

螢光放電燈に於ける電弧電壓の波形及振動現象

好 本 寛*

Wave-Forms and Oscillation Phenomena of Arc Voltage in Fluorescent Lamp

By Hiroshi Yoshimoto
Central Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

In the discharge tube with thermo-ionic cathode like fluorescent lamp, the peculiar oscillations of arc voltage can be observed.

Though these oscillations are to be changed by various factors, they have essentially a direct relation with the amount of energy which is received by oxide coated cathode.

These oscillations occur in the vicinity of the anode except in the case of the phenomenon of oxide disintegration.

〔I〕 緒 言

一般に酸化物熱陰極を有する放電管に於て放電時に於て、種々の電圧波形を示すものである。殊にこの電圧波形には振動現象を伴うものであるが、この振動に對して筆者の調査範囲内ではあまり研究されてゐない。

本論文に於て報告するところは、主として電弧電圧波形の種々の形態の發生原因並びに振動現象の原因となるべき諸因子につき、明にし且この振動波が陽極部に於て發生するものであることを結論するものである。

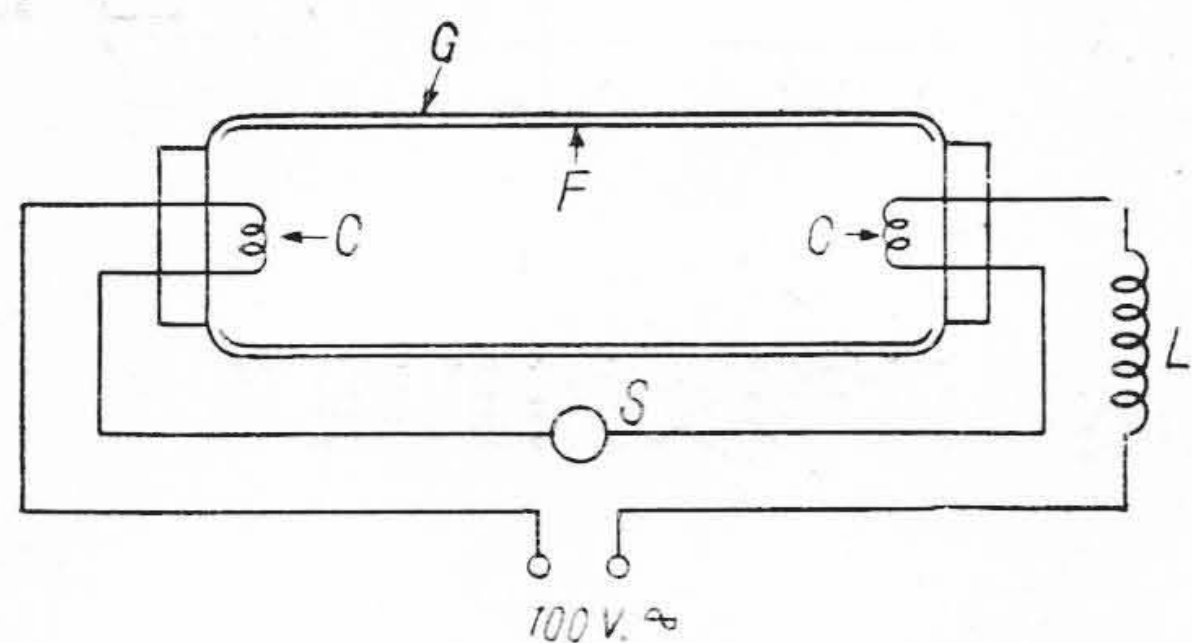
酸化物陰極に於てはその陰極の状態が放電することにより變化して行くものであり、實際の放電等に於て、そ

の時々電子放射の定量的測定は困難である。筆者は放電特性の諸種の形態のものより性能よきものの放電特性の實驗式を得、之を基準として電弧電圧波形及振動状態の考察をしたものである。

〔II〕 螢光放電燈の構造及動作原理

螢光放電燈の構造及配線圖は第1圖に示す如く、圓筒ガラス管の兩端に電極を封入せるもので、ガラス管内面に螢光膜が塗布してある。第2圖に電極部の一般的構造を示す。纖條はW線の二重螺旋になつて居り之に酸化物が塗布してある。放電管内にはアルゴンガス數 mmHg 及水銀蒸氣が封入してある。放電管の外徑及全長は普通市販の 20 W 級のもので、各々約 38 ϕ 及 58 cm である。放電の始動にあつては、スイッチ S を閉ざすと回

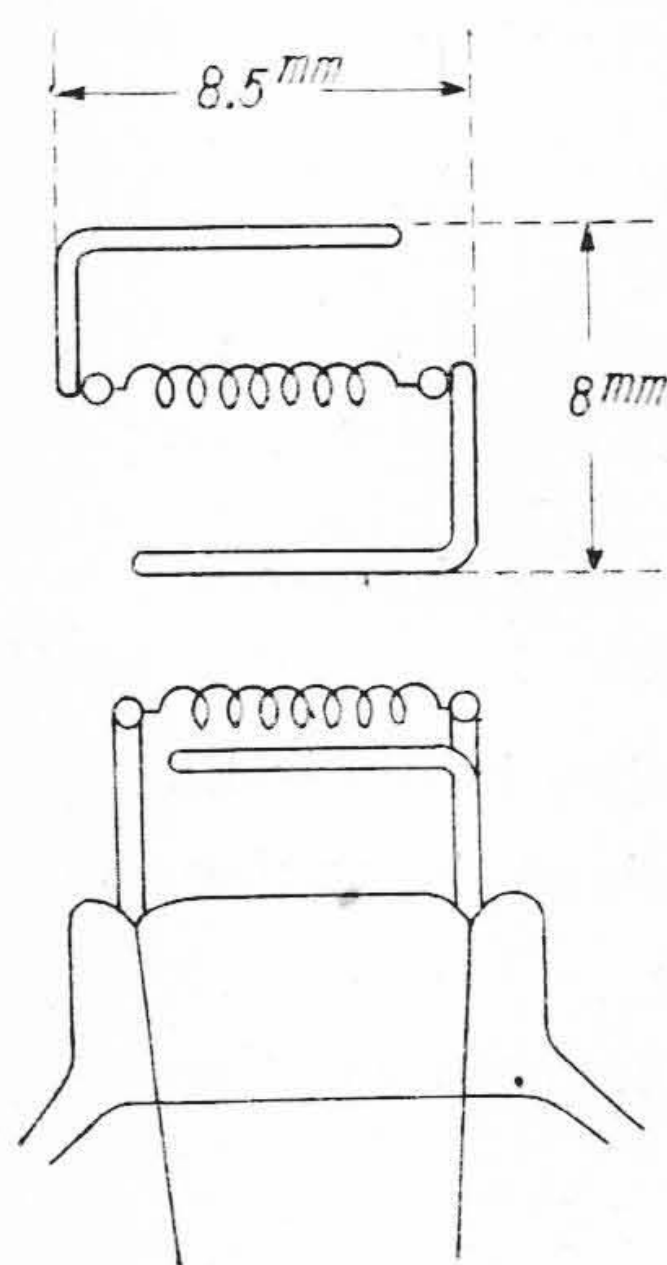
* 日立製作所日立中央研究所



G: ガラス管 F: 蛍光膜
C: 熱陰極 L: リアクター
S: スイッチ

第1圖 蛍光放電管配線圖

Fig. 1 Circuit Diagram of Fluorescent Lamp.



第2圖 熱陰極部構造
Fig. 2 Construction of Oxide Coated Cathode.

は點燈管（グロースイッチ）と稱する小型の二極放電管が用いられてゐる。

以下本論文で取扱う蛍光灯はこの種熱陰極型放電管であるがこの他冷陰極型蛍光放電管があり最近アメリカで相當使用されてゐる。又放電管の管徑及管長に就ては種々の目的に應じて、各寸法のものが製作されてゐる。

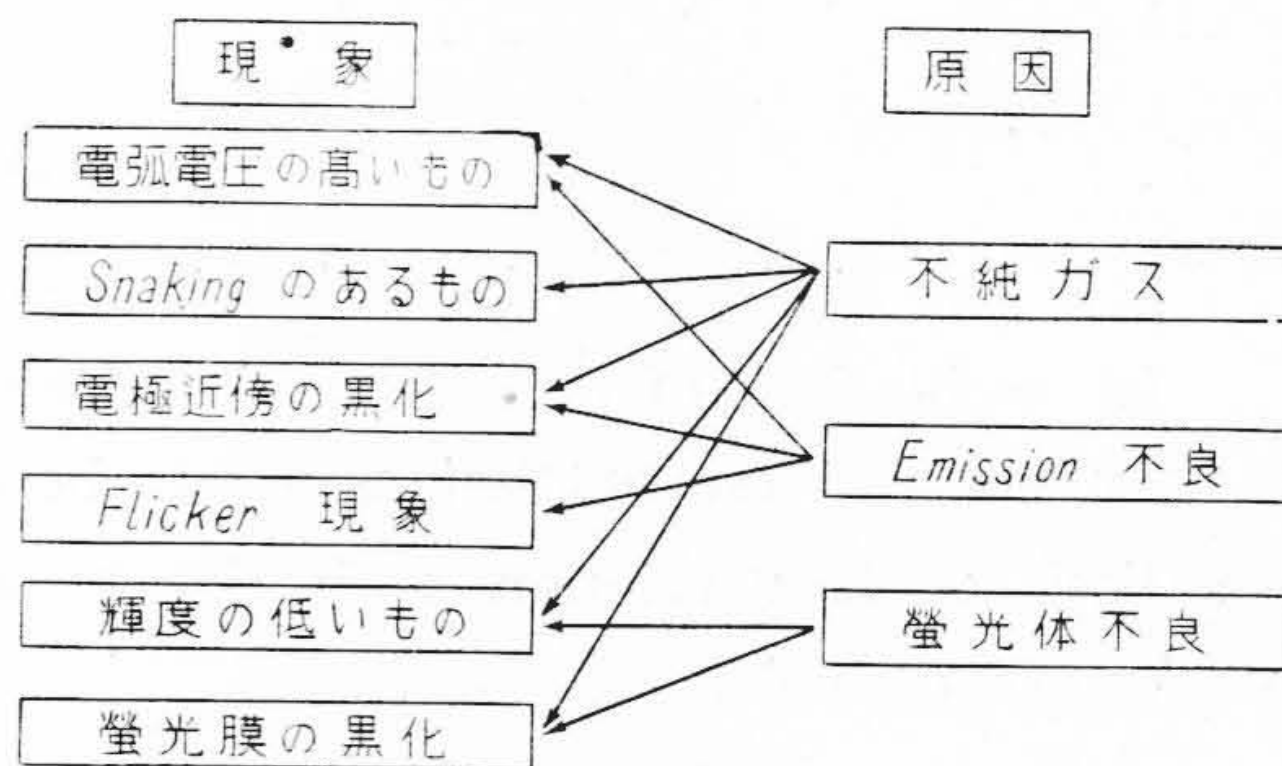
[III] 蛍光放電燈に於ける諸問題

蛍光放電燈に關する諸種の問題があるが、主として性能の點から考察してみる。蛍光灯としては壽命が長く且光度不變なる事が望ましい。然し長時間の點燈により、諸種の不良現象があらわれて来る。その主なるものを列

挙すると

- (1) 蛍光膜の黒化及劣下現象
- (2) 輝度小なるもの
- (3) 電極近傍の黒化せるもの
- (4) 電極前部の環狀に黒化せるもの
- (5) スネーキング (Snaking) 現象のあるもの
- (6) フリッカー (Flicker) 現象のあるもの
- (7) 電弧電壓の高いもの

等の問題がある。以上の諸點の原因は、蛍光體自體の問題、不純ガスの問題及酸化物の電子放射量の問題の何れかにより發生するもので、特に不純ガスが諸種不良の根本的原因となつて居る。原因と不良現象との關係を第3圖に示す。蛍光灯製作にあたり、電極其の他よりのガス



第3圖 不良現象とその原因

Fig. 3 Undesirable Phenomenon and its causes.

出しが不充分なる場合或は封入アルゴンガスが不純なる場合には陰極降下の増大及陽極柱電位傾度が増す結果電弧電壓が高くなり之がため酸化物がイオン衝撃により破壊せられて電極附近の管壁に飛散した酸化物が附着し黒化して来る。或は又環狀黒化を示して来る。従つて又酸化物の消耗が著しく全放射電子流の減少により陰極降下が増大して酸化物の消耗が加速度的に進行し遂に放電のちらつき即ちフリッカーの現象があらわれて来て壽命が非常に短くなる。

一般に不純ガスが存在すると之等のガスにより、水銀の紫外線が吸収され蛍光灯の輝度に相當影響して来る。且つこの輝度の低下現象はこの最初存在してゐた微量の不純ガスの量如何により著しい差違を示すものである。又不純ガスの存在により蛍光膜の黒化現象も長時間の點

燈によりあらわれる。

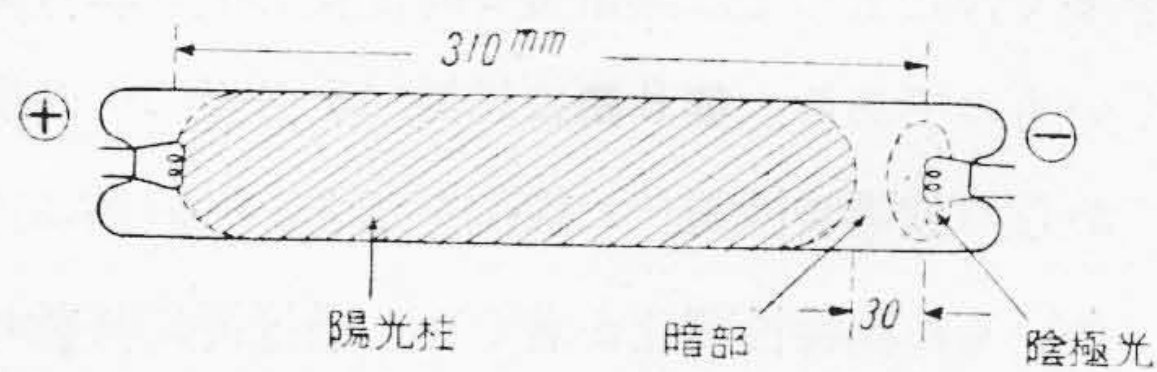
不純ガスの存在しない場合でも、螢光體中に不純物が存在すると黒化現象をしめすものである。又 $2000 \text{ \AA}$ 以下の紫外線により螢光體の光分解により螢光體の發光能率の減少を來して來る。之等の螢光體自體に關する黒化及劣下現象に對しては、之を防止する有効な方法が考えられ既に優秀なる螢光膜を得てゐる。

[IV] 放電特性に就て

螢光放電燈の如き熱陰極を有する放電管に於てその放電型式は一種の電弧であり、且つ前述の如く放電電流自體により陰極が加熱されて自續放電を行うもので、放電々流値の大小に應じてその酸化物陰極よりの電子放射量も自動的に變化するものである。従つて放電々流値の増大と共に電子放射量も増加する。一方電弧電壓値は電流の増加と共に減少し電弧の特徴である所謂負特性を示す。

實際の螢光燈に就て其の電流、電壓特性を求めると種々の形態を示す。之はガスの純度及酸化物陰極の電子放射量の大小によりそれぞれ異なる形態を示す。

第4圖に外徑 38ϕ 、電極間距離 31 cm の放電管に於て電弧電流 0.3 Amp の場合の直流放電の外観並びに第5圖に探針法により測定した電位分布の状態を圖示した

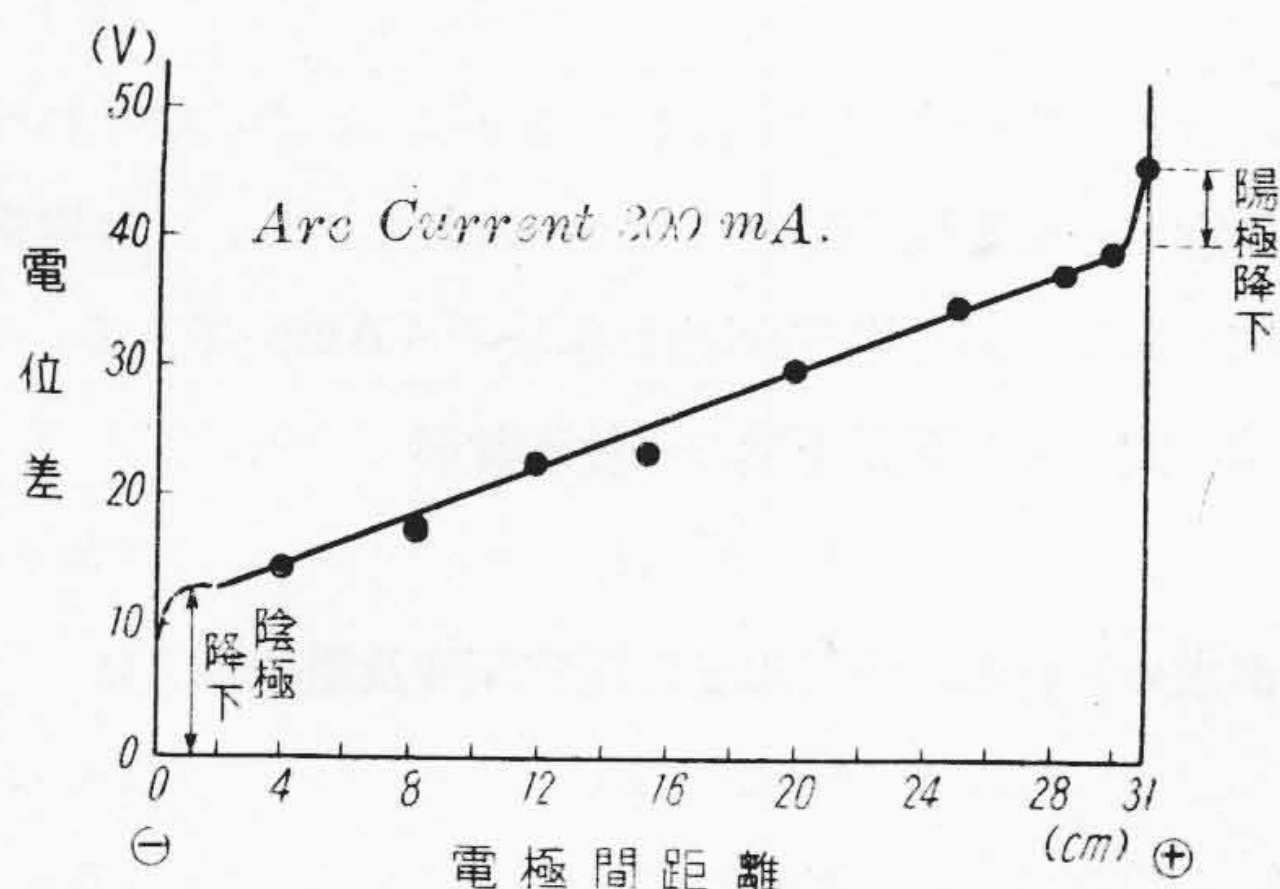


第4圖 直流放電に於ける發光狀態

Fig. 4 Light Feature of D.C. Discharge.

ものである。交流點燈の場合はこの直流の場合の極性が交互に變化する。今電弧電壓を V 、陰極降下を V_c 、陽極下を V_a 、陽光柱電位傾度を V_G 、電極間距離を l 、陽光柱部の長さを m とすると、

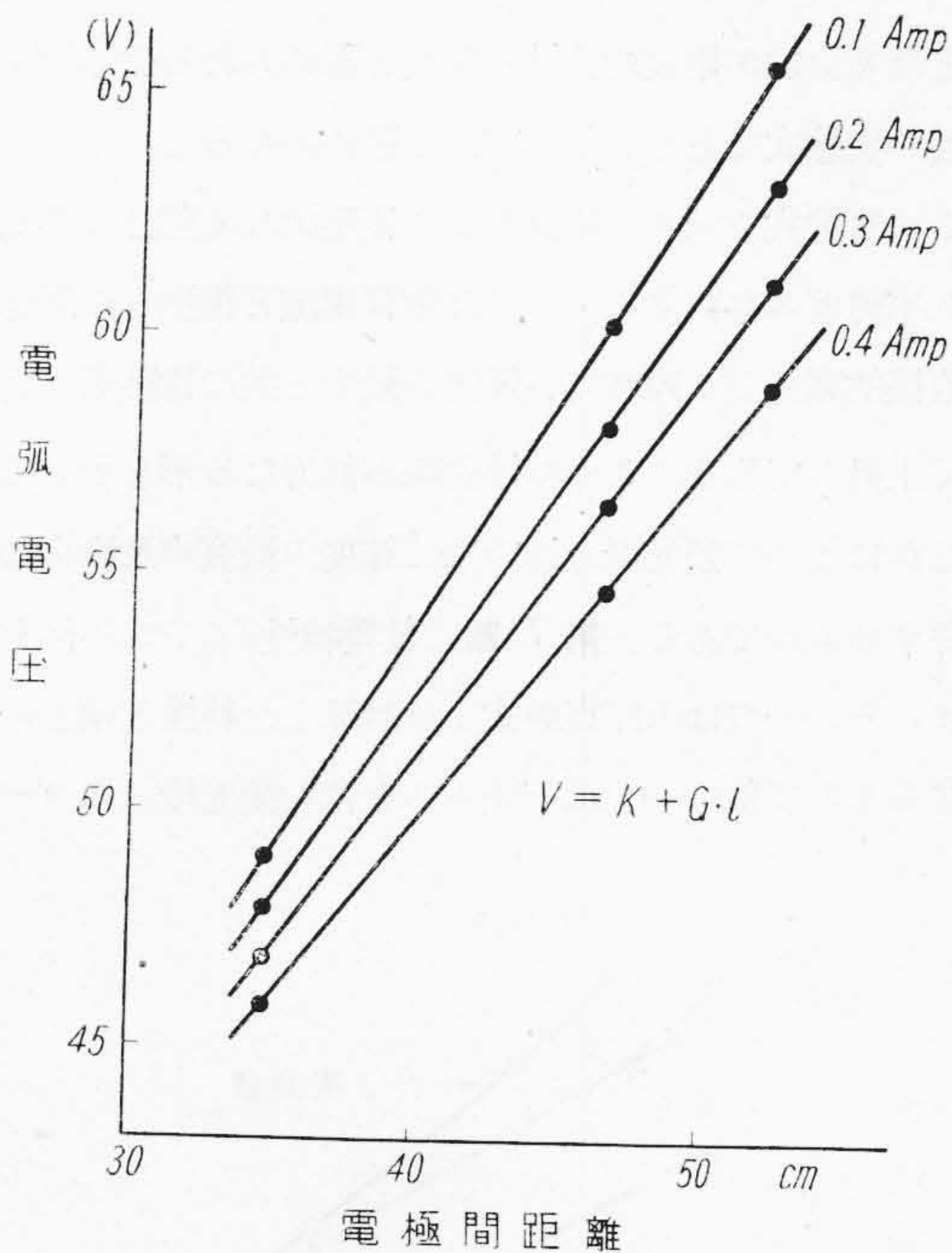
$$\begin{aligned} V &= f_1(l) = V_a + V_c + mV_G \\ &\approx V_a + V_c + (l-d)V_G \\ &= (V_a + V_c - d \cdot V_G) + lV_G \\ &\approx K + l \cdot V_G \end{aligned}$$



第5圖 電位分布曲線

Fig. 5 Potential Distribution Curve.

この式で電流が任意の一定値なる場合には K 及 V_G 一定なる故電弧電壓と電極間距離とは、一次的關係を示す。電極間距離の種々なるものに就て、各長さのものの最小電弧電壓値を求め V と l との關係を第6圖に圖示



第6圖 電弧電壓と電極間距離

Fig. 6 Relation between Arc Voltage and Gap Length.

すると各電流値に於て、満足すべき程度に(1)式で示される如き直線的關係にある。次に電弧電壓と電弧電流の關係を上記(1)式を満足する放電管に就て求めると近似的に次式

$$V = f_2(i) = a - bi \quad (2)$$

で示される一次函数となる。こゝに a 、 b はそれぞれ任意の一定電極間距離に於ける常數であり、 i は電弧電流である。但し電流範囲は 0.1~0.4 Amp である。(1)

(2) 式により電弧電圧の一般函数形

$$V = F(i, l) \quad (3)$$

が求められる。尚又陽光柱電位傾度及電極降下は

$$G = A - Bi \quad (4)$$

$$K = P + Qi \quad (5)$$

なる、電流に関する一次函数としてあらわされる。

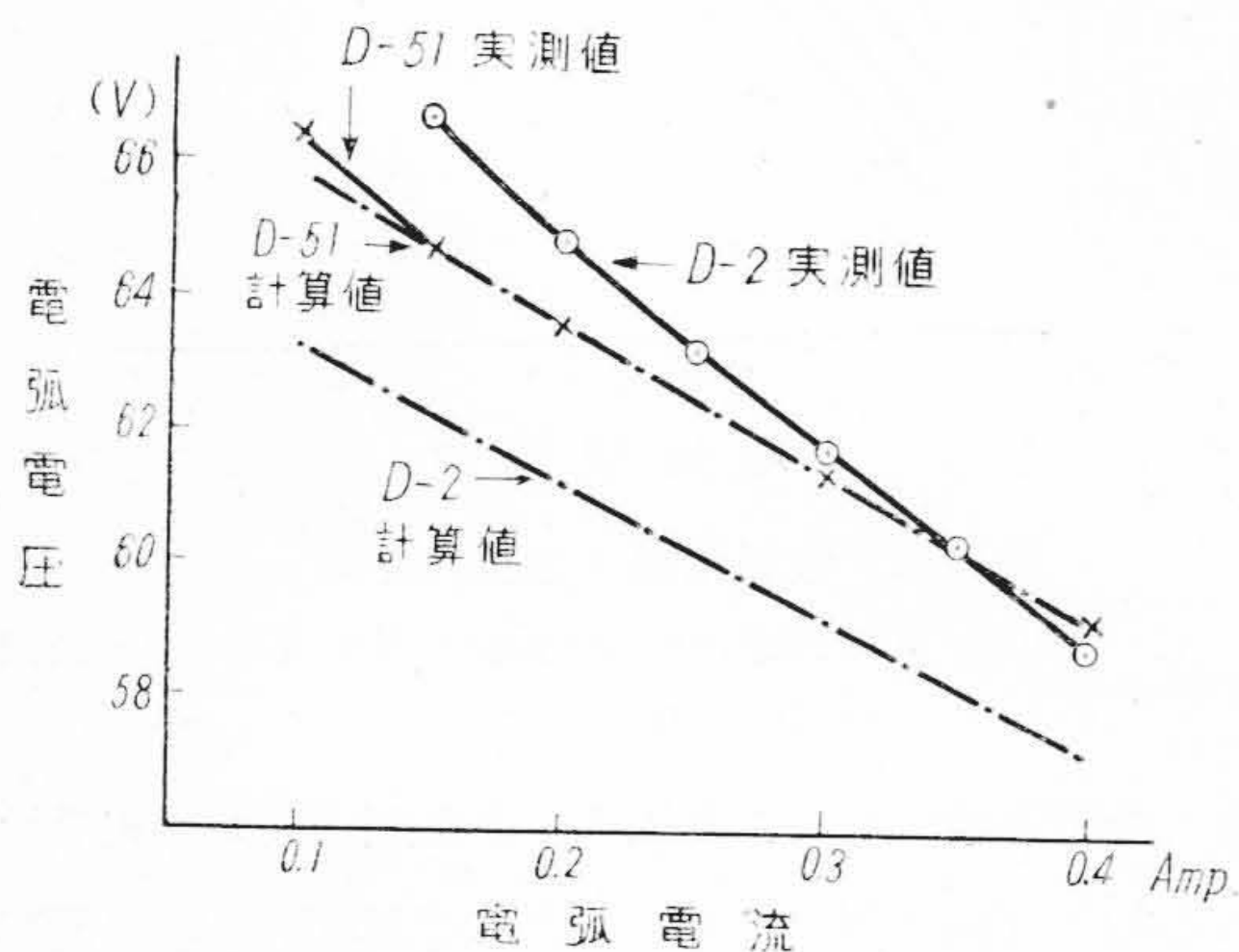
外径 38φ なる放電管に就いて實測値より上記の式を求めると

$$V = F(i, l) = 14.26 + 12.51 i + 1.03 l - 0.67 \cdot i \cdot l \quad (6)$$

$$G = 1.03 - 0.67 i \quad (7)$$

$$K = 14.26 + 12.51 i \quad (8)$$

となる。之が電氣的特性上優良と認められる螢光燈の特性の實驗式である。他の不良と認められるものは何れもこの實驗式で示される直線より電圧大なる部分に存在し且不純ガス存在するものでは電弧電流と電圧との關係が直線的關係より離れて、電流の減少と共に電圧値が著しく上昇してゐる。この特性曲線が如何なる形を示してゐるかによつて螢光燈の性能殊に輝度の減衰率及壽命に關係するものである。第 7 圖に放電特性の二つの例を示す。その一つは上記實驗式より計算した特性と殆ど一致するもので他の一つは不純ガスを含む螢光燈（スネーキ



第 7 圖 放電特性曲線 (室温 25°C)

Fig. 7 Discharge Characteristics.

ング現象を起したものの)の特性曲線で計算値より電圧大なる部分にあり、且電流の小なる部分の電弧電圧の上昇が大である。第 1 表にこの二つのものの輝度の減衰度を

試 号	色	aging 後の初輝度に對する %		
		2 時 間 後	10 時 間 後	500 時 間 後
D-51	晝 光	97.6%	93.0%	88.0%
D-2	晝 光	94.3	86.5	71.2

第 1 表 aging による輝度變化

Table 1 Brightness maintenance in Life Test.

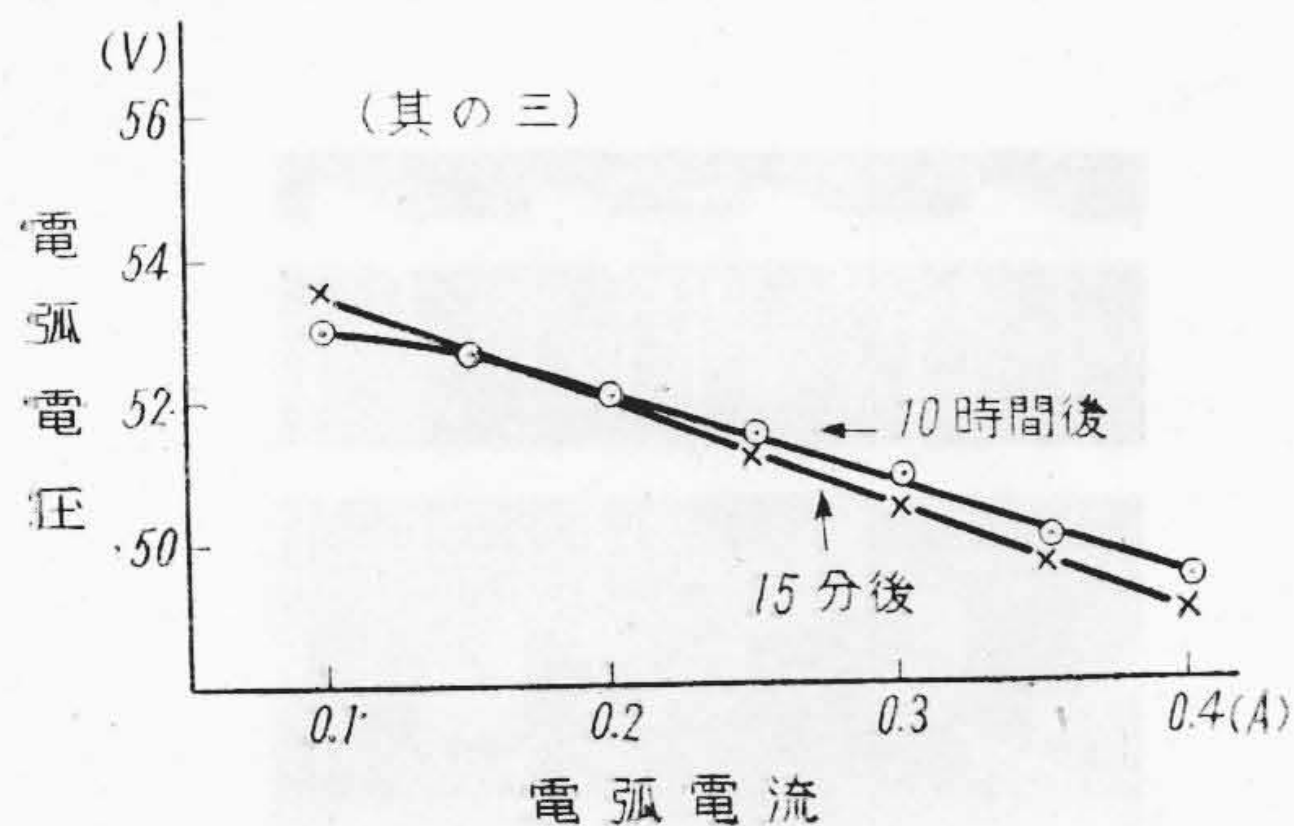
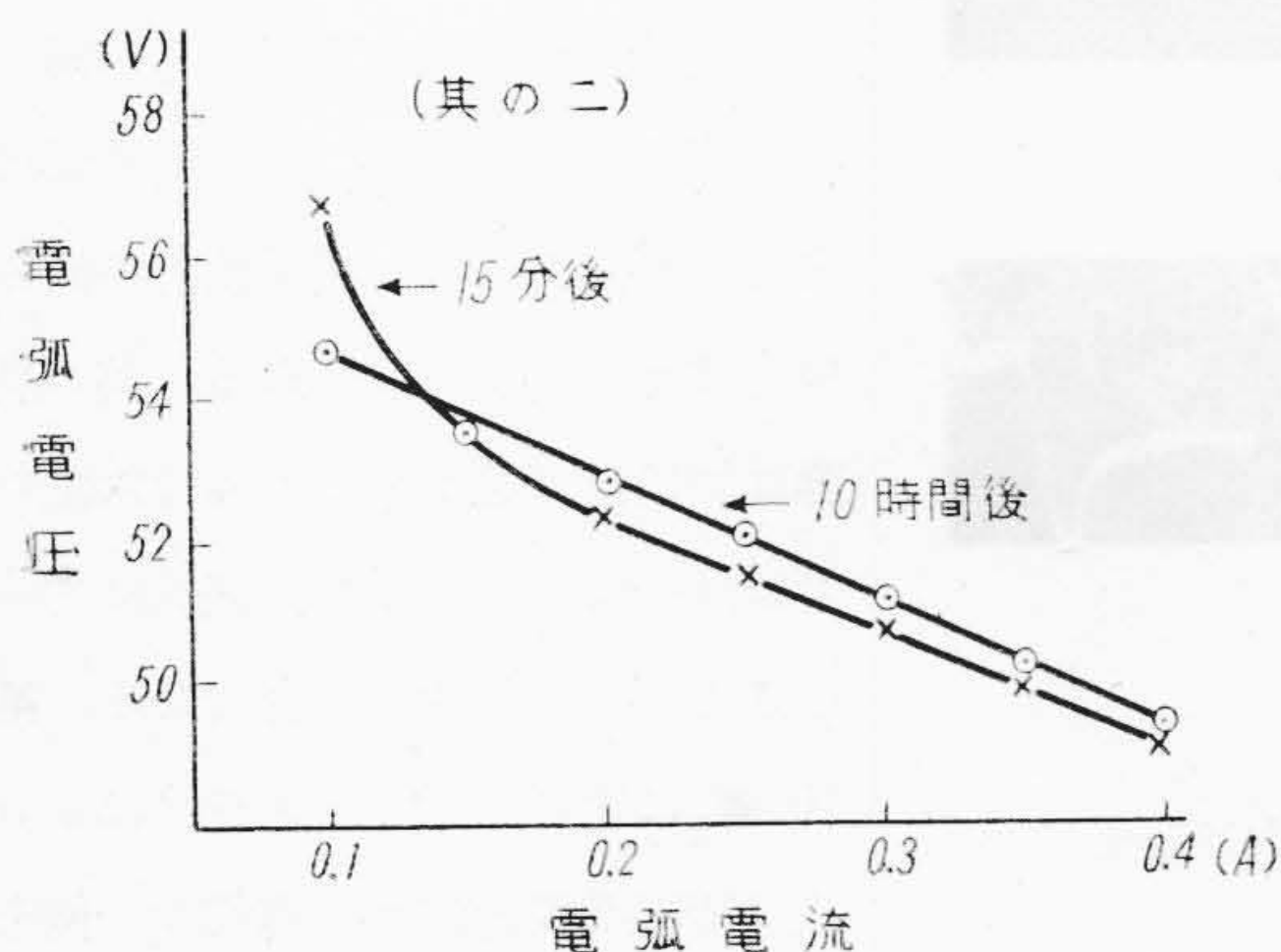
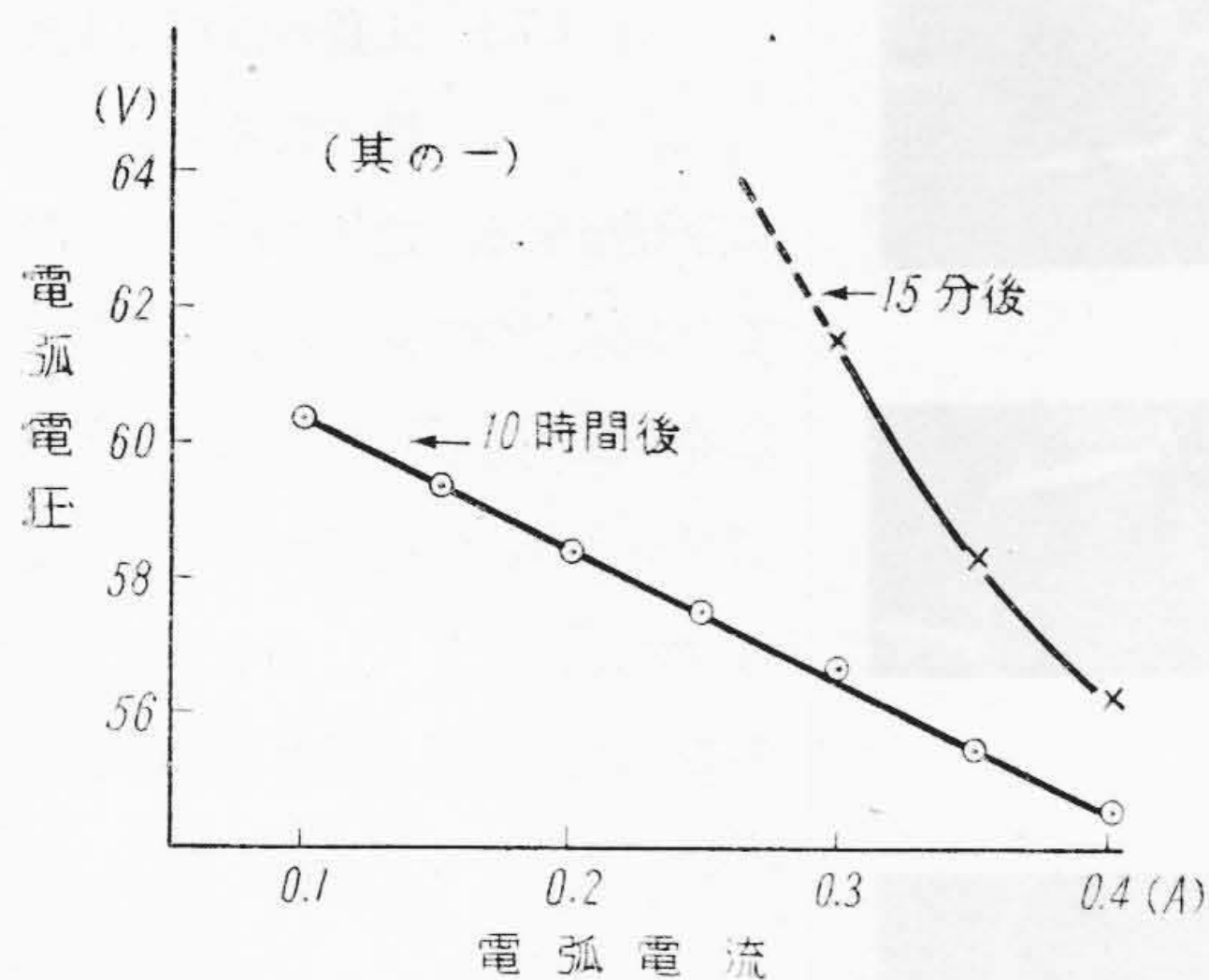
示す。但し電流 0.35 Amp のときの測定値である。即ち不純ガスの存在するものは輝度減衰率が非常に大きい。

又放電特性は長時間の點燈繼續と共に變化して來るものである。その一つの原因として放電繼續と共に酸化物の消耗を來すためでありこの場合は當然電弧電圧が高くなつて來る。又他の原因は不純ガスが放電により化學的作用を受けて或程度淨化される。この場合は電弧電圧が減少して來る實際の放電燈に於てはその特性變化の状態は不純ガスの程度により異なる。一般に製作直後のものは幾分か不純ガスを含むもので之が放電により淨化されて放電特性曲線は電圧小なる方へ移動し、更に長時間の放電により再び電圧値大なる方へ移動して行く。殊に不純ガスを多く含むものでは點燈後 1 時間程の間の特性變化が著しいものである。第 8 圖に燈點 15 分及 10 時間經過してからの放電特性變化の數例を示す。一般的に不純ガスの多いもの程特性變化が著しい。普通點燈後數時間で放電特性は安定になりそれから僅かづゝであるが特性曲線は上昇して來る。即ち點燈初期は不純ガスの放電による淨化作用のため、電弧電圧は下り安定状態となりそれ以後は酸化物の消耗のため、徐々ではあるが電弧電圧は高くなつて來る。

[V] 電弧放電の機構に就て

一般に酸化物熱陰極放電管に於ける電弧の機構に於て最も重要な部分は陰極降下の部分の現象である。

電弧發生の機構に就ては電子放射量の大なる低壓ガス



第8圖 放電特性の變化 (其の一、二、三)

Fig. 8 Variation of Discharge Characteristic.

放電に於ては、電離現象は蓄積的過程で起るという假定のもとに、Compton⁽¹⁾ は、陰極より放射される電子電流値の理論式を與えて居る。この式は所謂放電が電弧型式に移る直前まで適用出来る式である。即ち陰極直前に於ける負電荷が次第に正イオンにより中和されて遂に 0 となり、遂に正電荷層が出来るまでの陰極より放出され

る電子流の値を決定するものである。次式は Compton⁽¹⁾ の與えた理論式である。

$$n = \frac{n_0}{1 - 4\sqrt{3680MP}} \equiv \frac{n_0}{1 - ap} \quad (10)$$

この式で n_0 は電離の全然行われてゐない場合、電極により陰極より放出される電子の數である。 p は陰極前面に於て、電子とガス分子の非弾性的衝突により發生した部分電離状態にあるガス分子の數である。 n は蓄積的電離の行われてゐる場合、陰極より出る電子流である。 a は常數である。電弧の特徴である正電荷が陰極前面に形成されると、イオンの衝撃による陰極温度の増加のため n_0 の増加を來し、従つて又 P の値が増大し、電流は増加する。(10) 式に於て n_0 は酸化物陰極の電子放射量に關係するものであり、又 p の値もこの n_0 及び陰極降下の函數である。従つて放電が電弧に發展した時、電弧電流の任意の一定値に於て、その電弧電壓値従つて、陰極降下を決定するのは n_0 即ち、酸化物の電子放射の大小であり (10) 式で示される關係式より電弧特性は決定出来る。従つて、電弧特性の定性的判斷に於ては (10) 式を基準として考えてよい。

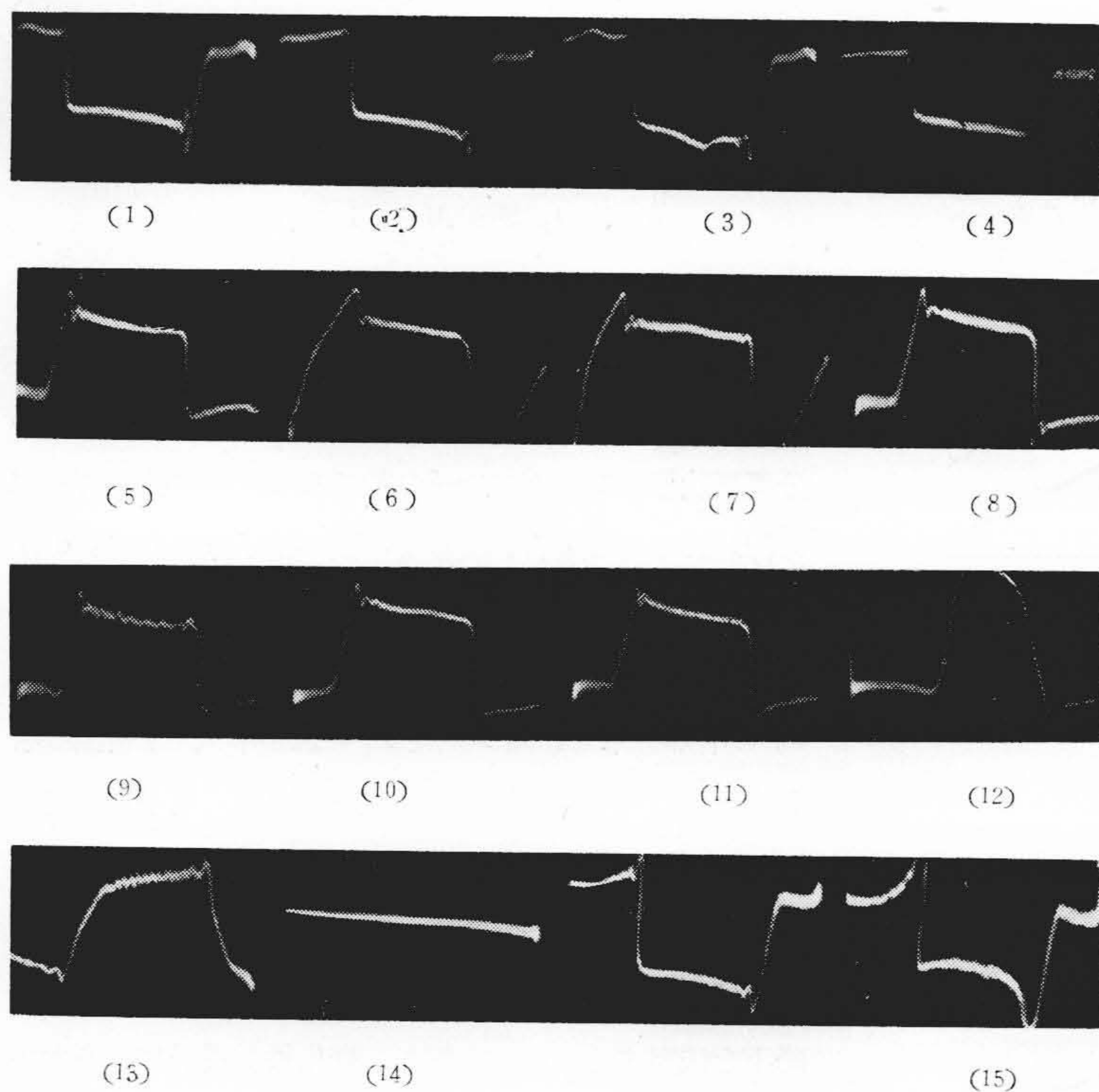
(10) 式の兩邊に電荷 e を乗ずれば、電流の式になる即ち

$$i = \frac{i_0}{1 - ap} \quad (11)$$

この式の意味するところは電子放射の増大と共に、放電電流が増大する。即ち一定の電弧電流を得るためには電子放射の悪いものは P の値が増大、即ち陰極降下が大になる。又 P の値は陰極降下の函數である事は勿論であるが、不純ガスの存在する場合には電子のエネルギーが奪われるため P の値は小さくなる。従つて電子放射は同一でも不純ガスが存在する場合は、同一電弧電流を得るためには、陰極降下が増大しなくてはならぬ。即ち電弧電壓は大になる。

[VI] 電弧電壓波形の種々相

前述の如く電弧電壓は酸化物陰極の電子放射及びガスの純度如何により、變化するものであるが之に應じて交



第9圖 電弧電圧波形の種々相

Fig. 9 Various Wave Forms of Arc Voltage.

流點弧の場合の電弧電圧波形も相當異つた形を示すものである。一般に此種放電管の電弧電圧波形は矩形状をなして居り、之に振動を伴うものでありこの振動状態は螢光燈の性能により、それぞれ異つた種々の形態を示す。第9圖に電弧電圧波形の數例を示す。電弧電圧波形の全體の形より見て大體次の如く分類出来る。

- (1) 正負波形の同一のものと然らざるもの
- (2) 矩形状波形のもの
- (3) 凸状波のもの
- (4) 波頭の突出せるもの

更に振動状態より見ると

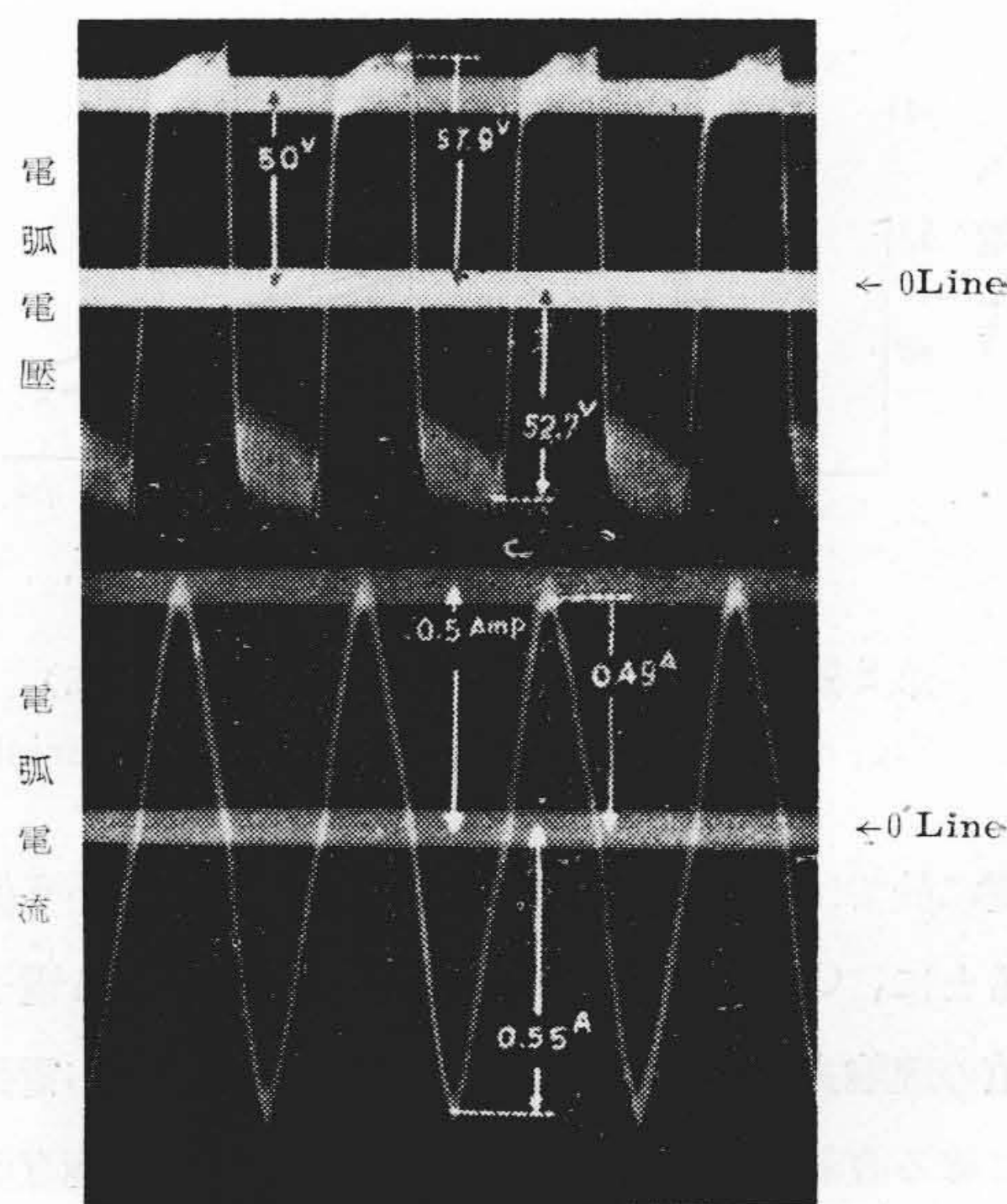
- (1) 無振動のもの
- (2) 正則な振動のあるもの
- (3) 不規則な振動のあるもの
- (4) 異常振動のもの
- (5) 振幅の大なるもの
- (6) 振幅の小なるもの

- (7) 正負の波形で振動状態の異なるもの

に分類出来る。之等の種々の形態のものが組合つて様々の波形を示す。之等の波形に見られる振動現象は所謂プラズマ振動と稱するものでなく種々の條件により、變化するものである。以下波形の種々の形態につき考察してみる。

[VII] 電子放射と波形

放電管の兩電極の電子放射が同一なる場合は電圧波形の正負兩波形は全く同形であるが、電子放射の異なる場合はその形が異つて来る。其の状態は單に波高値が異なるのみで大體の形は同一なるもの及び波高値は勿論のこと形の全然異なる場合である。第10圖に電磁オッシログラフにより電弧電圧及電流波形の寫眞の一例を示す。これは兩電極の電子放射不同の一例で一方の極の

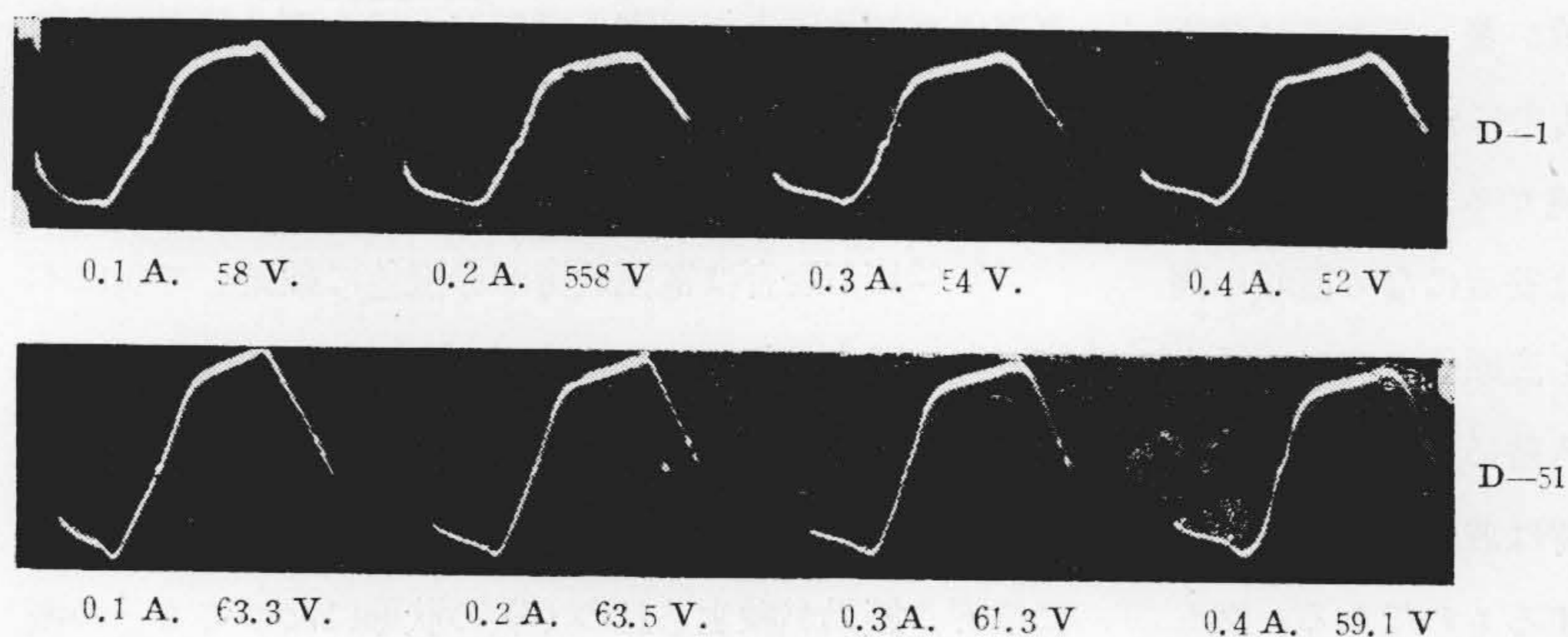


第10圖 電弧電圧及電流波形 (電弧電流 0.4 A)

Fig. 10 Wave Form of Arc Voltage and Current.

波形は電壓の波高値は他方より大であるが、電流波形に於ては他方より小となり、明に電子放射が他方より小さい事を意味してゐる。この場合電壓波形の相違について見るに電子放射の小なる電極に於ては波頭値が高く出てゐる。これは放電開始電壓が電子放射の小なる程大である事を物語つてゐる。又波形中央部が即ち電流値の最大なる部分に於て、凸狀に隆起してゐる。之はその電極の電子放射が電弧電流値より小なる場合にあらわれる現象である。又振動状態に於ては電子放射不良の方が非常に密な高振動波形を示してゐる。即ち高周波振動を伴つてゐるものであり、之は多くの實驗例の中波形上電子放射の悪いものは例外なく高周波の振動を伴うものである。然し逆に高周波振動を伴うものは必ず電子放射が悪いということは云えない。又振幅について見るに電子放射の不良の方が振幅は小である。第9圖(6)は放電が一方の極のみで行われてゐる場合の電壓波形で、電流波形を見れば丁度半波整流の如き場合に相當するもので、全然電子放射が無くなつた場合である。斯くの如く極端に電子放射が悪い場合は電源電壓波形がそのまゝ波形にあらわれて来る。勿論この場合はその極で放電が行われて居らず振動は伴つてゐない。又斯る場合は電子放射の好い方の波頭値が非常に大になる。

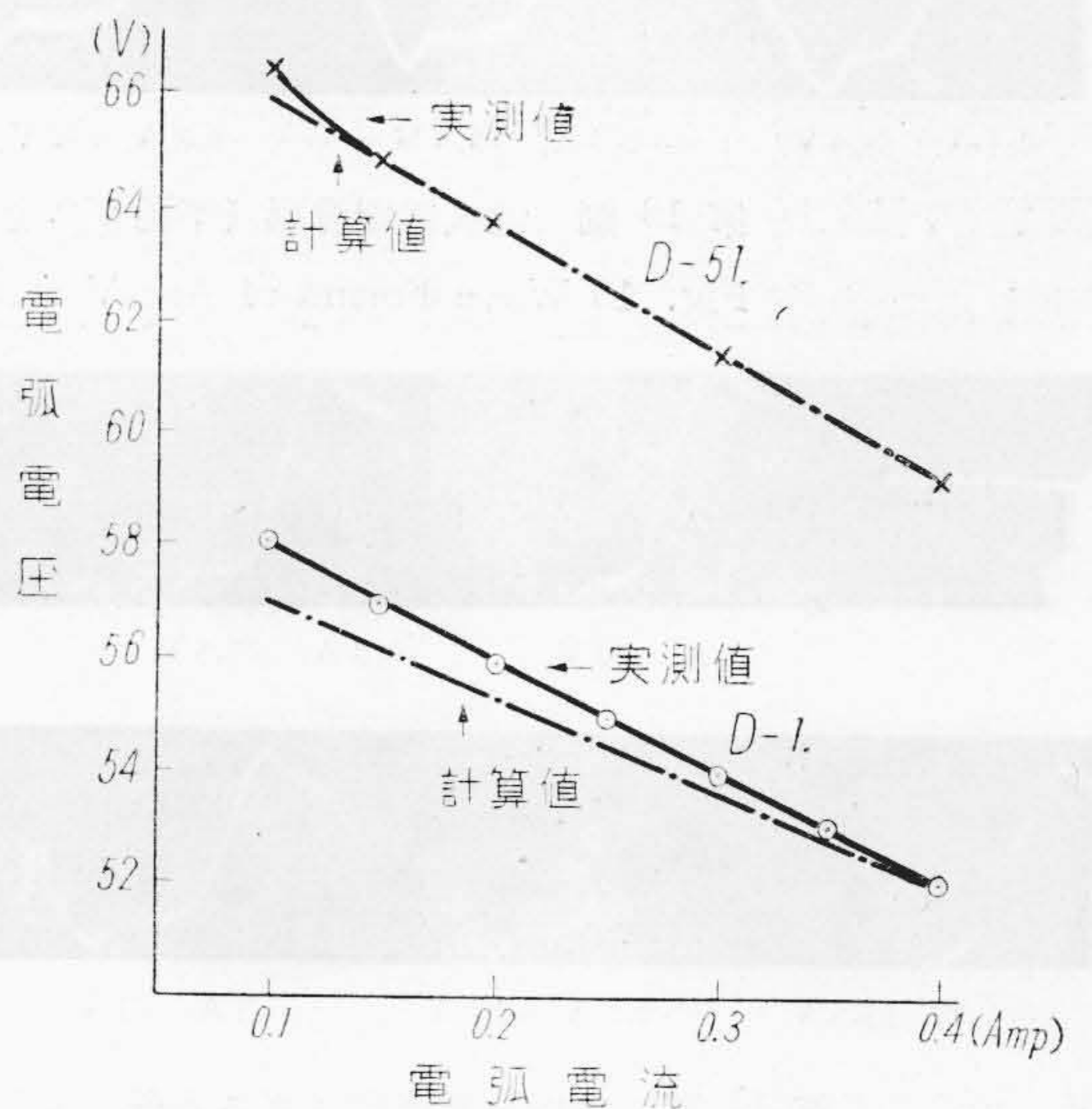
之はその極が放電に關與する前の半周期に於て放電が行われてゐないため殘留イオンが消失して居り、このため放電開始電壓が大になるためである。第9圖(2)(4)(6)(7)(12)はいづれも電子放射の不同及び極端に電子放射の悪くなつた場合の例である。



第 11 圖 電弧電壓波形 (放電特性良好なるもの)

Fig. 11 Wave Forms of Arc Voltage. (in Good Characteristic)

一般に上記の如き電子放射不良の波形の見られるのは長時間の點燈後にあらわれるものである。然しながら最初に存在してゐる不純ガスの量如何によりそのあらわれ方は異つて来るものである。電子放射良好なるものは大體波頭より波尾に尻下りになつた矩形狀波形を示してゐる放電特性のところで既に述べた如く、大體放電特性上良好と認められるものに就て得た實驗式より與えられる特性曲線を持つものは何れもその電壓波形は矩形狀をなして居り且それに伴う振動状態は正則な安定した振動であり且その振動數が小である。大體各半周期に 8~15 程度の振動であり周波數にして約 2000 サイクル以下である。或は全然振動を伴わない波形である。第 11 圖に實


 第 12 圖 放電特性の實測値及計算値
 Fig. 12 Observed and Calculated Discharge Characteristic.

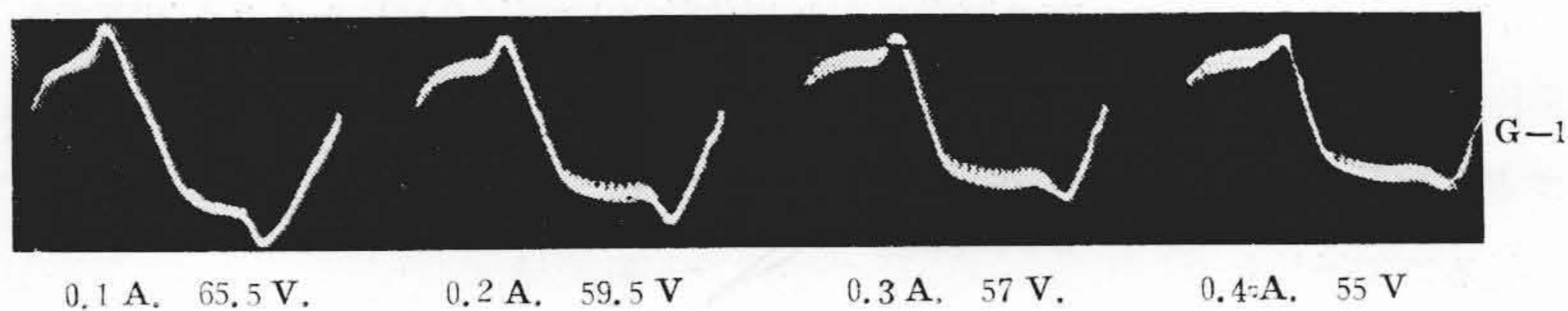
驗式で與えられる特性の一致又は殆ど近似する特性を持つものの波形の二例を示す。第 12 圖に其特性曲線及實驗式より計算した特性曲線を示す。特性の實測値が計算値より離れるに従い波形の振動數は一般に増大する傾向になる。

上述の如く電壓波形の如何なる形をしてゐるかによりそ

の熱陰極の電子放射の良否の判定が可能である。

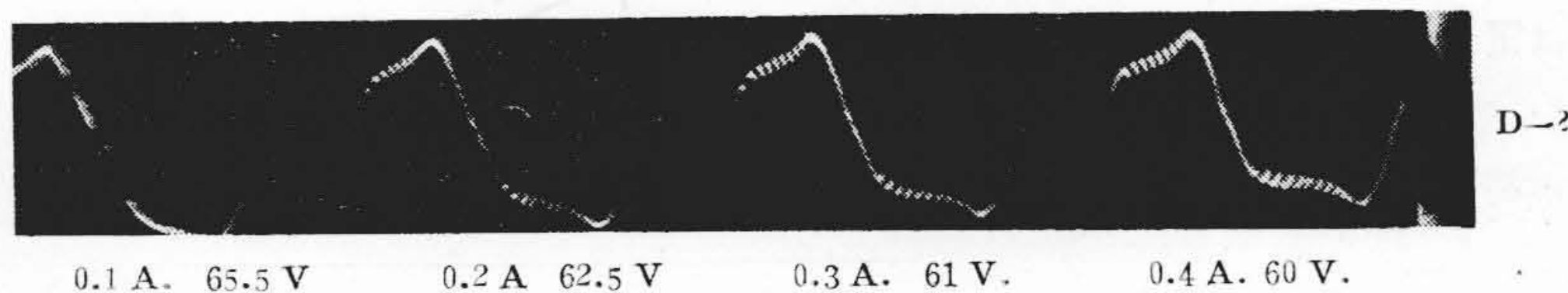
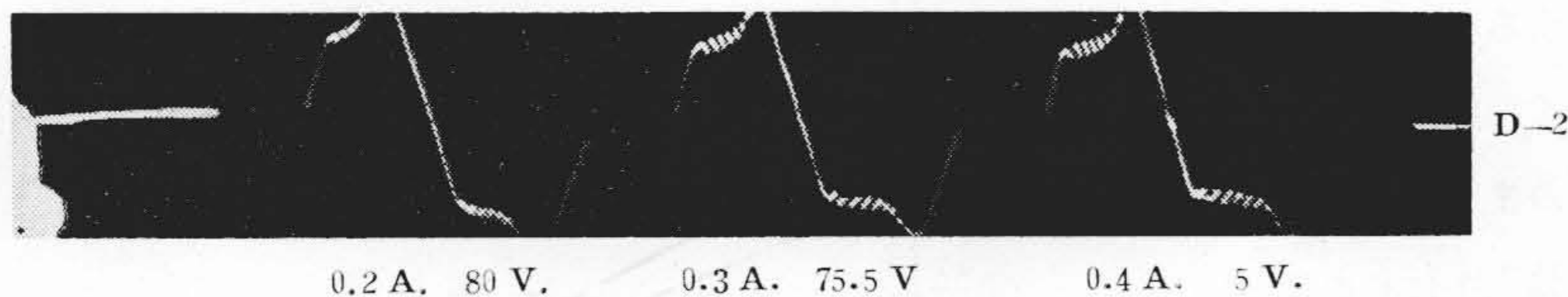
[VIII] 不純ガスと波形

放電特性の項で述べた如く不純ガスが存在する場合は電子放射の小なる場合に著しくその特性に影響して来る。即ち電弧電流の小になるに従い電弧電圧の値は急上昇して来る。勿論その上昇度合は不純ガスの量により變化するものである。放電燈製作の際に於ける最初は電極より主としてガス放出を行うもので放電の安定性を缺くものである。斯る際の電弧電圧波形を第 13 圖に示す。



第 13 圖 電弧電圧波形 (不純ガスを含むもの)

Fig. 13 Wave Forms of Arc Voltage. (in Impure Gas)



第 14 圖 電弧電圧波形 (ガス入替による波形變化)

Fig. 14 Wave Forms of Arc Voltage. (Effect of Gas Replacing)

(3) ← ————— (2) ← ————— (1)

この圖により電流減少と共に波頭値が著しく大になつて来る。この現象が不純ガスを含むものに就いて認められる特徴である。斯るものは一度不純ガスを排氣して新しくガスを封入して點燈すると放電は安定になり波頭の高さがずつと減少し電流値を下げて波頭値の突出の増大は認められない。第 14 圖はガス入替による波形の變化例である。一般に不純ガスが多い時は波頭が著しく突出し、電弧電圧波形が不安定に變動するものである。然し乍ら不純ガスの量が僅かの場合には電弧電流大なる部分に於ては波頭値の突出も小となり不純ガスの無い場合の

波形と判別が困難になる。即ち電流値の大なるところでは必然的に電子放射も大となるので電子放射の放電開始電圧に及ぶ影響が大きいので不純ガスが僅かであれば波形には影響しなくなる。

従つて斯る場合は前述の通り電流値小の場合の波形を観察する事により不純ガスの存在を認めることが出来る。然し乍ら不純ガスの量が少く電子放射が良い場合にはあまり顯著にはあらはれない。

不純ガス存在の場合の波形に於ける振動状態に就て考察してみる。前述の電流値の變化に對して波頭の突出

状態の變化で挙げた例(第 13 圖)でも分る如く電流値の減少に對し振動波の振幅並びに振動数が減少するのが通例である。この現象は一般的に波形上不純ガスの影響が認められない場合の電流變化に於ける振動状態の變化と同一である。不純ガスの振動状態に與える影響について最も具體的に不純ガスに原因すると考えられる不純ガスの發生の際の現象について述べる。

第 15 圖 (1) (2) (3) の波形はいづれも電弧電流 0.35 Amp の場合の波形で點燈初期に電極より電弧電流により

次第にガス放出を行い電弧電圧が上昇し更に放電の繼續により電極よりのガス放出が止み放電が安定になり電弧電圧が下つた場合である。

(1) (2) の場合は電極近傍が赤橙色に發光して明に不純ガスの發生が認められる時で (3) はこの赤橙色が消失して水銀の青白色放電状態になつた場合である。この場合ガス發生と共に波頭部が次第に突出し、且つこれと共に波形の振動が發生し且つ (3) の状態になつてもその振動数は更に大となる。この状態は不純ガスの發生量及び電子放射により時間的變化はあるが、大體上述の如くガ



0.35 A. 52 V
ガス放出止む

0.35 A. 58.5 V
ガス放出時のとき

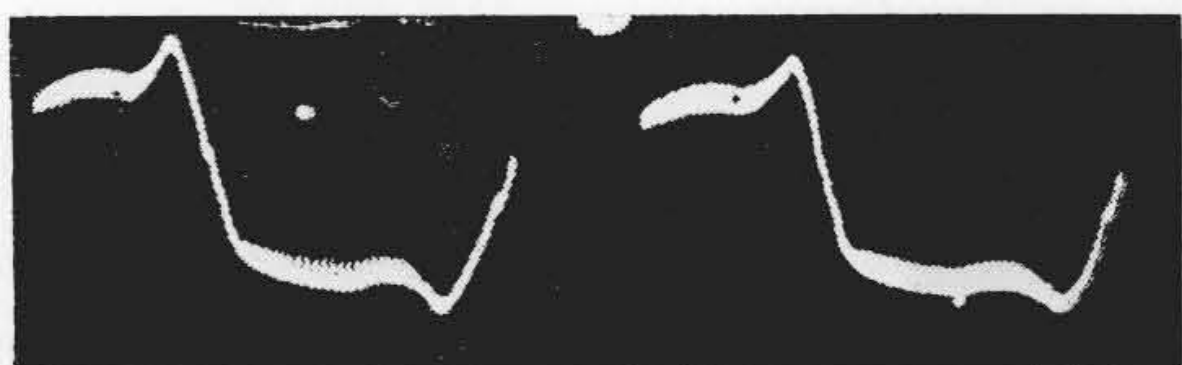
0.35 A. 57 V

第 15 圖 電弧電圧波形 (不純ガス放出のときの波形変化)

Fig. 15 Wave Form of Arc Voltage. (Effect of Impure Gas Appearance)

スが放出されることにより波形振動数が増加する一般にガスの放出が著しい場合は上記の如く、電極近傍の陰極光が色が變り且陰極が赤熱状態になる。陰極光の變色が無い場合でもガス放出により陰極は赤熱状態になり暫く放電を繼續して放電化學的にガスの純化が行われ電弧電圧が下つて來るとこの陰極の赤熱状態は消失して正常の發光状態に戻る。この現象は不純ガスによる陰極降下の増大のため陰極がイオンの衝撃により受けるエネルギーが大となり溫度上昇するため、斯る状態の放電を永く繼續すると電極近傍の管壁が薄茶色に着色して來る。即ち酸化物の崩壊現象が起る。

斯る現象の著しいときは波形の振動周期が非常に小となる。即ち非常に密な振動数を伴う波形となる。第16圖



第 16 圖 電弧電圧波形
(不純ガス含むもの Emission 少し不良)

Fig. 16 Wave Form of Arc Voltage
(in pure Gas and little Emission)

に斯る場合の波形を示す。この波形は中央部が少し突状になつて居り、電子放射のあまり良好でないものである。斯る波形のあらわれる場合は酸化物の電子放射と不純ガスの量との相關的關係できまつて來るもので電子放射の好い場合は波形に於ける波頭部のみ突出し即ち放電開始電圧

が上昇し、點弧後の波高値は下りその振動状態も周波数の小さい疎な振動である。之を要するに陰極降下の大小

により振動現象が變る。

No. 144

[IX] 電弧電流と波形

前述の電子放射及不純ガスと波形の項で既に圖示した如く電子放射の良好なものは電弧電流の減少に對し波形は大體同形變化をして

波高値のみが大になり (第 11 圖)、不純ガス存在の場合には波頭部の突出が著しくなるものである。(第 13 圖)

又電子放射の悪いものは波形中央部が突出してゐる事を述べたがこの状態は電流値の減少と共に著しくなつて來る。第 17 圖に斯る場合の波形を示す。この圖では一方の電極の電子放射が他方より悪い場合である。多くの場合上記の波形がその放電管の電子放射及ガス状態に應じて組合はさつて出て來る。

電流値變化の場合の振動状態の變化に就ては既に述べた如く一般に電流値の減少に對し振動数及振幅が減少して來るのが通例である。

然し乍ら第 11 圖の如く全然振動の發生しないものも存在し斯るものの放電特性は大體計算値より得る特性に全く一致するもの或はそれよりも下回るものに就て得られる波形である。

又電流値の小なるに従い無振動のものが振動を發生するやうになるものもある。この場合の振動状態の變化は前述普通の場合の如く電流減値の少に對し振幅は減少するが振動数が大になり、且周波数も大になる。此の種の波形のあらわれるものは一般に長時間の放電を行つたものに多く見られる。

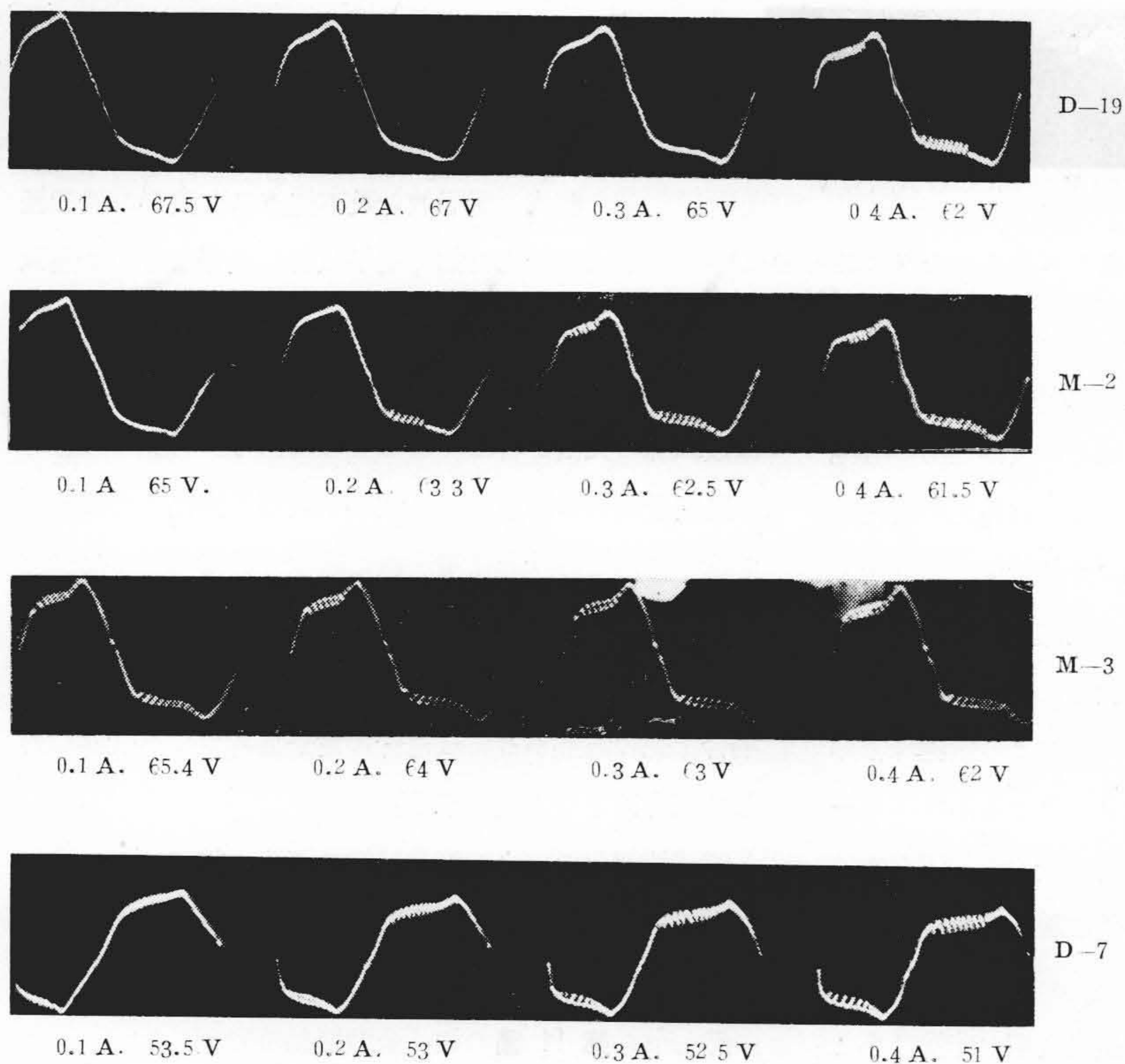
上記各場合の例を第 18 圖に示す。之等の諸例を見ても判る通り、同一放電管でも正負波形の振動状態が全く



第 17 圖 電弧電圧波形 (Emission 不良のとき)

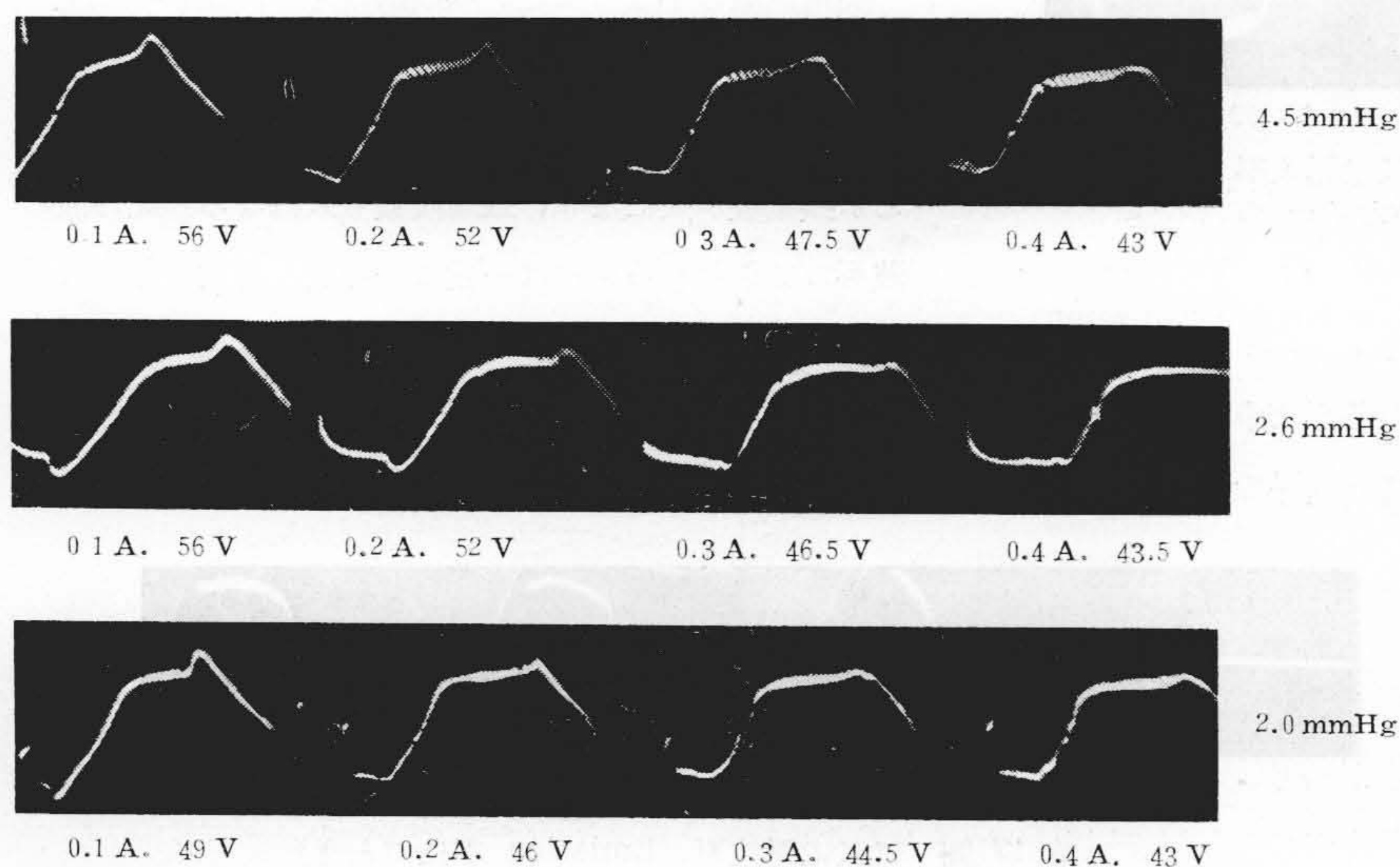
Fig. 17 Wave Form of Arc Voltage (in little Emission)

同一の場合もあるが、一般的に異なるものである。この事は兩電極が放電の際に於ける状態が異なる事に原因するも



第 18 圖 電弧電圧波形 (電流による振動変化の諸例)

Fig. 18 Wave Forms of Arc Voltage. (Effect of Arc Current)



第 19 圖 電弧電圧波形 (A ガス圧による振動状態の変化)

Fig. 19 Wave Forms of Arc Voltage. (Effect of the Pressure of Argon Gas)

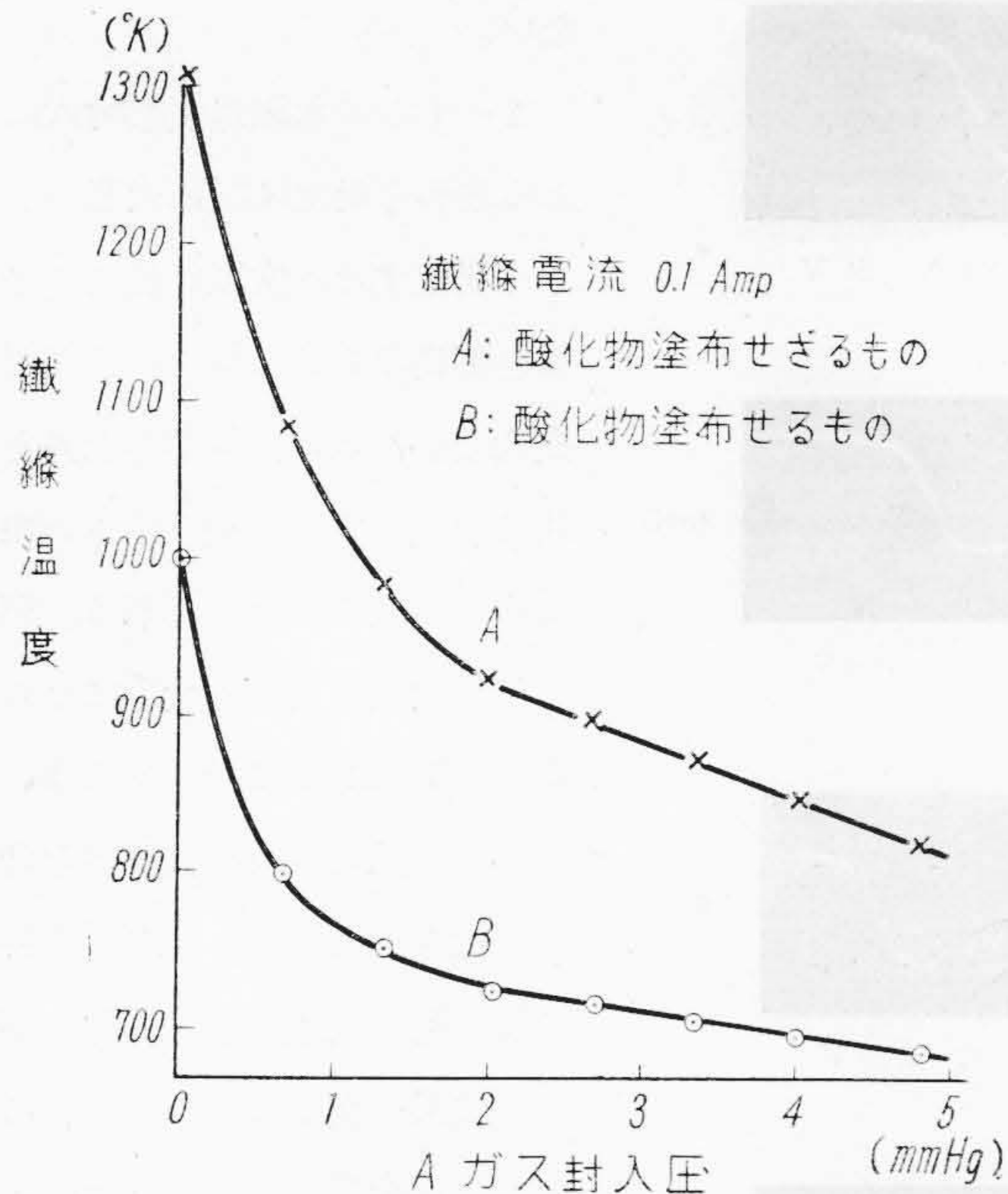
のである。即電流変化により従つて各々の電極の受けるエネルギーを変化さす事によりその電極の状態の変化が各電極に於て異なるために振動状態が異ると一應考えられる。

[X] アルゴンガスの圧力と波形

放電管内封入アルゴンガスは放電の始動を容易ならしめるためと、酸化物陰極の加熱による蒸発を防ぐために封入してある。一般に螢光放電燈用には数 mmHg 程度のアルゴンガスを含むものである。

アルゴンガスの封入圧が波形に及ぼす影響は波形の振動状態に最も大きく作用する。即ちアルゴンガス圧の減少に對し波形にあらわれる周波数が著しく増加する。第 19 圖はアルゴンガスの圧力 4.5, 2.6 及 2 mmHg の場合の三例である。

第 20 圖に纖維温度とアルゴンガス圧力との関係を示す。圖中 A は酸化物が全然塗布して無い場合であり B は酸化物を塗布してある場合である。纖維電流 0.1 Amp, アルゴン圧 5~0 mmHg の範圍で測定し



第 20 圖 A ガス壓力と織條溫度
Fig. 20 Relative between Filament Temperature and Argon Gas Pressure.

たものである。アルゴンガス壓 5~2 mmHg の範圍では壓力の減少と共に、織條溫度は直線的に増加し酸化物が塗布してない場合は溫度差約 37°C/mmHg で塗布してある場合は約 15°C/mmHg である。2 mmHg より更に壓力が減少して行くと溫度は急激に増大して行く。斯くの如くアルゴンガス壓は陰極溫度に著しく影響し且酸化物の消耗が進行して行

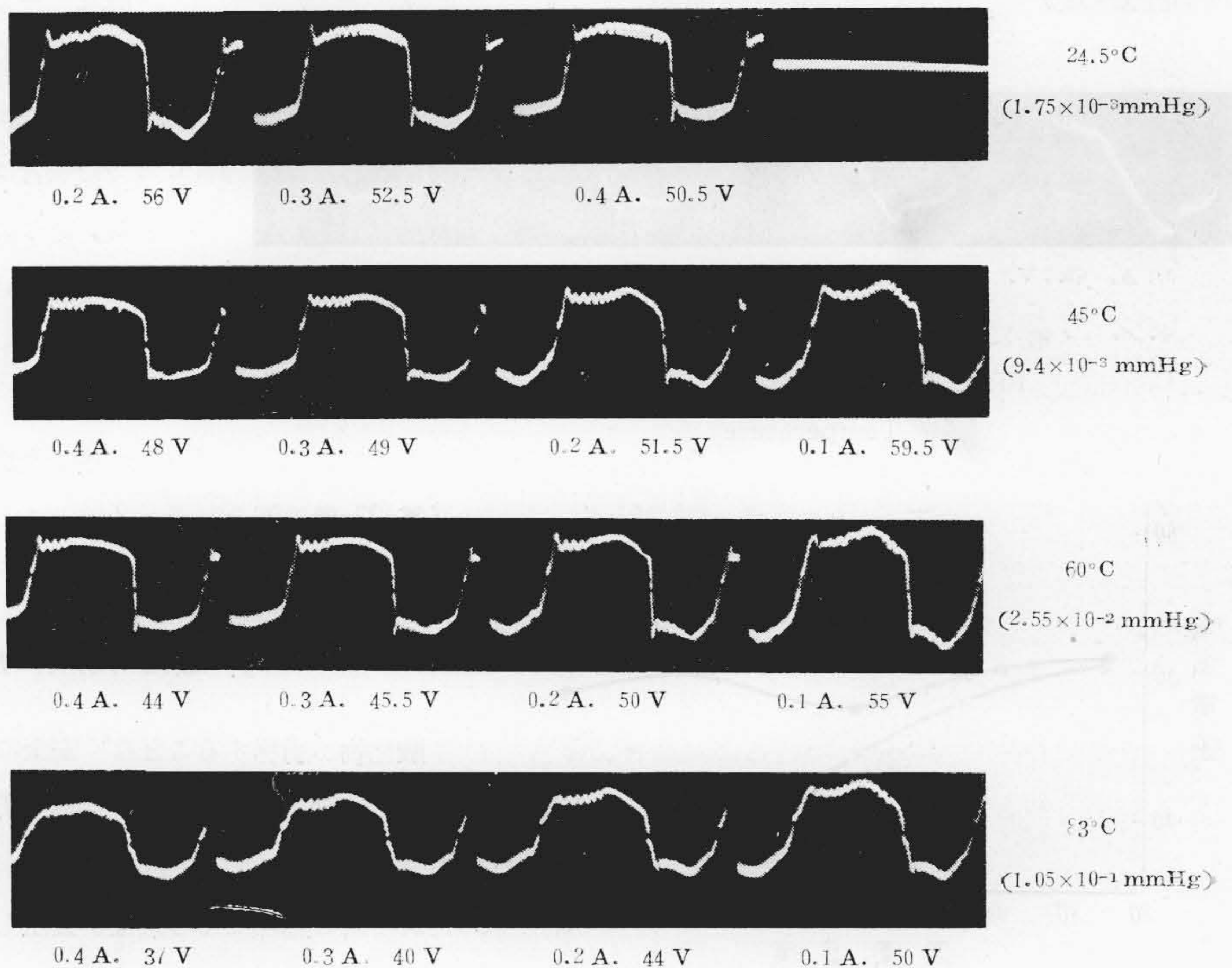
くにつれて當然第 20 圖に示す B 曲線より A 曲線の方へ移動するものと考えられ従つて壓力に對する溫度の變化が大になり同一壓力に於て陰極溫度が上昇して酸化物の消耗を早めるものである。この事より陰極溫度の上昇は電弧電壓波形に伴う振動の周波數を著しく増大せしめ非常に密な振動波形を示すものである。

[XI] 水銀蒸氣壓と波形

放電管を恒温槽の中に入れその溫度を變化せしめて、波形の變化を見た。第 21 圖及に第 22 圖に二つの例を示す。

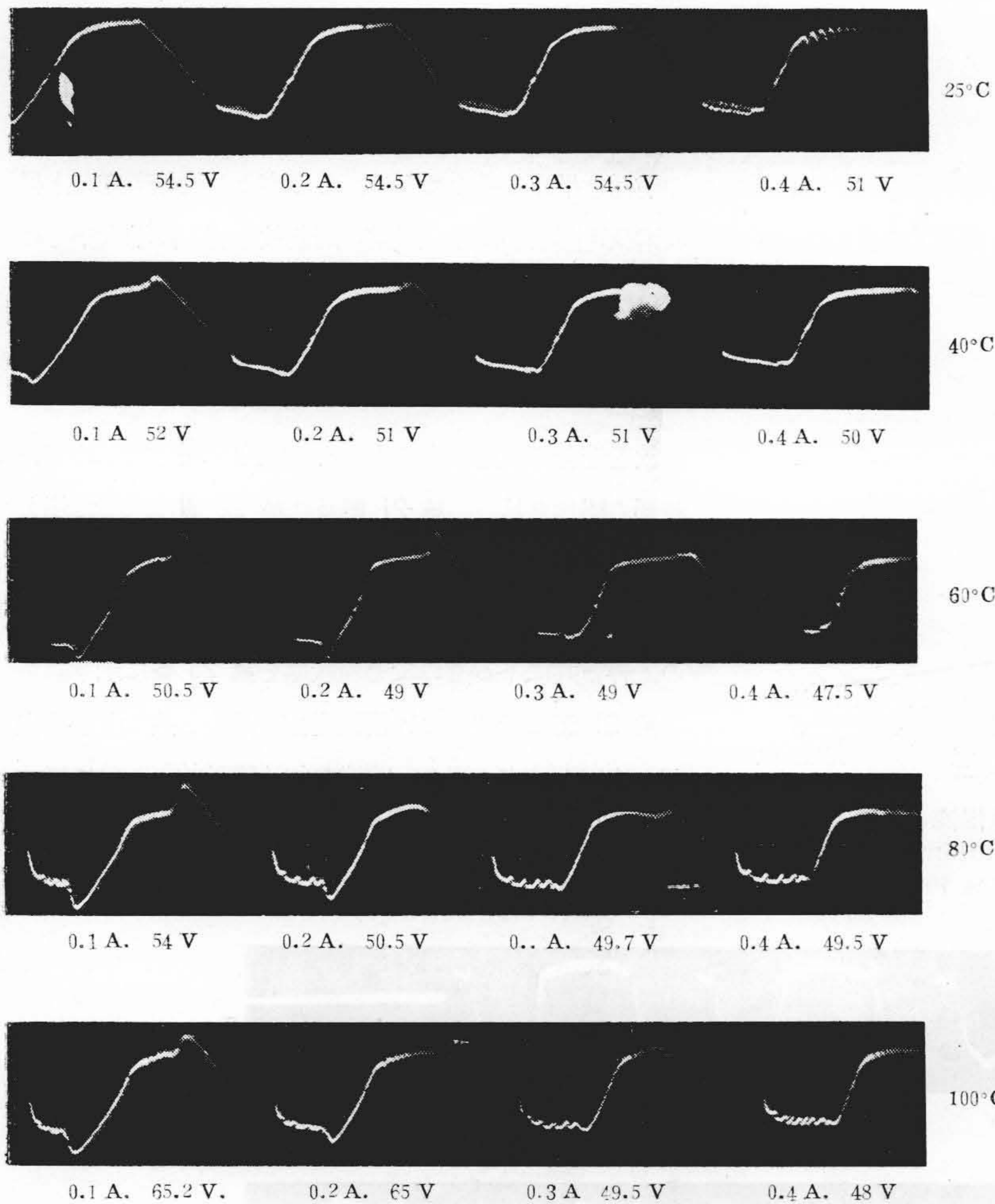
一般に電弧電壓の變化は溫度の上昇従つて水銀蒸氣壓の上昇と共に下るものでその狀態を第 23 圖に示す。

第 21 圖に示すものは電弧電流の減少と共に波形中央部が突出して來て居り、前述の如く電子放射不良に屬する放電管の一例でその電弧電壓も實驗式より計算した値より相當大である。然し不純ガスの影響はあらはれてゐ



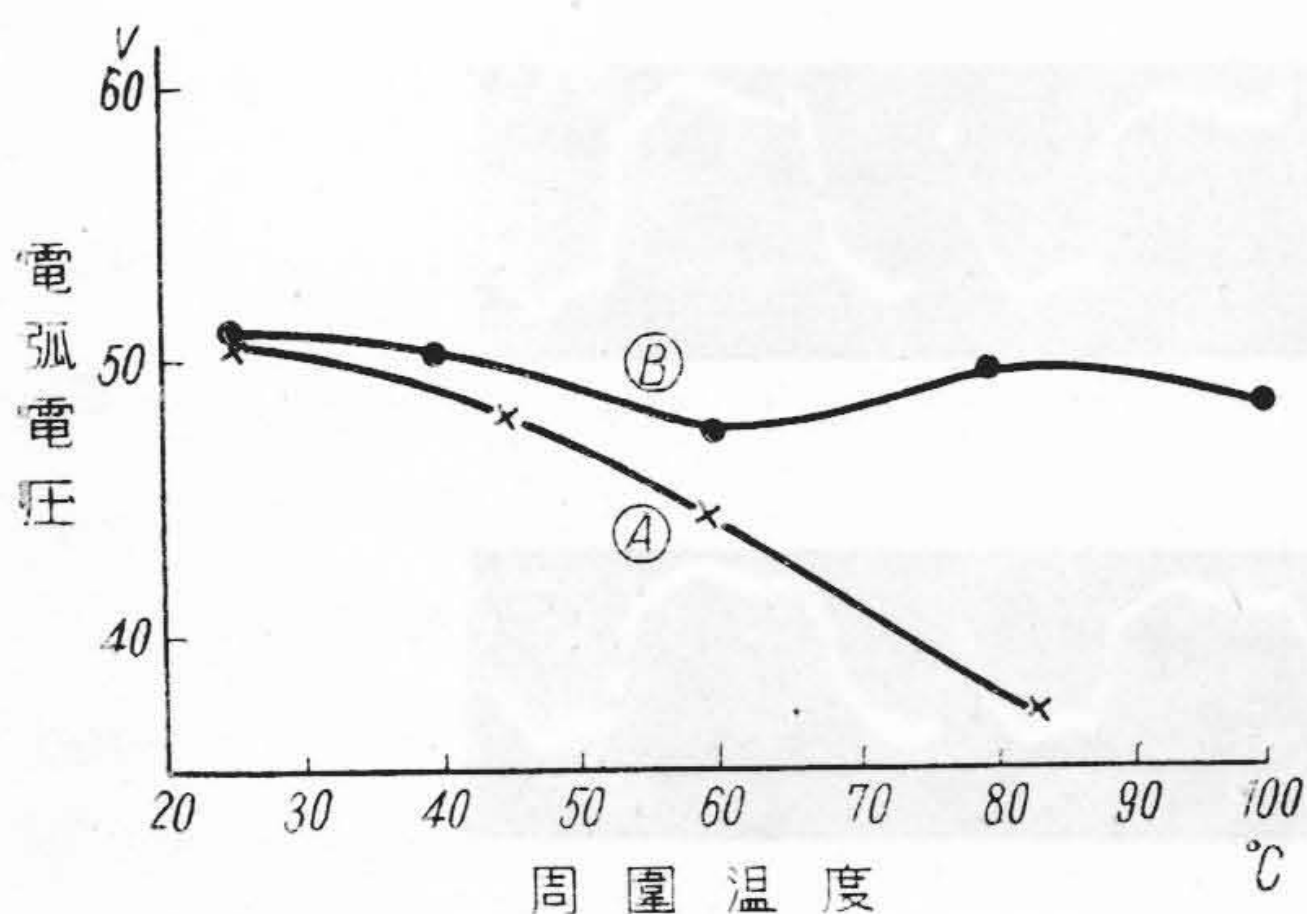
第 21 圖 電弧電壓波形 (波形の周圍溫度による變化)

Fig. 21 Wave Forms of Arc Voltage. (Effect of Ambient Temperature)



第 22 圖 電弧電圧波形 (波形の周囲温度にする変化)

Fig. 22 Wave Forms of Arc Voltage. (Effect of Ambient Temperature)



第 23 圖 周囲温度と電弧電圧

Fig. 23 Relation between Arc Voltage and Ambient Temperature.

ない。

このものの水銀蒸気圧増大による波形の変化は振動状態が著しく変化する。常温に於て電子放射不良のものに見られる密な振動波形が水銀蒸気圧の上昇と共に消失して周波数の小さい粗なる振動波に変化して来る。然しその状態は電極の状態により異なる。第 22 圖に示すものは、波形より見て少し不純ガスを含む特徴を示して居り温度の上昇により電弧電圧は下つて行くがガス効果が顯著にあらわれ特に 80°C 近傍で特にガスが出て、電弧電圧が上つて居る。

この場合の波形の振動状態は温度上昇と共に前の場合と同様振動が無くなる傾向にあるが更に温度が上り特にガス放出を行つた場合は振動の発生が見られる。いずれの場合にしても陰極降下を小にせしめ、電極の受けるエネルギーを小ならしめる事によりその振動周波数を減ずるか或は全然消失する傾向にあり

又第 22 圖の例の如くガス放出により陰極降下大になると振動が発生するに到る。

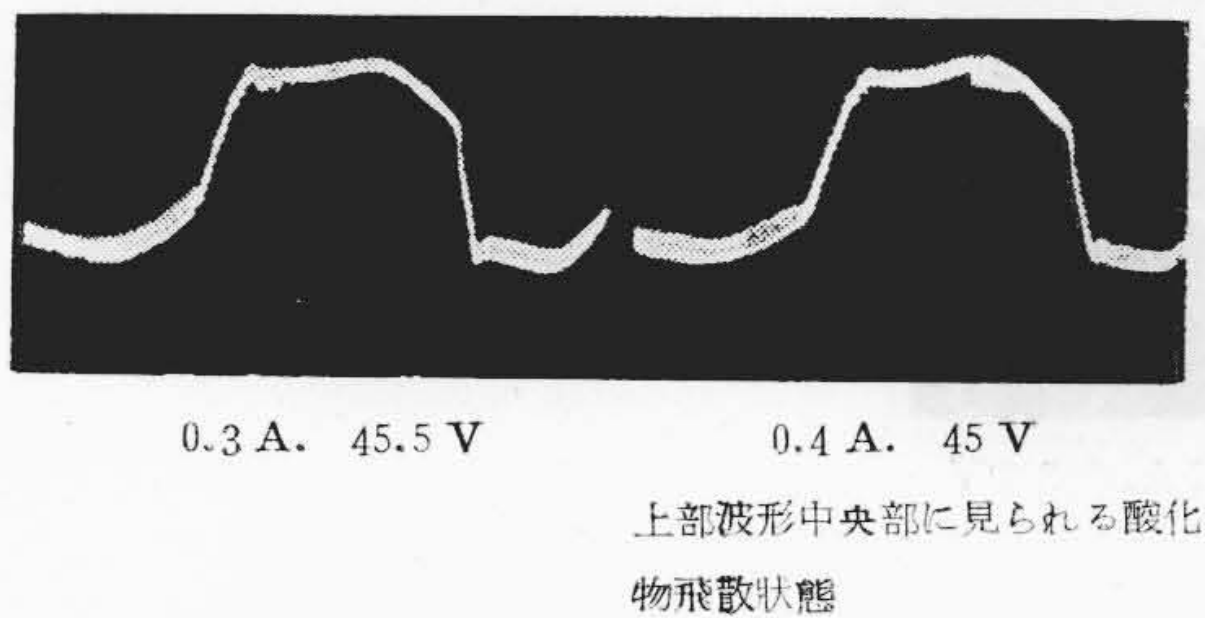
[XII] 酸化物崩解に於ける波形

酸化物が崩解することなく安全に長時間動作せしめるためには陰極降下がその酸化物の所謂崩解電圧以下であることが必要であり、且その温度が適當の動作温度に保たれて居り過熱による蒸発が発生しない事が必要である。斯る崩解現象が起ると電極近傍の管壁が酸化物の附着により黒化して来るものである。第 24 圖は一方の電極の電子放射が非常に悪い場合で放電が半波整流的に行



第 24 圖 電弧電壓波形 (酸化物崩解のときの波形其の一)
Fig. 24 Wave Forms of Arc Voltage. (in Disintegration of Oxide Cathode. I)

われてゐるものを電流を増加せしめ電極温度を上昇せしめるとこの電子放射の悪い極でも放電を行うに到るが過熱及陰極降下が大なるため酸化物が飛散して管壁は見る間に黒化して来る。この場合の波形を示す。振幅の特に大なる特異振動電壓となつて居る。又第 25 圖は放電中



第 25 圖 電弧電壓波形
(酸化崩解のときの波形、其の二)
Fig. 25 Wave Forms of Arc Voltage.
(in Disintegration of Oxide Cathode. II)

酸化物の局所に瞬時陰極輝點發生し酸化物の飛び散る場合に見られる特異現象で波形の一部が幅廣く膨大する。一般に酸化物の塗布状態の一樣で無いもの、不純ガスの多いもの電子放射不良のものに多く見受けられる現象である。

[XIII] 電弧電壓波形の時間的變化に就て

長時間の放電により放電管内の状態が變化する事は既に述べた。即ち放電管内のガス状態が變化する事で一般に長時間の放電により、放電化學的にガスの純化作用が行われる。又他の一つは酸化物の消耗が放電時間と共に進行して電子放射が悪くなる事である。この場合の波形の變化に就て考察してみる。第 26 圖及第 27 圖は各々電極間の距離同一の放電管で製作直後及長時間放電後 (第 26 圖は 430 時間第 27 圖は 450 時間) の電弧電壓

波形を示す。又第 28 圖は之等の放電管の放電特性を示す。

最初の放電特性は第 28 圖に示す如く第 26 圖に示すものの方が約 4 Volt 程度電弧電壓が低く 0.4~0.15 Amp の範圍で安定放電をするが第 27 圖のものは 0.4~0.2 Amp の範圍

が安定に放電する領域である。特性上、第 26 圖の方が不純ガスが少く良好と認められるものである。波形に於ても特性上良好なる方が他より波頭の突出が小で且波形の振動數も小である。之等のものを長時間放電後には、第 26 圖に於ては、波頭部の突出が小になり振動數が小になり殊に電流値小なる部分に於ては全く振動状態が認められなくなる。これに反し第 27 圖の例では波頭値の突出は同様に小になるが振動状態は著しく異り非常に密な周波數の大きい振動波を伴つてゐる。この場合の放電特性をみるに良好なる特性の方は最初の特性より電壓値が上つてゐる。然し悪い方は長時間の放電により電壓値は低下してゐる。然しその値は特性の好いものより矢張り大である。この變化状態より見て何れの場合にも放電によるガスの純化作用が行われ且電極の酸化物の消耗も行われるが特性の良好なる方が他より不純ガスが少ないため酸化物の消耗による電弧電壓の上昇の方が特性上目立つが他はガスの純化作用による電壓低下の方が特性上目立つてゐる。然しガスの多いもの程酸化物の消耗が早いいため當然ガスの純化による電弧電壓の低下があつても第 28 圖に示す通り最初特性の好いものより矢張り電弧電壓の高い悪い特性を示す。

實際第 27 圖の例のものは斯る長時間放電後は電極の一部が赤熱状態になつてゐるのが認められるが、第 26 圖の例では認められぬ。即ち第 27 圖の場合非常に密な振動波を伴つてゐる場合はその熱陰極酸化物の一部が過負荷の状態にあると考えてよい。一般に放電により電極其の他から不純ガスの放出が無ければ大體 10 時間程度の放電を行えば、第 26 圖の例に示す如く振動數が減少或は全然無くなり安定放電になり放電によるガスの純化作用は大體行われたと考えてよく上記の 450 時間程度で



0.25 A. 60 V

0.3 A. 59.5 V

0.35 A. 59 V

0.4 A. 58 V



0.15 A. 63 V

0.2 A. 61 V

初期
(15 分後)第 26 圖 電弧電壓波
形 (長時間放電によ
る波形の變化、其の
一) No. 177Fig. 26 Wave Forms
of Arc Volta-
ge. (Effect
of Aging. I)

0.25 A. 62 V

0.3 A. 61 V

0.35 A. 60 V

0.4 A. 59 V



0.1 A. 62.5 V

0.15 A. 63 V

0.2 A. 63.2 V

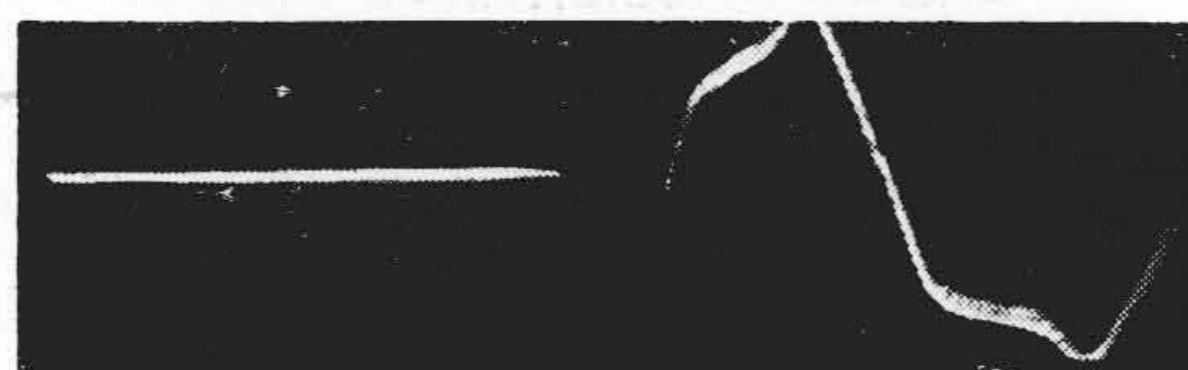
長時間後
(430 時間)第 27 圖 電弧電壓波
形 (長時間放電によ
る波形の變化、其の
二) No. 162.Fig 27. Wave Forms
of Arc Voltage.
(Effect of Aging. II)

0.25 A. 65 V

0.3 A. 64 V

0.35 A. 63 V

0.4 A. 62 V



0.2 A. 67 V

初期
(15 分後)

0.25 A. 62 V

0.3 A. 61 V

0.35 A. 62 V

0.4 A. 61.5 V

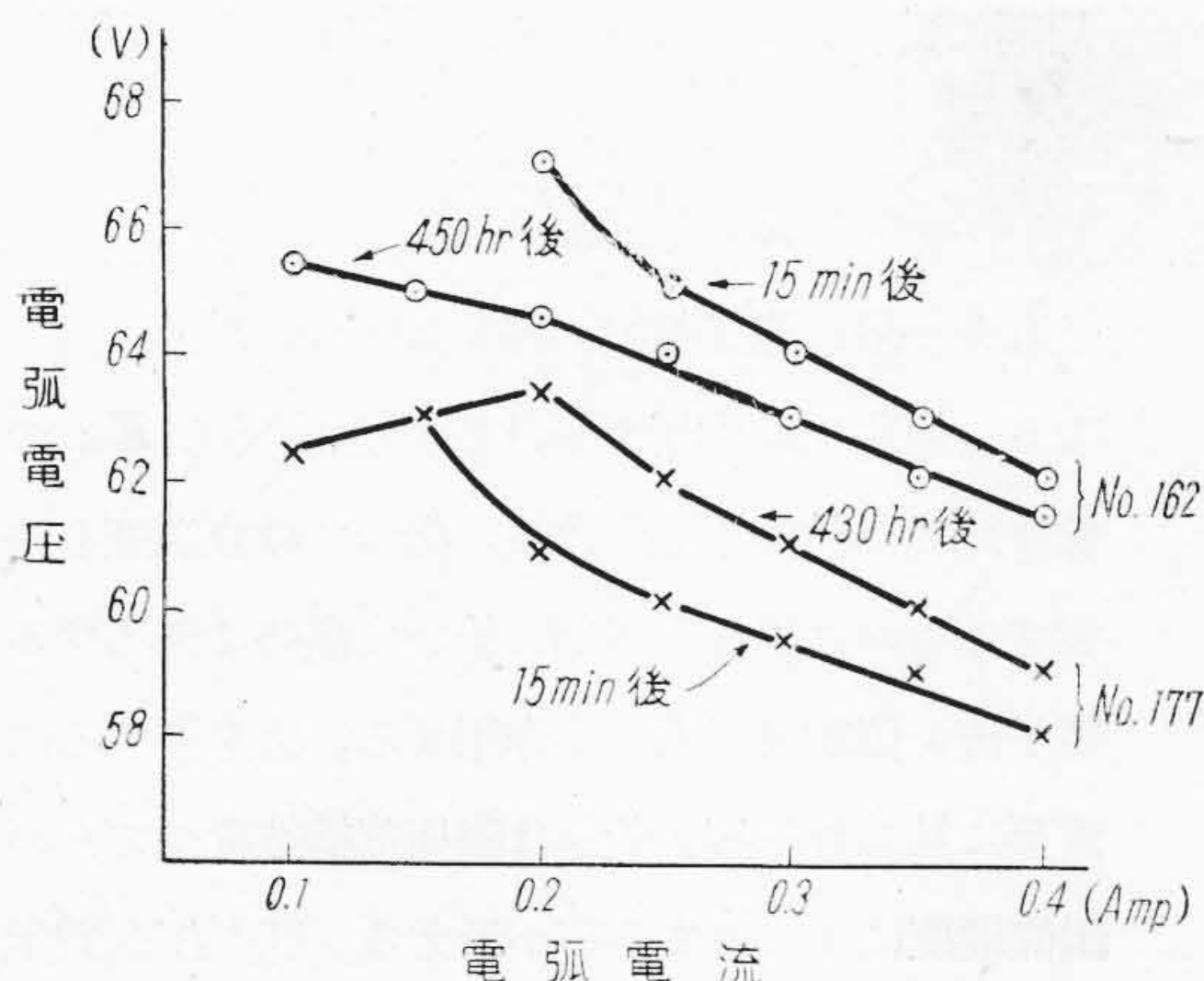


0.1 A. 65.5 V

0.15 A. 65 V

0.2 A. 64.5 V

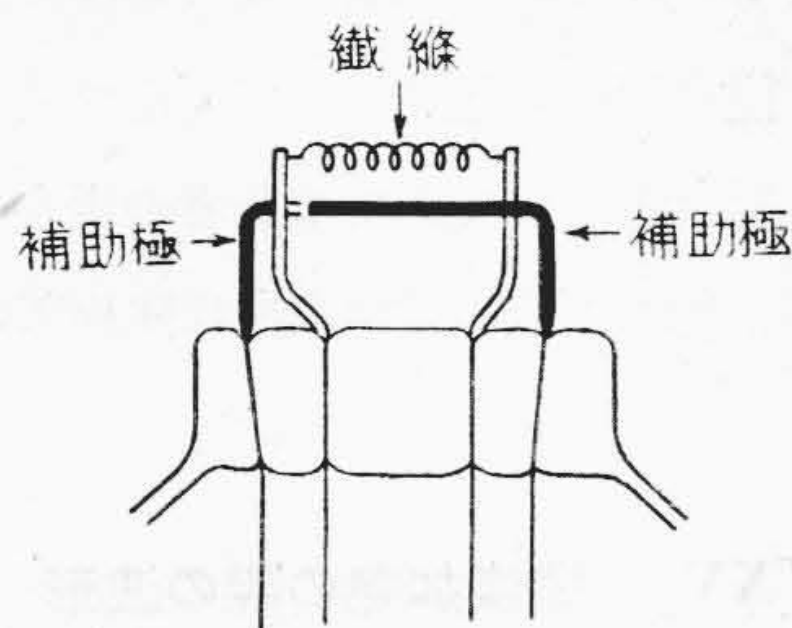
長時間後
(430 時間)



第 28 圖 放電性變化の二例

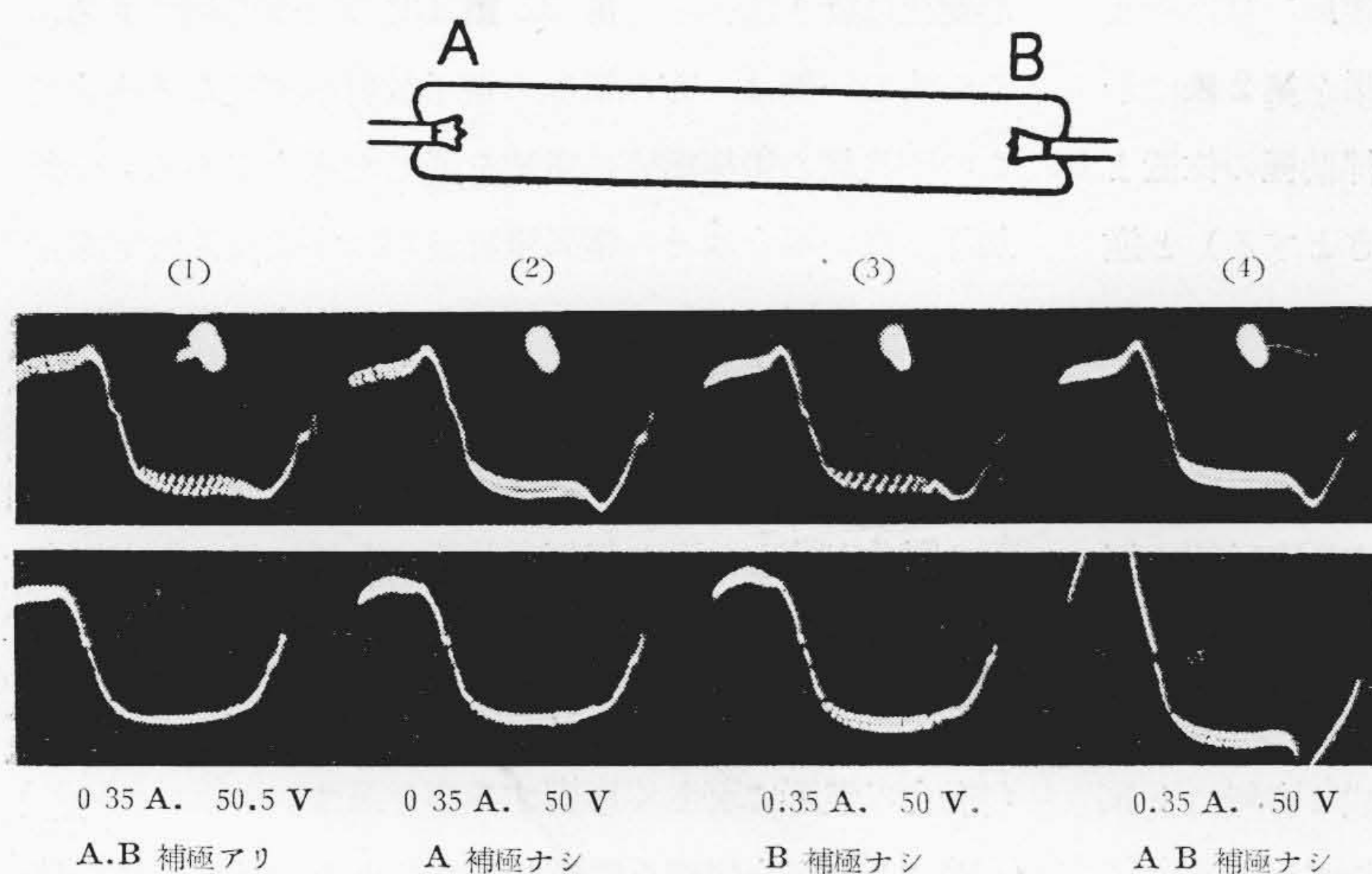
Fig. 28 Effect of Aging on Discharge Characteristics.

はその波形の考察にあたり不純ガスの効果は考える必要なく酸化物電極の状態のみを考察すれば間違いない。上



第 29 圖 電極部構造

Fig. 29 Construction of Electrode.



第 30 圖 電弧電圧波形 (電極部変化による波形変化)

Fig. 30 Wave Forms of Arc Voltage. (Effect of Electrode Construction)

記の如く最初の放電特性の異なるものは長時間の放電により波形に見られる振動状態に著しい違いを示す。

[XIV] 電極部構造と波形

電極部の構造は第 2 圖に示すものであるが第 29 圖の如き電極のものを使用し繊維部と補助極とを接続したときと補助極を離して繊維部のみを使用した二つの場合に就て波形の變化を測定した。前者の場合は第 2 圖の構造のものと大體等價的なものである。後者の場合は放電時に於ける繊維の電流負荷が前者の場合より大となるわけである。

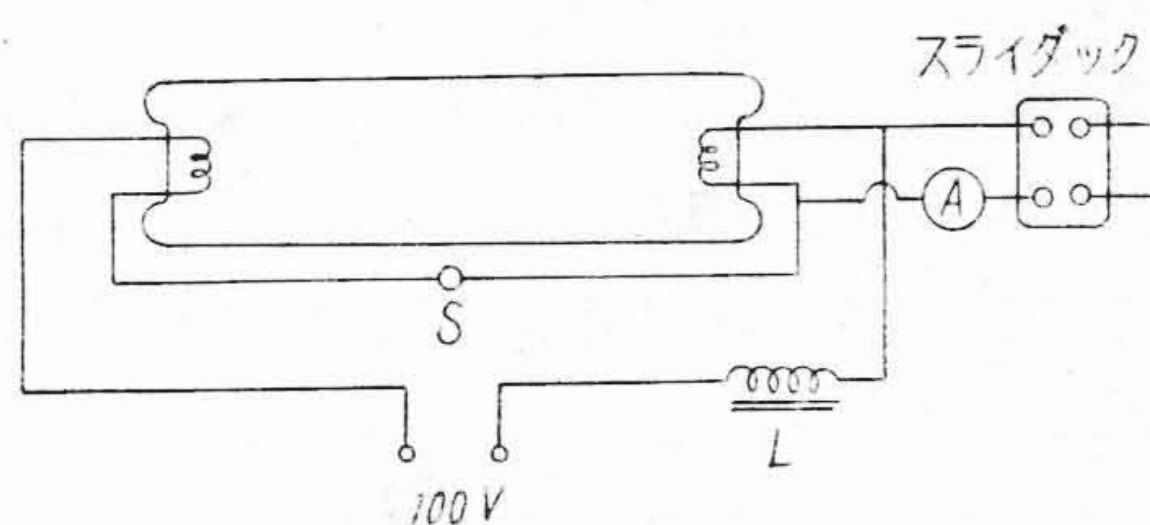
第 30 圖に放電管の略圖と波形を示す。放電管の兩電極を各々 A B とする且寫眞の上側の波形を A 電極が陰極又下側の波形を B 電極が陰極となつた場合の波形とする。

この時寫眞 (1) は A B 兩極とも補助極を接続して使用した時の波形で寫眞 (2) は A 極の補助極を離した場合で寫眞 (3) は逆に B 極の補助極を離した場合であり最後の寫眞 (4) は A B 兩極とも補助極を離した場合の波形である。寫眞 (1) の場合は既に今までに述べた場合の波形と同一であるが寫眞 (2) (3) (4) は一方の極或は兩方の極とも電極の受ける負荷が普通の構造の場合より大になつた場合の波形であるが補助極を離した方の電極

が陰極として動作するときの波形は殆ど變化しないが他方の補助極の接続してある電極が陰極となつた場合の波形振動状態が寫眞の如く周波数の非常に大なる密な波形となる。且つ波頭の突出が大になる。兩極とも補助極を離した場合は寫眞 (4) の如く兩波形とも周波数の大なる密な振動波形となる。この事實は電極が陰極として動作する場合はその極の補助極の接続の有無は何ら波形には影響しないが、その極が陽極として動作するとき

第 2 表 直流放電に於ける流入電流状態
Table. 2. Current Distribution in D.C. Discharge.

		陽 極		陰 極		電弧電壓
Fil. 状態		Fil	補助極	Fil	補助極	
陽	陰	流入電流	流入電流	流入電流	流入電流	
凹	凹	145 mA	170 mA	298 mA	15.3 mA	54 V
凸	凹	188	126	298	15.2	56.2
凹	凸	157	117	305	5.5	52.8
凸	凸	199	119	305	5.4	59.2



第 31 圖 繊維加熱の場合の配線圖

Fig. 31 Circuit Diagram of F.L. in Filament Heating.

はその極に補助極が接続してあるが否かにより波形、特に波形の振動状態が著しく変化して来る。従つて波形の振動は陽極の状態により著しく変化するものである。

今、A、B 兩電極を接続した所謂普通の構造に相当する場合に於て直流放電を行わせて陰陽各電極の補助極及繊維に流入する電流を別個に測定した結果を第 2 表に示す。第 2 表に於て電極に於ける繊維部が補助極の位置より放電通路に突出して居る場合（凸のときとする）と逆の場合（凹のときとする）との色々の組合せた場合の測定値である。

これより明らかな如く陽極部に於ては繊維部の補助極に對する相關的位置により繊維部に流入する電子流は相當變化するが陰極部に於ては放電々流の大部分は繊維部に流入し補助極の位置は殆ど關係しない。従つて電極が陽極として動作する場合は補助極の位置或は有無により繊維の受けるエネルギー状態が著しく異つて来る。

又一般に斯る熱陰極を有する場合の交流電弧の場合、繊維の受けるエネルギーを E とし陰極半周期及陽極半

周期に受けるエネルギーをそれぞれ E_C 、 E_A とすると

$$E = \frac{1}{2} (E_C + E_A)$$

となり一般に電子放射の好い場合は E_C は負となり、所謂冷却作用を受ける。之に反し E_A の値は正で加熱作用を受ける。従つて繊維温度を決定するものは陽極半周期に於いて繊維に流入する電子流の値如何が大きく作用する。之を要するに波形に見られる振動状態は陽極部構造従つてその繊維温度によりきまる事が云える。即ち振動發生

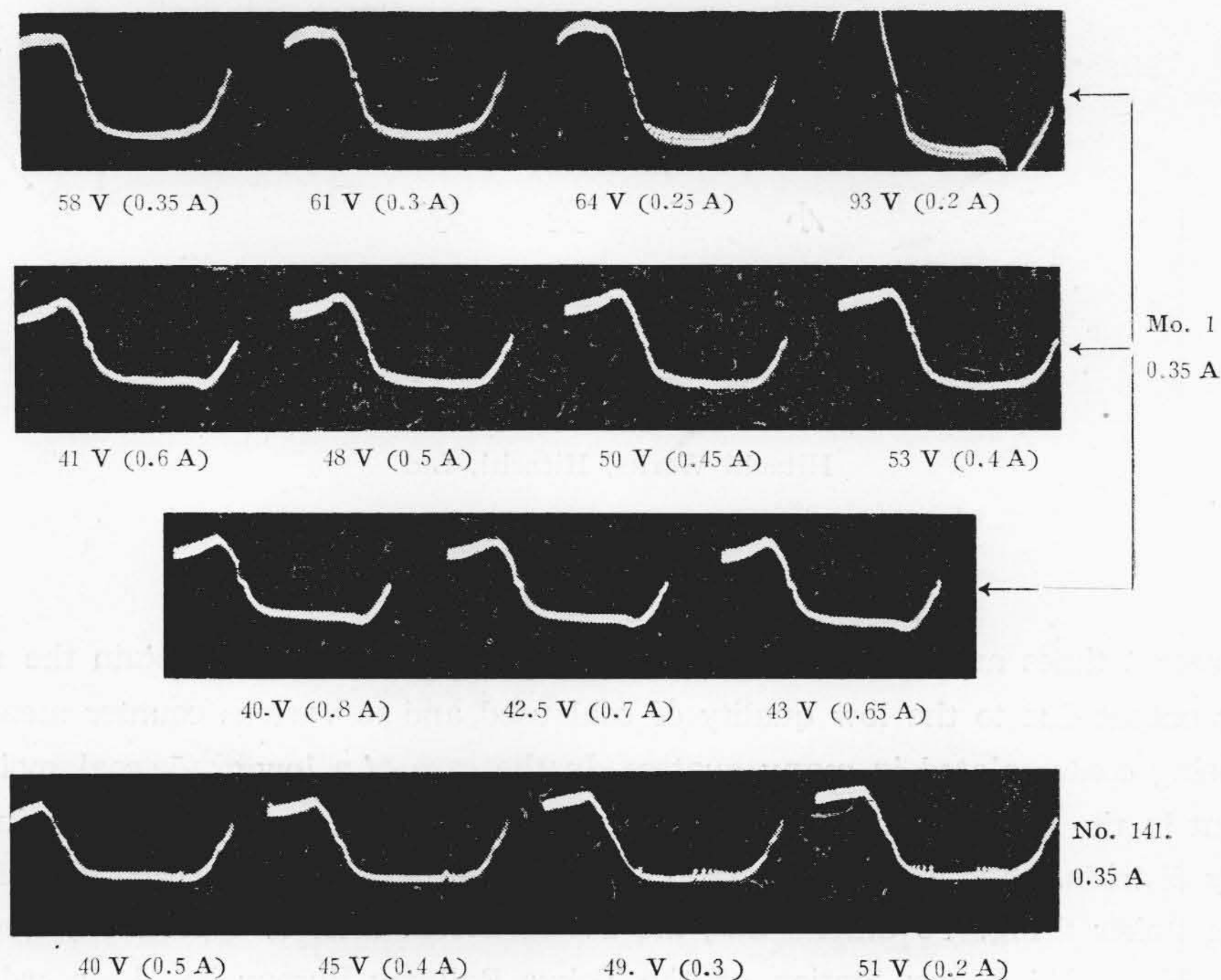
の原因となつてゐるのは陽極部であることである。更にこの事を裏付ける實驗として探針を挿入した放電管に於て直流放電を行わせた場合陰極を起點として陽極側の方へ陰極と各探針との間の電壓の振動の有無をしらべると無振動状態より次第は振動が大となり陽極に到つて最大振幅を示すが逆に陽極を起點として測定すると振動の振幅はいづれの探針をとつてみても前者の場合の最大振幅と同じである。即ち振動の發生場所は陽極部附近と云う事が出来る。

[XV] 繊維加熱の際の波形

放電管に於て交流放電を行わしめてゐる時一方の電極に第 31 圖の如く回路で繊維を交流加熱した場合の波形變化に就き述べる。第 32 圖は其の二つの例である。この内の一例は一方の電極の電子放射が不良なる場合でこの不良側の電極繊維に電流を通じた場合である。全然加熱しない場合はその電弧電壓波形は半波整流波形を示すが電流を通じて行くと陰極となつた場合の電弧電壓値が下つて来る。それと同時に他極が陰極となつた場合の電壓波高値も下つて来るが殊にこの場合の波形の振動状態の變化が著しくなり無振動状態になる。然しながら加熱した方の側の波形状態は殆ど變化がない。

この事實は前項で述べたと同様陽極部の状態變化がその場合の波形に著しく影響する事を示す。

殊にこの場合繊維を電流加熱するとその繊維の電壓降下によりその極だけで放電を行うようになり、直接繊維を通る電流より放電々流の方が大となりこのため電極前



第 32 圖 電弧電壓波形（纖條部電流變化による波形變化）

[() 内の電流値は纖條部加熱電流]

Fig. 32 Wave Forms of Arc Voltage. (Effect of Filament Heating)

面の電位分布状態が變化するものと考えてよい。即ちこの極が陽極として動作する場合陽極降下の部分の電場が當然變化し陽極降下の値が小となるものと考えられる。従つてこの陽極降下部の空間電荷状態如何が電弧電壓波形の振動状態に關係する事が考えられる。

[XVI] 結 言

酸化物熱陰極を有する放電管に於ける電弧電壓の振動現象に就て以上概略を述べた。之を要するに電弧電壓波形に直接的に關係して來るものとしては電極の電子放射及不純ガスである。之等の因子の状態如何により波形全體の形が大體きまる。次ぎに波形に伴う振動現象に於ては電極の電子放射、不純ガス、アルゴンガス壓、水銀蒸氣壓、電弧電流値及電極構造等により變化するものであるが之等の因子は何れも如何なる振動状態になるかの誘因になつて居るが本質的にはその酸化物電極の受けるエネルギーにより變化するものであり、且その電極が陽極

半周期になつた場合に振動が発生する。又陽極前面の空間電荷状態により振動状態が變化するものである。従つて電弧電壓波形に伴う振動現象の原因として陽極及陽極降下部が考えられる。又酸化物が崩解してゐる場合の特異振動波形はその極が陰極となつた場合にあらわれるのは當然である。

此の種放電管に於ける振動現象の研究に關してはあまり行われてゐないが最近 H. Y. Loh 及 H. Dieke⁽²⁾ はガス放電にあらはれる振動現象は陽極の近くで起ることを報告して居る。本研究にあたり御鞭撻下さつた中央研究所長鳥山博士同部長濱田湯本兩博士並びに實驗に協力された足立、近藤、高橋、進藤の諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) K. T. Compton : Phy. Rev. 20, 283. 1922
- (2) H. Y. Loh & G. H. Dieke : J. O. S. A. 37 837. 1947.