

タングステンポイントフィラメントの 電界放出模様の観察

竹松 英夫 北村 隆 森田 千明

Observations of the Field-Emission Pattern of Tungsten Point-Filament

Hideo TAKEMATSU, Takashi KITAMURA, Chiaki MORITA

In order to study the electron optical properties of point-filament within the electron microscope gun, this experiment has been worked. By means of Müller type microscopie, T-F emission patterns from tungsten tips of various temperatures are observed in vacuum of 10^{-7} ~ 10^{-8} Torr.

The observed patterns show that the emission is stable in the temperature range between 1700°K and 2200°K . In this range, however, the patterns are different at a higher temperature and at a lower temperature. The emissions obtained at the lower temperature have almost always the same pattern.

I ま え が き

数年来、電子顕微鏡の電子銃にポイントフィラメントを使用した興味ある研究がなされ、光源の寸法を小さくできること、輝度を高くできることなどの有利な点が報告されている⁽¹⁾。しかし、その電子光学的性質にはまだ不明の点がある。そこで、われわれは先端の電界放出模様の観察、および、電位分布の算出によってこの問題を解明する計画を進めている。まず、ウェーネルト電極のない、いわゆる、Müller型電子顕微鏡の形式で得られ

た放出模様を観察することから研究を始めたので、今回はその模様の温度依存性について報告する。

II 実験方法

1. ポイントフィラメントの作り方

ポイントフィラメントの作製は丸勢氏の方法⁽²⁾に従って、下記のような順序で行った。

市販の $0.2\text{mm}\phi$ のタングステン線で普通のヘアピン型フィラメントを作り、その頂点に先端となるべき同径のタングステン線を点溶接する。次に、フィラメントの表面

の汚れや吸着ガスを放出させる目的で、 10^{-5} Torr程度の真空中で30分間、6 Amp.の電流で加熱する。その後、1.0 NのNaOH液を用いた電解腐蝕法により先端を尖鋭にし、すぐに蒸留水につけてNaOH液を洗い落した。

Fig. 1 は完成図である。

Fig. 2 は先端部分のみを小形電子

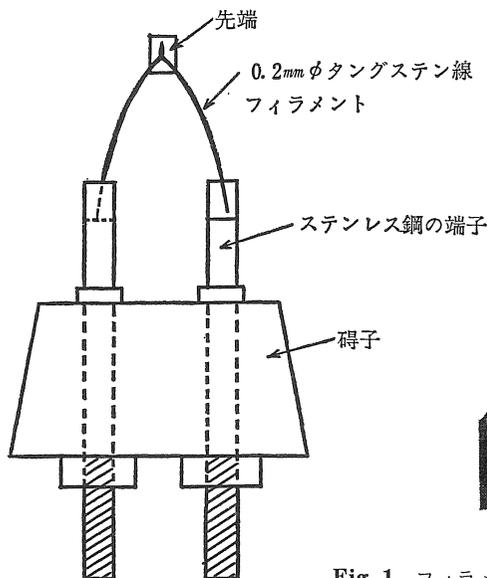
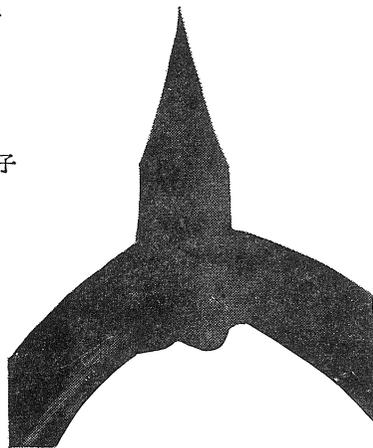
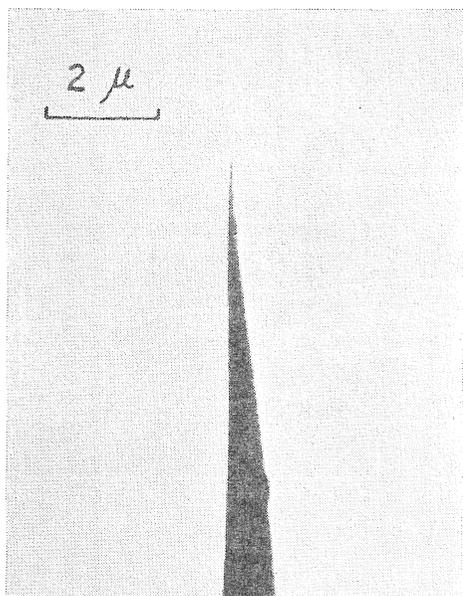
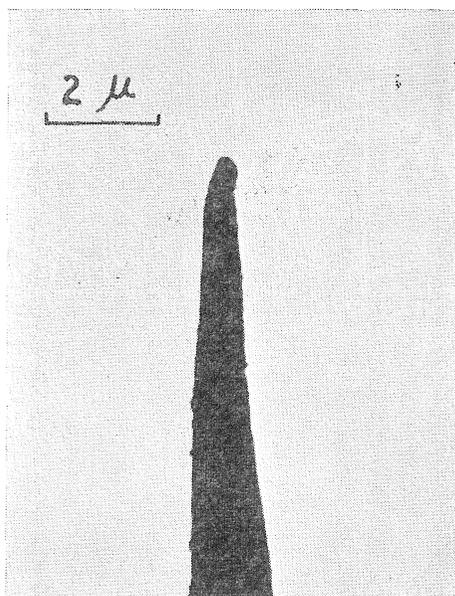


Fig. 1 フィラメントの完成図

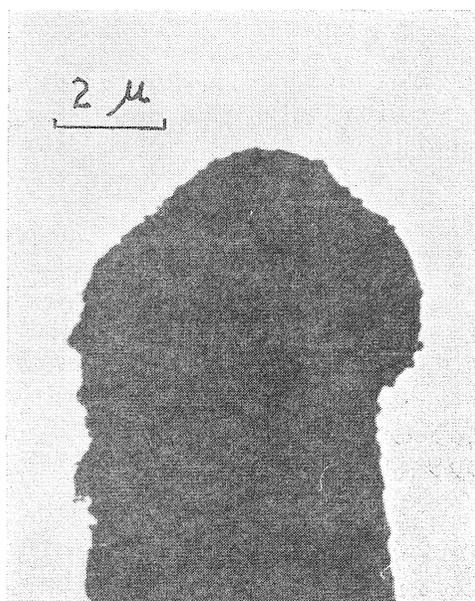




(a) 電触後の先端



(b) 実験後の先端



(c) 破壊された先端

Fig. 2 先端部の電子顕微鏡写真

顕微鏡内に入れて撮影したものである。電触したままの先端の曲率半径はいろいろであるが、(a)のように常に極端に尖っている。しかし、実験後にはほとんど(b)のような写真が得られる。これは実験中の高温によるもので⁽³⁾、実験の間の先端の状態もこのようなものであろう。(c)は放出模様が実験途中で消滅した場合で、放電による先端の大きい変形がみられる。

2. 装置

ゲッターイオンポンプで構成された超高真空蒸着装置を使用し、そのベルジャー内に Fig. 3 の寸法で電極系をセットする。陽極は厚さ 0.3mm、面積 100mm×100mm のステンレス鋼の平板で、中心に 5 mmφ の孔を設けたものを用いる。蛍光板は 1.5g の $Zn_2SiO_4 \cdot Mn$ の粉末と 15cc の酢酸イソアミルを 1.0% のコロジオン液数滴にまぜ合

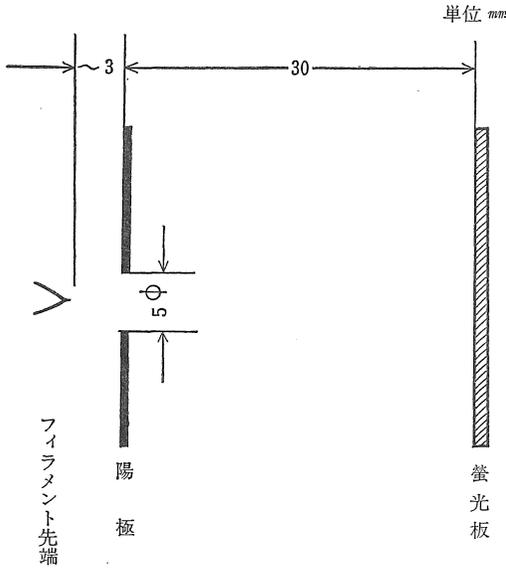


Fig. 3 電極系

わせ、蛍光物質がなにかば沈でんしたところで、100mm×80mmのガラス板上に流し、自然乾燥する方法で作る。

3. 観察方法

Fig. 3 のようにセットし、一旦、 10^{-8} Torr 台まで真空にしてから、脱ガスのためにフィラメントを4.0Amp.の電流で加熱する。これによって、上述のようにフィラメント先端の曲率半径は Fig. 2 (b) のように揃うものと考えられる。この加熱は再び真空度が回復するまで続け、普通6～8時間を要した*。

真空度が再び 10^{-8} Torr 台に回復してからフィラメント加熱電流を3.6Amp.に下げ、除々に陽極電圧を0から上昇させて、蛍光板上の放出模様が最も鮮明になった電圧で固定させる。この陽極電圧でフィラメント加熱電流、すなわち、陰極先端の温度を種々変化させる。放出模様は蛍光板のうしろにあるベルジャーの窓を通して観察し、また撮影される。真空度は通常 10^{-7} ～ 10^{-8} Torr 台の範囲である。

さて、フィラメント先端の電界Eは先端を回転双曲面で近似すれば、

$$E = \frac{2V}{r \ln \frac{4R}{r}}$$

ここで、V：陽極電圧、r：先端の曲率半径 R：フィラメント先端と陽極間の距離

である⁽⁴⁾ので、Fig. 2 (b) より $r=0.2\mu$ 、Fig. 3 より $R=3mm$ とすれば、例えば $V=5kV$ の場合でも、 $E=4.55 \times 10^7 V/cm$ となり、十分に T-F 放出が行われる表面電界の領域であることがわかる。

* 真空系の改良をつづけた結果、現在では3時間程度に短縮されている。

フィラメント先端の温度は蛍光板を取り去って、光高温計によって測定し、フィラメント加熱電流との関係求めた。この結果を Fig. 4 に示したが、この測定にはまだ検討すべき点が多いので、後述の実験結果では陰極先端温度のかわりにすべて加熱電流値をあげた。

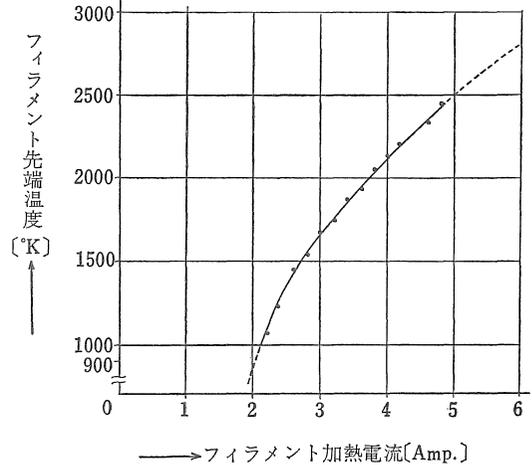


Fig. 4 フィラメント加熱電流と陰極先端温度との関係

III 実験結果

フィラメント加熱電流3.6Amp.から次第に低下させながら放出模様を観察していくと、Fig. 9 にみられるような安定な一様に明るい部分が、次第に点状に変化し始め、2.0Amp. では Fig. 5 のようになり、このおのお

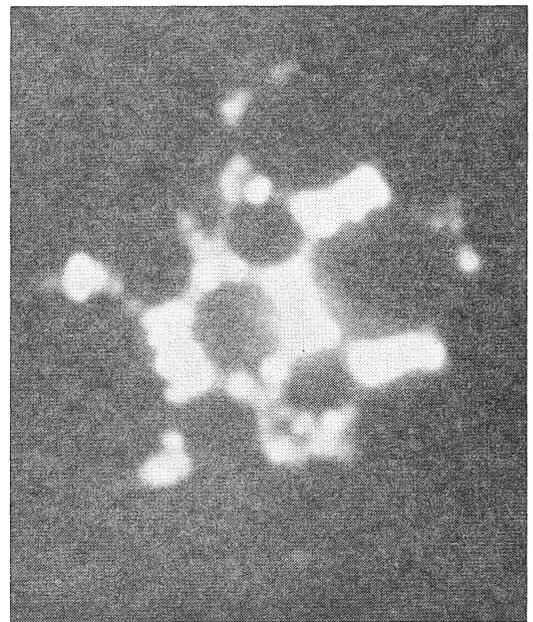


Fig. 5 加熱電流2.0Amp.真空度 9.7×10^{-8} Torr における放出模様

の明るい点が点滅をくり返し、電子放出は不安定になってくる。加熱電流を2.0Amp.から一気にスイッチオフした場合は Fig. 6 で示すように、急激に1個あるいは

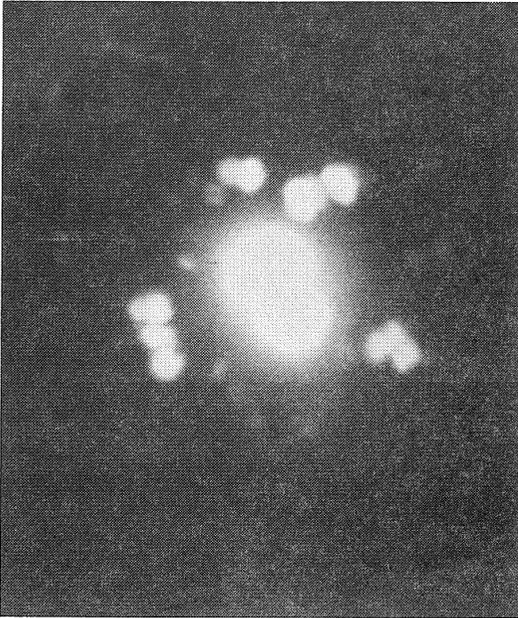


Fig. 6 加熱電流 0 における放出模様

数個の明るい点が拡大し、かつ強く輝いていくが、突然この放出模様は消滅してしまう。消滅するまでの時間は数10秒足らずで、陽極電流は数 $\mu\text{Amp.}$ から $100\mu\text{Amp.}$ 以上に増加することがみとめられた。

逆に、フィラメント加熱電流を 3.6Amp. からさらに上昇させた場合は、フィラメントからの強い光と熱電子流が放出模様の background を作るため像のコントラストが悪くなるが、 4.2Amp. 程度までは安定な模様が

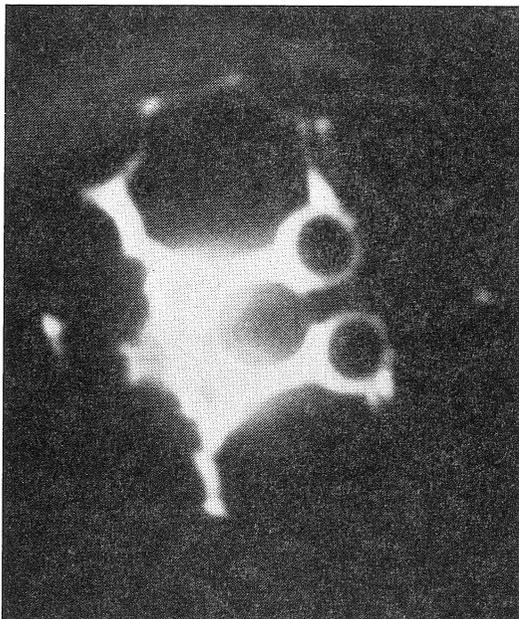


Fig. 7 加熱電流 3.0Amp. 真空度 $1.07 \times 10^{-7}\text{Torr}$ における放出模様

得られる。しかし、例えば 5.0Amp. では再び急激に陽極電流が数 10mAmp. まで増大し、真空度の 10^{-5}Torr 台までの低下を導き、この場合も先端が破壊される。

それで、加熱電流 $3.0 \sim 4.2\text{Amp.}$ の範囲では安定な放出模様が得られるが、Fig. 7 と Fig. 8 にみられるように、低い方の温度で得られた Fig. 7 では電子放出の少ない2点が高温の Fig. 8 では非常に輝いている。す

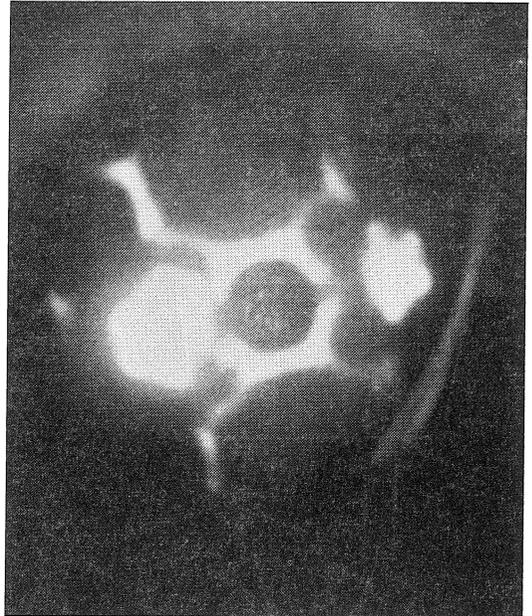


Fig. 8 加熱電流 3.5Amp. 真空度 $1.2 \times 10^{-7}\text{Torr}$ における放出模様

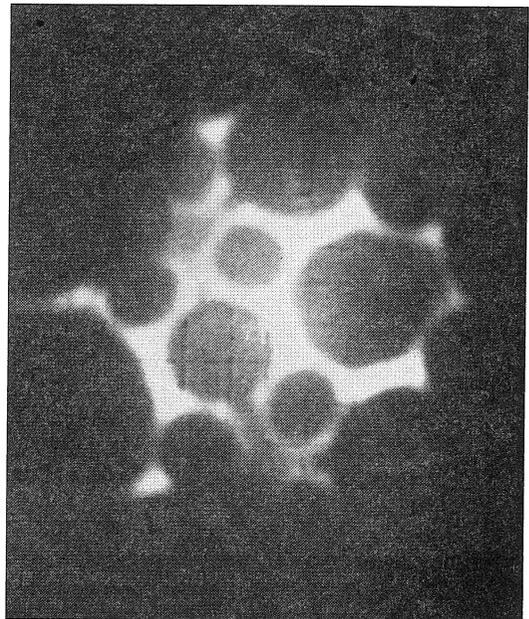


Fig. 9 加熱電流 3.0Amp. 真空度 $1.22 \times 10^{-7}\text{Torr}$ における放出模様

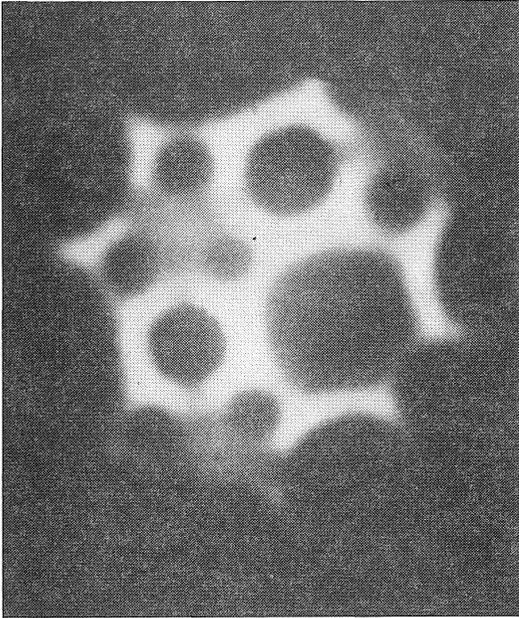


Fig. 10 加熱電流 3.4Amp. 真空度 1.52×10^{-7} Torr における放出模様

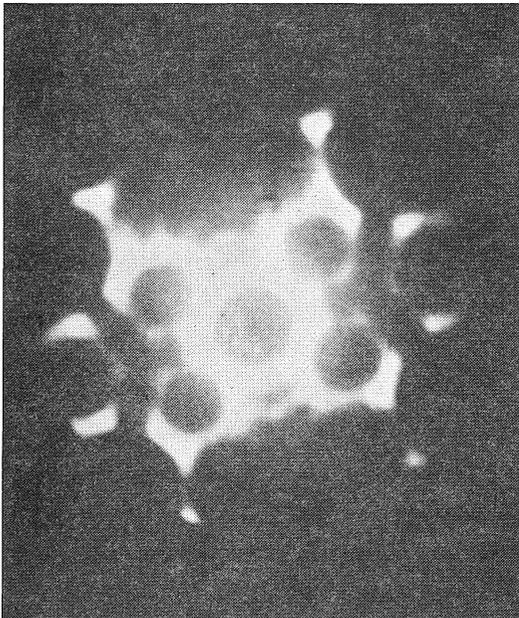


Fig. 11 加熱電流 3.0Amp. 真空度 1.28×10^{-7} Torr における放出模様

なわち、この安定な温度領域内で、さらに低温部と高温部で異った模様を得られる。この低温部の場合には非常に安定でFig. 9~11に示すように、実験に用いたすべてのフィラメント先端について同様な模様が得られ、さらに、真空度が 10^{-6} Torr 台になっても変化は見られなかった。しかし、高温部では2点の輝度の差が大きい場合や同程度の場合、さらに、時間と共に変化する場合もみ

とめられた。この高温部と低温部の2つの模様が遷移する温度は一定ではなく、この理由は残留ガスより生じる炭化物の影響ではないかと考えているが、現在まだ明確ではない。

なお、以上の写真にみられる細い格子は蛍光板につけた5mm間隔の目盛である。

VI 考 察

上述のように陰極が低温の場合に電子放出が不安定となるのは残留ガスの吸着によるものと考えられる⁽⁵⁾。すなわち、陰極温度の低下と共に残留ガス分子が陰極表面に吸着される時間が長くなる。また、この吸着が起った表面の部分は仕事関数の異常な低下も可能で、局所的な大きい電流密度の電子放出が予想され、上述の放出模様の観察結果のような明るい点の点滅や増大、さらに、放電による先端の破壊も了解できる。

高温で不安定になるのは、増大する熱電子の衝撃に起因する真空度の低下が現状における最大の原因と考えている。さらに、高温ではフィラメント内部の不純物が表面に露出する確率が大きくなり、これによる局所的な仕事関数の低下も不安定な放出の原因と言われている⁽⁶⁾。

適当な温度範囲では以上のことが起りにくく、長い寿命をもつことは実用上重要な事実である。

V あ と が き

はじめに述べたように、この実験はウェーネルト電極を用いない状態で行なわれたものであるけれども、電子顕微鏡用のポイントフィラメントの性質に対して、下記のような結論をあたえることができよう。

1. 現在電子顕微鏡に用いられているポイントフィラメントからの電子放出がT-F放出であるにもかかわらず、安定であることはそれが適当な高温であるためと考えれば矛盾しないであろう。
2. ポイントフィラメントの輝度を論じる場合は単純な放出模様をもつヘアピン型フィラメントの場合と異なり、前述の放出模様やその温度変化を顧慮する必要がある。そうしないと、同一の実験条件下で一定の測定結果をうる事が期待できないであろう。
3. 高輝度の電子銃を得るためには、その放出模様の中の明るい部分を利用することが実際上も重要となろう。

終りに、実験にあたりいろいろ御示唆を頂いた名古屋大学の丸勢教授および実験装置の加工加工において御援助を頂いた本校機械科の永田先生に深く感謝いたします。

文 献

- (1) 例えば, S. Maruse. u. Y. Sakaki: *Optik*, **15**, 485 (1958)

- (2) 丸勢：電子顕微鏡, **6**, 148 (1958)
- (3) 例えば, Dyke. W. P. & W. W. Dolan: "Advances in Electronics and Electron Physics" **VIII**, p.89 (1956), New York
- (4) 例えば, 納賀：応用物理, **30**, 297 (1961)
- (5) Dyke, W. P. et al : J. App. Phys., **31**, 790 (1960)