

気体放電パラメータ測定 (1)

— H_2 の電離係数 —

長谷川 博 一*・佐 藤 義 則**
村 井 国 昭**・下 妻 光 夫***

Measurement of The Gas Discharge Parameters(1)
—The Ionization Coefficients in Hydrogen—

Hirokazu HASEGAWA, Yoshinori SATO, Kuniaki MURAI
and Mitsuō SHIMOZUMA

要 旨

気体放電パラメータの測定装置を製作し、装置の基本特性を測定した。また H_2 の電離電流を測定することにより、 H_2 の電離係数を求めたのでここに報告する。

1. 結 言

気体の放電パラメータの測定報告は、数多くなされている。しかし測定装置の精度、測定方法によって測定者間で測定値の相違が起きることが多く、問題となる点がある。又絶縁材料用気体やガスレーザ等を使用される混合ガスの放電パラメータについては、まだ研究報告が行こなわれていないものが数多くある。

筆者らは、これらの未知な点を明確にすべく本測定装置を製作し、始めにその基本特性を測定した。また多くの気体の中で最も測定者による差異が少ないと考えられている H_2 の電離係数を測定し、本装置の精度を調べ考察検討したのでここに報告をする。

2. 実 験 装 置

2-1 実験装置

図-1に放電チェンバの略図を示す。放電チェンバは、内径 $250\phi \times 300$ H (mm) ステンレス製である。電極は、Harrison⁽¹⁾電極で端極効果を少なくするように設計されたものである。電極材質は、

上下両電極とも真ちゅう製で $120\phi \times 30$ H (mm) である。上部電極(陰極)は、中央部に直径 30 (mm) 厚さ 1 (mm) の石英板をはめ込み金薄膜電極とした。下部電極(陽極)は、表面に金メッキをほどこしてある。全装置系を、図-2に示す。微小電流測定のため、各計器に安定した交流 100 (V) 供

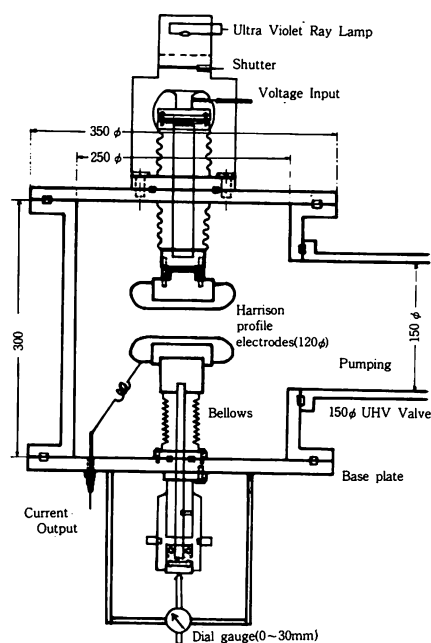


図-1 放電チェンバ

* 助 手 電気工学科

** 助教授 電気工学科

*** 北大工学部電気工学科

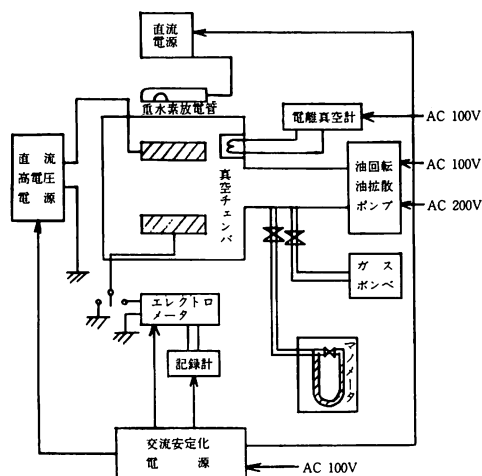


図-2 全装置系

給するため、交流安定化電源 (NF 株 PA-212) を入れた。直流高压電源 (FLUKE Mfg.Co, Inc. 410 B) は $0 \sim 10$ (KV) を $\pm 0.005\%$ 時の安定性で設定できる。エレクトロメータ (タケダ理研株 TR-8401) は、 $\pm 1 \times 10^{-15} \sim 3 \times 10^{-5}$ (A) の範囲の微小電流を測定できる。紫外線源は、重水素放電管、専用定電流電源 (浜松テレビ株 L-613, C 704) を使用している。記録計は、XY レコーダ (松下通信株 VR-618) であり、デジタルボルトメータ (YE 株 WP-7) は、 $0 \sim 1$ (KV) を測定できる。気圧測定器は、U 字型オイルマノメータで測定可能最大気圧は、約 100 (Torr) である。使用オイルは、DC-704 (信越シリコン株 F-4) である。電極ギャップ長測定は、ダイヤルゲージでおこない可変範囲 $0 \sim 30$ (mm), 最小目盛 $1/100$ (mm) である。

2-2 真空特性と電気的特性

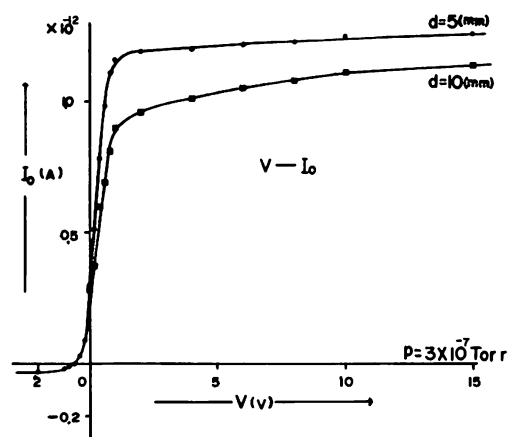
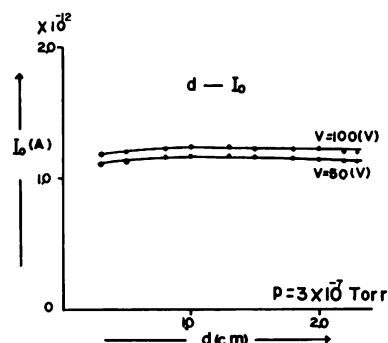
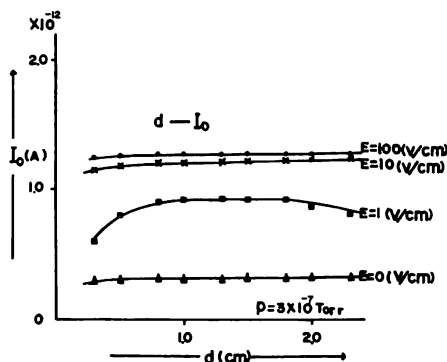
1, 真空特性

真空ポンプは、600 (l/Sec) 油拡散ポンプ (日電アネルバ) 150 (l/min) 油回転ポンプ (東京真空) を使用している。チェンバ内到達真空度は約 8×10^{-8} (Torr) (LN_2 使用時) 約 2×10^{-7} (Torr) (水冷のみ) である。また、リーク率は、 1×10^{-6} (Torr/min) (気温 22°C) であり、1 時間後の真空度は、 6×10^{-5} (Torr) となり、ガス圧 10 (Torr) の時の 1 時間後の純度は、99.9994 (%) となる。

2, 電気的特性

図-3 にギャップ d (5 (mm), 10 (mm)) -

定における真空光電流 I_0 対印加電圧 V の特性を示す。蒸着透過率 $I_F/I_R \times 100\%$ は、 $2 \sim 3$ (%) 以下となっている。図-4 は、印加電圧 V (50 (V), 100 (V)) 一定における $d-I_0$ 特性曲線である。図-5 は、電界 E (0, 1, 10, 100 (V/cm)) 一定における $d-I_0$ 特性曲線である。以上の特性より、本装置により安定した電離電流を測定できる範囲は、印加電圧 $V = 5$ (V) 以上、ギャップ長 $d = 3$ (mm) 以上、電界 $E = 10$ (V/cm) 以上である。

図-3 $V-I_0$ 特性曲線図-4 $d-I_0$ 特性曲線 (印加電圧一定)図-5 $d-I_0$ 特性曲線 (電界一定)

3. 実験方法

3-1 実験操作

1. 放電チェンバ内を油回転、油拡散ポンプにより高真空（約 2×10^{-7} (Torr)）にする。
2. 排気系と放電チェンバを主バルブにより切り放し、純水素ガスを流入し、規定気圧に設定する。水素ガスは、純度 99.9999 (％)（日本酸素(株)）のものを使用した。
3. ギャップ長 d を設定し、 E/p が一定になるようにギャップ長に対する電圧を電極間に印加する。（ E ：電界 p ：気圧）
4. 紫外線源のシャッタを開き、陰極極表面に紫外線を照射し、初期電子を放電空間へ飛び出させ、初期電流を得る。
5. 電離増倍された電流をエレクトロメータで測定し記録計に記録させる。
6. 3, 4, 5, の操作を繰り返し行ない、各ギャップ長に対する電流値を測定し記録する。
1, ~ 6, の方法で図-6の実線が得られ、この測定値を電算機により、線型化最少乗法により解析し、各係数を求める。

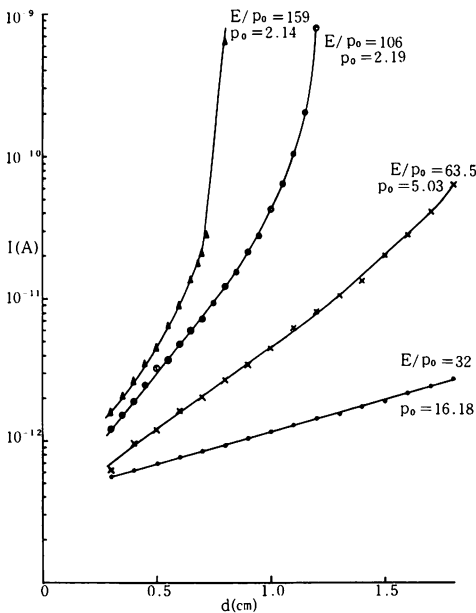


図-6 電離電流増倍曲線

3-2 解析方法

電離電流の解析に使用する式は、Townsendの電離電流成長式で表わされる。

$$I = I_0 \left\{ \frac{\alpha}{\alpha - \eta} \exp[(\alpha - \eta) d] - \frac{\eta}{\alpha - \eta} \right\} /$$

$$\left[1 - \frac{\gamma \alpha}{\alpha - \eta} (\exp[(\alpha - \eta) d] - 1) \right]$$

.....(1)

ただし I_0 ：初期電流、 d ：ギャップ長、 α ：電離係数、 γ ：二次電離係数、 η ：付着係数

水素ガスは、希ガスと同じよう、付着作用が無いと考えられるので(1)式は、

$$I = I_0 \exp(\alpha \cdot d) /$$

$$[1 - \gamma \{\exp(\alpha \cdot d) - 1\}] \quad \text{.....(2)}$$

となる。

(2)式に線型化最小二乗法を適用する。Gosseries⁽²⁾の式 K, O の式⁽³⁾は、(2)式を直線化最小二乗法の解析をおこなうため初期値算出に使用する。あるギャップ長 d_i における電流値を I_i として $d_{i+1} - d_i = h$ (一定) とすると次式で表わされる。

Gosseriesの式は、

$$\frac{1}{I_i} = \frac{1}{I_{i+1}} \exp(\alpha \cdot h)$$

$$+ \frac{\gamma}{I_0} [\exp(\alpha \cdot h) - 1] \quad \text{.....(3)}$$

また、 K, O の式は、慶応大学の中村、諸隈森氏が提案した式で α 、 γ の決定に用いられる。

$$\frac{I_i}{I_{i+1}} = \gamma (\exp(-\alpha \cdot h) - 1) \frac{I_i}{I_0}$$

$$+ \exp(-\alpha \cdot h) \quad \text{.....(4)}$$

これらの式を用いて電算機で α 、 γ 等放電パラメータを求める。

4 実験結果および考察

4-1 実験結果

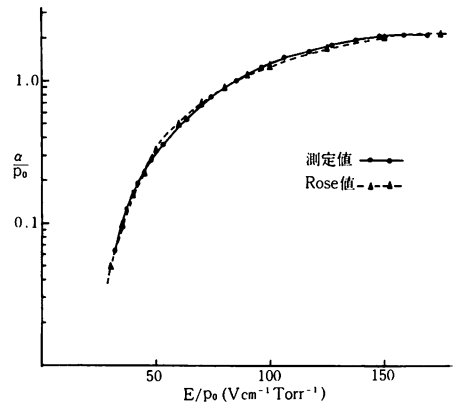
実験の測定範囲は、 $30 < E/p_0 < 170$ (V/cm-Torr)、 $1 < p_0 < 20$ (Torr)、 $3 < d < 20$ (mm)、 $10^{-13} < I < 10^{-9}$ (A) である。図-6は、ギャップ長 d に対する電離電流 I の増倍曲線 ($E/p_0 = 32.0$, $E/p_0 = 63.5$, $E/p_0 = 106$, $E/p_0 = 159$) である。これらの曲線より、電算機を用いて線型化最小二乗法によって各 E/p_0 に対する α 、 γ 、 α/p_0 の値を求めた結果が表-1である。

表－１ 各測定値（電算機処理）

$E/p_0(V \cdot cm^{-1} \cdot Torr^{-1})$	α	α/p_0	γ	$I_0(10^{-12}A)$
32.0	1.02	6.31×10^{-2}	5.26×10^{-3}	4.13×10^{-1}
37.3	2.03	1.26×10^{-1}	3.36×10^{-3}	3.65×10^{-1}
42.7	1.41	1.89×10^{-1}	8.47×10^{-3}	3.74×10^{-1}
47.9	4.48	2.76×10^{-1}	4.55×10^{-3}	3.99×10^{-1}
53.2	2.09	3.56×10^{-1}	4.40×10^{-3}	2.99×10^{-1}
63.5	2.58	5.13×10^{-1}	3.97×10^{-3}	3.34×10^{-1}
74.5	4.58	7.77×10^{-1}	4.99×10^{-3}	3.26×10^{-1}
85.1	4.65	1.00	5.14×10^{-3}	3.27×10^{-1}
95.8	5.75	1.24	4.93×10^{-3}	3.20×10^{-1}
106	4.42	1.47	4.62×10^{-3}	3.18×10^{-1}
117	2.65	1.60	7.80×10^{-3}	3.69×10^{-1}
127	2.97	1.79	9.35×10^{-3}	3.55×10^{-1}
138	3.22	1.94	1.24×10^{-2}	3.50×10^{-1}
148	4.44	2.07	1.76×10^{-2}	3.49×10^{-1}
159	4.52	2.11	2.70×10^{-2}	3.70×10^{-1}
169	4.47	2.09	3.85×10^{-2}	4.08×10^{-1}

４－２ 考 察

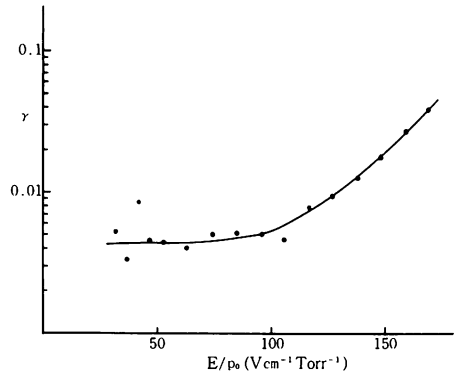
表－２は、D.J.Rose⁽⁴⁾および北大グループ⁽⁵⁾が測定した電離係数である。本測定値と比べて見るとよく一致している。図－７は、 E/p_0 に対する α/p_0 の測定値をプロットした図である。比較するため Rose の値を破点で示してある。図を見ると $E/p_0 < 45$ および $E/p_0 > 90$ の時わずかに本測定値が大きくなっている。また $45 < E/p_0 < 90$ の時は、逆に本測定値が小さくなっている。いずれの場合でも相違値は、最大でも 10(%) 以内となっている。北大の値に対しても大きな相違値は無い。図－８は、二次電離係数を E/p_0 に対してプロッ



図－７ $E/p_0 - \alpha/p_0$ 曲線

表－２. Roseおよび北大の測定値

$E/p_0(V \cdot cm^{-1} \cdot Torr^{-1})$	α/p_0 (Rose)	α/p_0 (北大)
30	4.95×10^{-2}	5.00×10^{-2}
40	1.56×10^{-1}	1.58×10^{-1}
50	3.15×10^{-1}	3.40×10^{-1}
60	5.00×10^{-1}	4.90×10^{-1}
70	6.90×10^{-1}	7.00×10^{-1}
80	8.90×10^{-1}	9.00×10^{-1}
90	1.80	1.10
100	1.26	1.28
110	1.43	1.45
120	1.58	1.61
130	1.74	1.73
140	1.86	1.85
150	2.02	1.94
160	2.12	2.01
170	2.20	2.05



図－８ $E/p_0 - \alpha$ 曲線

(注) 北大の値は、Townsend equationによる値である。

トした図である。測定した γ の値は少なく、それを決める精度は、低い。しかしながら、 E/p_0 が 100 前後までは、飽和した値をもち、それ以上で上昇していることが判定できる。この傾向は、北大グループの報告している結果に一致している。

水素の電離係数等を $30 < E/p_0 < 170$ の範囲で測定し、本測定装置の精度を調べた。これを Rose や北大の報告と比べてみても大きな相違がないことがわかった。したがって本測定装置は気体の放電パラメータ測定に使用するには十分信頼性のあるものであると思われる。

5 結 言

気体放電パラメータ測定装置を製作し、水素の電離係数を求めた。筆者らの期待通りの精度の良い電離係数を求めることができ、装置としては、満足できるものである。水素の電離係数については、数多く報告がなされており、特に深い検討考察は、省略した。今後は、本測定装置により、まだ解明されていない各種気体の放電パラメータを

測定し、報告したいと思っている。最後に本報告の測定に御指導御助言いただいた北大工学部田頭教授に深く謝意を表わすとともに協力していただいた卒研生石黒、大沼両君に感謝いたします。なお本研究には、55年度道科研費より購入した計器（超音波洗浄器）も使用している。

参 考 文 献

- (1) J. S. Persom and J. A. Harrison, J. Phys. D, 2, 77-4, 1969
- (2) A. Gosseries, Physica, 6, 458, 1939
- (3) 中村他, 放電研究会資料, 1970
- (4) D.J. Rose, Phys. Rev., 104, 273-7, 1956
- (5) 下妻他, 放電研究会資料, 1975
- (6) 生田他, 放電研究会資料, 1972
- (7) 林他, 放電研究会資料, 1980
- (8) 下妻他, 放電研究会資料, 1980
- (9) 下妻他, 電気学会全国大会, No. 59, 1973
- (10) 長谷川他, 電気四学会北海道支部大会, No. 73, 1980
(昭和 55 年 12 月 1 日受理)

