熱陰極電離真空計における電子運動について*

種部 慎**・美馬 宏司**

(受理1994年11月28日, 掲載決定1995年2月4日)

On a Behavior of Electrons in a Hot Cathode Ionization Gauge

Makoto TANEBE and Hiroshi MIMA

(Faculty of Engineering, Osaka City University, 3-3-138, Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558)

(Received November 28, 1994, Accepted February 4, 1995)

1. はじめに

現在, 真空の圧力測定において熱陰極電離真空計が広く利用されているが, 一般に電離真空計の感度係数は校正装置を用いて与えられている。しかし, この感度係数の校正作業には多くの時間と労力が必要とされ, 感度係数を解析的に求める方法の確立は重要な検討事項となっている。著者らは, 感度係数を解析的に導出する方法として, 電子の I - V 分布について研究を行ってきた¹⁾。

I - V 分布とは, 電子の走行空間を等電位間隔で分割し, そのエネルギー領域 V ごとに電子の走行距離を l として示したものであり, 全ての電子について統計平均された仮想的な電子の運動を与えるものである。電離真空計管球内での I - V 分布を求めることができれば, 気体の全イオン化断面積 σ を用いて, 次式により感度係数 K が得られる。

$$K = \frac{1}{kT} \sum_i \sigma(V_i) \cdot l_i \quad (1)$$

ここで, k はボルツマン定数, T は気体の温度である。

本論文では, 感度係数を導出する第一段階として, 熱陰極電離真空計管球内での電子の I - V 分布から電子運動を検討するとともに, 実際に電離真空計管球を用いて測定した結果に基づいてグリッド電極内外での電子の I - V 分布と感度係数の比較を行う。

Table 1 Specifications of the gauge tube and dimensions of each electrode.

Range:	1.3×10^1 to 5.3×10^{-8} Pa for Argon	
Sensitivity:	6.0×10^{-2} (Pa) $^{-1}$	
X-ray Limit:	5.3×10^{-8} Pa	
Operating Ratings		(Radius)
Grid (Anode):	+180 VDC	6.5 mm
Ion Collector:	0 VDC	0.1 mm
Shield:	0 VDC	19.5 mm
Filament:	+30 VDC	

2. 電子運動と I - V 分布

今回用いた熱陰極電離真空計は, Varian 社製の管球 (564 Broad-Range Bayard-Alpert Type Ionization Gauge Tube) であり, B-A 真空計型の電極構造とガラス管球の内壁に白金コーティングされたシールド電極を備えている。各電極は同心円筒及び円柱であり, 仕様と各電極寸法は Table 1 に示す通りである。

この管球におけるグリッド電極内外での電子軌道シミュレーションの一例を Fig. 1(a) に示す。これは, フィラメントから出た電子がグリッド (A 点) を通過した後, B~E 点の各点で電子がグリッドに到達し電子運動が終了したと考えた場合の各々の I - V 分布を示したものが Fig. 1(b) である。この図では, 電子が初速度ゼロでフ

* 平成6年10月27日 第35回真空に関する連合講演会で講演 (27Aa-3)

** 大阪市立大学工学部 (〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

Fig. 1 An example of electron trajectory in the plane perpendicular to the ion collector electrode (a) and l - V distributions of electrons with the incident angle ϕ of 10° (b).

Fig. 2 Some examples of electron trajectory (a) and l - V distributions of electrons with the incident angle ϕ of 0° , 5° , 10° , 20° , 45° (b).

フィラメントから放出されると考えて、電子のエネルギー eV はゼロから最大 eV_{af} までの値をとるものとして l - V 分布を図示してある。 V_{af} はグリッド（アノード）-フィラメント間の電位差である。 A-E 間の運動において、 C-D, D-E 間の軌道は、 A-B, B-C 間の軌道と等しくなるため、グリッド電極内の運動である A-B 間と C-D 間、グリッド電極外の運動である B-C 間と D-E 間がそれぞれ等しい l - V 分布をもち、 D, E の各点で電子運動が終了した場合の l - V 分布は、 l_i の値が C 点までで終了した場合の 2 倍になることがわかる。

また、 A-C 間の電子運動について l - V 分布のグリッドへの入射角依存性を示したものが Fig. 2 である。入射角によって電子の運動が変化すると、電子は異なる電位の上を走行することになるために、電子の l - V 分布も変化することがわかる。

3. 実験方法及び結果・検討

実験によって直接電子の走行距離 l を求めることはできないので、フィラメントから出た電子がグリッドに到達するまでに生じたイオン電流をイオンコレクターとシールド電極で測定することによって、グリッド電極内外での l - V 分布を次式の関係より求めた。

$$I^+ = \left\{ \frac{1}{kT} \sum_i \sigma(V_i) \cdot l_i \right\} \cdot I^- \cdot P \quad (2)$$

ここで、 I^+ はイオン電流、 I^- はフィラメントからの電子電流、 P は圧力である。

(2) 式を用いて電子の走行距離 l を求めるためには、複数の電位での電流値が必要である。そのため、各電極電圧の比が一定となるようにフィラメントとグリッドの電圧をスイープし、イオンコレクターとシールド電極でイオン電流を測定した結果が Fig. 3 である。これは、約 6.5×10^{-3} Pa の圧力下で測定を行ったものであり、この電圧とイオン電流の関係を V_{af} - I^+ 特性と呼ぶことにする。

この V_{af} - I^+ 特性から、シールド電極で測定したイオン電流 I_{sh}^+ の方が、イオンコレクターで測定されたイオン電流 I_{ic}^+ よりかなり多いことがわかる。すなわち、グリッド電極の外側で生成されるイオンの方が、圧力測定に用いられるグリッド電極内のイオンより多く、圧力測定においては全生成イオンのうち大半が無駄になっていることになる。

Fig. 4 は、グリッド電極内外でのイオン電流の量を比較するために、Varian 社の管球の指定動作電圧であるグリッド-フィラメント間電圧 150 V で、圧力を変化さ

Fig. 3 Measured V_{af} - I^+ characteristics for Ar gas.
●: at ion collector, ○: at shield electrode.

Fig. 4 Sensitivity ratio for inside and outside of the grid electrode.

せてイオン電流の比，すなわち感度係数の比を求めたものである。シールド電極で測定されたイオン電流の方がイオンコレクターで測定されたものより約5倍多くなっている。この理由として，フィラメントから出た電子のうちグリッドを通過しないものがあるためや，グリッドを通過するまでにかなりの距離を走行しているためと考えられる^{2,3)}。

Fig. 3 に示した V_{af} - I^+ 特性から(2)式より，全イオン化断面積データ⁴⁾を用いて Fitting 法で求めた I - V 分布を Fig. 5 に示す。この図は，それぞれ I の最大値で規格化したものだが，グリッド電極内外の I - V 分布はともにそれぞれの電子軌道シミュレーションから得られた I - V 分布と同様の特徴を示していると考えられる。

4. おわりに

熱陰極電離真空計の感度係数を解析的に導出する方法の1つとして，電子の I - V 分布を用いる方法を研究してきた。現段階において， I - V 分布の絶対値を求めること

(a)

(b)

Fig. 5 Calculated I - V distributions.
(a) inside of the grid, (b) outside.

ができておらず，感度係数を導出するには至っていないが， I - V 分布の相対値を得ることによって比感度係数を算出することは可能である。今回の管球についても比感度係数を算出し，管球に添付された Varian 社の比感度係数値にはほぼ等しい値が得られることを確かめている。

電子の I - V 分布は，電極構造や電子のイオン化空間への入射角（初期条件）に依存しており，実験的に得られる I - V 分布から電子の運動についての知見が得られる可能性があり，これは電極構造の異なる種々の熱陰極電離真空計に適用可能である。

〔文 献〕

- 1) 美馬宏司，清井栄信，八木邦夫，兼松 太：真空，27 (1984) 844.
- 2) P. A. Redhead: J. Vac. Sci. Technol., 6 (1969) 848.
- 3) L. G. Pittaway: J. Phys. D3 (1970) 1113.
- 4) D. Rapp and P. E. Golden: J. Chem. Phys., 43 (1965) 1464.