

液晶バックライト用細管ランプ中の粒子密度

後藤 みき・荒井 俊彦

電気電子工学科

Particle Densities in Lamp of Narrow Tube Used for Liquid Crystal Display Backlighting

Miki GOTO and Toshihiko ARAI

Abstract

A lamp of extremely narrow inner diameter (usually narrower than 6mm) has been recently developed for liquid crystal display (LCD) backlighting and its importance is undoubtedly increasing.

In this work, the $Hg6^3P_{0,1,2}$ state densities, Hg^+ ion density, electric field strength and electron temperature on the tube axis of Ar-Hg discharge lamp were measured under a varied Ar pressure.

Ar^+ ion and Ar_2^+ molecular ion in Ar discharge were detected with a quadrupole mass spectrometer as a function of Ar pressure. The variations of the $Hg6^3P_{0,1,2}$ state densities and Hg^+ ion ground state density are similar with varied Ar pressure. The formation of Hg^+ ion with variation of Ar pressure at bath temperature $60^\circ C$ is the dominant ionization from the collision of the $Hg6^3P_{0,1,2}$ metastable state atoms.

Key Words: LCD Backlighting, Ar-Hg discharge, metastable state densities, ion density, electron temperature

1. まえがき

従来、比較的大きな管径である一般の蛍光ランプ ($d=36\text{mm}$)¹⁾⁻³⁾ とコンパクト蛍光ランプ ($d=12\text{mm}$)⁴⁾⁻⁶⁾ の低圧 Ar-Hg 陽光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6mm以下の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。

Hgランプの最適Hg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Hgランプと一般の36mm管との相似則が厳密に成り立たない可能性がある。そこで我々はこれまでに管径4mmの液晶バックライト用ランプを用い、管壁温度 $40^\circ C$ においてAr圧力を変化させたときの電

子温度と電界強度を測定し、照明用蛍光ランプとの比較を行ってきた⁷⁾。その結果、ガス圧力Pで換算した電界強度 E/P と電子温度 T_e はそれぞれ36mm管の値に比べ4mm管では約2倍高く、またHg253.7nm線の発光強度が最大となるHgの最適蒸気圧となる管壁温度は36mm管では約 $40^\circ C$ 、4mm管では約 $60^\circ C$ である⁸⁾。このように最適蒸気圧が異なる故、細い管径のHg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。

また低圧Hgランプには放電開始電圧を下げ、点灯時のランプ電圧を適切に維持するための、一つの方法として、Hg蒸気にArなどの希ガスを加えた混合ガスが使用されている。この放電開始電圧の低下の理由として、Ar準安定原子とHg原子とのペニング電離過程によるとされている。したがって電離機構を解明する上でHg粒子密度に加えAr粒子密度の情報が必要となる。

本研究では管径4mmの液晶バックライト用Ar

—Hg プラズマにおいてAr 圧力を変化させたときのHg 準安定原子密度とHg イオン密度およびAr 準安定原子密度を自己吸収法により測定した。またAr 圧力を変化させたときの管径4mm のAr プラズマ中の Ar^+ イオンと Ar_2^+ 分子イオンを質量分析装置を用いて測定し、液晶バックライト用細管ランプの電離機構を検討したので報告する。

2. 実験装置及び測定方法

2.1 粒子密度測定

Hg^+ イオン、Hg、Ar準安定原子密度は改良型光吸収法⁹⁾により測定した。Fig.1はHgの重要な準位と吸収法で用いたスペクトル線の波長を示したHgとArのエネルギー準位図である。Hgイオン基底準位密度の測定には194.2nm ($6p^2P_{1/2} \rightarrow 6s^2S_{1/2}$) 線を用い、Hg準安定原子密度については404.7, 435.8, 546.1nm ($7s^3S_1 \rightarrow 6p^3P_{0,1,2}$)、Ar準安定原子密度には696.5nm ($4p^3P \rightarrow 4s^3P_2$)を用いた。

放電管は内径4mmの石英製で、改良型光吸収法の原理に基づき、1つのアノードとプラズマ長を変えられるように2つのカソードが取り付けられている。またこの放電管はAr圧力を変化させるために排気装置に取り付けてある。Hg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

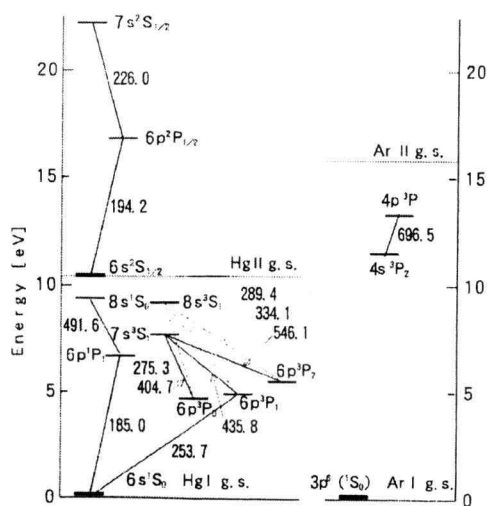


Fig.1 Energy levels and lines used for the absorption measurement of Hg and Ar.

ことにより制御した。管壁温度はUVのサイドライト放射強度の最大が得られる60℃ (Hg蒸気圧約26mTorr) 一定で行った。但し、Ar準安定原子密度測定においては60℃での測定が困難であったため、0℃で行った。放電電流は10mA一定とした。

2.2 Arイオン密度測定

Fig.2に Ar^+ イオンと Ar_2^+ 分子イオンの密度測定に用いた放電管の概略を示す。オリフィスについて、形状、大きさ、アスペクト比、材質のそれぞれ異なる内径4mmの放電管を用いた。Arガスを封入し、四重極質量分析計(QMS)で Ar^+ イオン ($m/e=40$) と Ar_2^+ 分子イオン ($m/e=80$) を測定した。放電電流は10mA一定とした。

2.3 プラズマパラメータの測定

電界強度はプローブ付放電管を用いAr-Hg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。電子温度はダブルプローブ法を用いて測定した。なお管壁温度は60℃一定にした。

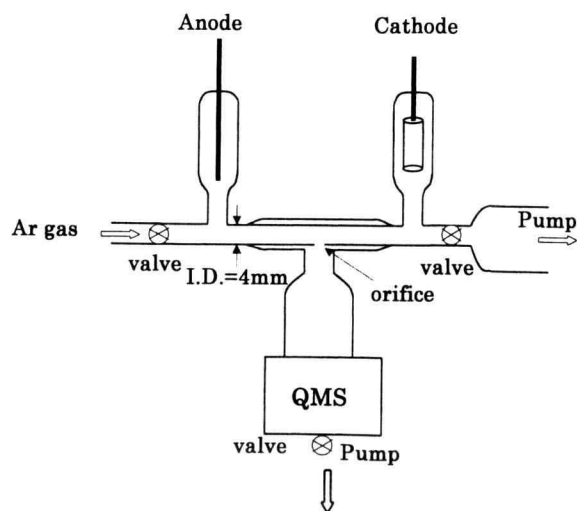


Fig.2 Schematic diagram of experimental arrangements for measurement of Ar ion and Ar_2^+ molecular ion detected by quadrupole mass spectrometer.

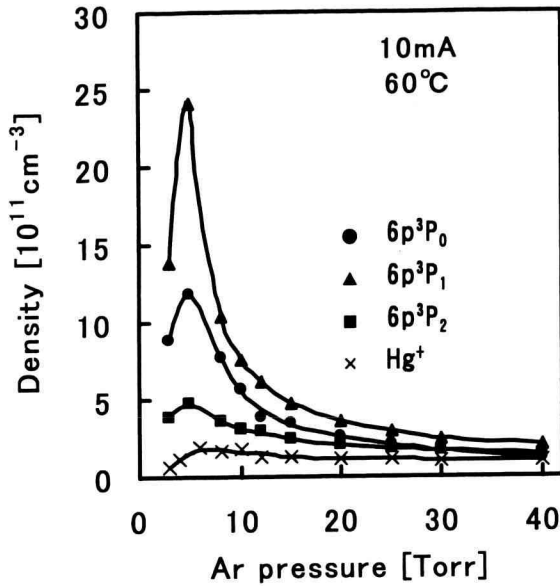


Fig.3 Hg6p³P_{0,1,2} state densities and Hg⁺ ion density as a function of the Ar pressure.

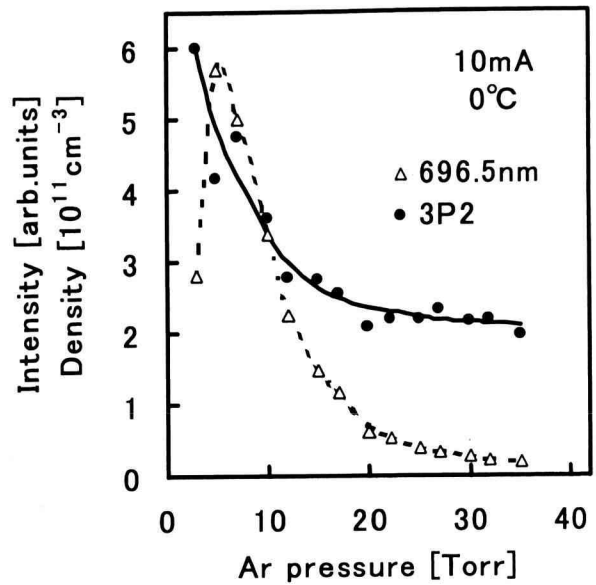


Fig. 4 Ar 4s³P₂ state density and Ar (I)696. 5nm line intensity as a function of the Ar pressure.

3. 実験結果

Fig. 3は管径4mmのAr-Hgプラズマにおいて管壁温度60℃、放電電流10mA、Ar圧力を変化させたときのHg6p³P_{0,1,2}準安定原子密度とHgイオン基底準位密度を自己吸収法によって測定した結果を示す。Hg6p³P_{0,1,2}準安定原子密度とHgイオン基底準位密度はAr圧力の増加とともに増加し、5Torr付近でピークを示し、それ以上の圧力で減少している。Hg準安定原子密度の大きさは³P₁>³P₀>³P₂となっている。

Fig. 4は管壁温度0℃におけるAr4s³P₂準安定原子密度、Ar696.5nm線エンドライト強度とAr圧力との関係を示す。Ar準安定原子密度はAr圧力の増加とともに減少している。管壁温度40℃以上で測定を試みたが、Ar696.5nm線強度が小さいため、Hg蒸気圧が低い0℃で測定した。

Fig. 5はAr⁺イオン、Ar₂⁺分子イオンの四重極質量分析計(QMS)の出力電流(相対密度)とAr圧力との関係を示す。なお質量分析管内の圧力が約10⁻⁴Torr以下になるようにオリフィスのホール径はAr圧力0.04~1Torr(分析管内圧力: 5.4×10⁻⁵~2.0×10⁻³Torr)で約100μm、Ar圧力0.3~4Torr(分析管内圧力: 3.0×10⁻⁵~6.0×10⁻⁴Torr)で約80μmのものを用いた。オリフィス径

をさらに小さくして4Torr以上の高い圧力まで測定を試みたがQMS信号を検出できなかった。

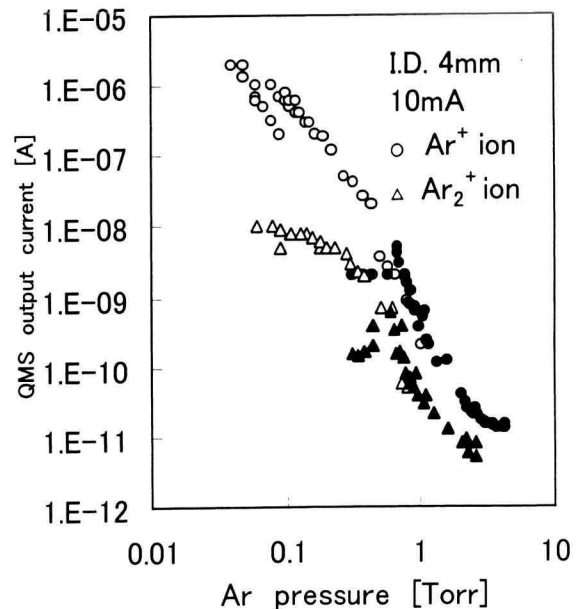


Fig.5 Quadrupole mass spectrometer output current of Ar⁺ ion (m/e=40) and Ar₂⁺ molecular ion (m/e=80) as a function of the Ar pressure, on diameter size 100 μm (open circles and triangles) and diameter size 80 μm (closed circles and triangles) of orifices.

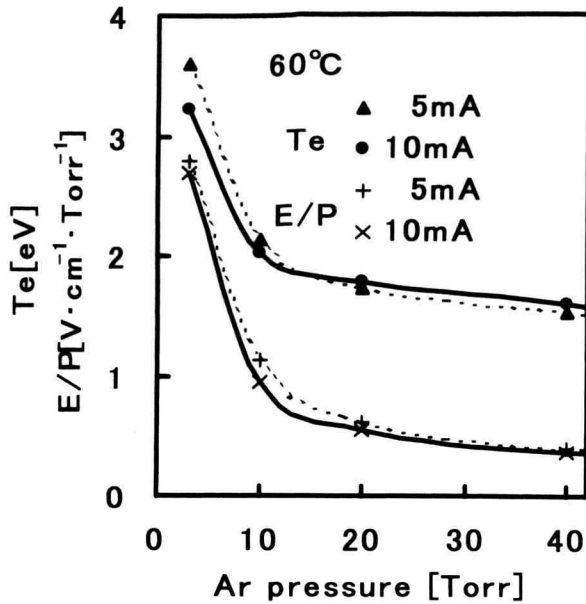


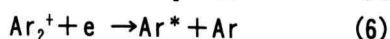
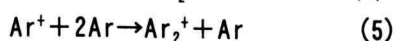
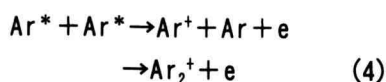
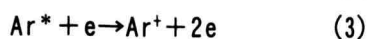
Fig. 6 The electric field strength E divided by Ar pressure P , and the electron temperature T_e as a function of the Ar pressure. (solid lines: 10mA, dash lines: 5mA)

Ar^+ イオンと Ar_2^+ 分子イオンはAr圧力の増加とともに急激に減少している。

Fig. 6はプローブ法により測定した管壁温度 60°C における電子温度 T_e とガス圧力 P で換算した電界強度 E/P を示している。電子温度 T_e 、電界強度 E/P ともにAr圧力の増加とともに減少している。

4. 考察

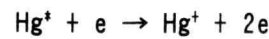
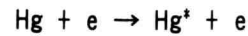
Ar圧力を増加させるとAr基底原子が増加するにも関わらず Ar^* 準安定原子、 Ar^+ イオン、 Ar_2^+ 分子イオンそれぞれが減少している。そこでAr放電中における主な反応過程を以下に示す。



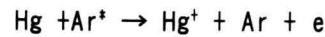
Ar圧力の増加とともに電子温度が減少するので Ar^+ イオンや Ar^* 準安定原子は減少し、 Ar_2^+ 分子イオンも減少すると思われる。

次に水銀の電離過程を以下に示す。

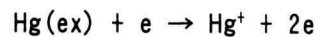
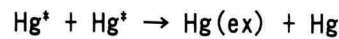
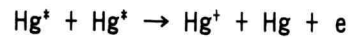
(a) 累積電離



(b) ペニング電離



(c) Hg準安定原子同士衝突による電離



(a)から(b)の電離過程で生成される Hg^+ イオン密度は次式で示される。

$$n_{\text{Hg}^+} = \tau (S n_{\text{Hg}^*} n_e + P n_{\text{Hg}} n_{\text{Ar}^*} + M n_{\text{Hg}^*} n_{\text{Hg}^*})$$

ここで τ は Hg^+ イオンの寿命, S, P, M は電離過程

(a), (b), (c)のイオン化速度定数, $n_{\text{Hg}^+}, n_{\text{Hg}^*}, n_{\text{Hg}}$ は Hg^+ イオン密度, Hg^* 準安定原子密度, n_{Hg} 基底原子密度, n_e は電子密度, n_{Ar^*} は Ar^* 準安定原子密度である。

累積電離についてはAr圧力の増加に伴う電子密度の変化がわからないが、電子温度の低下によりイオン化速度定数が低下するのでこの電離割合はあまり大きくないと推測される。ペニング電離についてはAr圧力の増加にともない Ar^* 準安定原子密度が減少するのでペニング電離割合は減少すると思われる。Hg準安定原子同士衝突による電離についてはHg準安定原子密度のAr圧力変化とHgイオン密度の変化が似ていることから主にこの電離割合が Hg^+ イオンの生成に寄与していると考えられる。

5. まとめ

液晶バックライト用の内径4mmの放電管を用いAr放電中のAr準安定原子密度、 Ar^+ イオン密度、 Ar_2^+ 分子イオン密度のAr圧力依存性を測定した。またAr-Hg放電中の Hg^+ イオン密度、Hg準安定原子密度および電子温度、電界を測定した。その結果をまとめると以下ようになる。

- (1) Ar準安定原子密度、 Ar^+ イオン密度、 Ar_2^+ 分子イオン密度はいずれもAr圧力の増加とともに減少する。

- (2) 電子温度はAr圧力10Torr付近まで急激に低下し、その後Ar圧力とともにゆっくり低下する。
- (3) Hg⁺イオン密度、Hg準安定原子密度はAr圧力5Torr付近でピーク値を示し、その後Ar圧力とともにゆるやかに減少する。
- (4) Hg⁺イオンの生成はHg準安定原子からの電離が主要であると考えられる。
- 終わりに実験に従事した当研究室の平成12、13年度卒業研究生の諸君に対し感謝の意を表する。

- 9) 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**, pp.521-525 (1999).

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.Kruthof: "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 8s³S₁-6p³P_{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) 後藤、大谷、荒井「液晶バックライト用水銀ランプのプラズマ諸量」神奈川工科大学研究報告**B**, **24**, pp. 53-56 (2000).
- 8) 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**, pp.154-157 (1997).