ヌード型冷陰極マグネトロン真空計の開発

麻蒔 立男・茂呂 勝美*・山口 章**

(受理1996年5月11日, 掲載決定1996年7月6日)

Development of Nude Type Cold Cathode Magnetron Vacuum Gauge

Tatsuo ASAMAKI, Katsumi MORO and Akira YAMAGUCHI

(Science Univ. of Tokyo, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162)

(Received May 11, 1996, Accepted July 7, 1996)

A nude type magnetron gauge has been developed, which is highly simplified and small. The gauge has only a cathode which is comprised of a thin vacuum chamber containing a magnet, and magnetic pole pieces.

The characteristics of the gauge are investigated in the pressure range of $10^{-1} \sim 10^{-8}$ Pa. Current I vs pressure P in a log-log plot has good linearity. This linearity is sensitive to the distance between cathode and vacuum chamber as an anode d . In the case of a short d of 10 mm, the gauge shows good linearity in a wide pressure range of 6 decades, or $10^{-1} \sim 10^{-6}$ Pa, with 2 kV of voltage applied to the cathode. This pressure range is very wide compared with that of a conventional penning discharge gauge. In the case of a long d of 19.5 mm, 5 decades, or $10^{-1} \sim 10^{-5}$ Pa, at 3 or 4 kV. With increase or decrease of the applied voltage, the range of linearity will be narrowed. The optimum applied voltages are 2 kV at $d=10$ mm, and 3~4 kV at $d=19.5$ mm.

It is found that the gauge shows a sudden change of several times in discharge current at a pressure P_c , when the pressure is decreased or increased. P_c is $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Pa for $d=19.5$ mm with an applied voltage of 1.5~6.0 kV, and $10^{-3} \sim 10^{-6}$ Pa for $d=10$ mm with an applied voltage of 1.5~6.0 kV.

This gauge is very useful for application in rocket and balloon experiments, and for pressure measurement in the deep portion of a vacuum chamber.

1. はじめに

多くの真空計の中で, 冷陰極放電真空計は, 精度が低いにもかかわらず真空系に対する熱的擾乱がなく, 且つ頑強であると云う魅力を持つ¹⁾. そのため古くから最近のXHV測定を含め, ペニング真空計や正あるいは逆マグネトロン放電など多くの研究が続けられている^{2~9)}. 近年においても, ロケットや気球など用の小形軽量化¹⁰⁾, 強磁場下の特性¹¹⁾, 2端子化による漏洩電流除去対策¹²⁾, などの研究が報告されている. これらは, 放電空間にお

ける磁場は一様磁場である.

さらに小形化あるいは測定点に自由に真空計を挿入可能なヌード形などのためには, 磁石内蔵形が便利である. この場合, 放電空間の磁界は磁極を離れるに従い急激に低下する. このようなデバイスには平板マグネトロンがありその特性が報告されている^{13,14)}. ここでは, 磁石内蔵形正マグネトロン真空計の特性について報告する.

2. 実験装置

試作した端板付(磁石内蔵形)正マグネトロン真空計の陰極部(厚さ0.2と0.5 mmの真空容器の内部に, 希土類磁石 $17\phi \times 10l$ をレーザーにより真空封入したもの)

* 現セーコー電子工業(株)情報機器営業一部

** 現日本ビクター(株)ビデオ事業本部

Fig. 1 Schematic diagram (a) and (b), (c) photographs of the experimental apparatus. (b) shows the cathode and its terminal.

の寸法を Fig. 1(a) に、陰極部と端子の写真を Fig. 1(b) に示す。これを同図(c)の装置の中央の真空容器の内部に挿入後、ドライテルポンプ（仏アルカテル社製）とスパッタイオンポンプ（アネルバ製 20 l/sec）を用いて 10^{-8} Pa (10^{-10} Torr) 程度迄排気する。その後陰極に負の電圧を印加（陽極接地）し、バリアブルリークバルブより N_2 ガスを導入し圧力調整を行って放電特性を測定した。圧力の測定はアネルバ製 NIG-2F ノード形 B-A ゲージによって行った。

磁石内蔵形のため、放電空間での磁束密度 B は、陰極表面からの距離によって大きく変化する。端板間中央の位置で、陰極表面からの距離 D と B との関係を Fig. 2 に示す。

陰極－陽極間距離 d は、陽極として所定の直径の円筒を真空容器と陰極の間に設置することにより行った。

この真空計にとって必須なのは、Fig. 1(a) に示す陰極部分で、この例において約 34 gr、End Plate を除いた磁石と真空容器だけの重さは 19 gr であった。総重量は磁石の重量でまわっている。

3. 実験結果

陽極内径 57 mm ($d=19.5$ mm) と 38 mm ($d=10$ mm) の場合の放電電流 I と圧力 P との関係を放電電圧をパラメータとして Fig. 3 及び Fig. 4 に示す。

I - P 特性はマクロに見るとほぼ直線関係にあるが、圧

Fig. 2 The relationship between magnetic flux density and the distance from the cathode surface.

力を変化すると電流が急変する圧力 P_c があることがわかる。この電流急変圧力 P_c は放電電圧によって異なり、 $d=10$ mm の場合 2 kV のときに最も低い。従って広圧力範囲 ($10^{-1} \sim 10^{-6}$ Pa) の log-log プロットにおいてよい直線性を示すことがわかる。 $d=19.5$ mm の場合、4 kV のとき P_c は最も低い、電圧による違いは、 $d=10$ mm の場合に比較して少い。

Fig. 3 Typical discharge current I versus pressure characteristics in the case of the cathode-anode distance of 10 mm.

Fig. 4 Typical discharge current I versus pressure characteristics in the case of $d=19.5$ mm.

放電電流と放電電圧の関係を、 $d=19.5$ mm と 10 mm の場合について圧力をパラメータとして Fig. 5 に示す。電流の変化の傾向は、 1×10^{-1} Pa $\sim 1 \times 10^{-5}$ Pa においては、大きな差はない。しかし 1×10^{-6} Pa になると電流値に極大点が表れ、放電モードの変化のあることを伺わせる。

電流急変圧力 P_c と放電電圧 V の関係を Fig. 6 に示す。 P_c には極小点があり、その値は $d=10$ mm の場合およそ 2 kV、 $d=19.5$ mm の場合およそ 4 kV にあることがわかる。

放電強度 I/P と放電電圧 V の関係を圧力をパラメータとして Fig. 7 に示す。 $3 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-6}$ Pa の範囲において、 $d=10$ mm の場合の方が $d=19.5$ mm の場合より放電強度 I/P はやや大きい。

4. 考 察

陰極の中に磁石を内蔵させ、陽極として真空容器を用いることにより、単一電極からなる究極的にシンプルとも云える小形化されたスード形冷陰極マグネトロン真空計を試作できた。

放電電流 I -圧力 P 特性は、両対数プロットにおいて概ね直線関係にあり真空計として使用できる。しかしミクロに見ると圧力を低下していくと電流が急変（増）す

Fig. 5 Typical relationships between the discharge current and the discharge voltage.

Fig. 6 Effect of the discharge voltage on the sudden change pressure of the discharge current.

る圧力 P_c の存在することがわかった。ペニング真空計やマグネトロン真空計においては、高真空側において折線となって電流が急減することが知られている^{5,12)}。また、Andrew¹⁵⁾やLamont¹⁶⁾は、放電圧力の低下とともに、放電プラズマ径が小さくなっていくことを観測している。これらは、磁束密度が放電空間全域にわたってほぼ一定の場合である。本報告及び別報¹⁴⁾のように、陰極表面を離れるとともに磁束密度が低下する場合に、このような現象があらわれる。これは不均一磁場の場合の特徴のように思われる。別報の場合、空間電位の定点観測を行い、放電電流の急増（圧力を下げて行ったとき）とともに空間電位も上昇しているので、AndrewやLamontの場合と逆に、プラズマ径はこの圧力において急変（増）しているものと思われる。この電流急変の原因は不詳であるが、いわゆる放電モードの変化を伺わせる。

電流急変圧力 P_c の最も低い圧力を与える放電圧と陰極—陽極間距離 d との比（平均電界強度を意味する）は、 $d=10$ mm の場合 $[(2 \text{ kV}/10^{-2} \text{ m})=2 \times 10^5 \text{ V/m}]$ も $d=19.5$ mm の場合 $[(4 \text{ kV}/1.95 \times 10^{-2} \text{ m})=2.05 \times 10^5 \text{ V/m}]$ も約 $2 \times 10^5 \text{ V/m}$ とほぼ等しい。これは、 P_c が平均電界強度とともに低下することを意味する。したがって d を小さくし、電圧を低下することによりさらに広い圧力範囲にわたって直線性（log-log プロットにて）をよくすることを伺わせると云えよう。

放電電流 I と放電電圧 V (Fig. 5) 及び放電強度 I/P と放電電圧 V (Fig. 7) との関係は、 $d=10$ mm のとき、

Fig. 7 Typical discharge intensity versus discharge voltage characteristics.

$d=19.5$ mm よりやや放電強度（真空計としては感度）が高いことを示しているが、あまり大きな差はない。しかし I/P の特性から、圧力が 10^{-6} Pa 付近の 3 kV 付近で特性が急変することを示している。

総重量については、Woods¹⁰⁾ (25 gr) に比較すると、9 gr 大きい、真空計として End Plate を除くと (19 gr) と小さいことがわかる。この研究では、低重量化の追究はあまり行われなかったが、End Plate がなくとも真空計として用いることができる。また、小形の磁石を用いればさらに軽量の真空計を作ることができることは明らかであろう。

5. 結 論

磁石を陰極内に内蔵することにより、シンプル且つ小型化されたヌード型冷陰極マグネトロン真空計をつくることができた。

(1) その直線領域は、陰極—陽極間距離が 10 mm、印加電圧 2 kV としたとき $10^{-1} \sim 10^{-6}$ Pa の 6 桁もあることがわかった。

(2) 放電空間において磁束密度が陰極から離れるに従って低下するこの真空計においても、平板マグネトロンの場合と同様、低圧において電流が急変することがわかった。

(3) 放電強度 I/P はほぼ放電電圧に比例した。但し、電流の急変する電圧付近にピークがありその後減少する。

(4) 電流の急変する圧力 P_c と放電電圧の関係において、最小の P_c は、陰極—陽極間距離 d とともに低下する。

〔文 献〕

- 1) J. M. Lafferty: J. Vac. Sci. Technol. **9** (1972) 101
- 2) F. M. Penning: Physica IV (1937) 5
- 3) F. M. Penning and K. Nienhuis: Philips Tech. Rev. **11** (1949) 116
- 4) J. P. Hobson and P. A. Redhead: Can. J. Phys. **36** (1958) 271
- 5) P. A. Redhead: Can. J. Phys. **37** (1959) 1260
- 6) L. D. Hall: Rev. Sci. Instr. **29** (1958) 367
- 7) R. L. Jepsen: Le Vide **80** (1959) 80
- 8) S. L. Rutherford: Trans. 10th Nat. Vac. Symp. AVS (1963) 185
- 9) T. Kojumi, Y. Kawasaki, T. Kurita, M. Kondou and Y. Hayashi: J. Vac. Soc. Jpn. **34** (1991) 505
- 10) R. O. Woods: J. Vac. Sci. Technol. **10** (1973) 433
- 11) S. R. Thomas, Jr., D. A. Goerz and W. L. Pickles: J. Vac. Sci. Technol. **A4** (1986) 1736
- 12) N. T. Peacock and R. N. Peacock: J. Vac. Sci. Technol. **A6** (1988) 1141
- 13) T. Asamaki, T. Miura, G. Nakamura, K. Hotate, S. Yonaiyama, K. Ishibashi and N. Hosokawa: J. Vac. Soc. Jpn **35** (1992) 70
- 14) T. Asamaki, T. Miura, K. Hotate, S. Yonaiyama, G. Nakamura, K. Ishibashi and N. Hosokawa: Jpn. J. Appl. Phys. **32** (1993) 902
- 15) D. Andrew: Proc. 4th Intern. Vac. Cong. (1968) 325
- 16) L. T. Lamont Jr.: Proc. 4th Intern. Vac. Cong (1968) 345