

# 液晶バックライト用低圧 Ar-Hg プラズマ中の 電子密度およびイオン密度

後 藤 み き\*・荒 井 俊 彦\*

Electron Density and Ion Densities in the Low-Pressure  
Ar-Hg Plasma Used for Liquid Crystal  
Display Backlighting

Miki GOTO and Toshihiko ARAI

## Abstract

The mercury ion density in the tube axis of a narrow low-pressure Ar-Hg discharge lamp was measured with a modified absorption method. The electron density was measured with a probe method. The positive column of a discharge system is studied under the following conditions: Ar pressure 400 Pa (3Torr); tube inner diameter 4 mm; cold-spot temperature 0–80°C and discharge current 20 mA. It is shown that mercury molecular ion density is determined by combining the modified absorption method with the probe method.

## 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 ( $d=36$  mm)<sup>1-3)</sup> とコンパクト蛍光ランプ ( $d=12$  mm)<sup>4-6)</sup> 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 3~6 mm 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。

水銀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<sup>3)</sup> ので、細い管径の水銀ランプと 36 mm 管との相似則が厳密に成り立たない可能性がある。それ故細い管径の水銀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。

本研究では管径 4 mm の液晶バックライト用 Ar-Hg プラズマにおいて改良型吸収法<sup>7)</sup> を用いて管軸上の水銀イオン基底準位密度<sup>8)</sup> を測定した。その結果とプローブ法により測定した電子密度<sup>9)</sup> とを用いて水銀分子イオン密度を決定することができたので、それについて報告する。

## 2. 実 験 方 法

Fig. 1 は水銀イオン基底準位密度の測定装置の概略図を示している。放電管は内径 4 mm の石英製である。改良型吸収法の原理<sup>7)</sup> に基づき、1つのアノード A とプラズマ長  $l$  を変えられるように 2つのカソード C1, C2 が取り付けられている。Ar の封入圧力は 3Torr、放電電流は 20 mA 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。放電管から出た光はアパーチャ1 ( $\phi=0.4$  mm)、チョップ、アパーチャ2 ( $\phi=0.4$  mm)、レンズを通りモノクロメータ (陽光柱放電の約 0.9 mm 径の領域からの放射光が入力スリットへ入射)、光電子増倍管、ロックイ

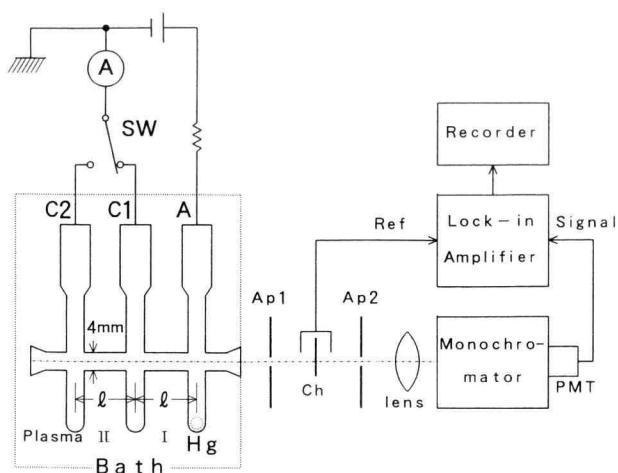


Fig. 1. Schematic diagram of the modified discharge tube used, and other experimental arrangements  
Ap1 and Ap2: identical apertures; A: anode; C1 and C2: identical cathodes; PMT: photomultiplier tube.

ンアンプを経てレコーダに記録される。まず最初に A-C1 間(プラズマ長  $l=5$  cm)で放電させたとき, Hg (II) 194.2 nm 線 ( $6p^2P_{1/2} \rightarrow 6s^2S_{1/2}$  遷移波長) のエンドライト強度  $I_1$  を測定する。次にスイッチを切り換え A-C2 間 ( $l=10$  cm) で放電させたとき, 同じ線のエンドライト強度  $I_2$  を測定する。このときエンドライト強度の比は次式のように吸収割合  $G(k_0 l)$  の関数で与えられる。

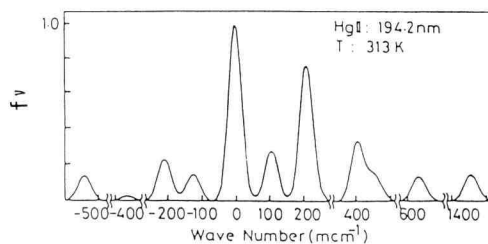
$$\frac{I_2}{I_1} - 1 = G(k_0 l)$$

$$= \frac{\int [1 - \exp(-k_0 l f\nu)] \exp(-k_0 l f\nu) d\nu}{\int [1 - \exp(-k_0 l f\nu)] d\nu} \quad (1)$$

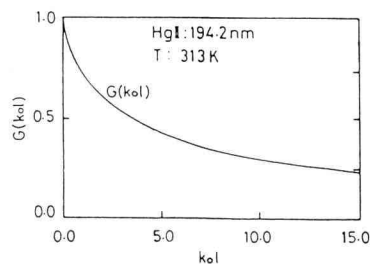
ここで,  $f\nu$  は波長  $\lambda$  の水銀線のプロファイルを与える関数である。水銀はいくつかの同位元素を含むので, Hg (II) 194.2 nm の場合のプロファイルは, Fig. 2(a) に示すような形をしている。 $k_0$  は  $\text{Hg}^{202}$  の成分の中心波長における吸収係数である。 $G(k_0 l)$  を  $k_0 l$  の関数として数値的に計算すると, Fig. 2(b) に示すような曲線が得られる。エンドライト強度比の測定から, Fig. 2(b) を使って  $k_0 l$  を知ると, 吸収係数  $k_0$  とそれに対応する遷移の下単位に励起されるイオン密度との関係式

$$n(\text{Hg}^+) = 1.24 \times 10^{11} k_0 l \quad (\text{cm}^{-3}) \quad (2)$$

より水銀イオン基底準位密度を求めることができる。この方法は窓の透過率等に依存しないため紫外線の場合でも正確な吸収測定が可能である。なおこの Ar-Hg 放電プラズマ中の水銀蒸気圧の一様性については, 自己吸収のほとんどない Hg (II) 226.0 nm 線 ( $7s^2S_{1/2} \rightarrow 6p^2P_{1/2}$ ) 強度の測定から確認した。



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Profile of the Hg (II) 194.2 nm line at 313 K.

(b)  $G(k_0 l)$  as a function of  $k_0 l$ .

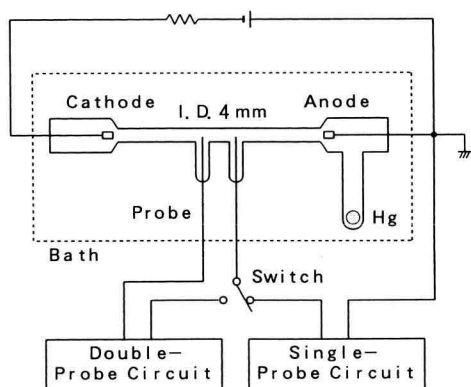


Fig. 3. Schematic diagram of the experimental arrangement including the discharge tube with probes.

Fig. 3 はプローブ法の概略図を示す。電界強度  $E$  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。電子密度と電子温度を求めるために、通常のシングルプローブ法を用いてプローブの電圧—電流特性を測定した。そして次式より電子温度  $T_e$  を求めた。

$$\frac{dV}{d\ln I_e} = -\frac{kT_e}{e} \quad (3)$$

一様な陽光柱に挿入した円筒プローブは、半径  $4.3 \times 10^{-3}$  cm, 長さ 0.1 cm, 表面積  $2.7 \times 10^{-3}$  cm<sup>2</sup> である。したがって電子の平均自由行程はプローブ半径より大きいので次式の無衝突プラズマの式より電子密度  $n_e$  を求めた。

$$n_e = 1.4 \times 10^{14} \frac{I_{ps}}{\sqrt{T_e}} \quad (\text{cm}^{-3}) \quad (4)$$

ここで  $I_{ps}$  は飽和電子電流である。

### 3. 実験結果と考察

測定した 4 mm 管の管軸上の電界強度  $E$  と電子温度  $T_e$  の温度依存性を Fig. 4 に示す。電界強度は 50°C 付近でピークを示し、その後管壁温度と共に減少している。電子温度は管壁温度 0°C から 80°C の範囲で 2 eV から 1 eV へと減少している。この傾向は 36 mm 管と 12 mm 管で測定された結果<sup>1,6)</sup> とよく似ている。また電界強度と電子温度の値は 36 mm 管と 12 mm 管で得られたものより大きい。

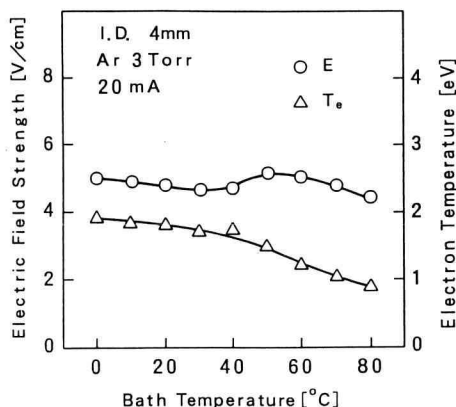


Fig. 4. Bath temperature dependence of the electric field strength:  $E$  and electron temperature:  $T_e$ .

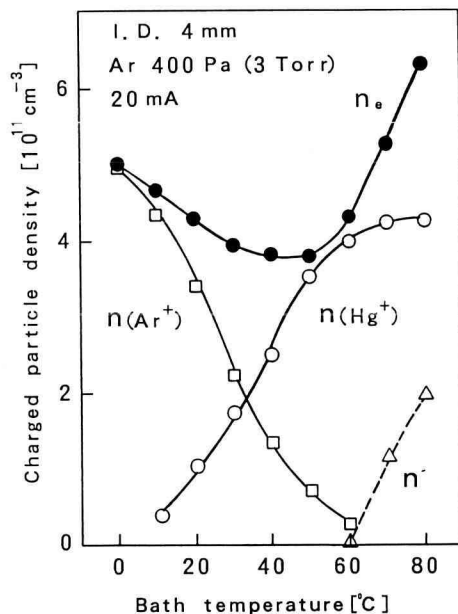


Fig. 5. Bath temperature dependence of the electron density:  $n_e$ ,  $\text{Hg}^+$  ground state ion density:  $n(\text{Hg}^+)$  and the Ar 696.5 nm line intensity:  $n(\text{Ar}^+)$ .

Fig. 5 はプローブ法で測定した 4 mm 管の電子密度  $n_e$  と改良型吸収法で測定した水銀イオン基底準位密度  $n(\text{Hg}^+)$  および Ar(I) 696.5 nm 線の発光強度の測定より推定したアルゴンイオン密度  $n(\text{Ar}^+)$  の温度依存性を示している。電子密度は 50°C 付近で最小を示し

ている。水銀イオン基底準位密度は管壁温度と共に増加し 60°C 付近の高温側で飽和の傾向を示している。Ar-Hg 放電プラズマ中の電子密度  $n_e$  は次式で与えられる。

$$n_e = n(\text{Ar}^+) + n(\text{Hg}^+) + n' \quad (5)$$

ここで  $n'$  は水銀イオン基底準位密度以外のイオン密度である。0°C において水銀イオン基底準位密度はほとんど無視できる程小さいので電子密度  $n_e$  は次式のように表せる。

$$n_e \approx n(\text{Ar}^+) = 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3} \quad (6)$$

また Ar(I) 696.5 nm 線の発光強度の変化は管壁温度と共にアルゴンイオン密度の変化にほぼ比例するとみなすことができる。

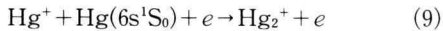
0°C から 60°C の範囲では電子密度  $n_e$  は次式のように表せる。

$$n_e = n(\text{Ar}^+) + n(\text{Hg}^+) \quad (7)$$

70°C 以上ではアルゴンイオン密度は小さく無視できるので電子密度  $n_e$  は以下のように表せる。

$$n_e = n(\text{Hg}^+) + n' \quad (8)$$

Fig. 5 の破線は  $n_e - n(\text{Hg}^+) = n'$  を示す。水銀蒸気圧が高いとき、次式のような反応により  $\text{Hg}_2^+$  分子イオンが多く作られる<sup>3)</sup>。



従って、 $n'$  は主に  $\text{Hg}_2^+$  分子イオン密度  $n(\text{Hg}_2^+)$  であると考えられる。

#### 4. あとがき

管径 4 mm の液晶バックライト用 Ar-Hg プラズマ内の管軸上の水銀イオン基底準位密度を改良型吸収法を用いて測定し、その結果とプローブ法により測定した電子密度とを用いて  $\text{Hg}_2^+$  分子イオン密度が決定された。

終りに実験に従事した当研究室の平成 5, 6 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: Philips Res. Rep. Suppl. **2** (1961) 1.
- 2) M. Koedam and A.A. Kruithof: Physica **28** (1962) 80.
- 3) L. Vriens, R.A.J. Keijser and F.A.S. Ligthart: J. Appl. Phys. **49** (1978) 3807.
- 4) T. Lin, T. Goto, T. Arai and S. Murayama: J. Appl. Phys. **66** (1989) 2779.
- 5) T. Lin, T. Goto, T. Arai and S. Murayama: J. Appl. Phys. **67** (1990) 4012.
- 6) T. Lin, T. Goto, T. Arai and S. Murayama: J. Appl. Phys. **69** (1991) 4201.
- 7) T. Goto, M. Mori and S. Hattori: Appl. Phys. Lett. **29** (1976) 358.
- 8) M. Goto and T. Arai: Jpn. J. Appl. Phys. **34** (1995) L1074.
- 9) M. Goto, T. Sakai and T. Arai: Jpn. J. Appl. Phys. **33** (1994) L896.