碍子からの放出ガスに起因する沿面放電*

渡辺 久雄**・吉村 長光**・加藤 正二**・小林 伸之**

(昭和60年12月25日 受理)

Microdischarges in High Vacuum, induced by the
Outgassing from an Insulator*

Hisao WATANABE**, Nagamitsu YOSHIMURA**, Shoji KATOH**
and Nobuyuki KOBAYASHI**

(**JEOL Ltd., 1418 Nakagami, Akishima, Tokyo 196)

(Received December 25, 1985)

1. 序

ある電子銃において、ウェネルト/アノード電極間の微小放電¹⁾の他に、電子線引出し時、ある潜伏期間の後に微小放電が発生することがある。この放電は電子線の引出しを停止してもその様子が全く変化しないから、電極間放電ではなく、いわゆる絶縁碍子の沿面放電と考えられる。沿面放電は表面に正電荷が推積し、沿面での電位勾配がしきい値を越えた時に起る^{2,3)}と考えられる。正電荷の推積は碍子表面のガス分子密度に依存すると考えられたので、フィラメントの放射熱で碍子を加熱し、ガス放出を増大させて、微小放電の発生を観察した。

2. 実 験

いくつかの仮定(碍子の誘電率等)のもとで、有限要素法⁴⁾でシミュレーションされた電子銃室における等電位線分布(0~100 kV)をFig. 1に示す。比較的电界の集中している箇所はウェネルトの先端部と側部である。SUS-304製の電極と電子銃室の内壁は鏡面に研磨されている。いわゆるトリプルジャンクション部⁵⁾(碍子/金属接合部)はウェネルトと接触している曲面のガードリングで覆われている。碍子の他方の端はバイトンOリングでフランジに取り付けられる。碍子はいわゆる磁器碍子で、ガラス質の上薬が焼付けられている。

実験に用いた真空系をFig. 2a),b)に示す。系a)では、アース電位のアノードと室壁に対して、ウェネルトとフィラメントに約100 kVの負の高電圧が印加され、

Fig. 1 Equipotentials in a gun chamber with an electron gun of 100 kV, which were simulated by the finite element method⁴⁾ under several assumptions.

* 昭和60年11月7日 第26回真空に関する連合講演会で講演(7Ap-9)

** 日本電子株式会社(東京都昭島市中神町1418)

Fig. 2 Experimental vacuum systems. **a)** System for observing microdischarges, and **b)** system for observing outgassing from the electron gun during the period that the filament is being lighted. BA: Bayard-Alpert gauge, Pi: Pirani gauge, CT: cold trap, FT: foreline trap, DP: oil diffusion pump (4 inches), RP: mechanical rotary pump, RGA: residual gas analyzer, MF: mass filter, SIP: sputter ion pump (160 l/s).

ウェネルトにはフィラメントに対して浅い負のバイアスが印加される。フィラメントは約 10 W の電力で加熱され、ウェネルト先端の開孔 ($\sim 0.4 \text{ mm}^{\phi}$) を出た電子線 ($\sim 50 \mu\text{A}$) が 100 kV に加速されてアノードの開孔 ($\sim 6 \text{ mm}^{\phi}$) を通過する。微小放電はオシロスコープの CRT (陰極線管) 上にスパイク状の電圧信号として観察される。系 **b)** はフィラメント点火時のガス放出特性を測定するための系で、碍子取付け部のバイトン O リング以外は全金属系 (高真空側) である。アルゴングローコンディショニング¹⁾ (AGC, $\sim 250 \text{ V}_{\text{AC}}$, 180 mA, 0.1 Torr, 5 min) は **a), b)** の系で施すことができる。

2.1 微小放電発生の経日・経時特性

Fig. 2a) の系で電子線引出し後の放電発生特性を電子銃の種々の履歴に対して観察した。実験工程を **Fig. 3** に示す。“C”はウェネルトと碍子をトリクロロエタン (CH_3CCl_3) 溶液で手ふき洗浄したこと、“E”は電子銃を大気に 15 min さらしたこと、そして“E-1”は大気放置後 1 日目の実験 (電子線引出し 8 h) であることを示している。尚、各日の夜間には系を真空保持 (排気停止) した。

まず最初に、 $\sim 10^{-6}$ Torr に排気し、C-1 (洗浄後 1 日目) での放電発性を AGC の有無の条件に対して観察した。観察結果を各々 **Fig. 4** の **a), b)** に示す。AGC 無しの方が放電は激しいが、共に電子線引出し後 $\sim 2 \text{ h}$ から放電が発生し、 $3 \sim 5 \text{ h}$ で多発し、その後徐々に低減した。尚、放電を示す写真に白い帯が見られるが、これは高電圧電源に高周波リップルが重畳していたことを示

Fig. 3 Experimental procedures. An electron beam ($\sim 50 \mu\text{A}$) was extracted for 8 hours each in successive days. The electron gun was held in the closed vacuum system during nights (indicated by a broken line) between the successive days. “C” means the cleaning of the wehnelt electrode and insulator using solvent CH_3CCl_3 . “E” means the exposure of the system to the atmosphere for ~ 15 minutes.

し、放電はスパイク状に写っている。

$\sim 10^{-6}$ Torr における E-1 と E-4 での放電発生特性を各々 **Fig. 5** の **a)** と **b)** に示す。E-1 の方が E-4 より放電が多発しているが、C-1 (**Fig. 4b**) より放電は少ない。

次に、排気時排気弁を絞り、系内圧力を $\sim 3 \times 10^{-5}$ Torr に保って放電発生特性を観察した。C-1 と C-5 における観察結果を各々 **Fig. 6** の **a)** と **b)** に示す。C-1 においては放電は多発し、C-5 においても電子線引出し後 $5 \sim 7 \text{ h}$ で放電が発生した。

2.2 碍子からのガス放出特性

Fig. 2b) の系で、電子銃のフィラメント点火時の系の圧力上昇特性を B-A ゲージで測定し、放出ガス成分をマスフィルタで分析した。圧力上昇特性を **Fig. 7** に示す。

圧力上昇特性とガス分析の結果から次のことがわか

a) C-1, with AGC

1 h, 1 V/div

2 h, 1 V/div

3 h, 2 V/div

4 h, 2 V/div

5 h, 2 V/div

7 h, 2 V/div

b) C-1, without AGC

1 h, 1 V/div

2 h, 1 V/div

3 h, 2 V/div

4 h, 2 V/div

5 h, 1 V/div

7 h, 1 V/div

Fig. 4 Microdischarges under a high vacuum of $\sim 10^{-6}$ Torr on the condition C-1, which depend on the elapsed time during the extraction of an electron beam ($\sim 50 \mu\text{A}$). a) With AGC, and b) without AGC. Scanning speed of CRT is 10 s/frame.

る。

1) C-1において最もガス放出が多い。AGCに脱ガス処理の効果も認められるが、加熱脱ガス効果に比べると、その効果は小さい。

2) C-1とE-1ではウェネルトからのガス放出で圧力上昇が速やかに起る。

3) C-2とE-4に見られる圧力上昇は主に、徐々に昇温した碍子からのガス放出に因る。

4) 碍子昇温時には H_2O や CO の他に、多くの炭化

水素系ガスが放出されたが、これら炭化水素系ガスの一部は洗浄液 (CH_3CCl_3) の残さと考えられる。

3. 考 察

電子線引出し後において、放電の起らない潜伏期間が存在した。このことから、本放電は碍子表面に正電荷が推積することに因る沿面放電と考えられる。

放電発生の経日・経時特性はフィラメント点火後の碍子からのガス放出特性と酷似していた。碍子洗浄後や電

Fig. 5 Microdischarges under a vacuum of $\sim 10^{-6}$ Torr. **a)** Microdischarges on E-1, and **b)** on E-4. Sensitivity and scanning speed on CRT are 1 V/div. and 10 s/frame, respectively.

Fig. 6 Microdischarges under a vacuum of $\sim 3 \times 10^{-5}$ Torr. **a)** Microdischarges on C-1, and **b)** on C-5. Sensitivity and scanning speed of CRT are 1 V/div. and 10 s/frame, respectively.

Fig. 7 Pressure-rises in the SIP system after the filament was lighted with ~ 10 W. The system was continuously evacuated by the sputter ion pump (160 l/s).

子銃を大気にさらした後に放電が多発した。フィラメントの放射熱により、まずウェネルトが加熱され、続いて碍子が徐々に加熱され、碍子のバルクのガス分子が拡散により表面から放出される。放出ガスが多い状態においては、碍子表面又はその近傍のガス分子密度は大きいだろう。ガス分子密度の大きい表面が電子でたたかれると、多くの二次電子を放出し⁶⁾、その結果、碍子表面は

正に帯電しやすい。小さな排気速度で排気した $\sim 3 \times 10^{-5}$ Torr の場合に、放電が比較的多発したのは、碍子表面が十分に排気されない為に、表面のガス分子密度がより大きかったためと考えることができる。

本実験結果は Pillai 等の仮説、即ち絶縁碍子表面からの放出ガスに起因する正電荷帯電説²⁾を強く支持している。

謝 辞

有限要素法により電子銃室での電界を解析してくださった富田 健氏（日本電子株式会社）に感謝致します。

〔文 献〕

- 1) 吉村長光, 渡辺久雄, 加熱正二; 真空 **28** (1985) p. 333.
- 2) A. S. Pillai and R. Hackam: J. Appl. Phys. **53** (1982) p. 2983.
- 3) A. S. Pillai and R. Hackam: J. Appl. Phys. **58** (1985) p. 146.
- 4) G. Strang, G. J. Fix: An Analysis of the Finite Element Method, Prentice-Hall (1973)
- 5) J. Shannon, S. Philips, and J. G. Trump: J. Vac. Sci. Technol. **2** (1965) p. 234.
- 6) N. Yoshimura, H. Hirano and T. Etoh: Vacuum **33** (1983) p. 391.