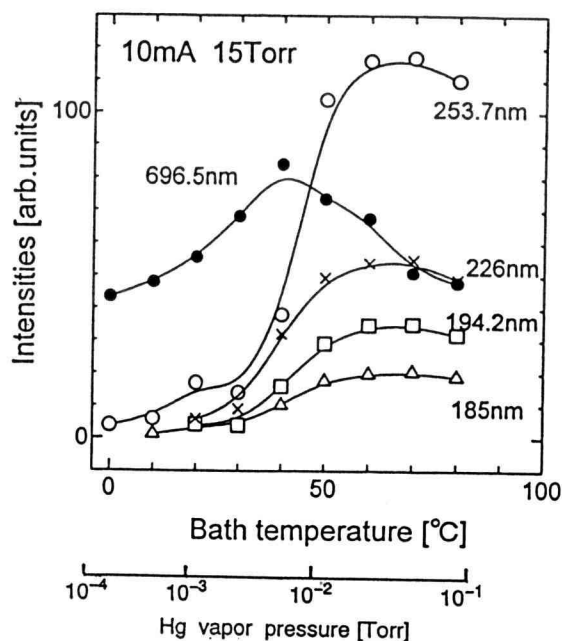


Fig.2. Hg(I) 185, 253.7nm and Hg(II) 194.2, 226nm and Ar(I) 696.5nm line intensities as a function of bath temperature (Hg vapor pressure).

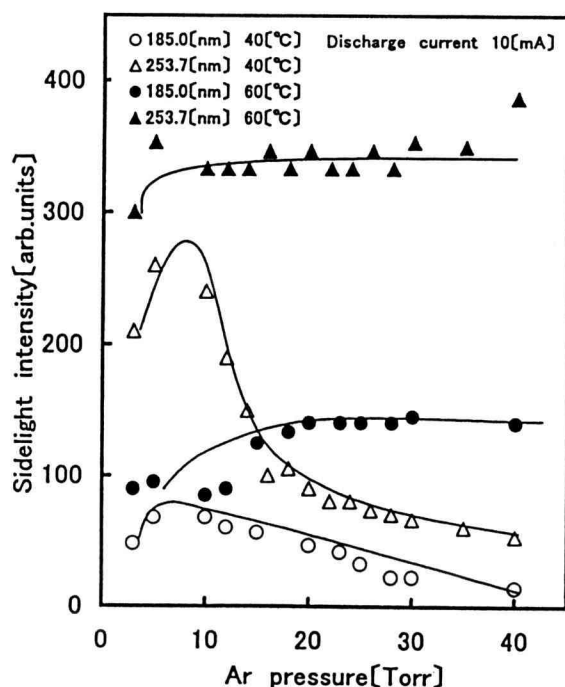


Fig.3. The Hg(I) 185, 253.7nm line intensities as a function of the Ar pressure.

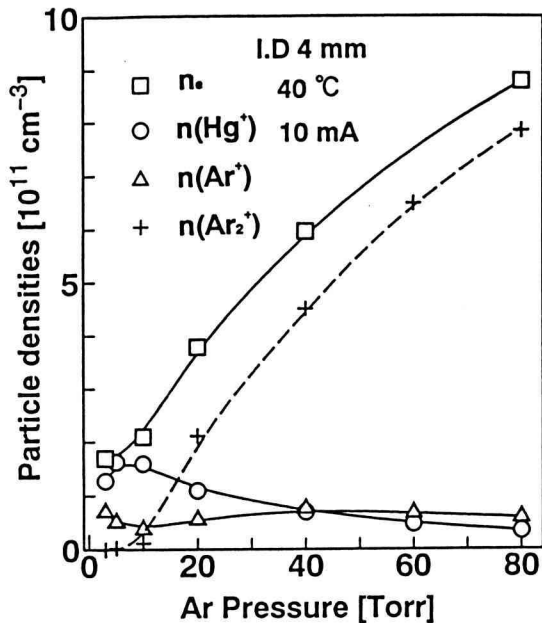


Fig.4. Hg ion density, Ar ion density, electron density and Ar_2^+ molecular ion density as a function of the Ar pressure.

Fig. 4は管壁温度40℃におけるアルゴン圧力を変化させたときの粒子密度を示している。電流は一定であるから任意のアルゴン圧力における電子密度 n_e は次式で与えられる。

$$n_e = n_e' \frac{\mu_e' E'}{\mu_e E}, \quad (1)$$

ここで μ_e' , E' , n_e' はアルゴン圧力3Torrのときの移動度、電界強度、電子密度の値、 μ_e , E は任意のアルゴン圧力における値である。 E, E' , n_e' はプローブ法で測定した値を、 μ_e' / μ_e はVerweij¹⁾の結果を用い、式(1)から任意のアルゴン圧力における電子密度を求めた。電子密度 n_e は、アルゴン圧力と共に増加の傾向を示している。吸収法で測定した水銀イオン密度はアルゴン圧力10Torr付近で最大を示し、アルゴン圧力の増加とともに減少の傾向を示している。 $\text{Ar}(I)$ 696.5nm線強度の測定より推定したアルゴンイオン密度は、アルゴン圧力10Torr付近で最小を示し、それより高い圧力ではほとんど一定である。水銀分子イオン密度は管壁温度40℃では無視できるほど小さい¹⁰⁾のでアルゴン分子イオン密度 $n(\text{Ar}_2^+)$ は次式で与えられる。

$$n(\text{Ar}_2^+) = n_e - n(\text{Hg}^+) - n(\text{Ar}^+) \quad (2)$$

ここで $n(\text{Hg}^+)$ は水銀イオン密度、 $n(\text{Ar}^+)$ はアルゴンイオン密度である。アルゴン分子イオン密度はアルゴン圧力の増加とともに増加する。従って細管蛍光ランプにおけるアルゴン圧力20Torr以上ではアルゴン分子イオンが支配的になると考えられる。

4. あとがき

管径4mmの液晶バックライト用水銀ランプについて測定した結果と管径の太い照明用蛍光ランプと比較して、細管蛍光ランプのプラズマの特徴として、以下の結果を得た。

- (1) 電界強度と電子温度は照明用蛍光ランプ(36mm管)の値より約2倍程度高く、4mm管と36mm管の相似則が成り立たない。
- (2) UV放射強度の最大を示す水銀蒸気圧、アルゴン圧はともに高いほうへ移行する。
- (3) アルゴン圧力20Torr以上では水銀イオンよりアルゴン分子イオンが支配的になる。

終りに実験に従事した当研究室の平成9、10年度卒業研究生の諸君に対し感謝の意を表する。

参考文献

- 1) W.Verweij: "Probe Measurements and Determination of Electron Mobility in the Positive Column of Low-Pressure Mercury-Argon Discharges", Philips Res.Rep.Suppl., **2**, pp.1-112 (1961).
- 2) M.Koedam and A.A.Kruithof: "Transmission of the Visible Mercury Triplet by the Low Pressure Mercury-Argon Discharge; Concentration of the 6³P States", Physica, **28**, pp.80-100 (1962).
- 3) L.Vriens, R.A.J.Keijser and F.A.S.Ligthart: "Ionization processes in the positive column of the Low-Pressure Hg-Ar discharge", J.Appl.Phys., **49**, pp.3807-3813 (1978).
- 4) T.Lin, T.Goto, T.Arai and S.Murayama: "Hg+ Ion Density in Low-Pressure Ar-Hg Discharge Used for a Mercury Lamp", J.Appl.Phys., **66**, pp.2779-2782 (1989).
- 5) T.Lin, T.Goto, T.Arai and S.Murayama: "Measurement of Hg 6p³P_{0,1,2} State Densities in the Low-Pressure Positive-column Ar-Hg Discharge Using 8s³Si-6p³P_{0,1,2} Lines", J.Appl.Phys., **67**, pp.4012-4014 (1990).
- 6) T.Lin, T.Goto, T.Arai and S.Murayama: "Account of Ionization Mechanism in Low-Pressure Ar-Hg Discharges", J.Appl.Phys., **69**, pp.4201-4205 (1991).
- 7) 渡辺、林: 「管壁負荷一定での253.7nm 光発光効率の管径ならびに水銀蒸気圧、アルゴン封入圧依存性-Ar-Hg放電における253.7nm光発光効率の管径依存性、そのII-」照学誌, 81-2, pp.154-157 (1997).
- 8) 後藤、酒井、大谷、荒井「液晶バックライト用低圧 Ar-Hg放電中の粒子密度とプラズマパラメータ」照学誌, 83-8, pp.521-525 (1999).

- 9) T.Goto, M.Mori and S.Hattori: "Modified absorption method to determine level population densities in a cataphoresis type of He-metal laser discharge", Appl.Phys.Lett., **29**, pp.358-360 (1976).
- 10) M.Goto and T.Arai: "Mercury Ion Density in Low-Pressure Ar-Hg Discharge Plasma Used for Liquid Crystal Display Backlighting", Jpn.J.Appl. Phys., **34**, pp.L1074-L1075 (1995).