透明陽極を用いた電界電子放出特性に関する研究*

水澤 正**・小林 信一**・斉藤 芳男***

(受理1997年2月7日, 掲載決定1997年3月1日)

Measurement of Field Emission Characteristics using Transparent Anode

Tadashi MIZUSAWA, Shinichi KOBAYASHI and Yoshio SAITO

**(Department of Electrical and Electronic Systems Engineering, Saitama University, Urawa, Saitama)

*** (National Laboratory for High Energy Physics, Tsukuba, Ibaraki)

(Received February 7, 1997, Accepted March 1, 1997)

1. はじめに

真空中で絶縁破壊が生じるメカニズムについては、電界電子放出、吸蔵・吸着ガスの脱離、陰極・陽極の溶融などが相互に関連しているとされている¹⁾。真空ギャップの絶縁特性を利用した粒子加速器や、真空遮断器などの機器の性能向上のためには、絶縁耐力を向上させることが必要である。また、最近研究が盛んになっている真空マイクロエレクトロニクスにおいても、この電界電子放出現象を積極的に利用しており、このためにも電界電子放出現象の解明が必要である。そこで、電界電子放出現象を詳細に調べることを目的として、陽極に、透明導電性薄膜をガラス板に蒸着した透明陽極を用いて電子放出点を観測する実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験装置・方法

2.1 実験装置

本実験で使用した実験装置の主要部分は、Fig. 1に示したように、真空容器内の透明陽極（ガラス板に透明導電性薄膜を蒸着したもの〔右図拡大図〕）と、それに対向した銅陰極（Fig. 2）からなる。真空容器の二方向の窓から電極部分を観測することができ、1の窓からビデ

オカメラにより電極間隔を、2の窓からカメラにより放出点を観測する。銅陰極から放出された電子が陽極に入射し、発光が生ずる。その発光を透明陽極を通して観測することにより放出点の観測を行うことができる。また、オージェ電子分析装置（AES）が取り付けられており、銅陰極を回転させ、陰極表面の表面分析を行うことができる。真空容器内はロータリーポンプとターボ分子ポンプにより排気されており、 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ Paである。

2.2 実験方法

アセトン中で超音波洗浄が施された銅陰極（曲率半径30 mm）を真空容器内に取り付け、排気した後、AESにより電圧印加前の陰極表面状態の分析を行う。ギャップ長の測定は、まず、1の窓からギャップ部分を横方向からビデオカメラによりモニターに映し出す。次に、モニター上でギャップ長と電極の直径を測定し、実際の電極直径25 mmとの比により実際のギャップ長を算出する。透明陽極に高電圧（直流、0.5～10 kV）を印加し、電圧—電流特性を測定する。また、それと同時に、2の窓から電子放出点を観測し、カメラで撮影する。その後、印加電圧を0.5 kVまで下げ、再度電圧を上昇させ、電子放出点を観測する。電界放出実験後再びAESにより陰極表面状態の分析を行い、その変化を調べた。

3. 実験結果、検討

電圧—電流特性の測定結果を、横軸に $(1/V)$ 、縦軸に $\log_{10}(I/V^2)$ をとり、プロットすると、Fig. 3に示されるグラフが得られる。これは右下がりの直線になって

* 平成8年10月31日 第37回真空に関する連合講演会で発表

** 埼玉大学工学部電気電子システム工学科（〒338 浦和市下大久保255）

*** 高エネルギー物理学研究所（〒305 つくば市大穂1-1）

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

Fig. 2 Copper cathode geometry.

Fig. 3 Fowler-Nordheim (F-N) plots.

(a)

(b)

Fig. 4 Auger spectra of the cathode surface (a) before, and (b) after field emission.

(a)

(c)

(b)

(d)

Fig. 5 Photographs of emission sites.

1st voltage application at 7.9 kV (a), and at 8.9 kV (b). 2nd voltage application at 7.7 kV (c), and at 8.9 kV (d).

おり、Fowler-Nordheim の理論²⁾から、ここで測定された電流は電界放出電子電流であることが分かる。次に、表面分析の結果を **Fig. 4** に示す。(a)は電界放出実験前、(b)は電界放出実験後を示している。(a)では炭素のスペクトルが大きいのにに対して、(b)では炭素のスペクトルが小さくなっていることが分かる。**Fig. 5**に電界放出点の写真を示す。(a)、(b)は電圧印加1回目の写真であり、(c)、(d)は電圧印加2回目の写真である。(a)、(c)は放出点が目で完全に確認できるようになったときに撮影した写真、(b)、(d)は(a)、(c)の撮影後さらに印加電圧を上昇させ、電流値が $0.1 \mu\text{A}$ オーダーになった時の写真である。写真撮影は、放出点が目で確認出来たときに行い、露光時間はいずれの写真も約30分である。(b)、(d)では、(a)、(c)と比較して放出点の像が拡大しているのが分かる。また、1回目〈(a)、(b)〉に比べ、2回目〈(c)、(d)〉では、放出点の数が増加していることが認められる。ここでは、長時間露光により、撮影途

中の現象の変化は観測できないため、この放出点数はその間の延べ数であるが、放出点は一ヶ所に限らないことが分かる。

4. ま と め

電界電子放出後の表面状態は、放出前と比較して炭素が減少したことが分かった。また、電子放出点の像をカメラで撮影したところ、放出点は一ヶ所とは限らないこと、および印加電圧を上昇させると、放出点の像が大きくなることが分かった。今後、電極表面処理を施した時に、放出点が変化するか調べていく予定である。

〔文 献〕

- 1) 電気学会編：放電ハンドブック，p. 211, 212 (1974) オーム社
- 2) George A Farrall: 「Electrical breakdown in vacuum」, VACUUM ARCS Theory and Application, pp. 20-35, A Wiley-Interscience Publication (1980)