極高真空計用低温電子源の電子放射特性とガス放出

佐藤 智彦・大島 忠平

(受理1993年9月14日, 掲載決定1993年12月4日)

Characteristic of Electron Emission and Gas Desorption from the Impregnated Cathode of Ionization Gauge for an Extremely High Vacuum

Tomohiko SATOH and Chuhei OSHIMA

(Department of Applied Physics, Waseda University, 3-4-1, Ohkubo, Shinjuku, Tokyo)

(Received September 14, 1993, Accepted December 4, 1993)

1. はじめに

現在, 超高真空領域で広く使用されている熱陰極電離真空計を, 10^{-10} Pa 以下の極高真空領域に適用しようとすると, 正確な圧力測定を妨げる次の3つの要因が重要問題となる. 電子衝撃脱離イオン (ESD イオン) 現象, 軟 X 線効果, そして熱陰極使用によるガス放出現象である. ESD イオンと軟 X 線効果による雑音についてはイオン偏向器を使うことによって取り除くことができる^{1,2)}. しかし, ガス放出の問題は深刻である. 最近, 超高真空領域で熱陰極電離真空計の周辺の材料を検討する事により, 電子源及び電子源周辺からのガス放出の低減化が報告されているが³⁾, 低い圧力の極限環境である極高真空領域では未だ不十分である. ガス放出を抑えるためには電子源を代えることが非常に有効と考えられる.

我々は既に冷電子源である Spindt 型フィールドエミッターを用いて極高真空計の冷陰極化を試み, 10^{-10} Pa 台においてフィールドエミッターからのガス放出を無視できるまで低下させ得ることを確認した⁴⁾. これにより, 真空計の動作による消費電力を2桁下げることができた. しかしガスが枯れるまでに現状のエミッターでは約1カ月を要す. また直流的な使用条件下ではエミッション電流量は, 全圧測定には十分 (~ 0.1 mA) であるが, 我々の真空計に飛行時間法を適用した場合の, パル

素的な全電流量がやや少ない (~ 0.01 mA 以下) ことが問題点として残っている.

本実験では, 現在使われている熱陰極の中で, 仕事関数の低い材料の一つである含浸形カソードの電子放射特性と 10^{-11} Pa 台におけるガス放出を調べ, 極高真空計の電子源としての可能性について議論する.

Fig. 1 は本実験に使用した真空計の模式図である. イオン化室のグリッドは白金クラッドモリブデンを使用し, 電子源と一緒に 255° 静電偏向器真空計¹⁾ (以下の文では偏向器真空計とする) に取り付けられた. また比較用としてエキストラクターゲージ (Leybold 社製 IE514) を

Fig. 1 A Schematic diagram of the ionization gauge equipped with the impregnated cathode.

* 早稲田大学理工学部応用物理学科 (〒169 東京都新宿区大久保 3-4-1)

Fig. 2 Emission currents (I_m and $I_e + I_m$) from the impregnated cathode as a function of the cathode power.

使用した。含浸形カソードとグリッドの間のメッシュ（白金製，55 mesh）は，飛行時間計測用の電子パルスビームを作るために取り付けられているが，本実験では一定の電圧をかけて放射電流を制御する事に用いた。

この実験での圧力は窒素換算値を示している。しかし，極高真空領域では残留気体の成分のほとんどは水素なので比感度係数を考慮して，実際の圧力はここでの圧力指示値の2.3 (1/0.43) 倍程度である⁵⁾。実験は 10^{-9} ～ 10^{-11} Pa 台の真空領域で行なった。

2. 実験

含浸形カソードはタングステン等の高融点金属の多孔質体に電子放出物質 (BaO , CaO , Al_2O_3) を含浸させた熱陰極である。今回使用した含浸形カソードの表面には $\text{W-Sc}_2\text{W}_3\text{O}_{12}$ の薄膜が被覆しており，真空中で通电加熱すると， $\text{Sc}_2\text{W}_3\text{O}_{12}$ と下地から供給される Ba が反応して原子状の Sc を生成する。この Sc 原子は，Ba, O と結合してカソード最表面に Ba-Sc-O の原子層を形成し，仕事関数は 1.2 eV と著しく下がる⁶⁻⁸⁾。

カソードの形状は，厚さ 0.45 mm ，放射面積が 1.2 mm^2 の円柱形で，タングステン・レニウム板ヒーター（厚さ $30 \mu\text{m}$ ，幅 0.6 mm ，長さ 8 mm ）の中央に取り付けてある。加熱は，このヒーターに通電して行なった。ここでのカソードの温度は，パイロメーターにより測定した輝度温度である。

Fig. 2 に今回使用したカソードの消費電力に対するエミッション電流の関係と，その測定回路を示す。図中，●印で示したデータ点はグリッドに入るエミッション電

Fig. 3 V-I plot of the impregnated cathode for different powers.

流 I_e を，■印で示した点は I_e とメッシュに入るエミッション電流 I_m の総和 $I_e + I_m$ を表わしている。わずか 0.5 W ($\sim 400^\circ\text{C}$) からエミッション電流が放射され始め，消費電力が 2 W ($\sim 800^\circ\text{C}$) 以上で $I_e + I_m$ が約 7 mA となり飽和し始める。この飽和領域の放射特性は空間電荷によって決まり，グリッド，メッシュ，カソードの幾何学的形状及び各電位により変化する。

カソードの電流電圧特性を Fig. 3 に示す。横軸はメッシュ電位 V_m ，縦軸はメッシュに入るエミッション電流 I_m を示す。▲印，■印，●印はそれぞれ異なったカソードの消費電力に対する電子放射特性である。この測定ではグリッド電位を 0 V に固定し，放射された電流はすべてメッシュ電極に集めた。

Fig. 4 はエミッション電流 I_e を約 0.1 mA にして10時間動作させたときの経時変化を示す。この時のカソードの消費電力は 0.8 W ($\sim 500^\circ\text{C}$) 程度であり，通常の使用温度 ($800 \sim 1000^\circ\text{C}$) に比べてかなり低温度で使っている。カソード表面において，Ba-Sc-O の原子層形成には被覆膜からの Sc 及び下地からの Ba の供給が常に必要となる。本実験では，カソードの動作温度が低いため，Ba の表面拡散量が不足して仕事関数が大きくなり，その結果，エミッション電流が減少することが懸念された。しかし，Fig. 4 で分かるように実際にはこの温度でもかなり安定に動作する。これは 10^{-9} ～ 10^{-11} Pa の圧力下で使用しているため表面に吸着する原子分子が少なく，仕事関数がほとんど変化していないためと考えられる。このカソードの寿命は 850°C 使用で10万時間と推定されている⁸⁾。

トリエテッドタングステンカソードの場合は， 0.1

Fig. 4 Typical stability of emission current I_e from the impregnated cathode.

mA のエミッション電流を得るための消費電力は1.5 W 程度であり、含浸形カソードは約半分の消費電力で同じ数の電子を放出していることになる。本真空計では0.1 mA のエミッション電流は、 1×10^{-11} Pa の圧力計測が可能な電流量である。

次に含浸形カソードからのガス放出測定を行なった。エミッション電流を変えたときのエキストラクターゲージの指示値と偏向器真空計の検出数を測定した。Fig. 5 は真空容器のベーク後1週間経過したときの 10^{-11} Pa 台における含浸形カソードからのガス放出の様子を示す。図中、○印はカソードのエミッション電流 $I_e + I_m$ に対するエキストラクターゲージの指示値であり、△印はエミッション電流 $I_e + I_m$ が0 mA のとき、つまり偏向器真空計を停止したときの背景の圧力を示す。エキストラクターゲージのコレクター電流は微少電流計 (Keithley 社製610C) で測定し、 10^{-11} Pa 台の圧力は、我々の偏向器真空計によって校正した値を用いた。●印はエミッション電流 I_e に対する偏向器真空計の検出数である。この図から、エミッション電流 $I_e + I_m$ が1.5 mA 程度まではカソードからのガス放出による圧力上昇は、エキストラクターゲージによっても、また我々の偏向器真空計によっても全く検出されていない。ここで、排気速度を $S = 1 \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ とすると、ガス放出量がおおよそ $2 \times 10^{-12} \text{ (Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ 以上になれば、我々の偏向器真空計で検出できる。一方、Fig. 5 の●は正確に45°の直線に乗っていることから、ガス放出による圧力上昇はない。従って、ガス放出量は、約 $2 \times 10^{-12} \text{ (Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ 以下と概算される。

また、このエミッション電流の範囲におけるカソードの動作温度は、500~800°C程度であり、他の熱陰極と比較して極めて低い事が分かった。

Fig. 5 The pressure indicated by the extractor gauge and the counting rate of our gauge with 255° angle deflector as a function of the emission current. The symbol of triangle stands for the pressure under the zero emission.

3. ま と め

$10^{-9} \sim 10^{-11}$ Pa の真空領域において偏向器真空計を動作させ、含浸形カソードからの電子放射特性と0~1.5 mA のエミッション電流の範囲でガス放出を調べた。その結果、カソード周辺からのガス放出による圧力上昇はエキストラクターゲージ及び偏向器真空計を使用しても検出できなかった。ガス放出量はおよそ $2 \times 10^{-12} \text{ (Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$ 以下と考えられる。エミッション電流もきわめて安定であり、使用温度が低いために寿命は10万時間をはるかに越えるものと考えられる。以上の結果は含浸形カソードが極高真空計用電子源として有力である事を示している。

最後に、本実験で使用した含浸形カソードは日立製作所(株)中央研究所及び電子デバイス事業部により提供していただいたものでありここに御礼致します。

【文 献】

- 1) 大塚 章, 大島忠平, 市ノ川竹男, 真空 **34** (1991) 5.
- 2) F. Watanabe, J. Vac. Sci. Technol. **A10** (1992) 3333.
- 3) F. Watanabe, J. Vac. Sci. Technol. **A11** (1993) 432.
- 4) C. Oshima, T. Satoh and A. Otuka, Vacuum **44** (1993) 595.
- 5) 石井 博, 中山勝矢, 真空 **3** (1960) 77.
- 6) 山本恵彦, 真空 **31** (1988) 833.
- 7) S. Yamamoto, T. Yaguchi, S. Sasaki and I. Watanabe, Jpn. J. Appl. Phys. **28** (1989) L865.
- 8) S. Yamamoto, I. Watanabe, S. Sasaki and T. Yaguchi, Vacuum **41** (1990) 1759.