

9圖によつて各々の I_0 に於て, $P_a = V^2/2R$ となる V を求め, $P_a = V^2/2 \times 33 \times 10^3$ をその I_0 に於ける出力とする. 33×10^3 は空洞のシヤント抵抗 $33 \text{ k}\Omega$ のことである. このようにして出力と I_0 , 従つて i_e との関係を求めると $R = 8 \text{ k}\Omega$, $16 \text{ k}\Omega$ に對應して第10圖 I, II を得る. 第9圖と比較して飽和の傾向は似ている. 但し曲線の立ち上りの部分の曲り方は第8圖と第10圖では逆になつてゐる. この理由は筆者等には説明出来ない.

4. 結 語

今の所, 出力はあまり強くない. しかし初期電流が

3 mA で發振するので比較的簡単に組立てた空洞でも $Q > 900$ に達することが解つた. 又油擴散ポンプで排氣しつつ, 酸化物陰極を陰極として使用するので, この方法で $\lambda = 3 \text{ cm}$ 迄の發振は容易であらうと思われる.

終りにこの速度變調管と油擴散ポンプを製作して下さつた第一部金工室辻清雄氏其の他の人々に感謝の意を表する.

文 獻

- 1) J. M. Lafferty : I. R. E. 35 (1947) 913.
- 2) 熊谷寛夫 : 理工研講演會 1949年6月.

電氣火花による輝波の發振について (II)

— 發振機構に関する實驗 —

林 嚴 雄・阿部英太郎

On the Generation of Microwaves by Electrical Sparks (II)

By Izuo Hayashi and Hidetaro Abe.

ABSTRACT : The change in the intensity distribution of the spectrum of microwave oscillations was studied by varying the gap length between the sparking electrodes, using a cavity-wavemeter. The same analysis was made by varying the pressure of the gas in the gap, and the effect of changing the kind of electrode materials and the gas was examined. The gap length *versus* power relation changes systematically, as the wave-length or the gas pressure is varied. It was found also that the efficiency of the oscillations depends largely on electrode materials; only a few kind of metals, namely aluminium, magnesium and beryllium have high efficiencies, while almost all others have very low ones. A special kind of relaxation oscillation is efficient for generating an impulsive oscillation of microwaves when these metals are used.

(1949年8月22日受理)

1. 緒 言

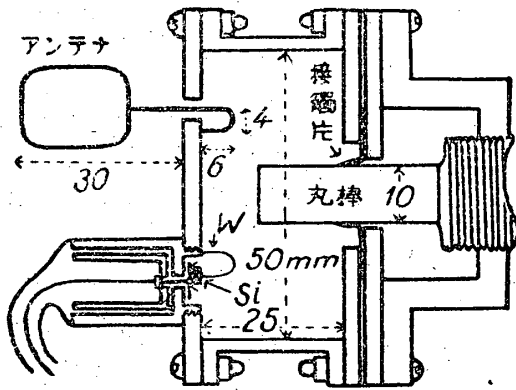
第一報で火花發振の實例及びその應用について述べたが, その中にも述べた様にこの形式の發振器では空洞の中に入れるなどの方法で長い波長の電波を強制的に抑へてしまはれない限り, 形を相似的に小さくして行つても約 10 cm 以下の波長に主なエネルギーが分布してゐる發振を得る事が出来なかつた. 發振器の金屬部分に関する限り, 高周波の回路として, Maxwell

の方程式から見られる様に, 相似的に寸法を小さくしてゆけば, それに比例して共振波長は短くなる筈であるからこの事實は他に原因を求めなければならない. 間隙の内に放電が起れば, 放電中の ion や electron は高周波回路の一部となり, 上の比例関係を變化させる可能性をもつてゐる. このやうなわけで短波長の出ない原因を探る目的で間隙の長さ, gas の壓力等を變化させ, 又電極金屬の種類も色々變へて發振エネルギーの波長分布 (即ち發振の Spectrum) が如何に變化

するかを調べた。火花放電に特有なふらつき、再現性の悪さと実験方法の不備の爲、目的とした點について結論を下すには不充分であるが、得られた主な結果を次に並べて諸賢の御一考を煩はし、又何かの参考になればと思ふ次第である。

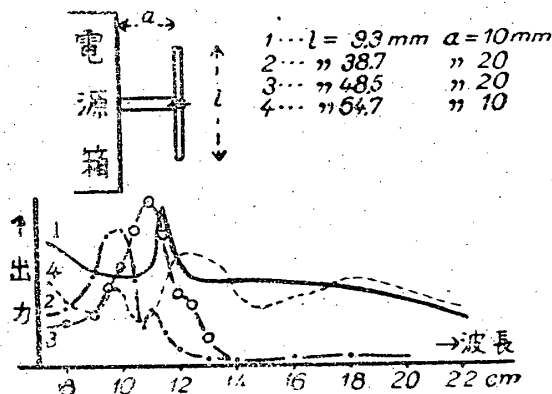
2. 實驗裝置

實驗裝置として最も多く用ひたのは、Spectrumを測る目的の空洞波長計で、最長最短波長の比が少くも1對3の廣い波長範圍を出来るだけ忠實に分析したい爲、第1圖の如く共軸一圓筒移行型にし、且圖の様に空洞の取入取出口の固有振動がなるべくその波長範圍に入らないやうにした。正確な事は言へないが、かなりよく整合した受信端の鑽石の出力と比較した所、10乃至18cmの間の感度は大體周波數と共に單調に増加してゐるらしい。(10cmに於ける感度は18cmの



第1圖

その5~6倍位)。他の色々の實驗からも、少くも或波長で特に感度が良かつたり悪かつたりする事はないやうである。空洞は眞鍮製で、中央の棒のすり合せの部分は、割りを入れた磷青銅の接片で接觸させてあり、無負荷のQは10cm附近で大體1100位である。感度を上げるために結合のループを大きくしたので、

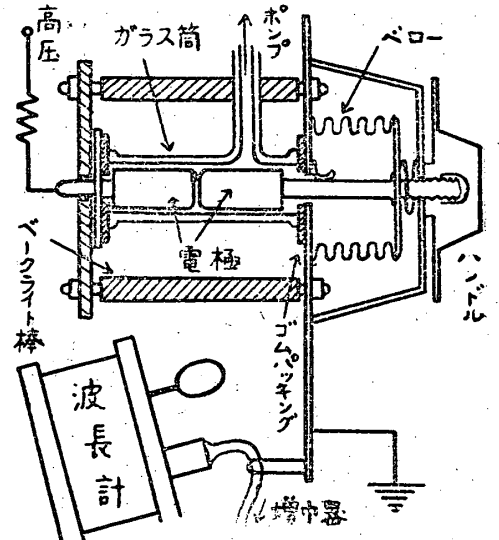


第2圖

全體としてQ (loaded Q) は9~15cmの間で150~200位になつてゐる。之等特性の測定には磁電管及び火花發振器と空洞の組合はせを利用した。第2圖はこの波長計で測定した簡単な形の發振器のSpectrumである。測定する波長計の位置や發振器のダブレットの反射板からの距離aも影響するが、ダブレットの長さlが最も効いてゐる。そして圖の2と3では2lに近い波長が強い。この曲線は波長計の感度特性も含んで居るから、本當のエネルギー分布を現はしてはゐない。實際は曲線の長波長側がもっと高くなる。

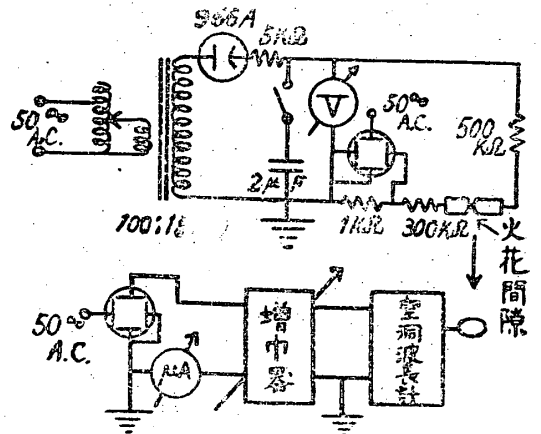
3. 火花間隙の變化の影響

次に火花間隙の状態を變化させる爲、第3圖の如く



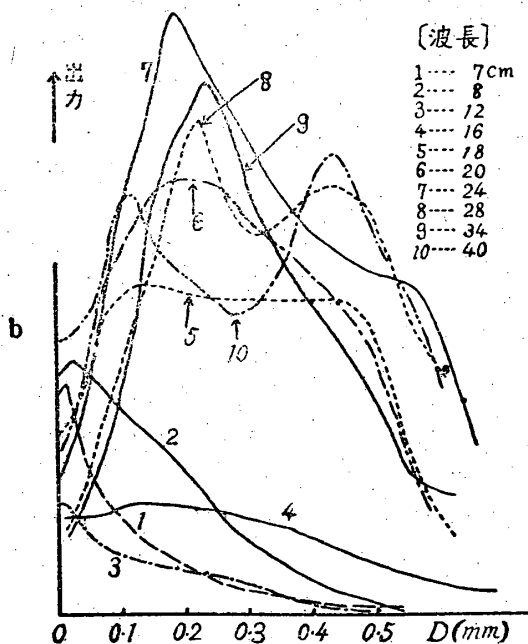
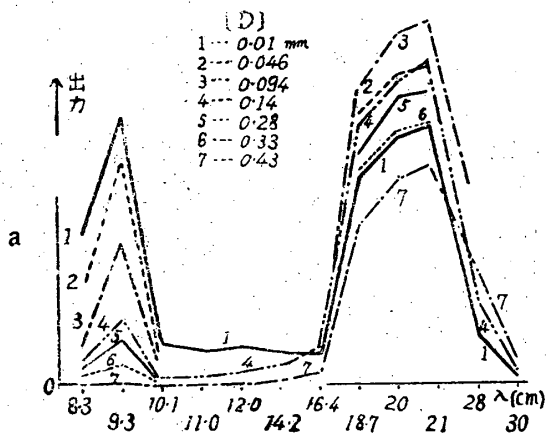
第3圖

直徑約8mmの圓筒形電極を緩くはまる程度ガラス管中に置き、一方の電極はネジ送りで間隙長を自由に變へられる様にした。ガラス管の兩端はゴムパッキングを入れて氣密にし、可動部にはベローをつけて間隙内のgasの壓力や種類も變へられるやうにした。



第4圖

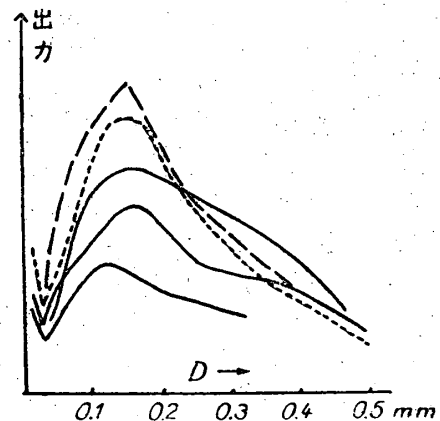
發振受信の回路を第4圖に示す。發振の安定をはかる爲に、通常は整流管を通した高壓をそのまま脈流の形で火花間隙にかけた。増幅器は(50~10⁴) cycleを増幅するものであつた。この出力を一定にするやうに volume を調節し、6D6 の grid bias の値を讀んで校正表から入力値を求めた。3圖のやうな装置であるからその Spectrum は簡單ではないが、間隙の條件を變へた場合の相對的變化に着目した。發振強度の時間的減衰による誤差を小さくする爲に、必要な時間だけスイッチを入れて測定した。測定再現性はあまりよくなく、以下の data では大體の傾向を知り得るだけで定量的な事はあまり言へない。電極は支持具で支へて平らな板の上に置いた紙鑢で磨き、大體は平面に近いが僅かに曲率を持つた程度にした。二つの電極を向ひ合せ、目測で兩極面が大體平行になるやうに調整した。最初兩極を接觸させた状態で小電流を通じ



第5圖

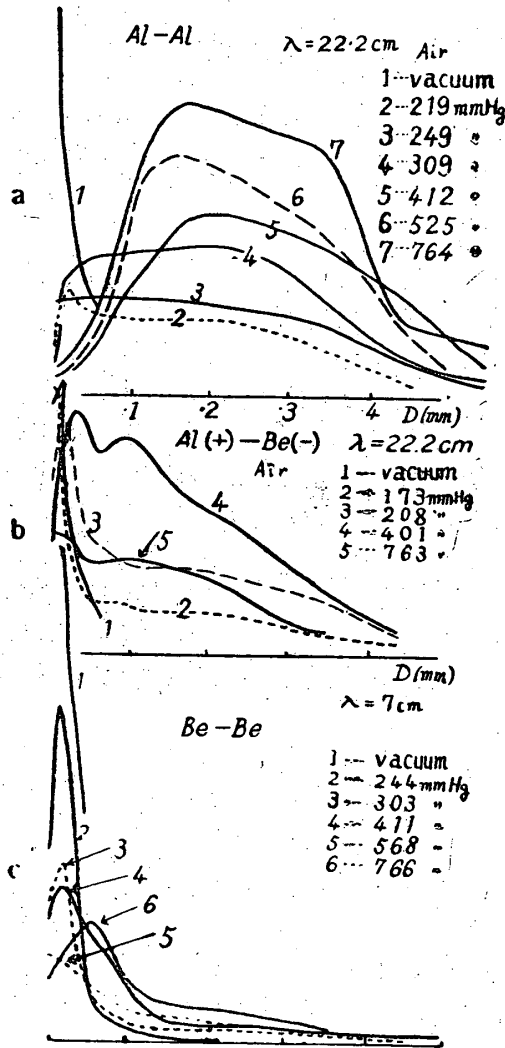
乍ら徐々に引き離して、火花が生じて電波が発生した瞬間の目盛を讀んで間隙長の零點とした。

1 氣壓の空氣中で放電電流の波高値 I_P を一定にして、間隙長 $D=0.01$ mm から 0.43 mm に變へた時の Spectrum の變化を、波長 8.3 乃至 29.7 cm の 12 點について測定した結果を第5圖(a)に示す。之を或一定波長に注目し、 D を變へて出力變化を實測すると(b)圖の如くになり、波長によつて著しい差がある、之に對して例へば電流値 I_P を變へた時は、各波長の出力は比例關係を保つたまま増減し、この様な一定の傾向の變化は見られない。圖から見られる様に、一氣壓の空氣中では波長十數 cm 附近を境としてそれより短い波長では出力 P は D の増大に伴ひ單調に減衰し、長い波長では極大値を持つ形になつてゐる。この事は共振回路を小さくして行つた時の發振波長の限度が 13 cm 附近にある事と關聯がある様に思はれる。第6圖は電極に金屬片等を付けて發振強度や Spectrum



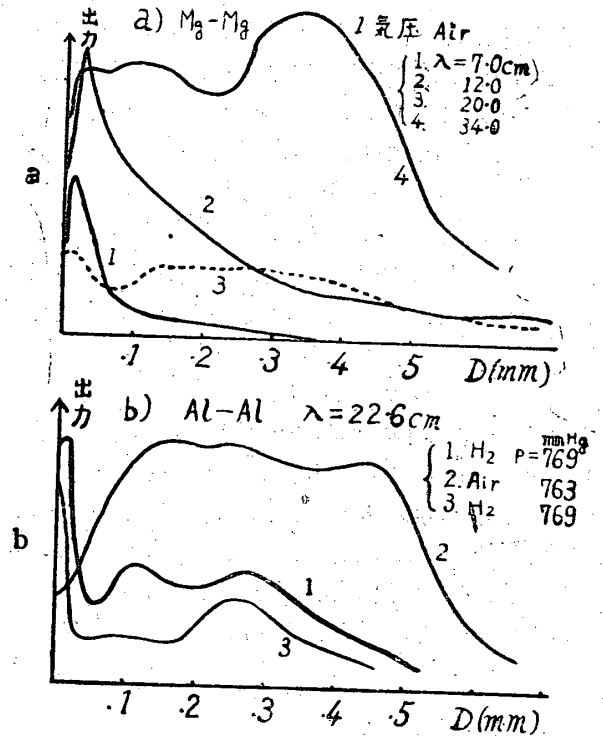
第6圖

を勝手に變化させた時の(D-P)曲線を示す。(曲線型を比較する爲にPのscaleを變へてある。實際のPの比は最大1對10位。)電極を削つて相向ふ電極の面積を小さくすると、前述の様に出力が増大する以外に(D-P)曲線型が皆一様にDのscaleを縮めた様になるが、長い波長では極大値が出る事等にかはりはない。次にパラメーターとして壓力を變化させた時の結果を7圖(a, b, c)に示す。減壓の際の(D-P)曲線型の變化の傾向はどの波長についても同様で、丁度同一の壓力で波長を短くして行く時の變化に似てゐる。例へば波長 22 cm でも減壓すると曲線の山が小さくなり、 200 mm Hg 位で殆ど極大値のない形になる。これは一氣壓では十數 cm の波長の示した形に近い。眞空では更に極端に減衰のはげしい形になつてゐる。A1を陽極に、B2を陰極に使用した(b)の例では、眞



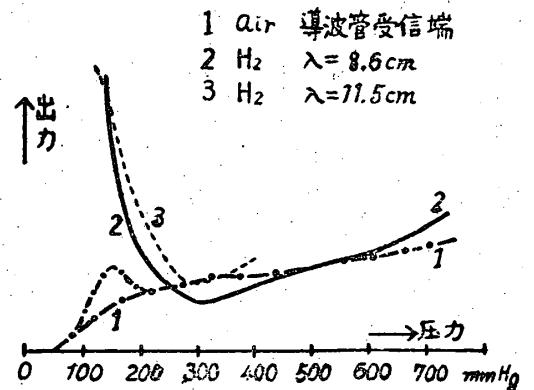
第7圖

空から一気圧までの變化が連続的に現はれてゐる。この様に壓力による (D-P) 曲線型の變化の傾向は Al 以外の金屬を電極に用いても (Be, Mg) 同様であるが、波長による違い方も Al の場合と同様の傾向である (第8圖a)。次に間隙内の gas を變へてみた。キップの装置で得た水素を用いた結果、波長による (D-P) 曲線型の變化の傾向は空氣の場合と大體同様であるが、D が數十 micron 附近で特有な山が出てゐるので形が異つて來てゐる。電極をそのままにしておいて gas を入れ換へて空氣と比較した data を8圖 (b) に示す。(P の目盛は同じ。) 水素の場合は特に發振が不安定で C. R. O. で見てゐると、明らかに圖形の異なる二つの状態を交互に繰返してゐる事がある。この様なふらつきは空氣でも減壓時に現はれる事があり、あたかも息をしてゐる様に十數秒乃至數十秒の間隔で可なり規則正しく出力が變化する。出力比は 2~3 になる事がある。又平滑した直流で發振させると、一氣壓



第8圖

空氣中でも出力比數倍の不安定が出る事がある。これ等の事實は此の種火花發振器の發振機構が一應は鐘を叩く analogy で説明されても尙未知の機構が存在する事を示してゐる様に思はれる。



第9圖

壓力を變へて出力の變化を取つた二三の例を9圖に示す。減壓時は再現性が悪い。空氣中1氣壓附近では稍赤紫色を帯びた光點が間隙内を飛び廻り長く發振して居るが、減壓と共に放電路が廣がりをもつやうになり發振も不安定になる。通常數十乃至數百 mmHg 位で放電が平行間隙内から外側の長い path に移り、glow 状になると發振は全く停止する。普通のガイスラ管中の放電は少くもこの程度の受信感度では發振が認められない。又放電が平行間隙中に在つても一箇所に安定してしまふと發振しない (Cu 電極等の場合)。第3

圖の様な装置で放電が餘り長い path を飛び得ない様にしておいて更に減壓し、ガイスラー管の dark space が數 mm 出る位になると再び放電が平行間隙に移り、電極に Al を用いた場合には強い白色光を放つ光點がシャリシャリとはげしい音を立て、動き廻る様になる。かうなると再び強力な發振が起る。この時、間隙内の gas は放電に殆ど寄與しないと考へられ、放電開始時の電位傾度が 7×10^5 V/cm ($D=50 \mu$) 乃至 2×10^6 ($D=5 \mu$) になる事から、これは電極面の field emission に始まる所謂 vacuum discharge の状態であらうと思はれる。この時は間隙を長くすると急激に出力が減少するが、 D が數 micron 附近では1氣壓の2~8 倍に達する。しかし電壓の高い割合には ($D=1/20$ mm で約 3500 volt 位) 出力が弱く、しかも陰極が速やかに成長して來て數分で短絡してしまひ、このまゝでは實用にならない。

4. 電極材料

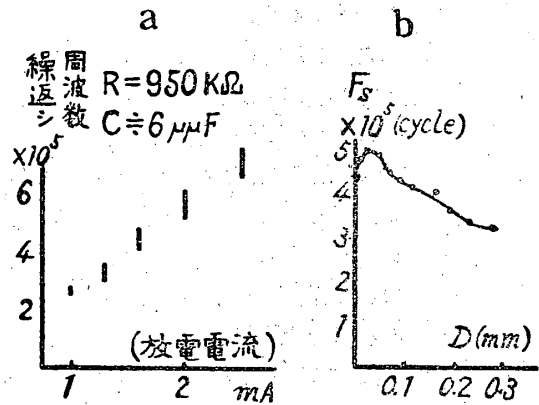
前にも言つた様に電極金屬の種類により發振能率が著しく異なる。直流電壓をかけた時に分類すると、

- 良く發振するもの……Al, Mg, Be
- 發振弱く不安定なもの……Ca, Si, C (黒鉛), (Ag)
- 殆ど發振しないもの……Cu, Brass, Zn, Sn, Pb, W, Fe, Ni, Pt

周期率表で見るとⅡ屬の a に屬する Be, Mg, Ca, Ⅲ屬の b で Al, Ⅳ 屬の b で C, Si が並んでゐる。これらの金屬のどの様な特性が此の事實に効いてゐるか明らかでないが、減壓 gas 中の glow 放電による陰極の Sputtering の難易の順序と大體反對になつて居る事を理工研の諏訪繁樹氏が指摘された。J. Strong¹⁾ によれば次のやうになる

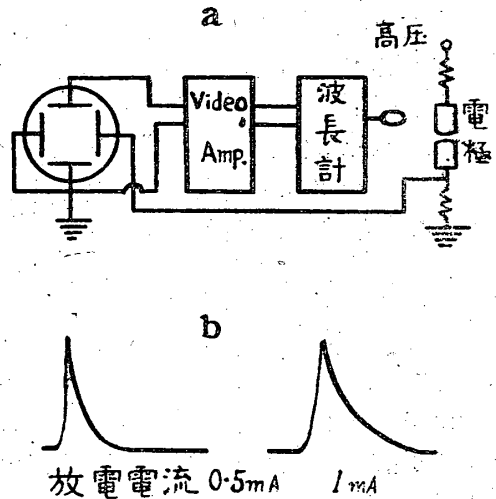
- 殆ど sputter しないもの…Be, Al, C, Cr, Mg, Si.
- sputter の少ないもの……Mo, Ta, W.
- よく sputter するもの……Sb, Bi, Cd, Au, Pb, Pt, Ag, Sn, Zn, Co, Cu, Ir, Fe, Ni, Se, Tl.

1947 年秋に名大電氣工學科の山本賢三助教授が特殊な間歇放電と題して發表されたもの²⁾が、金屬による差異が丁度上の火花發振の場合と同じであつたので、早速調べて見た。C. R. O. の横軸を數十 kc の繰返しで掃引し、縦軸に電極電壓を入れると可なりチラツキはあるが明らかに鋸齒狀の波形が觀察され、ヘテロダイン波長計でとにかく或範圍で beat が聞き取れる。鋸齒狀の繰返し周波數 F_s は電流に比例して増加する。(第10圖)。 F_s は電極間の容量 C と直列抵抗 R による弛張振動の計算値と大體一致する。電極に Cu 等を



第 10 圖

使ふと此の様な振動はごく不安定に一寸起るだけで、あとは連続的に電流が流れてしまふ。この振動には陰極金屬のみが關係し、陽極金屬にはかかはらない。この様な自動的な放電の繰返しが輝波の發振に關係して居る事は、色々な金屬でこの繰返し放電の存在と輝波の發振が殆ど常に同時に觀測される事から明らかと思はれる。この事をもつと直接に確かめるために霜田光一氏の考へで、11圖(a)の様な配置で觀測すると、C. R. O. 上に同圖(b)の様な圖形が現はれた。横軸は放



第 11 圖

電した瞬間から次の放電迄略 linear に掃引し、縦軸には輝波の受信出力を Video 増幅したものを入れてある。縦軸の出力が 1μ second 程遅れて居るのは増幅器の time constant の爲と思はれる。(増幅器の帯域幅は約 1 M. C.). この實驗によつて數百 KC で繰返される間歇放電の度毎に impulse 狀に輝波が發振して居る事がほぼ確實となり、放電による電位の急變が電氣振動を勵振して居ると云ふ考へ方に有力な根據を與へる。Al 等で能率よく發振するのは唯繰返しが確實に行はれる點だけに由來するらしく、發振しにく

い金属でももし一寸でも發振すればその瞬間には發振し易い金属と殆ど同じ出力になる。R. C 振動の考へによれば放電電流の増加及び電極面積の減少に伴ふ出力の増大は impulse の回数の増加に依ると説明される。電極間容量 C を減じた時の一つ一つの impulse の振幅は直接に観測しても僅かしか減少しない。又前述の間隙長をかへる實驗で F_s を實測して見ると 10 圖 (b) の様になる。前述の ($D-P$) 曲線の P は帯域幅 10^4 cycle の増幅器で観測した一種の時間平均出力であるが、この様に F_s の D による變化は大きくないから、一つ一つの impulse の出力についても曲線型は餘り變はらないものになる。長い波長で impulse の出力がはじめ D と共に増大する事は電極間にかゝる直流電位差の増大によつて高周波の振幅の増大する爲と思はれる。(容量の減少による放電電氣量の減少は振幅を餘り減少させない。)併し出力が極大値を過ぎて再び減少する事は、波長が短くなるに従ひもつと D の小さい所で極大が起る様になる事と合はせ考へて、放電の成長にこの電波の一周期程度の時間を必要とする様になつた爲と解釋する事も可能ではなからうか。もしこれが正しいとすれば間隙の小さい時、發振限界の波長を 10cm とし發振の波長分布幅を考慮に入れるとこの時の放電形成の時間として 10^{-9} 秒程度が與へられる。この様な電界強度に於ける電子の mobility は明らかでないが、簡単に $(\text{mobility}) \propto 1/\sqrt{\text{電場}}$ として弱い電場の data から計算するとこの間隙を横ぎるのに $10^{-9} \sim 10^{-10}$ 秒程度を要すると思はれる。

5. 結 語

以上此の形式の火花發振器について 1944 年以來最近に至る迄の實驗經過の概要を記述して來た。なるべく忠實に data に依つて確からしいと思はれる事を書いたつもりであるが、觀察の不充分と火花特有の再現性の悪さが相俟つて、あるひは誤つた部分があるかも知れない。放電の條件を全く同一に再現する事は極め

て困難だから一つ一つの data の數値そのものにはあまり意味を持たせないでいたゞきたい。唯それ等多くの data の中から繰返し現れる一定の傾向には何等かの物理的意味を附してよいかと思ふ。實驗事實として注目すべき事は要約して、

- a) この様な形式の空氣中の火花放電では比較的能率よく發振出来る波長に限界の存在する事。(*)
- b) 發振の Spectrum は第一近似としては共振回路で決定されるが放電間隙内の状態によつて組織的な變化を示すこと。
- c) 特殊な自動的間歇放電が或種の金属に限つて存在し之が極波の發振を能率化して居ること。
- d) 其の他出力變動の問題等となる。

この發振器は實用を目的として出發した。始めに述べた様に出力を上げ短い波長を出さうとする目的の色々な實驗は結局あまり大した進歩をもたらさなかつたが、今日でも依然として極波の實驗をする際に便利なものである。これは結局スキッチ一つで何時でも確實に働くこと、非常に廣帯域である事に由來する。

終りに終始御熱心に御指導を頂いた熊谷先生、一緒に考へて屢々 idea を提供された理學部物理教室霜田光一氏、實驗に協力された松本健、塚田甲子男の諸兄、空洞共振器の製作に協力された第一部の工作係の方々に厚く御禮申上げる。

文 獻

- 1) J. Strong : Procedures in Experimental Physics. page 159.
- 2) 山本賢三, 長谷部堅陸 : 電氣學會雜誌, 69 (1949), 161.

(*) 火花間隙を油等の中に入れた場合にどうなるかは未だ實驗して居ない。Galvanometer を用ひて検出出来る位の微弱な出力では、cm 及び mm 領域の發振に成功した例が數多くある。空氣中でも第二工學部野村民也氏は波長 2 cm 位まで發振させた。

鑽石檢波器の特性について (II)

— 感度の分布と周波數特性 —

阿 部 英 太 郎

On the Characteristics of Crystal Detectors. II.