

ミューラ形電顕による電界放出形冷陰極の研究

Study of Field Emission Cathode with Müller Type Microscope

北川 賢 司*
Kenji Kitagawa

梨 本 柳 三**
Ryûzô Nashimoto

中 島 皇**
Sumera Nakajima

内 容 梗 概

ミューラ形電顕を用いて電界放出形冷陰極の製作条件ならびに不安定性の原因を詳細に検討した。球の排気はチタンゲッターイオンポンプを用いて $1\sim 2\times 10^{-10}$ mmHgの超高真空中で行なった。電界放出形冷陰極用タングステン針の先端の曲率半径は電解研磨後で約 $1\sim 5\times 10^{-6}$ cmである。通常、エミッション電流の安定する清浄W (タングステン) エミッタは 10^{-8} mmHg以下の超高真空中で、しかも2,300°K以上の高温でフラッシングすると得られる。エミッション電流はWエミッタのガス吸着により変化するが、特にO₂ガスの影響が著しい。しかしエミッタを2,000°K以上の高温でフラッシングすると再び安定なエミッションが得られることが実験的に確かめられた。

このような電界放出形冷陰極を2極管に応用した場合、そのエミッション電流はプレートの構造や動作電圧によっても著しく変化する。

1. 緒 言

金属表面に高電界を印加すると、冷状態でも金属表面から電子が放出される。この現象は電界放出と呼ばれ、1897年 R. W. Wood氏⁽¹⁾によって初めて報告された。その後、電界放出を新しい電子源として利用しようとする試みがDyke氏ら⁽²⁾によって行なわれ、ようやく最近実用に供する陰極ができるようになった。しかし、この陰極が今日ようやく実用化の段階に達してきた際にはAlpert氏ら⁽³⁾によって研究され、改良されてきた超高真空技術の長足な発展があることを見のがすわけにはゆかない。国内でもMgO冷陰極⁽⁴⁾の登場に刺激されて各方面で研究が始められている⁽⁵⁾。しかし実用化に際しては、常に均一な特性を有するエミッタを製作しなければならないとか、超高真空を維持しなくてはならないなどの問題がある。このような電界放出形冷陰極はわれわれが従来行なってきたミューラ形電顕⁽⁶⁾の技術をそのまま応用できる利点があるので、これを基礎にして本研究を開始した。以下にその結果について報告する。

2. 実 験 方 法

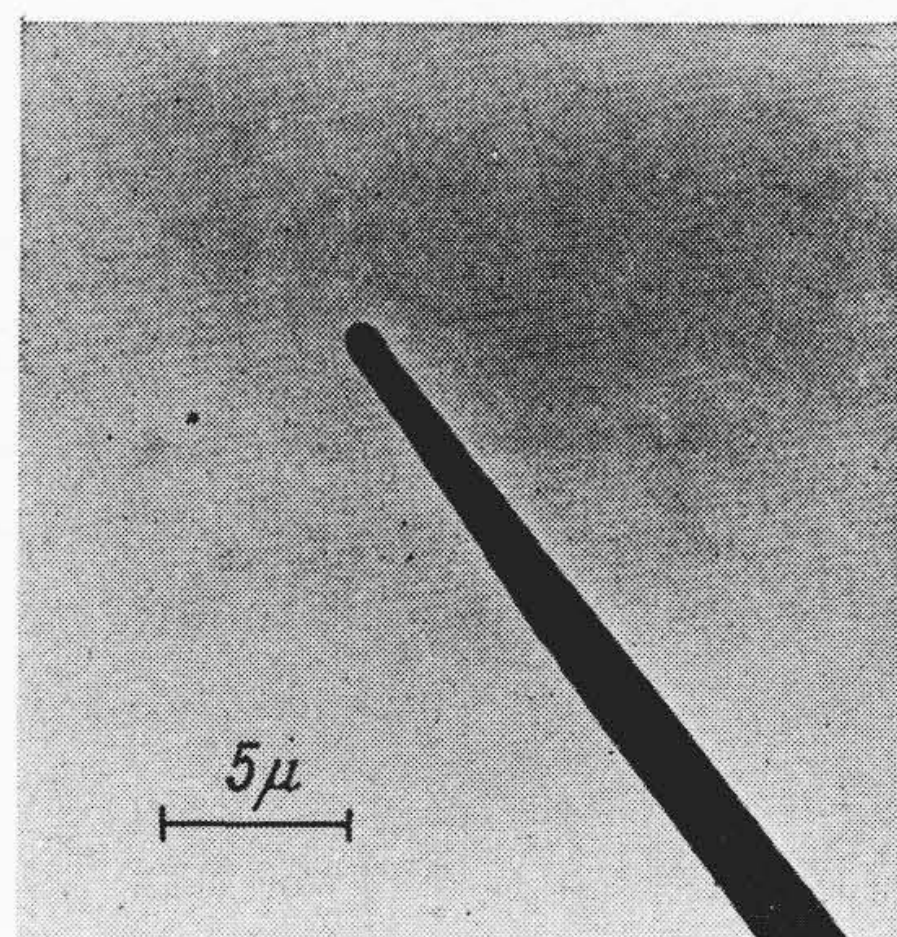
2.1 電界放出形冷陰極用針の製作

電界放出は 10^7 V/cm程度の電界強度で起きるが、10 kV以下で動作するカソードを製作するにはどの程度の曲率半径を有する針を用意すればよいかを概算すると、針の曲率半径 $r\approx 10^{-4}\sim 10^{-5}$ cmとなる。われわれは陰極用針として高温強度が大きいWを用いたが、W針は0.1 mmφのW線を5~10%のNaOH溶液中で5~10 Vの交流電圧を印加して電解研磨により製作した。陰極は0.21 φのWフィラメントの頂部にW針を溶接し、再度針先が頂部より 1.0 ± 0.2 mm突き出るように電解研磨して製作した。電解研磨後のW針は真空中で高温でフラッシングされるとW原子の表面移動⁽⁷⁾により半球状のWエミッタに成形される。第1図がその一例である。なお、実験に用いたWは通常の真空管ヒータ用Wである。

2.2 実験球の構造

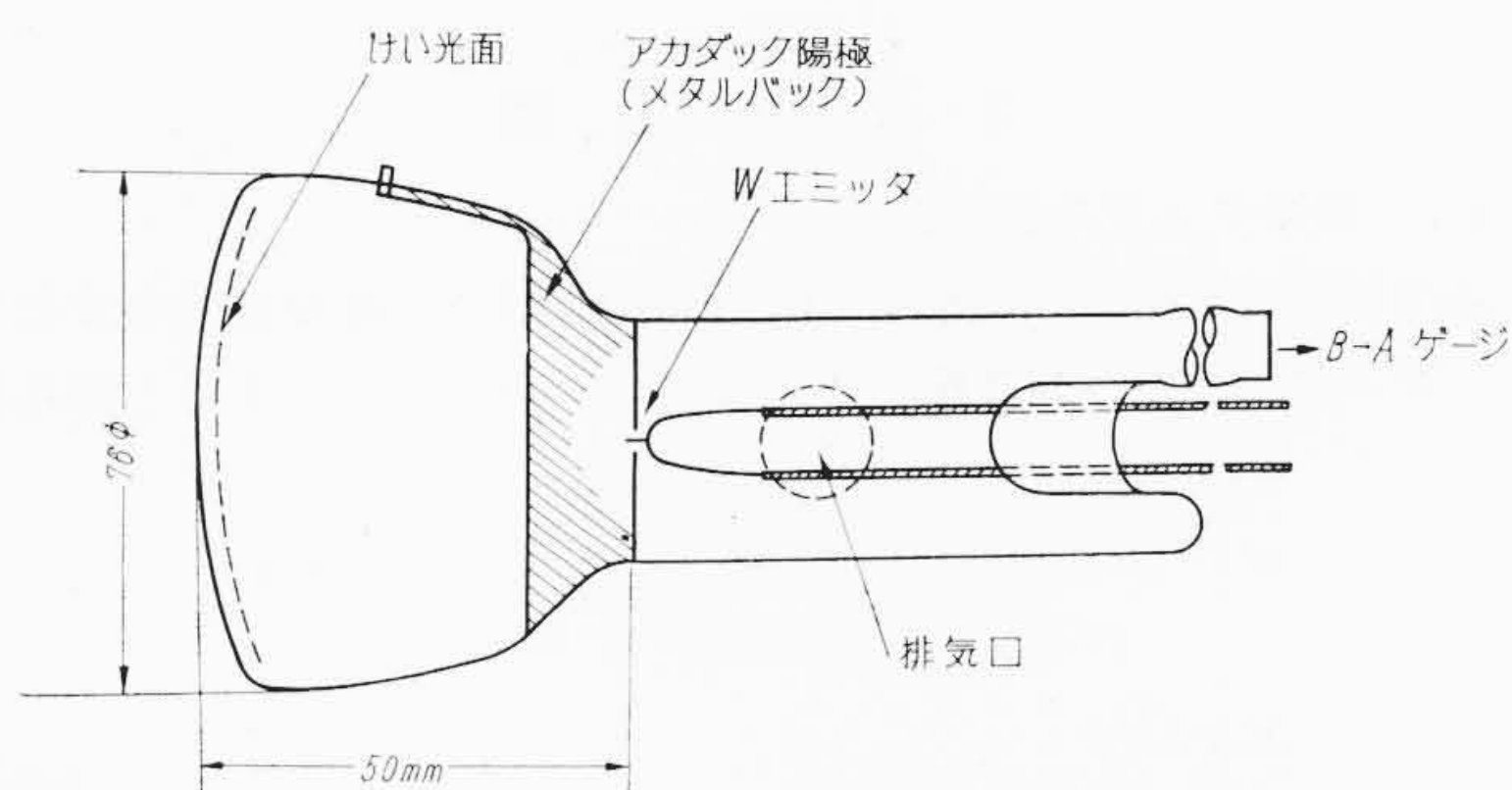
(1) ミューラ形電顕球の構造

実験に用いたミューラ形電顕球の構造は第2図に示したとおりで、バルブにはJ 76Mレーダー用ブラウン管を使用し、けい光体は(ZnCd)Sを主成分としたP4を用いた。陽極にはアカダック塗布面を利用し、メタルバックを施した。陰極には前項2.1の方法

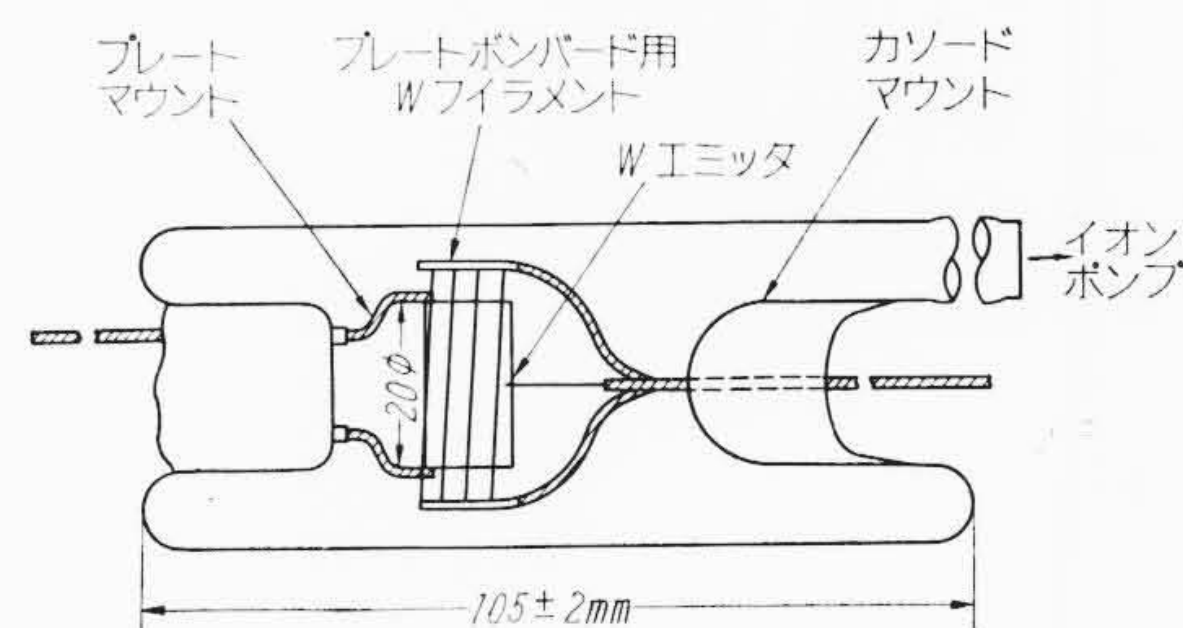


第1図 Wエミッタ ($r=3,000 \text{ Å}^{*1}$)

*1 ミューラの半実験式⁽⁸⁾, $r=0.85\phi^{-2}\cdot V^{5/4}\text{Å}$ (ただしVは $10 \mu\text{A}$ のエミッション電流を与える電圧, ϕ はエミッタの仕事関数)より計算すると, $r=2,400 \text{ Å}$ となる。上記の値は写真から計算した。



第2図 ミューラ形電顕球



第3図 電界放出形2極管

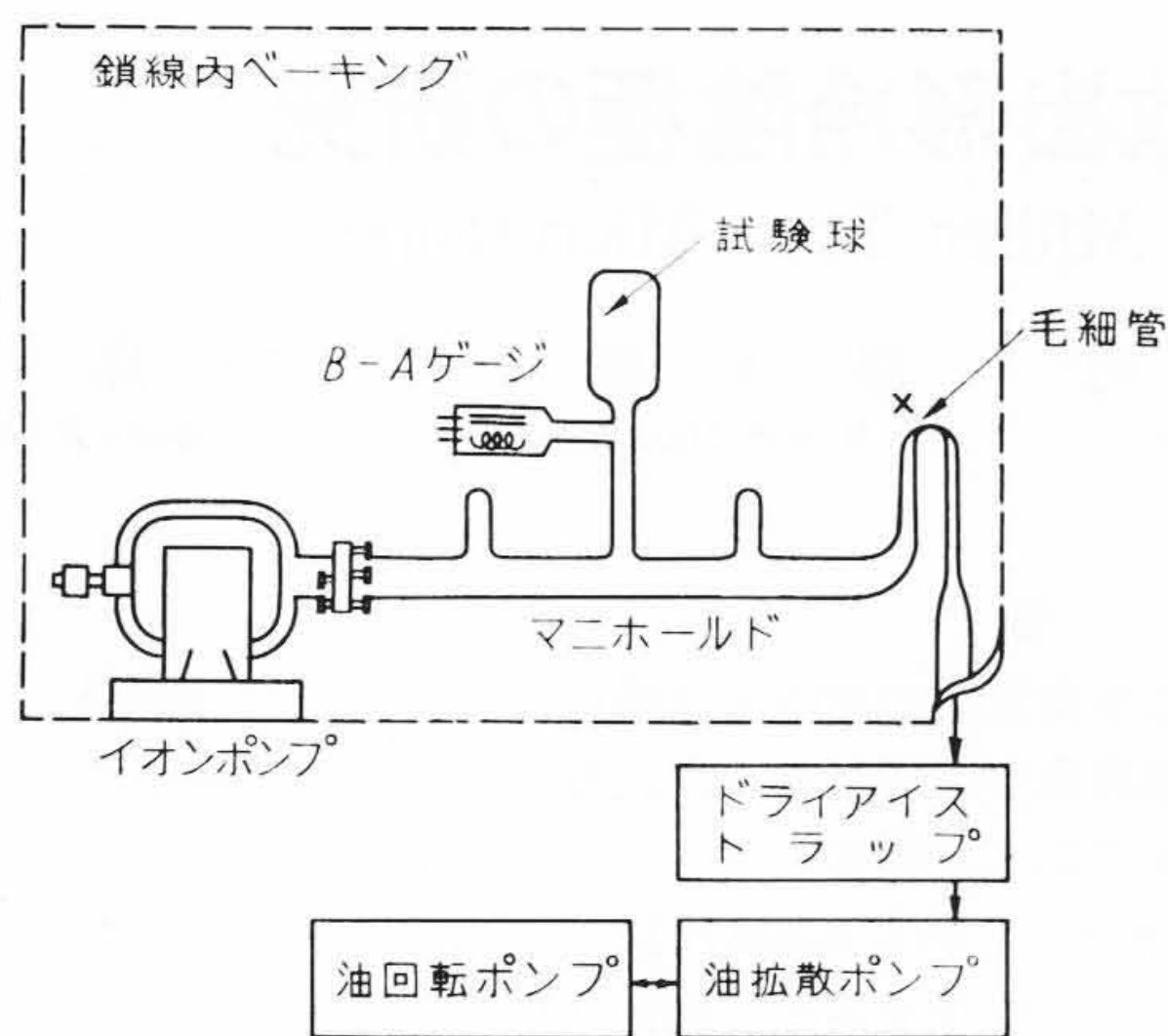
で製作したものをを用いた。

(2) 電界放出形2極管の構造

試作した電界放出形2極管の構造を示すと第3図のようになる。すなわち、陰極には2.1の方法で製作したものをを用い、純ニ

* 日立製作所茂原工場 工博

** 日立製作所茂原工場



第4図 排気装置

ッケル(ほかに W, Ti も試作した)を使用した茶筒形(円筒形も実験した)プレートと組み合わせた。また排気中にプレートの脱ガスを十分に行なうためにプレートボンバード用のWフィラメントを用意した。

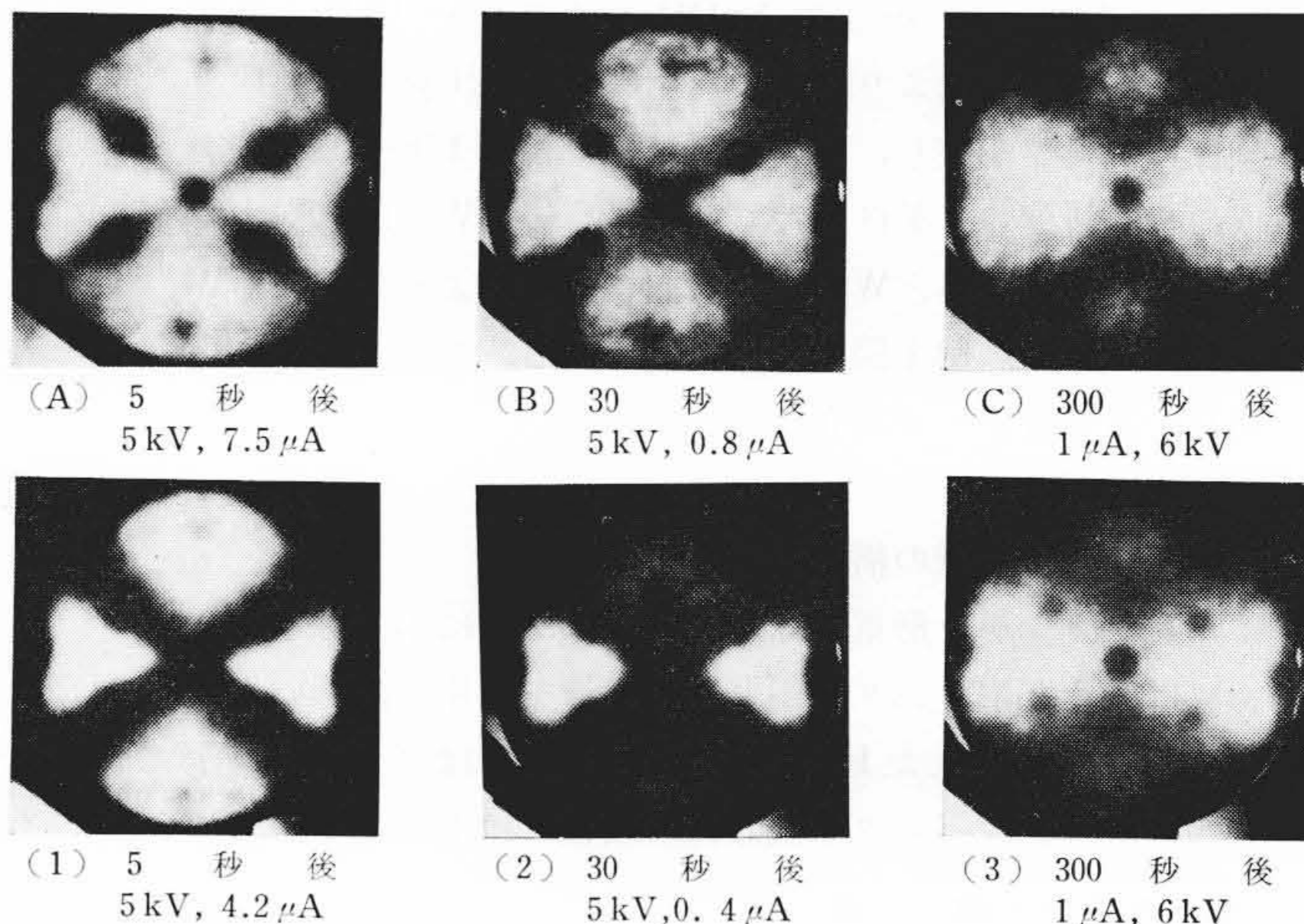
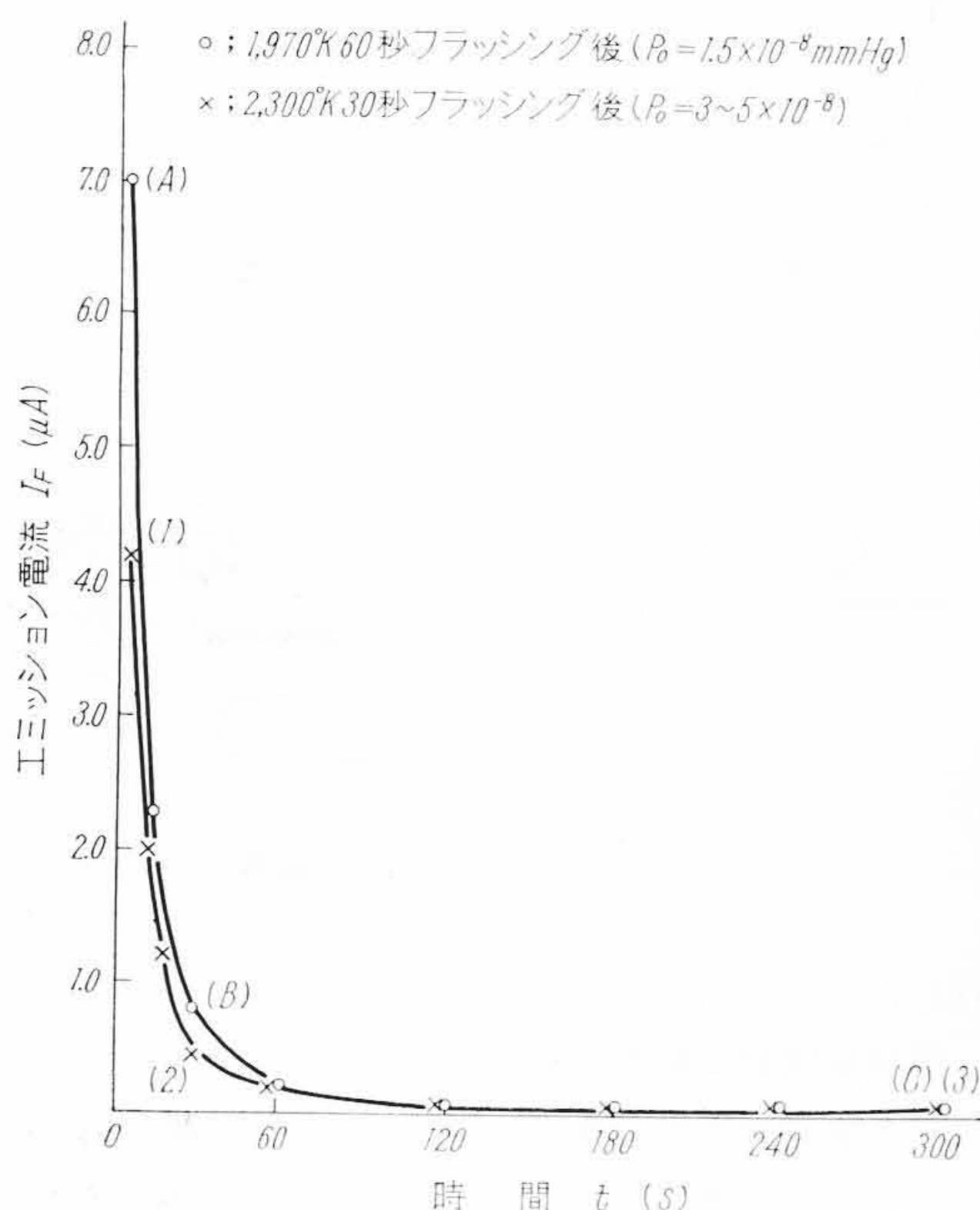
2.3 超高真空装置と実験球の排気

実験球, B-A ゲージ, イオンポンプを含む排気系を第4図に示す。イオンポンプは 350°C までベーキング可能なため, イオンポンプ, マニホールドを同時にベーキングできるようにした(第4図の鎖線内)。まず通常の油拡散ポンプとトラップで排気系を 300~320°C でベーキングして管内圧力が 10^{-5} ~ 10^{-6} mmHg になるまで排気し(この間約 2~5 時間), 次いでイオンポンプを稼働させ, 油拡散ポンプを含む通常の排気系を毛細管の部分から切り離す。このような状態で 10~20 時間(必要に応じて 40~50 時間)バルブの脱ガス, 電極の脱ガスを行ない, ベーキングした状態で 10^{-8} mmHg 以下の超高真空になるまで排気した。また W フィラメントの脱ガス, W 針の成形は 10^{-8} mmHg 以下の超高真空中で行なった。真空度の測定には B-A ゲージを用いた。

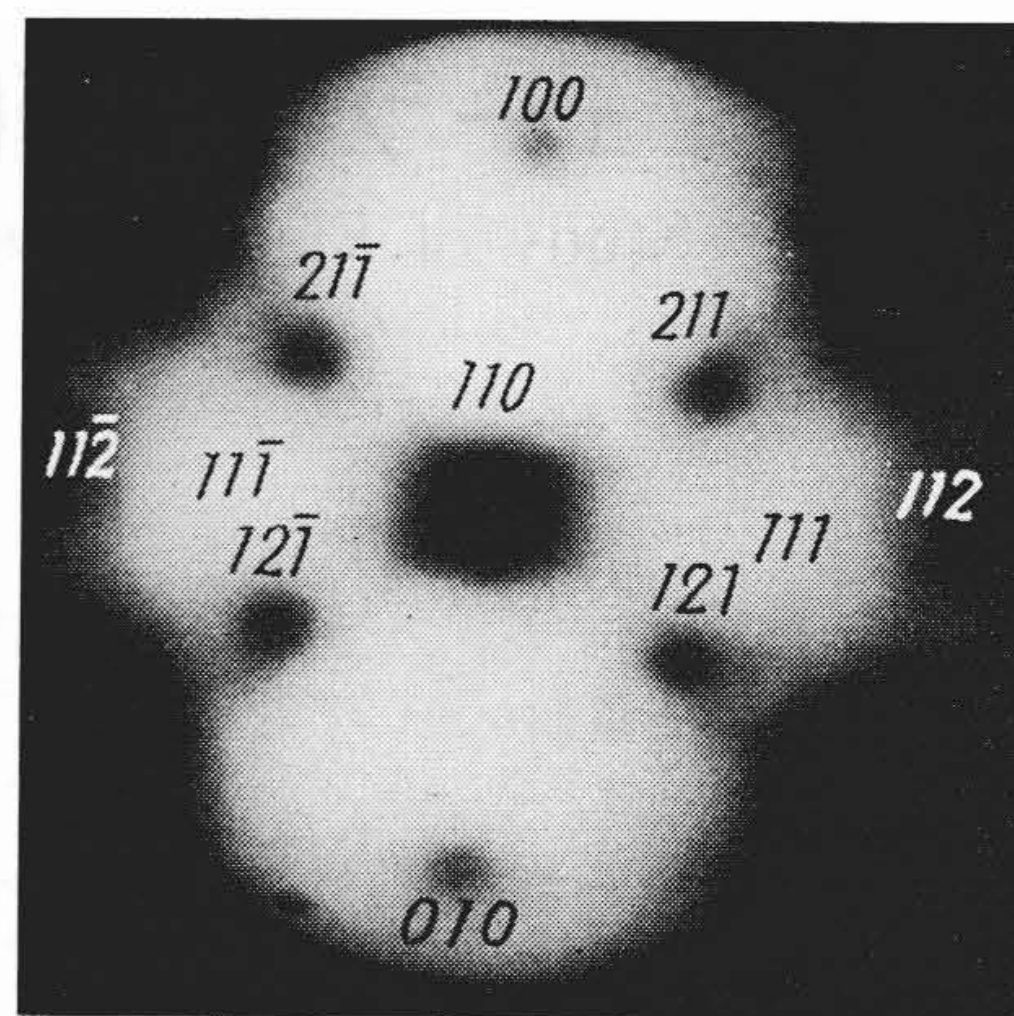
3. 実験結果

3.1 清浄タングステン像

清浄 W 像は W 針の成形を 10^{-8} mmHg 以下の超高真空中で行ない, W エミッタを 2,300°K 以上の温度でフラッシングすると得られ



第6図 エMISSION電流の時間的变化とWの電子放射像

第5図 清浄 W 像 (10 μ A, 5.2 kV)

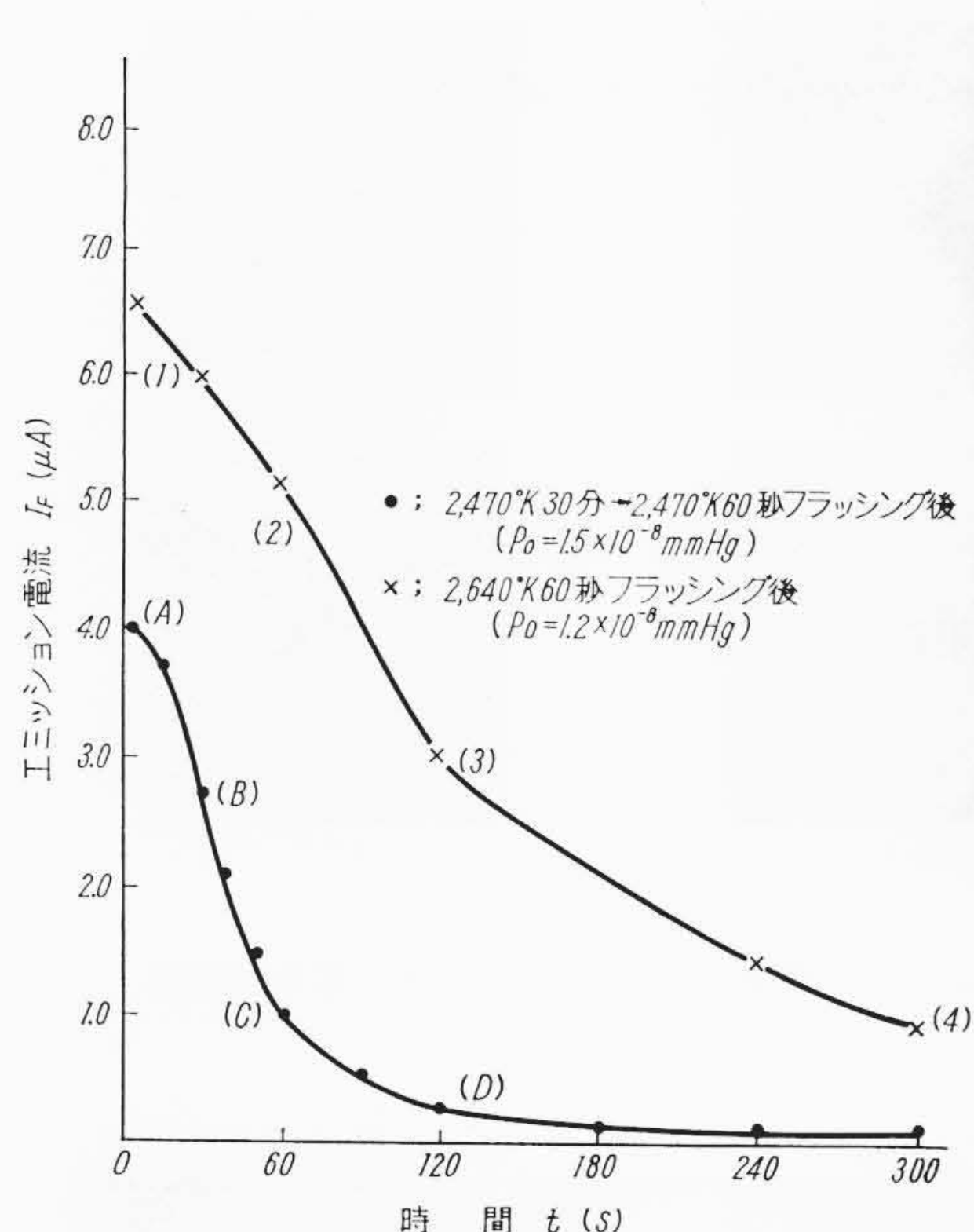
図中に記入した数字は面指数を示す。概略の倍率18万倍*2

*2 ミューラ形電頭で得られた電子放射像の倍率は $M = R/kr^{(9)}$ で計算される。 K は $1.5 < K < 2.0$ の範囲にはいる係数であるから, $K=1.5$ とすると $M = R/1.5r$ により求められる。今, われわれの実験球で $R=5$ cm, $r=1,800$ Å であるから $M=1.8 \times 10^5$ 倍となる。

るが, 第5図がその一例である。Benjamin, Jenkins⁽⁸⁾, Müller⁽⁹⁾, Gomer⁽¹⁰⁾ などが得ている W 像とよく一致している。第5図に記入した数字は電子放射像の幾何学的対称性を考慮して決定した面指数を示す。W 像は (100), (110), (211), (111) 面などの比較的低指数の結晶面より成っている。中央の (110) 面が長方形をした一番大きい暗部としてみられ, そのまわりに (211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$) 面の同形のやや大きい丸い結晶面が暗部としてみられる。(100), (010) 面は小さい丸い暗部としてみられ, (111) 面は (211), (121), (112) 面でかこまれた三角状の明るい結晶面である。電子放出電流は電界強度 F と金属の仕事関数 ϕ に強く依存するので, けい光面に現われた電子放射像の明暗は F と ϕ の変化を示すと考えられる。ここで W エミッタを 2,300°K 以上でフラッシングした直後のエミッタにかかる F は均一と考えられるから, 上述の電子放射像の明暗は主として ϕ の変化によるものと考えられる。

3.2 W エミッタの成形条件とエMISSION電流の時間的变化ならびに W の電子放射像との関係

ミューラ形電頭球と B-A ゲージとからなる実験球を 2.3 にしたがって排気し, 排気中にエミッタを最高温度 1,800°K (W エミッタの温度の測定には光高温計を使用した) で約 30 分間加熱したのち, 管内真空度を $1 \sim 2 \times 10^{-8}$ mmHg に保ち, W エミッタの成形条件とエMISSION電流の時間的变化ならびに W の電子放射像の変化について観察した。第6図は管内真空度が $\sim 10^{-8}$ mmHg で W エミッタを 2,300°K 以下で短時間フラッシングした場合のエMISSION電流の時間的変



第7図 エミッション電流の時間的変化とWの電子放射像

化とW像の変化の一例を示す。まず1,790°K 60秒間フラッシングした場合であるが、エミッション電流は時間の経過とともに著しく減衰し、それとともに電子放射像も著しく変化している。すなわち、フラッシング直後の電子放射像(第6図(A))では(100), (010)面のまわりや(111), (11 $\bar{1}$)面が比較的に明るく、(110)面がやや小さい丸い暗部、(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面が大きい丸い暗部としてみられるが、時間の経過とともに明部が減少し、特に(111), (11 $\bar{1}$), (100), (010)面のまわりがわずかに明部として認められるようになる。第6図(B)がその結果である。300秒経過後もほとんど電子放射像の様子は変わらないが、1 μA のエミッション電流を与える電子放射像(第6図(C))で観察すると(110)面のやや小さい丸い暗部の形状はフラッシング直後とほとんど変わらない。しかし(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面はごくわずかに暗部としてみられる。(100), (010)面のまわりもフラッシング直後に比べて非常に暗くなっている。しかし(111), (11 $\bar{1}$)面のまわりは逆に明るくなっているが、全体的に像がぼけている。この関係はエミッタのフラッシング温度を2,200°Kに上げて短時間フラッシングやフラッシング中の真空度が悪い(10^{-8} ~ 10^{-7} mmHg)場合にはほとんど変わらない。さらにエミッタのフラッシング温度を高くしてゆくとフラッシング直後では、(111), (11 $\bar{1}$), (100), (010)面のまわりが非常に明るい電子放射像が得られる。第6図(1)がそれである。しかし時間の経過とともに(111), (11 $\bar{1}$)面が非常に明るいパターンに変わり(第6図(2)), (111), (11 $\bar{1}$)面がスポット状になる。第6図(3)は300秒経過後の1 μA エミッション電流を与える電子放射像であるが、(110)面が丸い暗部、(121), (211), (12 $\bar{1}$), (21 $\bar{1}$)面がやや小さい丸い暗部として明確に認められる(第6図(C)と比較)。しかしこのような場合でもエミッション電流の時間的変化は1,970°Kでフラッシングした場合とほとんど変わらず、60秒後でほとんどエミッション電流は安定する。第6図に示したエミッション電流の変化や電子放射像の変化はさらにエミッタのフラッシング温度を上げてフラッシング中の真空度が悪く(10^{-8} ~ 10^{-7} mmHg)、しかも短時間フラッシングの場合には再現される。また、2,300°K以下の温度で数十分加熱(たとえば1,800°Kでさらにエミッタを30分間加熱)しても、フラッシング温度に応じて第6図にみられるようなエミッション電流の変化や電子放射像の変化が得られる。ところが2,300°K以上の温度でエミッタを長時間(たとえば2,470°K 30分)加熱すると第7図に示すような電子放射像の変化、エミッション電流の変化が得ら

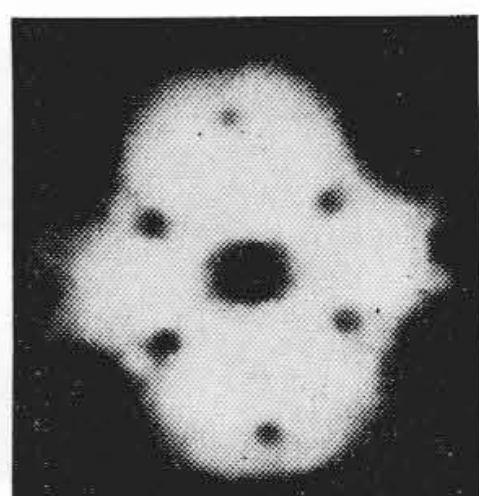
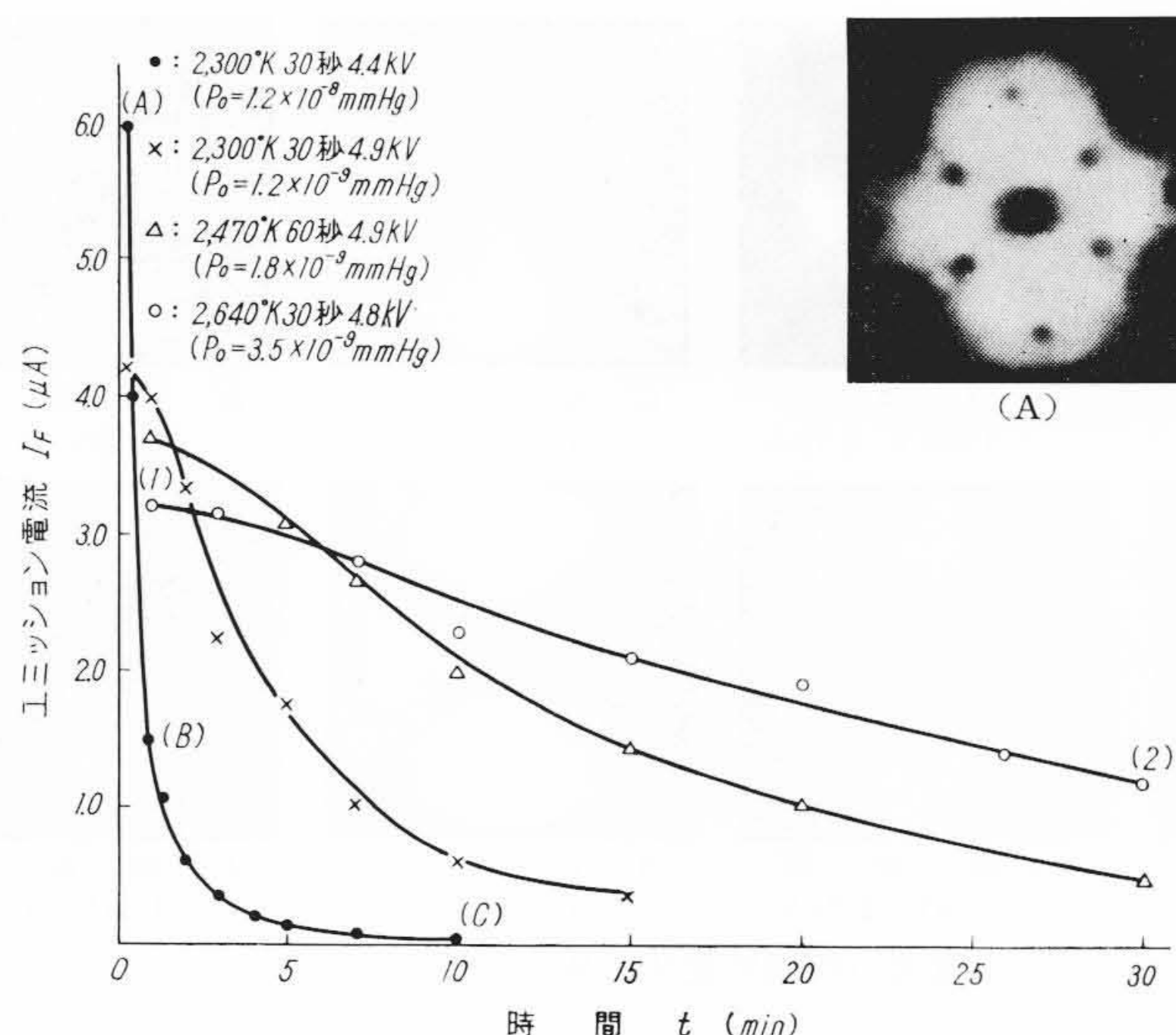
れる。第6図に示したエミッション電流の経時変化と比較するとエミッション電流は比較的に減衰する。W像もフラッシング直後では(110)面が長方形の暗部としてみられる清浄W像になっているが(第7図(A)), エミッション電流の減衰にしたがって(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面の暗部が次第に拡大され、いわゆるXパターン⁽¹¹⁾に変わる(第7図(B))。次いで(100), (010)面のまわりが特に明るいパターンに変わる。第7図(C), (D)がその結果である。(100), (010)面はスポット状に認められ、そのまわりは非常に明るい。(110)面は丸い暗部としてみられ、エッジが明るい。(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面もやや大きい暗部としてみられるが、(111), (11 $\bar{1}$)面のまわりはやや暗い。第7図(1)~(4)はWエミッタをさらに2,640°Kで60秒間フラッシングした場合のエミッション電流の変化ならびにW像の変化を示したものであるが、エミッション電流の減衰はさらにかんまんになっていることがわかる。W像も清浄W像から次第に明部の範囲が減少したXパターンに変化しているのがわかる。

このように $\sim 10^{-8}$ mmHgの超高真空中で2,300°K以上の温度で成形すると清浄W像が得られ、エミッション電流も安定してくることが明らかになったが、次いでエミッション電流に及ぼすエミッタの成形条件ならびに管内真空度との対応を明らかにするため排気中に1,800°K 15分→2,140°K 15分のスケジュールで加熱成形したWエミッタのエミッション電流の変化とW像の変化を観察した。第8図がその結果であるが、フラッシング温度が同じであれば管内真空度に、管内真空度が同じであれば、フラッシング温度が高いほどエミッション電流が安定する。なお動作中の真空度はエミッタのフラッシング時の真空度とほとんど変わらない。もちろん、動作時間の経過とともに真空度が劣化することもない。

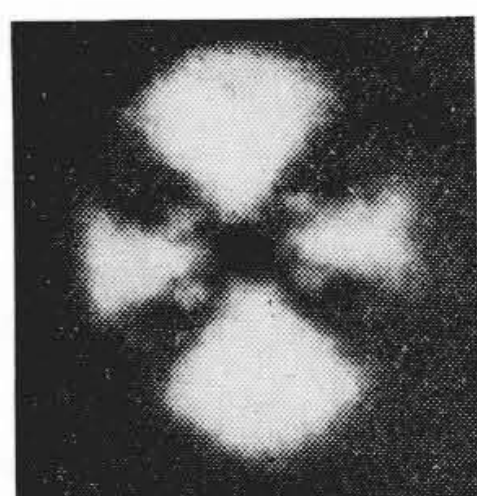
3.3 電界放出形冷陰極のエミッション減衰に対するガスの影響

(1) 管内残留ガスの影響

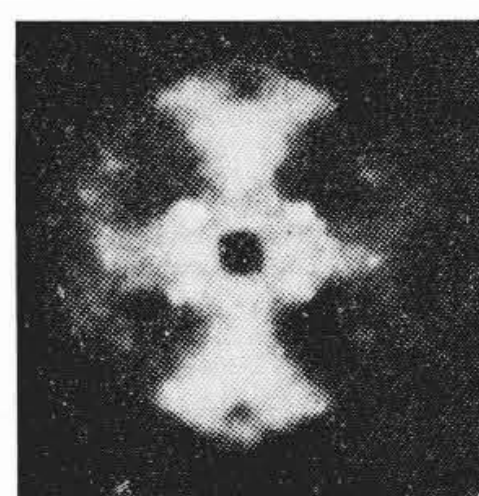
エミッション電流の安定性はWエミッタの成形条件や動作中の真空度によって左右されるが、さらに電界放出形冷陰極の不安定性の原因について検討した結果を以下に述べる。第9図はミューラ形電顕球のエミッション電流の変化を1 μA のエミッション電流を与える電圧の変化で示したものであるが、電圧は時間の経過とともに次第に増大する。これをW像の変化で観察してみると、フラッシング直後の清浄W像から時間の経過とともに(100), (010)面や(111), (11 $\bar{1}$)面が特に明るいパターンに変わり、電圧が飽和するにしたがって(100), (010)面のまわりが暗くなり、(110)面のエッジが非常に明るくなり、(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面のエッジが線状に非常に明るいパターンになる。前述のように、



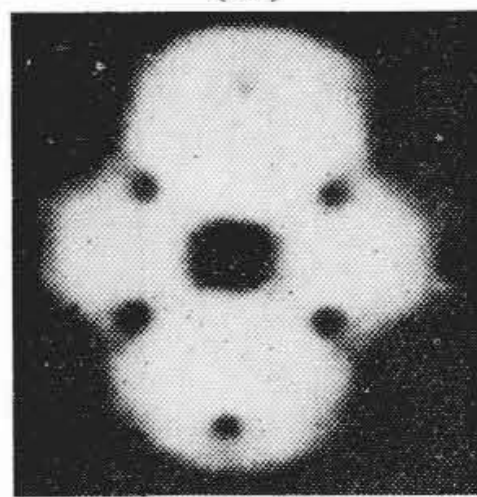
(A)



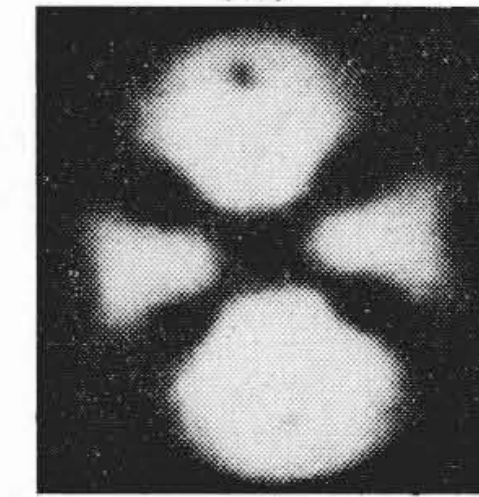
(B)



(C)

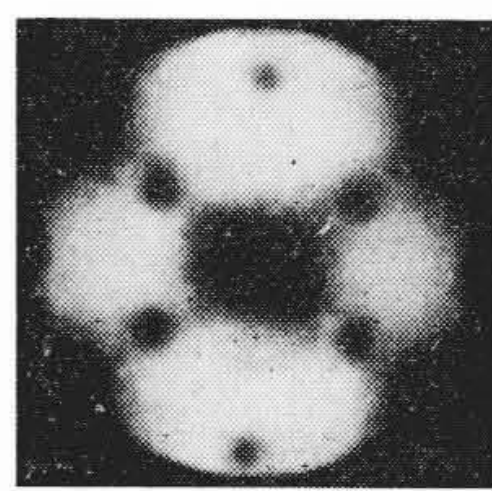
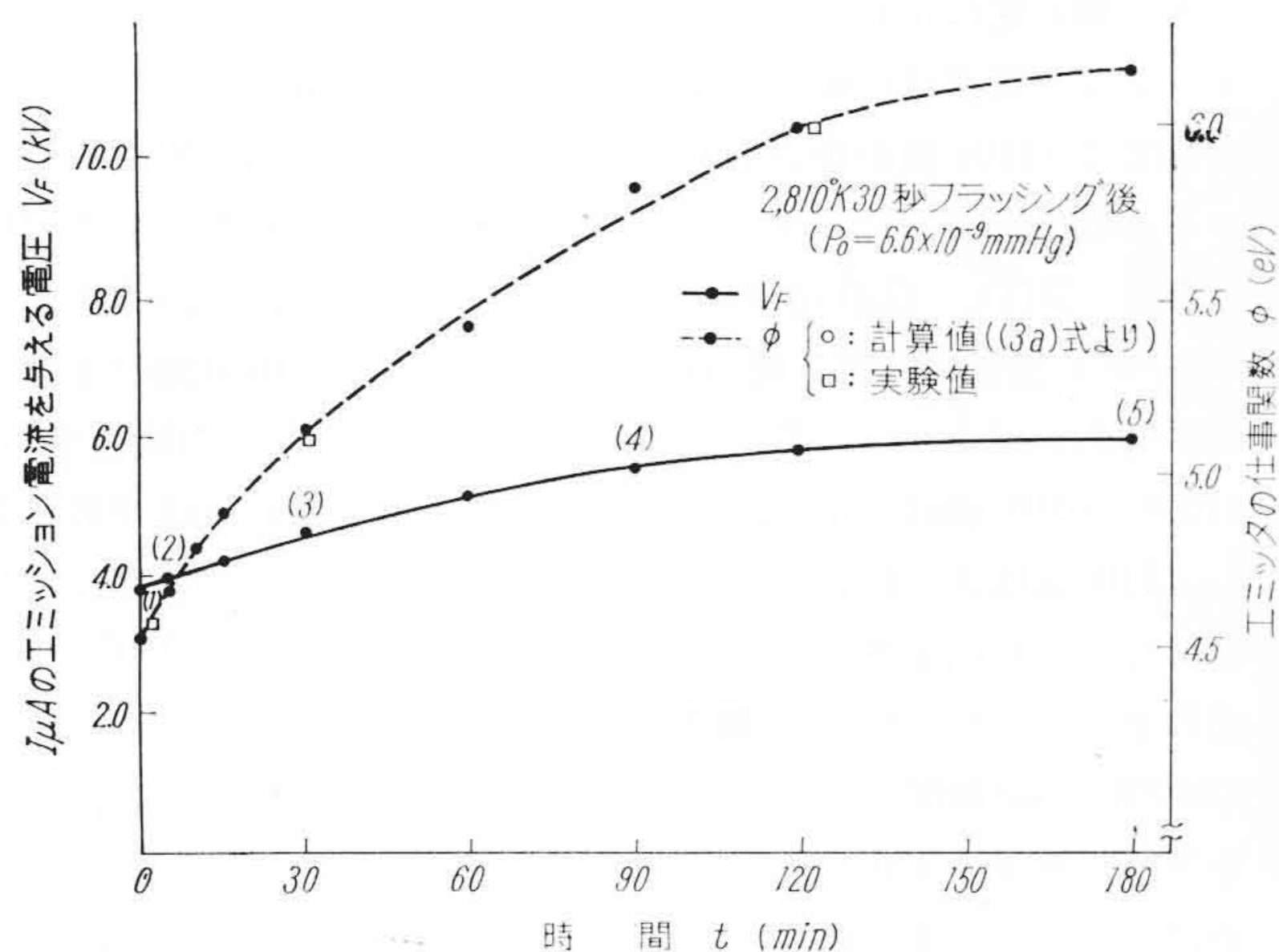


(1)

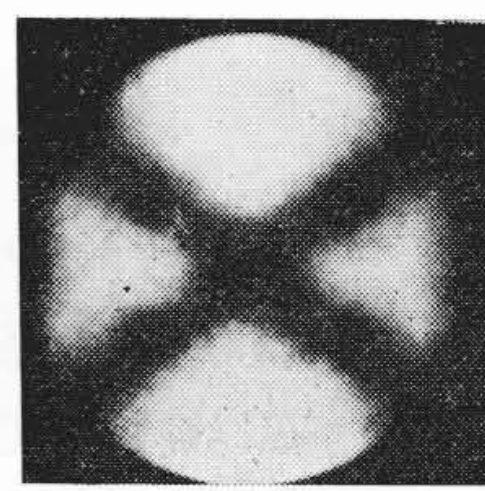


(2)

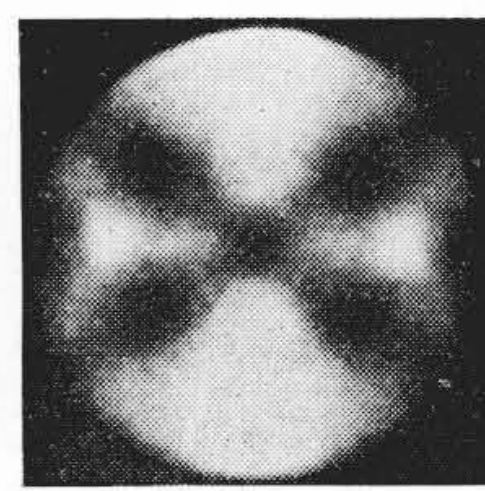
第 8 図 エミッション電流の時間的変化とWの電子放射像



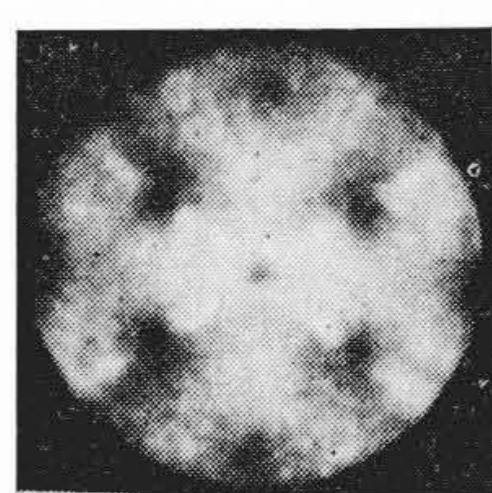
(1) 0 分



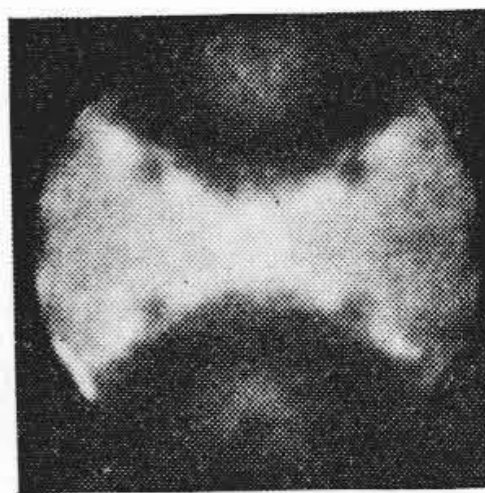
(2) 5 分



(3) 30 分



(4) 90 分



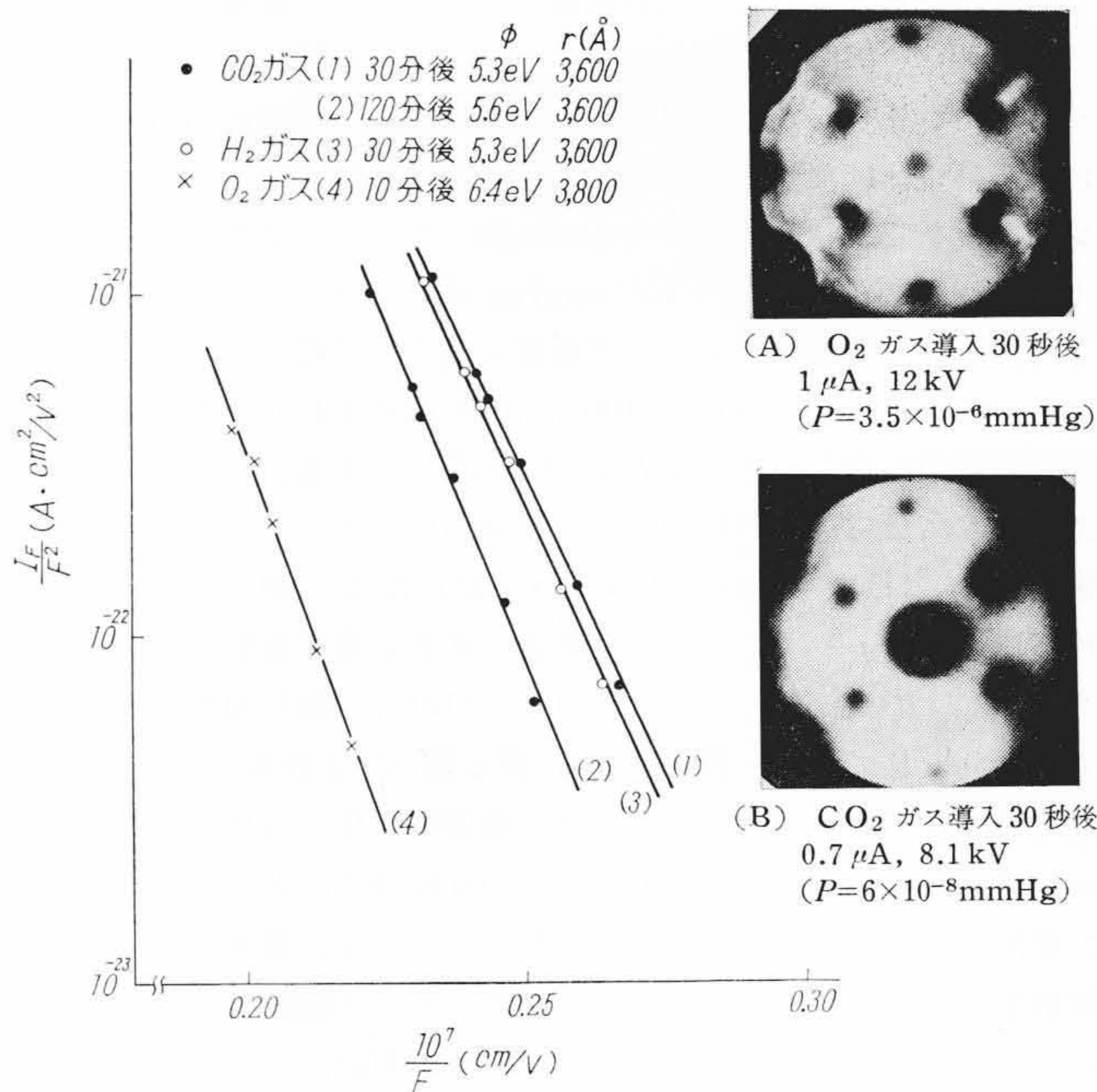
(5) 180 分

第 9 図 エミッション電流の時間的変化とWの電子放射像

電界放出電流は F と ϕ に強く依存しているので W 像の大きさや結晶面の位置が変わらないことから F は一定と考えてフラッシング直後, 30 分経過後, 120 分経過後の電圧電流特性の直線の傾斜から ϕ の変化を計算で求めてみるとそれぞれ $\phi(0') = 4.6 \text{ eV}$, $\phi(30') = 5.1 \text{ eV}$, $\phi(120') = 5.9 \text{ eV}$ となる。このようなことから ϕ の変化は W エミッタ表面への管内残留ガスの吸着によって大きく影響されると考えられる。

(2) 各種ガスの影響

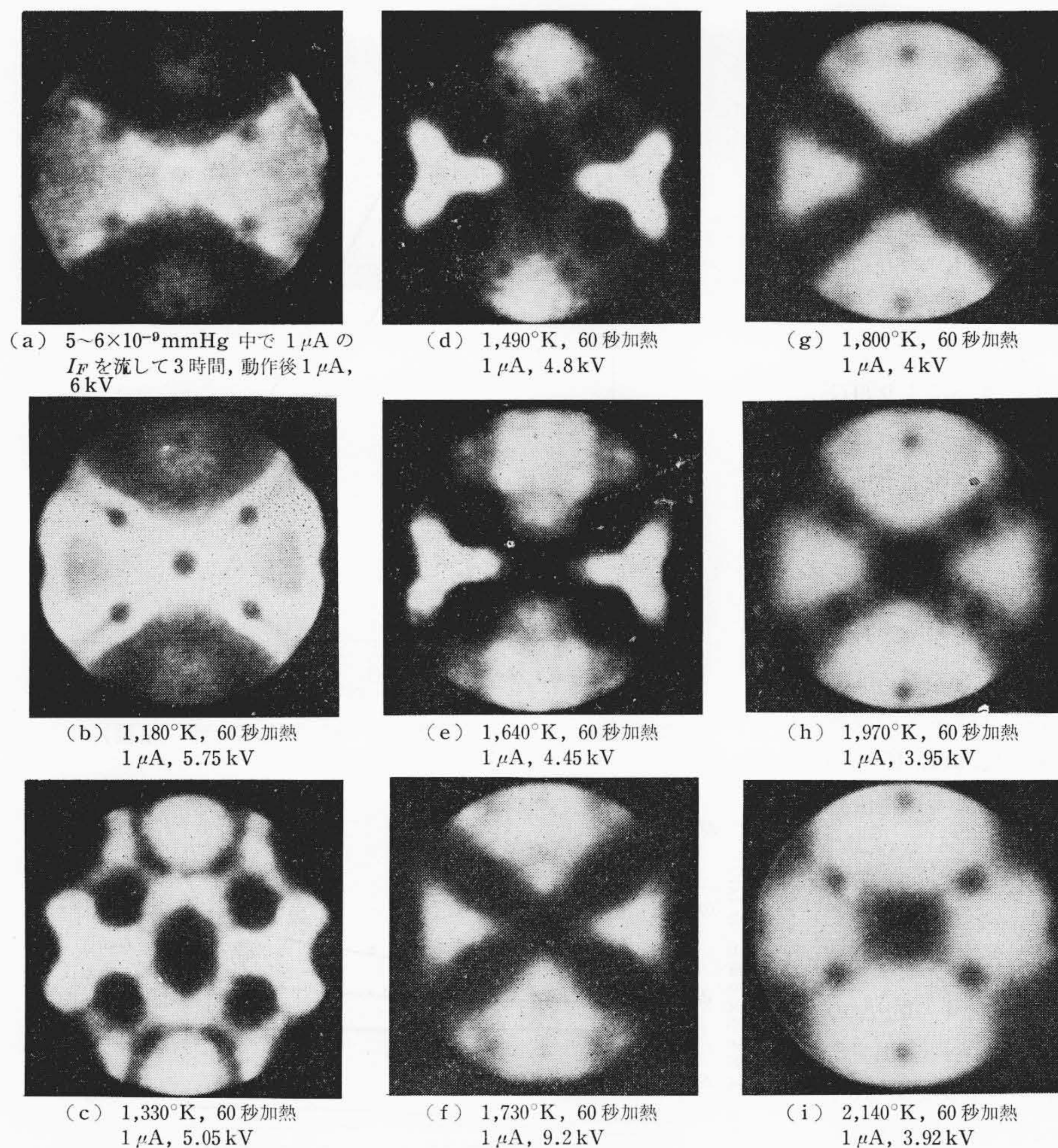
エミッション電流に及ぼす各種ガスの影響を調べるため, O_2 , H_2 , CO_2 のガスアンプルを製作し, ガス吸着による W エミッタの ϕ の変化を調べてみた。第 10 図はガス導入後のミューラ形電頭球の電圧電流特性であるが, 直線の傾斜から求めた ϕ も同時に示した。 ϕ の変化に及ぼすガスの影響は O_2 ガスが最も大きい。第 10 図 (A) は O_2 ガスが吸着した W 像であるが, ϕ が著しく高くなっているのがわかる (第 9 図の 90 分経過後のパターンと比較)。W の O_2 ガスによる ϕ の変化は $\theta=1$ の場合 (θ : 吸着分子の被覆度) 約 2 eV 高くなるといわれている⁽¹²⁾が, その結果とよく一致している。一方, CO_2 ガスは O_2 ガスほど毒作用は強くない。W 像は (111), (11 $\bar{1}$) 面や (100), (010) 面のまわりが明るいパターンに変わる。第 10 図 (B) がその結果である。さらに H_2 ガスの影響も調べたが, ガス導入後の W 像は CO_2 ガスを吸着した場合と同様, (111), (11 $\bar{1}$) 面や (100), (010) 面のまわりが明るいパターンに変わった。W の H_2 ガスによる ϕ の変化も $\theta=1$ の場合約 0.6 eV 増加するといわれている⁽¹²⁾が, この結果ともよく一致している。



第 10 図 ミューラ形電頭球の電圧電流特性 (ガス吸着の影響)

3.4 W エミッタの再生条件と電子放射像

エミッション電流はガス吸着により著しく変化することが明らかになってきたが, 再び安定に動作する清浄 W エミッタを得るためのフラッシング条件を見いだすためミューラ形電頭により W 像の変化

第 11 図 W エミッタの再生条件と電子放射像 (室温) $r=1,570 \text{ \AA}$

の様子を観察してみた。第 11 図(a)はミューラ形電顕球を $5 \sim 6 \times 10^{-9} \text{ mmHg}$ 中で $1 \mu\text{A}$ のエミッション電流をとりながら 3 時間動作させたのちの W 像である。(100), (010)面がスポット状にみとめられ、そのまわりがごくわずかに明るい。(111), (11 $\bar{1}$)面もやや暗い

が、(110)面がやや小さい丸い暗部としてみられ、(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面は大きい丸い暗部としてみられる。(111), (11 $\bar{1}$)面がスポット状にわずかに認められるが、(100), (010)面のまわりが四角状 (各頂点の明部はそれぞれ (611), (61 $\bar{1}$), (6 $\bar{1}$ 1), (6 $\bar{1}\bar{1}$),

が、(110)面はスポット状にやや暗く、そのまわりが非常に明るい。(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面はスポット状に見られるが、そのエッジが線状に非常に明るい。第 11 図(b)はエミッタを $1,180^\circ\text{K}$ で 60 秒間加熱したのちの W 像であるが、(110)面がやや大きい丸い暗部、(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面がやや小さい丸い暗部としてみられ、エッジは線状の暗部に反転している。(111), (11 $\bar{1}$)面は三角状にやや暗い。第 11 図(c)はさらにエミッタを $1,330^\circ\text{K}$ で 60 秒間加熱した場合の W 像であるが、(110)面がだ円状の非常に大きな暗部としてみられ、エッジが明るい。(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面もやや大きな丸い暗部に変わっている。(100), (010)面は明るく、(111), (11 $\bar{1}$)面は非常に明るい。第 11 図(d)はさらにエミッタを $1,490^\circ\text{K}$ で 60 秒間加熱した場合であるが、(110)面の暗部や(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$)面の暗部の形状は第 11 図(c)と変わらないが、それぞれの結晶面のエッジが暗く反転している。また(100), (010)面の明るさも第 11 図(c)と変わらないが、そのまわりに(611), (161), (61 $\bar{1}$), (16 $\bar{1}$)面があらわれている。(111), (11 $\bar{1}$)面はやや暗いスポット状の結晶面としてみとめられた。第 11 図(e)はエミッタを $1,640^\circ\text{K}$ で 60 秒間加熱したのちのパターンである

第 1 表 W エミッタの再生条件と電子放射像の変化

記号	エミッタの再生条件	$1 \mu\text{A}$ の I_F を与える電圧 (仕事関数)*3	(110) 面	(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$) 面	(100), (010) 面	(111), (11 $\bar{1}$) 面	その他の結晶面
a	$5 \sim 6 \times 10^{-9} \text{ mmHg}$ 中で $1 \mu\text{A}$ の I_F を流して 3 時間動作後	6 kV (6.2 eV)	スポット状にわずかに暗く、エッジが非常に明るい。	小さいスポット状の暗部。	小さいスポット状の暗部、近辺はわずかに明るい。	やや暗い。	(321), (312), (231), (132), (32 $\bar{1}$), (31 $\bar{2}$), (23 $\bar{1}$), (13 $\bar{2}$)面が線状に明るい。
b	$1,180^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	5.75 kV (5.84 eV)	やや大きい丸い暗部	小さい丸い暗部。	小さいスポット状の暗部、近辺はわずかに明るい。	三角上やや暗い。	同上の結晶面は線上に暗い。
c	$1,330^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	5.05 kV (5.35 eV)	非常に大きいだ円状の暗部。エッジが明るい。	大きいややだ円状の暗部。	明部、近辺はやや円形の明部。	ビット状に非常に明るい。	
d	$1,490^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	4.8 kV (5.17 eV)	非常に大きいだ円状の暗部。ただしエッジが暗い。	大きいややだ円状の暗部。ただしエッジが暗い。	明部、近辺はやや四角状の明部。	ビット状に非常に明るい。中央に (111), (11 $\bar{1}$) 面がスポット状にみられる。	(611), (161), (61 $\bar{1}$), (16 $\bar{1}$) 面がスポット状にみられる。
e	$1,640^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	4.45 kV (4.92 eV)	やや大きい丸い暗部。	大きい丸い暗部。	明部、近辺は四角状の明部。	わずかにスポット状の暗部。	(611), (161), (61 $\bar{1}$), (16 $\bar{1}$) 面が明るく反転している。
f	$1,730^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	4.2 kV (4.7 eV)	大きい暗部。	大きいだ円状の暗部。	スポット状の暗部近辺は非常に明るい。	三角状の明部。	(611), (161), (61 $\bar{1}$), (16 $\bar{1}$) 面が明るく反転している。(301), (310), (30 $\bar{1}$), (130), (031), (03 $\bar{1}$)面は暗い。
g	$1,800^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	4.0 kV (4.58 eV)	やや四角状の暗部。	丸い暗部。エッジが非常に暗い。	スポット状の暗部近辺は非常に明るい。	三角状の明部。	(611), (161), (61 $\bar{1}$), (16 $\bar{1}$) 面が明るく反転している。(301), (310), (30 $\bar{1}$), (130), (031), (03 $\bar{1}$)面は暗い。
h	$1,970^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	3.95 kV (4.55 eV)	大きい四角状の暗部。	小さい丸い暗部。エッジがわずかに暗い。	スポット状の暗部近辺は非常に明るい。	すみの丸い三角状の明部。	
i	$2,140^\circ\text{K}$, 60 秒加熱	3.92 kV (4.53 eV)	清浄タングステン像	清浄タングステン像	清浄タングステン像	清浄タングステン	清浄タングステン像

*3: () 内は計算値 計算の概略は次のとおり。

$$\text{基準状態 } I_0 = A(F_0, \phi_0) \exp\left(-B \frac{\phi_0^{\frac{3}{2}}}{F_0}\right) \dots\dots\dots (1a)$$

$$\text{求めるべき状態 } I = A(F, \phi) \exp\left(-B \frac{\phi^{\frac{3}{2}}}{F}\right) \dots\dots\dots (2a)$$

$$\therefore \phi \approx \left\{ F \left(\frac{\phi_0^{\frac{3}{2}}}{F_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{I_0}{I} \right) \right\}^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (3a)$$

(3a)式は比較的よい近似を与えるが、 F および I が F_0 , I_0 と大きく異なる場合に誤差が大きくなる。

(161), (16 $\bar{1}$), (1 $\bar{6}$ 1), (1 $\bar{6}\bar{1}$)面に対応する)に明るい。第 11 図(f) はエミッタを 1,730°K で 60 秒間加熱した場合であるが、X パターンの典型的な電子放射像が得られた。第 11 図(g) はエミッタを 1,800°K で 60 秒間加熱したのちのパターンである。(110) 面がやや丸く、(211), (121), (21 $\bar{1}$), (12 $\bar{1}$) 面のまわりがやや暗い。ほかはほとんど清浄 W 像に近いパターンになっている。第 11 図(h), 第 11 図(i) はさらにエミッタをそれぞれ 1,970, 2,140°K で 60 秒間加熱したのちの W 像であるが、清浄 W 像が得られた。

このように管内残留ガスの吸着によりエミッタの ϕ が変化し、エミッション電流が変化した場合には 2,000°K 以上の加熱により再び安定に動作する清浄 W エミッタが得られることが明らかになった。なお、再生条件によってどのように W 像が変化したかを第 1 表にまとめて示した。

3.5 電界放出形冷陰極の 2 極管への応用

前節までは主としてミューラ形電頭を応用した W エミッタの成形条件とエミッション電流の安定性について検討してきたが、これを 2 極管に応用した結果について述べる。試作した 2 極管の構造は第 3 図に示したが、排気は 2.3 にしたがって行ない、エミッタの成形は 10^{-8} mmHg 以下の超高真空中で、1,800°K 15 分→2,140°K 15 分→2,470°K 5 分のスケジュールで行なった。この 2 極管の電圧電流特性は第 12 図にみられるとおりによく直線関係を満足している。次に純ニッケルをプレート材として使用した場合について、エミッション電流に及ぼすプレート構造、動作条件の影響を調べた。プレート構造は茶筒形がよく、動作電圧が 4~5 kV 程度では 400 μ A のエミッション電流を安定に流せる。しかし 7 kV 以上になると 10 μ A のエミッションでもエミッション電流は時間の経過とともに変化することが明らかになった。もちろん、動作中の真空度が重要であるが、4~5 kV 程度の動作電圧でも真空度が $\sim 10^{-8}$ mmHg の場合にはエミッション電流は時間の経過とともに変化することがわかった。結果の一例を第 13 図に示す。このほかプレート材 (W, Ti) の影響も調べたが、われわれの実験範囲内では差は認められなかった。

4. 実験結果に対する検討

電界放出形冷陰極が安定で、しかも長寿命に動作するためには高温でフラッシングした清浄 W エミッタを動作中も常に清浄に保つ必要がある。そのためにはエミッタの ϕ の変化の原因になる管内残留ガスの影響の少ない超高真空中で動作させる必要があることは前節までに詳述した。ここで前節における W エミッタの成形条件とエミッション電流の時間的変化に関する実験結果を吸着ガス量の増加現象および仕事関数の変化として検討を加えてみる。まず一定の真空度において W エミッタに吸着される管内残留ガスの分子数について概算すると、W 表面に対する付着確率を約 0.5⁽¹³⁾ とした場合に管内圧力が 1×10^{-8} mmHg、管内温度が 288°K のとき、吸着に要する時間は O₂ の場合約 500 秒、H₂ の場合約 130 秒となる。したがってわれわれの行なった実験範囲内では W エミッタへの残留ガスの吸着量が多いので、それにともない仕事関数の変化も大きいものと考えられる。ところで、吸着ガス量の少ない範囲内では仕事関数の変化と吸着ガス量の間に (1) 式が成立する。

$$\Delta\phi = k \cdot N_{\text{ads}} \dots\dots\dots (1)$$

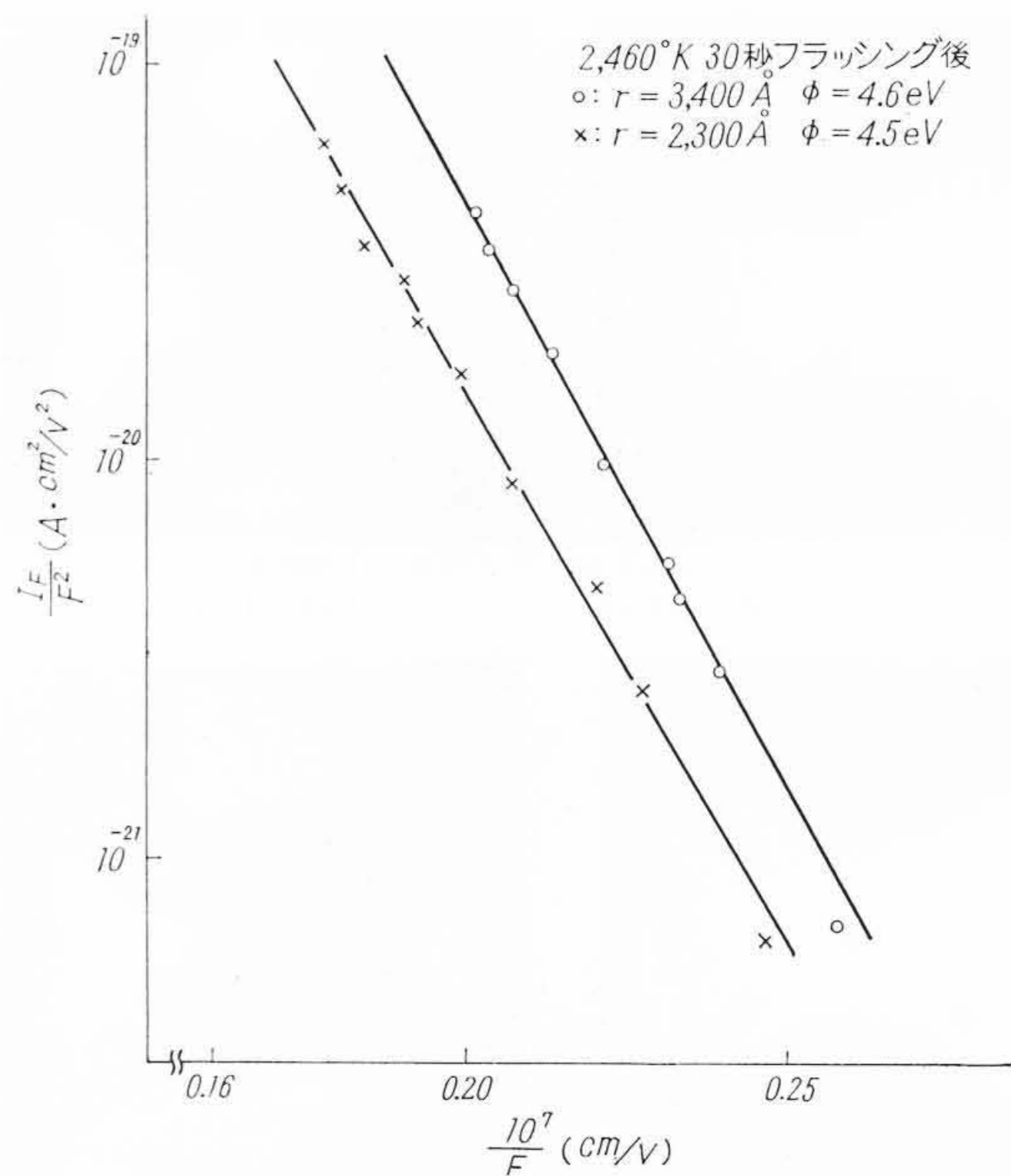
k : 比例定数

N_{ads} : 吸着ガス量

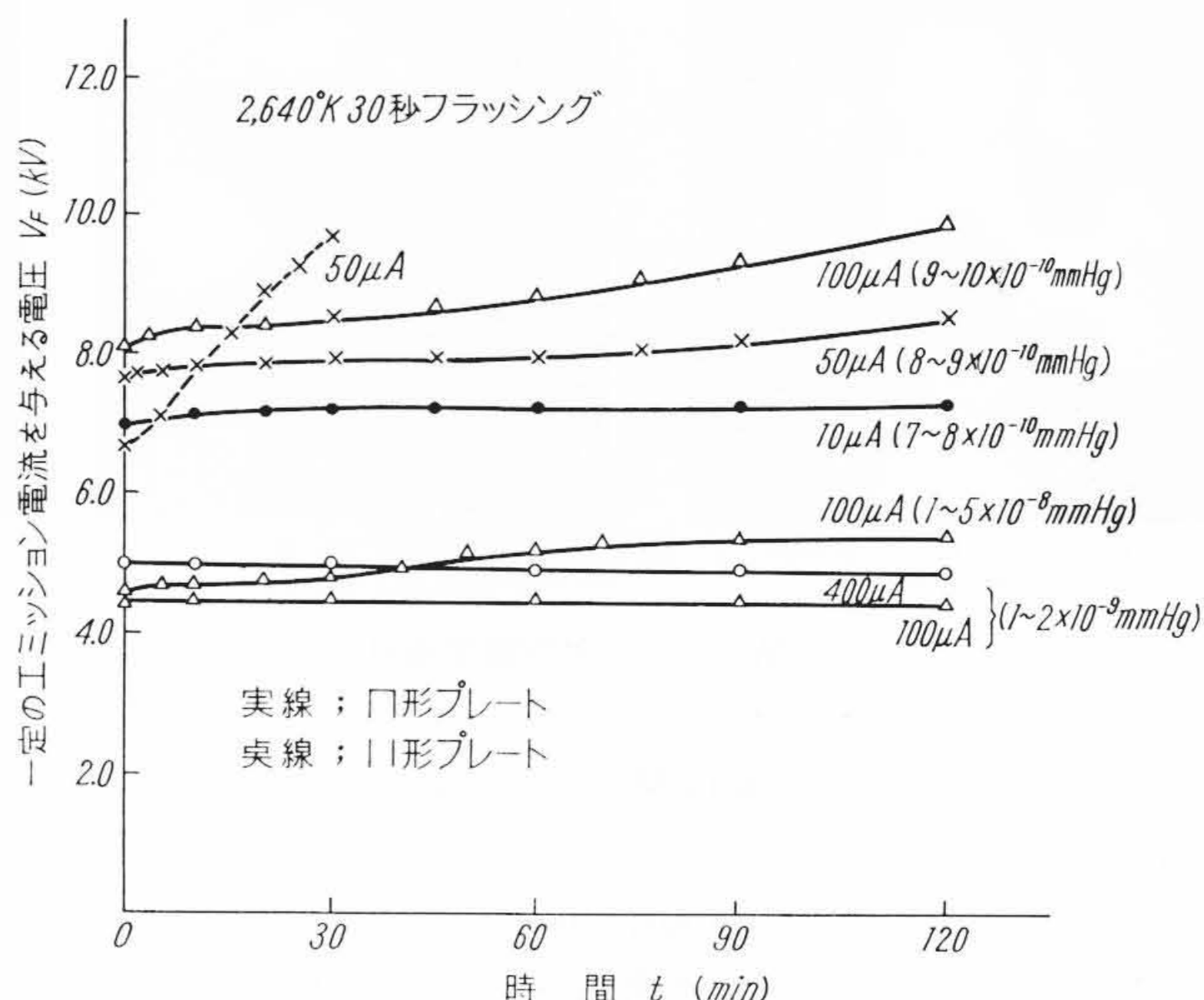
一方、 t の小さい範囲では α (気体の W 表面への衝突分子数密度)、 S (付着確率) とともに一定と考えられるので、

$$N_{\text{ads}} = \int_0^t \alpha \cdot S \cdot dt = \alpha \cdot S \cdot t \dots\dots\dots (2)$$

が得られる。さらに気体運動論より



第 12 図 電界放出形 2 極管の電圧電流特性 (室温)



第 13 図 エミッション電流の時間的変化

$$\alpha = \frac{1}{4} n v = \frac{1}{4} \cdot \frac{N_a v p}{R T} \dots\dots\dots (3)$$

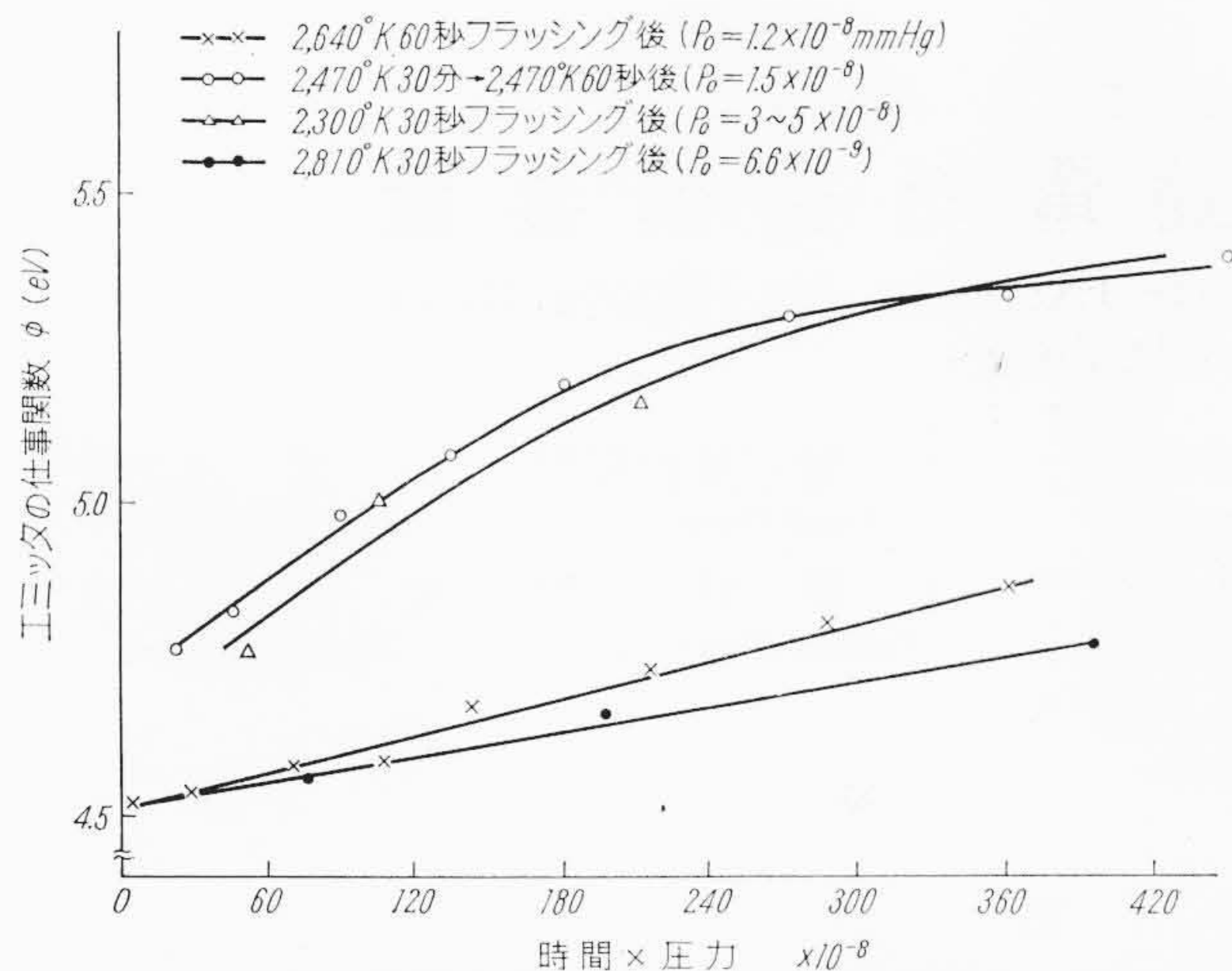
- ただし N_a : アボガドロ数
 R : 気体定数
 T : 管内温度
 p : 管内圧力
 v : 気体分子の平均の運動速度

が成立するが、(1)~(3)式より

$$\Delta\phi = A(T) k \cdot S \cdot p \cdot t \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{ただし } A(T) = \frac{1}{4} \cdot \frac{N_a}{R} \cdot \frac{v(T)}{T}$$

(4) 式が得られ、仕事関数の変化は圧力と時間の積に比例する。第 14 図は第 6, 7, 9 図のエミッション電流の変化を ϕ の変化に換算し(第 1 表(3a)式より)、(4)式にしたがって ϕ と $p \cdot t$ の関係をグラフにプロットしたものであるが、高温フラッシングの場合にはほぼ直線関係が成り立つ。また低温フラッシングの場合にも $p \cdot t$ の小さい範囲内では直線関係が成り立っている。これらは一般のガス吸着の理論⁽¹⁴⁾を満足し、いずれもエミッション電流の時間的変化をガス吸着による ϕ の変化で説明できることを示している。さらに第 14 図の直線の傾斜から $A(T) \cdot k \cdot S$ を求めることができるが、計



第14図 吸着ガス量とエミッタの仕事関数の変化 (計算値)

算結果によれば

高温フラッシングの場合 $A(T)kS \approx 0.7 \sim 1 \times 10^5$
 低温フラッシングの場合 $A(T)kS \approx 3 \times 10^5$

となり、フラッシング温度によって顕著な差を示している。この差異の生ずる理由として考えられることは、(1)フラッシング条件によってフラッシング後のWエミッタへのガスの付着確率が変化することではないか、(2)前述までの k 、 S などは巨視的な値であり、結晶面や方向性などは考慮されていない。しかし実際にはガス吸着は結晶面によっても著しく異なっている。したがって方向性とか結晶面による違いなどを解析に入れる必要がある。(3)フラッシング直後のWエミッタ近傍の圧力が異なるのではないかなどいろいろ考えられるが、これらの詳細は今後の研究課題である。

5. 結 言

ミューラ形電顕を応用して電界放出形冷陰極用Wエミッタの成形条件とエミッション電流の安定性について検討してきたが、実験結果を要約すると下記のとおりである。

- (1) エミッション電流の安定する清浄Wエミッタは 10^{-8} mmHg以下の超高真空中で、しかも2,300°K以上の高温で成形すると得られる。
 - (2) エミッション電流は管内真空度を向上させ、フラッシング温度を高くすれば安定する。
 - (3) エミッション電流に及ぼすガスの影響を調べたが、 O_2 ガスが特に顕著であり、 CO_2 、 H_2 ガスがそれに次いでいる。
 - (4) Wエミッタの再生条件は2,000°K以上のフラッシングが有効である。
 - (5) 電界放出形冷陰極を2極管に応用したが、プレートは茶筒形が良く、動作真空度が $1 \sim 2 \times 10^{-9}$ mmHg以下であれば4~5kVの動作電圧で安定なエミッションが長時間にわたって得られる。
- 最後に、本研究実施に際して茂原工場県部長からご指導を賜った。ここに深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) R. W. Wood: Phys. Rev., 51 (1897)
- (2) W. P. Dyke: IRE. Trans. Milt. Elect., MIL-4, 38 (1960)
 E. E. Martin et al: J. Appl. Phys., 31, 782 (Mar. 1960)
 W. P. Dyke et al: J. Appl. Phys., 31, 790 (Mar. 1960)
- (3) D. Alpert: J. Appl. Phys., 24, 860 (1953)
- (4) Electronics News, Jan., 26 (1959)
 応物: 冷陰極特集 30 (Mar. 1961)
- (5) E. Sugata and S. Nakamura: J. J. Appl. Phys., 1, 50 (1962)
 岡田, 青木: 電気通信学会全国大会予稿 295 (昭36)
- (6) 北川, 梨本: 応物 30, 338 (Mar. 1961)
- (7) W. P. Dyke et al: J. Appl. Phys., 24, 570 (Mar. 1953)
- (8) M. Benjamin and R. O. Jenkins: Proc. Roy. Soc., 176A, 262 (1940)
- (9) E. W. Müller: Handbuck der Physik., 21, 201 (1956)
- (10) R. Gomer: J. Chem. Phys., 27, 1363 (1957)
- (11) W. P. Dyke and W. W. Dolan: Adv. Elec. and Elec. Phys., 8, 89 (1956)
- (12) 金: 真空 5, 435 (昭37-11)
- (13) J. A. Becker and C. D. Hartman: J. Phys. Chem., 57, 153 (1953)
- (14) 佐々木: 化学反応論 143 (昭28-5)

第25巻

日

立

第5号

目

次

- ・巻頭随筆 “見舞の声”.....丸 岡 明
- ・長 崎 の 上 下 水 道
- ・お部屋に新しい季節を “くらしを変えるルームクーラ”
- ・新 時 代 を 迎 え た テ レ ビ 技 術
- ・海を渡る日立「A・A諸国の発展のために(上)」
- ・冷水の科学が生んだ新しいケース “日立冷水ショーケース”
- ・小 粒 で タ フ な 鋼 板 モ ー ト ル
- ・大 気 汚 染 防 止 と 集 じん 装 置
- ・電気機器の裏方さん “日立MPコンデンサ”

- ・形は小さくて性能は高い “小形構内自動交換機のエース AX-2D”
- ・電線百話第28話: ガス圧で空どうをつぶす
- ・新しい照明施設: 総 理 府 庁 舎 の 照 明
- ・読者の声 <ライトオペレータ> について
- ・明日への道標: わが国最初の可視光ガスレーザ
- ・日立ハイライト: お台所に新時代をもたらす日立パネコン冷蔵庫
- ・日 立 だ よ り

発 行 所 日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
 振替口座 東京 71824 番

取 次 店 株式会社 オーム社 書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 振替口座 東京 20018 番