

陰極線オツシログラフの化學への應用に就て

小野宗三郎

吾々が常に知りたいと望みながら其變化が早過ぎて追跡の困難乃至不可能であつた事が多くある。急速な物理的乃至化學的平衡に達する迄の過程例へば固體への氣體の吸着する際の平衡に達する迄の過程だとか或は爆發の生起衰退の模様だとか其他幾多ある。然るに陰極線オツシログラフとは電氣的變化を慣性の無い電子の變位に移して其變化を遅れ無く追跡記録するものである。其故上述の急速物理化學的變化の内、夫が同時に電氣變化である時或は電氣的現象に變化を生ぜしめる場合には、此オツシログラフに依つて其變化を明視化する事が可能となる譯である。其故オツシログラフは此方面に有力なる手段となるものであつて將來の發展が豫想されるので今迄に現はれた二三の例を列舉して紹介をしようと思ふ。オツシログラフに就ては内外に適當な著書のあることであるから文末に参考書名を記すに止める事とする。

i) 氣體吸着現象への應用¹⁾

固体—気體系に就て、(A) 気壓を或一定壓(眞空をも含む)から他の一定壓に急に變化した場合、(B) 或は又固体の溫度を急に變化した場合、平衡に達する迄に固体表面に起る急速過程を明かにする事は吸着現象を研究する上に極めて重要な事である。夫れにも拘らず其變化を追跡するのに適當な方法の無かつた爲に未だ此方面は未開拓と言つてよい状態にある。Johnson 及 Vick は W が清淨な時電子放出の作用函数 ϕ_0 が 4.56 Volt であるのに O_2 で表面が汚れてゐる時は $\phi_0 = 9.2$ Volt と成る事及び電子放出が溫度に依つて Richardson の式に従つて變化する事に着目して上記の如き早い吸着蒸發或は溫度變化を電子放出能に轉換して之をオツシログ

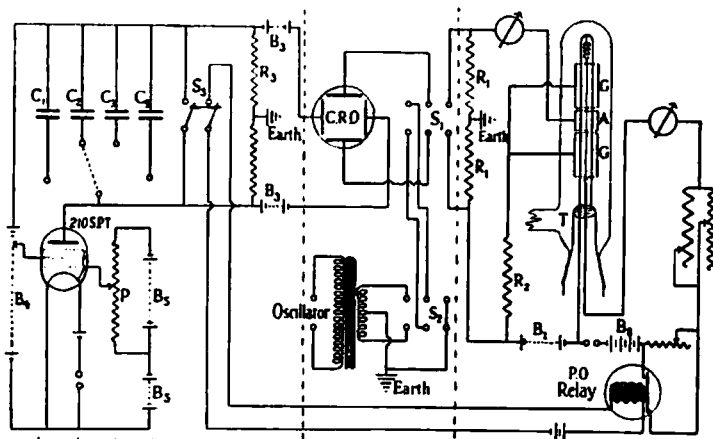


FIG. 1. C_1 0.5F. C_3 1F. C_3 2F. C_4 4F. R_1 10^3 to 10^4 ohms (strip). R_2 $\frac{1}{2}R_1$. R_3 2×10^4 ohms (strip). B_1 180 volts. B_2 8 volts, accumulator. 15 volts each. B_4 50 volts, auxiliary grid 80 volts. B_3 3 + 12 volts. P

第一圖

ラフに取つたのである。

装置. 第一圖に於て, T は反應管であつて中央に W 線條が張つてある. 熱電子流は陽極

A に依つて捕集されて、無誘導抵抗 R_1 を通る。其結果オツシログラフ C.R.O²¹ の上下の偏向板に電位差として掛けられる。G は保護管で A の約四倍の面積を持つ。圖の左部にあるのは直線的 Time Sweeper である。動作の要點を述べると、五極管の制御グリッドが充分大きい負荷を持ち補助グリッドが正規の正電位を持つ時は、陽極電圧が 50 Volt 以上であれば、陽極電流は陽極電流に無関係である。開閉器 S_3 を閉じるとオツシログラフの光點は電池 S_3 に依つて輝膜の左側に來る。B₁ の 150 Volt 全部を五極管の陽極に掛けると、安定電流 I_a — 之は制御グリッドに依つて可變である — が流れる。 S_3 を開けると、蓄電池 C は充電され、オツシログラフの時間傾向板の電位 V は高電位に反對する様に増加して來る。其故效果的な陽極電圧 V_a は落ちて來る。然し V_a は最大値から出發し、100 Volt 低下しても I_a に實質的に變化がないのである。依つて

$$I_a = -C \frac{dV}{dt}$$

であるから、 $\frac{dV}{dt}$ 即ち光點移動速度は輝膜の右端を過ぎる迄一定と成つてゐる。而も此速度は蓄電池の容量 C を適當に撰定し而してグリッドバイアスを P なるポテンシオメーターで調節する事に依つて追跡すべき現象に應じて任意に變じ得る。 S_3 は二極開閉器であつて、一組の極は前述の時間軸起動に用ひ、他の一組は反應管の纖維の溫度を變化するとか氣體送入の爲の磁石切斷器を開けるとか反應を始動せしめるのに用ひる。 S_3 のどちら側かにリレー或は delay を挿入する事に依つて反應を Time Sweeper の始動する時刻より一定時間先き或は後に起させるやうに出来る。第一圖はリレーを挿入して直列抵抗を短絡する事に依つて、纖維溫度を急に上げる事を示す。 S_1 及び S_2 を切換へると標準振動が現象軸に入つて來て、之と時間軸とで書く圖形を反應—時間圖形と同一の乾板に焼付けて反應の時間の標準としてゐる。因みにオツシログラフと反應器との時間の遅れの總和は 10^{-2} 秒以内であり、寫眞撮影可能の最大光點移動速度は 2×10^6 cm/秒である。

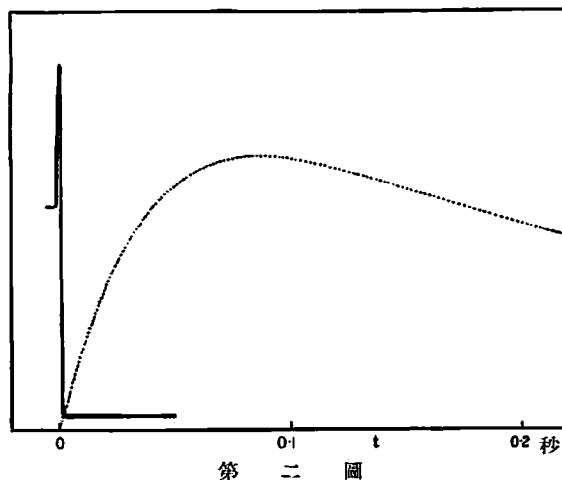
實驗. a) 10^{-6} mmHg 壓の O_2 によつて固體表面の汚される場合。恒溫に於て氣壓を變じた時に平衡に達する迄の過程を研究するのに、反應系を一方からボンプで引きながら他方から氣體を送入して、以つて固體に 10^{-6} mmHg 程度の壓力の氣體を接觸せしめた時の變化が如何なるかに就て行はれた。即ち Knudsen の式に従ひ體積 V の瓦斯溜の時間零及び時間 t に於ける氣壓を夫々 P_0 及 P_t として、長さ l、經 d なる導管を経て一定壓 p' で引く真空ポンプに繼がる系を考へる。此系の大小と真空度が分子流の條件を満足するものであれば

$$\frac{P_t - P'}{P_0 - P'} = e^{-\frac{C}{V}t} \quad ; \quad C = \frac{62.8 \times 10^3}{M^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{T}{273} \right) \frac{d^3}{l} \quad (1)$$

が成立する、M は氣體の分子量、T は絶対溫度、C は “conductance” である。斯くの如き氣相條件に於て氣體沈積を行つた時のオツシログラフは第二圖の實線の如くなる。W への酸素の吸着が 10^{-3} 秒以下で完了した事を示す。圖より見れば、最初部分的に O_2 で被覆されてゐたのが先づ急に清淨と成り續いて最初よりもづつと高度に汚れる事が、 10^{-6} mm 程度の微量の O_2 送入に依る熱電子電流の上昇及低下に依つて認定されるのである。點線は (1) 式に依つて計算された纖維に接觸される氣體の壓力の時間的變化を示す。

b) 溫度を上げる場合。吸着膜で被覆されてゐる纖維の溫度を急に上げて恒溫に於ける蒸發過程を見るのが主なる目的である。其爲に最初の熱的不安定な部分を分離出来る條件を撰ばねばならぬ。其故先づ清淨 W の溫度急昇の際の平衡になる迄の過程を知らねばならぬ。Langmuir

及 Jones²⁾ に依れば、最初温度 T_1 なる針金を急に温度 T_2 に成る様に切り換へてから熱的平

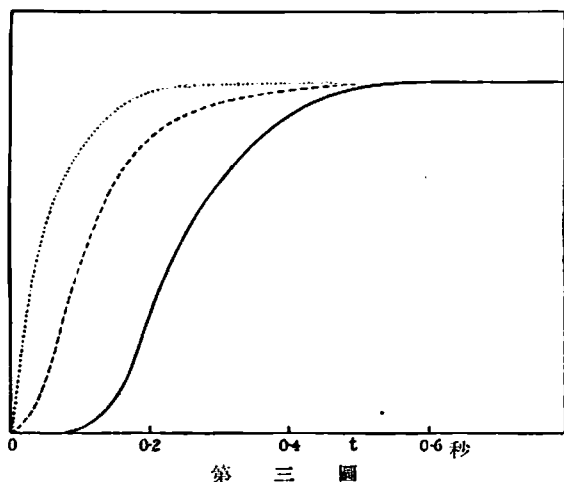


第二圖

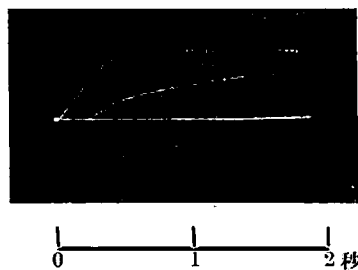
衡に近づく際の時間 t に於ける温度を T_t とすれば次式が成立する。

$$\frac{T_2 - T_t}{T_2 - T_1} = e^{-\left\{ \frac{W(t - n - n')}{HT_2} \right\}} \quad (2)$$

式中 W は温度を T_2 に保つ爲に要するエネルギー(ワット), H は熱容量 $\left(\frac{\text{ワット} \cdot \text{秒}}{\text{度}} \right)$ n 及 n' は温度及び W に特有な恒数である。



第三圖

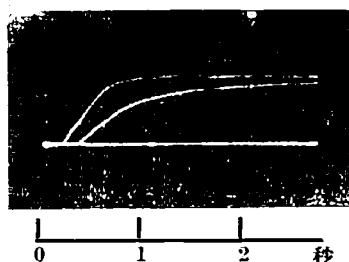


第四圖

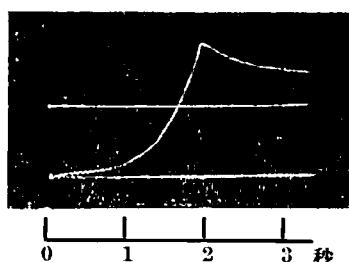
第三圖に於て、實線は清淨 W を 2065°K から急に 2445°K に上昇せしめた時の電子電流の上昇を示すオツシログラフ記録で第四圖の上方曲線より圖示されたものである、點線は(2)式から計算される繊維の温度上昇であり、波線は此理論温度に對應して Richardson の式より算出される熱電子流の上昇を示す。曲線の比較をして見ると、(2)式の小さな範圍の温度上昇に於ての理論を 300° といふ上昇に迄擴張したにも拘らず、オツシログラフは計算される電子流に敏感に追隨してゐる事が分る。而して此結果は再生的である。實線の最初の部分の遅れ約0.1秒はリレーの爲めである。第四圖の下側の曲線は最初酸素を吸着せしめた後 2065° から急に 2445°

に上昇せしめた時の記録で最初の温度では比較的安定であるが、より高温となると早く蒸發して清淨面の電子放出能への復歸が指數函数的である事を示す。第四圖の同様な寫眞である。

c) 10^{-6} mmHg 以上の壓力の O_2 に依つて汚される場合、Langmuir 及 Johns⁴⁾ の研究に依れば、酸素は 10^{-6} mmHg の壓力下に W 上に單原子層を形成し、之が生成は瞬間的であると考へられ其安定性は $2000^{\circ}K$ にて數分、 $2500^{\circ}K$ にて1~2秒の程度である。更に高壓になると、酸化反應が優勢と成り其結果 WO_3 の生成と成り、之は非常に蒸發しやすいとある。今 $2000^{\circ}K$ に於て 10^{-6} mmHg 以上の酸素を送入して W を汚した時の蒸發過程を見ると第五圖に見るやうに電子電流は 10^{-6} mmHg 以下で汚した面の電子電流を示す中央の水平線よりずつと小と



第 四 圖



第 五 圖

成るが、 $2000^{\circ}K$ といふ温度で蒸發が僅か2秒位で完了して(安定な O_2 吸着膜では數分)清淨面に相當した値に成るが、僅に残つてゐる酸素の爲にか更に再び汚れて電子電流は低下して行く事を示す。W 上の酸素膜は二種ある事は之からも明瞭である。⁵⁾

吸着粒子の滯溜時間並に蒸發熱、斯くの如く W 上の酸素吸着膜の生成蒸發過程が熱電子流の變化として明視化されたので、次には更にオツシログラフから W 上の酸素吸着粒子の滯溜時間及蒸發熱の算出を行つた。Langmuir⁶⁾ に依れば、熱電子電流 i を變化せしめる如き吸着層に依つて被覆された面の部分 θ は次の如くして表はされる。

$$\theta = \frac{\log i_0 - \log i_1}{\log i_1 - \log i_0} \quad (3)$$

i_0 , i , 及 i_1 は夫々部分的に被覆された面, 完全被覆面及清淨面の熱電子電流を示す。此式は被覆度が稀薄であるといふ假定の下に成立する。

T なる温度に於て吸着粒子の W 上の平均滯溜時間を τ とすれば、 θ は又時間 t に依つて變化する。

$$\theta_t = \theta_0 e^{-t/\tau} \quad (4)$$

θ_0 及 θ_t は夫々時間零及 t に於ける被覆部分を示す。又 τ は温度及蒸發熱に關係する筈である。即ち

$$\tau = \tau_0 e^{E/RT} \quad (5)$$

τ_0 の意味に就ては後述するが、其物理的解釋及數値は確定的でない。

前述の如く第四圖の上方の曲線は清淨 W の温度を T_1 より急に T_2 に上昇せしめた時の電子電流の上昇であり、下の方は始め T_1 で酸素を吸着したものを同じく T_2 に上昇した時、 T_2 に於て徐々に蒸發に依つて電子電流が恢復してゆく模様を示すものである。上曲線は熱的平衡

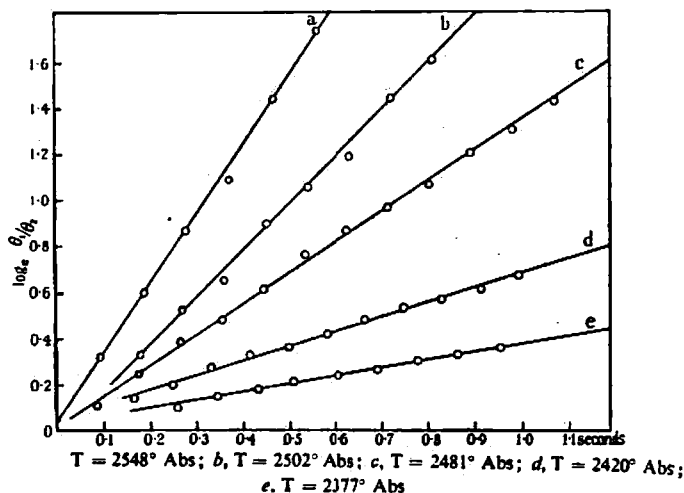
の成立する時刻を示すが故に下曲線の 其時刻以後の部分は 恒温蒸發過程を示すものに他ならぬ。此過程に於て時間 t_1 及 t_2 に於ける被覆部分を夫々 θ_1 及 θ_2 とすれば、(3)式より

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{\log i_0(2) - \log i_0}{\log i_0(1) - \log i_0}$$

又(4)式より

$$\log \frac{\theta_2}{\theta_1} = - \frac{t_2 - t_1}{\tau} \quad (6)$$

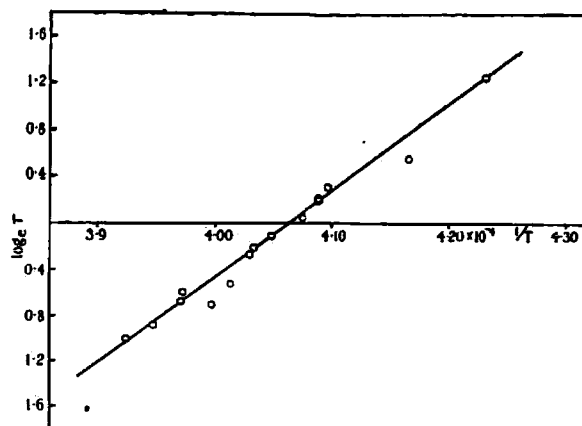
即ち第四圖の如き一組の曲線から、溫度 T_2 に於ける τ の値が(6)式の直線の傾きから出て来る。斯くして T_2 が $2377^\circ \sim 2548^\circ \text{K}$ 迄の種々の溫度に於ける實驗を總括すれば、第六圖を



第六圖

得る。即ち之より 2548°K に於て $\tau = 0.36$ 秒であるが、溫度の降下と共に大となつて、 2362°K では $\tau = 3.49$ 秒と成る。

又(5)式より $\log \tau$ を溫度の逆數に對して圖示すれば、第七圖の如き直線を得る。之より蒸



第七圖

發熱 E は $E = 147.000 \pm 3.000$ カロリー/瓦原子 と成る。(Langmuir の結果は、溫度 $1856 \sim$

2070°K で 162,000 カロリーである。) 此 E の値は纖維の條件に依つて種々變動する。即ち長らく使用して酸化還元を繰り返した試料では此値は大きくなり、反對に面が汚れて電子放出が炭素不純物を思はしめる如き特性を有する時は E の値は小さく成る。

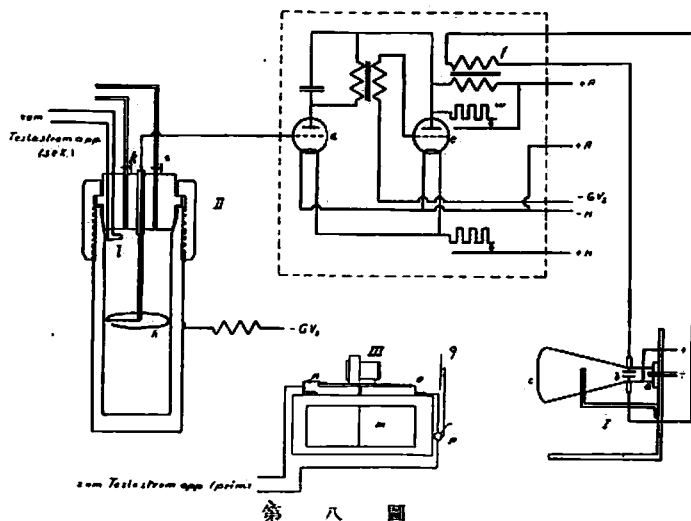
又 τ_0 の數値は第七圖から 8×10^{-14} 秒であつて、Frenkel の理論¹⁾ に依れば結晶格子上的原子の振動の週期は 10^{-13} 秒であるが、之と數值的によく一致してゐる。

以上の結果を要約すると、W 上の O_2 の吸着膜の沈積過程及蒸發過程の研究であつて、 O_2 壓 10^{-6} mmHg で 10^{-3} 秒以内に安定な吸着膜を造り、過剰の O_2 に依つて、 WO_3 生成が優勢と成り膜は不安定と成る。安定な O_2 吸着膜の 2377~2548°K の範圍に於ける蒸發速度を調べ、吸着粒子の平均滯留時間が 2548°K で 0.36 秒、2362°K で 3.49 秒なる事が分つた。又蒸發熱は $147,000 \pm 3,000$ カロリーと算定された。

2) ボム内の爆發の研究⁸⁾

爆發の研究方法として色々あるであらうが、此處で問題として居るのは、爆發が起ればイオン化が起り系内の電導度が増加するとし之を尺度として爆發の強さ、進行速度、繼續時間及び減衰する模様等を見而して可燃物のアンチノック性 (Klopfestigkeit) に何等かの關連を付けんとするにある。

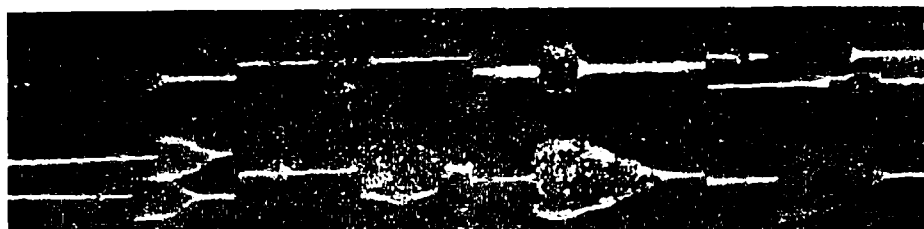
第八圖は其装置を示す。I はブラウン管、d は發振管で 650 サイクルの振動を出し、之は e に



依つて増巾され更に f に依つて變壓されて、ブラウン管に掛けられる。振動回路は圖より明かな如く爆發ボム II 内の兩極間即ち h なる銅輪とボムの壁が短絡されぬ限り切られてゐる。h は先端の輪以外は絶縁物で被覆されてゐる。l は發火させる爲の電極で、位置は挿入個所の 20mm 下、之より h 輪迄 110mm にしてある。i は瓦斯送用、k は壓力測定用導管である。III は落音器を改造した寫眞装置で、發火と撮影とを司る。要領は廻轉盤に接觸子が付いてゐて一回轉に一度、丁度カメラが光點の正面に來た時、高周波装置の一次回路を閉じる様になつてゐる。剃刀接觸子 O は閉閉器 P に通じ、夫は此回路を再び中斷する。其故發火は回路が n のみならず P にも閉じてゐる時のみ起る。回路が閉じると q なるシャッターが開く。ボムが短絡されず 650 の振動が入つてない間は陰極線集束を正確に 50 サイクルとして置くと、廻

轉せる乾板上に光點が波形を畫くので之を以て時間の標準とする事が出来る。

斯くして水素及び種々の炭化水素と空氣混合物の爆發に依つて得られるオツシログラフは第九圖の如くである。爆發は左より右に進行し、最初左側は50サイクルの波形が現はれ、續いて



第九圖 左上より右下へ順次に、 H_2 (第一表實驗2); ヘプタン(20); メタン(4); エチレン(上方が實驗8); ベンゼン(10及11); ヘクサン(15); チクロヘキサン(17); チクロヘキセン(18)。

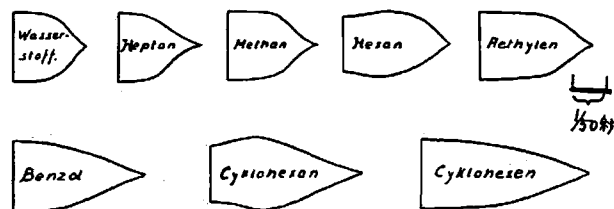
現はれる小さいキツクは點火を示す。而して最後に 650 サイクルの振動が大きい振巾を以て現はれる之の振巾は爆發の強さに關係するものであり、繼續時間はイオン化時間と呼ばれる。點火からイオン化の時迄の時間は、爆發が點火點から h 迄進行する時間を表はすものとして、之

第 一 表

實驗番號	氣體の種類	可燃物の含有量(%)	イオン化時間(秒)	焰の進行速度 (米/1000秒)
1	水素	35.49	0.043	>20
2	水素	46.20	0.036	>20
3	メタン	9.33	—	2.82
4	メタン	13.13	0.057	2.89
5	エチレン	5.52	—	5.24
6	エチレン	6.37	—	5.79
7	エチレン	7.28	—	6.11
8	エチレン	8.96	0.076	4.78
9	エチレン	9.13	—	3.66
10	ベンゼン	2.75	0.085	2.62
11	ベンゼン	3.01	0.085	2.39
12	ベンゼン	3.23	0.060	2.97
13	ベンゼン	4.04	—	2.56
14	ヘキサン	2.80	0.054	1.67
15	ヘキサン	3.18	0.065	2.34
16	ヘキサン	3.28	—	2.44
17	チクロヘキサン	3.07	0.100	3.33
18	チクロヘキセン	2.74	0.107	3.66
19	チクロヘキセン	3.67	—	2.04
20	ヘプタン	—	0.045	2.90
21	水素	26.07	0.058	>20
22	水素	44.17	0.050	>20
23	ベンゼン	2.65	0.068	2.33
24	水素	25.32	0.063	
25	メタン	8.75	0.051	
26	エチレン	7.38	0.087	
27	ベンゼン	3.05	0.082	
28	ベンゼン	4.06	0.064	

より焔の進行速度を算出してゐる。第一表は斯くして得られた結果を示す。實驗21~23は銅輪と點火點との距離を 20mm とした場合、實驗24~28 は銅線の被覆を取つて輪と點火點との距離を 110mm にしたもので、後者の場合は點火と同時にイオン化振動が入つて来るから焔の進行速度は算出出来ぬ。

以上の結果を見ると、イオン化時間に就ては、同一の混合物でも組成に依つて變化するものであるが、混合物は丁度爆發域の中央に位する組成を取つてゐるのであつて、上記各種の可燃物空氣混合物のイオン化時間の大小の順に並べると； H_2 、ヘプタン、メタン、ヘクサン、エチレン、ベンゼン、チクロヘキサン、及びチクロヘキセン。水素が最小で脂肪族之に續き、芳香族が最大である。此順列はモーター内のアンチノック性の順列とよく一致するのである。又爆發圖形を各瓦斯に就て模型的に比較すると第十圖の如くに成る。爆發の終止期に於てイオンの



第十圖

衰退の仕方に差がある事が分る。水素及脂肪族のものは芳香族のものに比して短い尻尾を持つてゐる輪狀電極の位置を變へても圖形の位置を變ずるが著しく形を變へることはなく、又絶縁被覆物を取つてもイオン化時間を長くするが、衰退期の模様には變化がない。

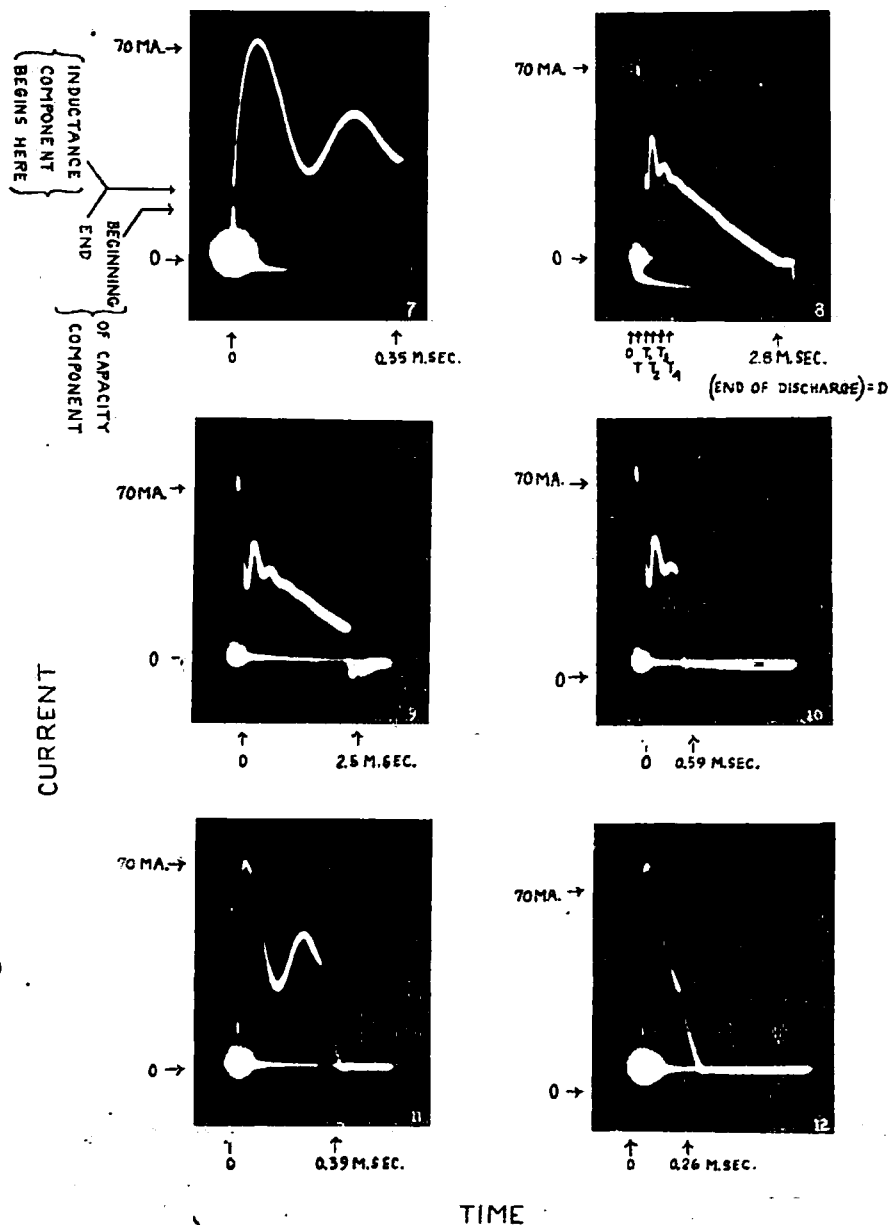
3) 感應コイルに依る氣體發火の機構の研究⁹⁾

電氣放電に依る發火 (Ignition) 現象は、夫に與る因子が多様であるので非常に複雑であつて其機構に關する理論も熱説 (Thermal Theory) 及勵起説 (Excitation Theory) 等があるが確定的のものはない。感應コイル放電に依るものも其主なる因子である二次回路のインダクタンス成分 (Component) 及容量成分の影響が古くから調べられてゐるが、此二つの因子各の獨自の役割をもつと明瞭にしたい必要があつた譯である。Finch 等は此因子の各一つを他に影響を與へずに變化せしめて其發火をオツシログラフに取つて組織的に研究したのである。

一次回路切斷に依る ($2CO + O_2 + 5\% H_2$) 混合氣體中の發火の代表的な電流—時間オツシログラムは第十一圖 (7) の如くである。上部曲線はインダクタンス成分に依るものであり、原點近くの曲線の缺除部分は容量成分に依るものである。一次回路を再び閉ぢる事に依つて放電を終止せしめる迄の時間を特別の裝置に依つて任意に調節して、(8)~(12)なるオツシログラムを得た。即ちインダクタンス成分の繼續時間に依る影響を見た譯である。發火中の放電兩極間の電位差は一定である事が別のオツシログラフから實測されるので、電流—時間曲線の面積から、發火の際消費されるエネルギーが算出される。第2表は斯くしてインダクタンス成分に對する發火の關係を表はしたものであつて、インダクタンス成分は非常に大きい役割を演ずるものである事が分る。又發火を起すのに最小のエネルギーが存在する事が分る。

又容量成分を調節した時現はれる結果を述べると、蓄電器に依つて短絡された放電間隙に直列に二極管を入れ、織條を充分加熱したものと同じで蓄電器を取去つて容量成分を消去したものとを比較すると、($2CO + O_2 + H_2\%$) 混合氣體に對して其發火力に殆んど差がないのであ

第 十 一 圖



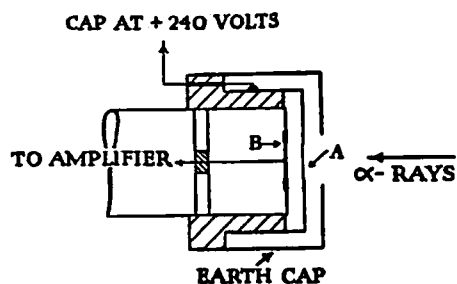
第二表 インダクタンス成分の影響

二次コイル切斷時	参照 オシログラム	インダクタンス成分 のエネルギー m. j.	インダクタンス成分 の継続時間 m. sec.	發火力 = [1000/最小發火壓] mmHg	最小發火壓 mmHg
放電終了後	8	20.5	2.81	9.43	106
T ₄	9	9.2	0.79	7.70	130
T ₃	10	7.4	0.59	7.41	149
T ₂	11	5.2	0.39	6.50	154
T ₁	12	2.4	0.20	5.13	195
T		約0.15	0.02	4.26	235

る。又二極管を蓄電器に依つて短絡し、鐵條を冷いまゝにして置いて、正常な容量成分だけでインダクタンス成分が無視出来る位に小さい時は、 $(2\text{CO} + \text{O}_2 + 5\% \text{H}_2)$ 混合氣體に對しては、容量成分のみを以てしては、どうしても發火せしめ得ない。又 $(\text{CH}_4 + \text{O}_2)$ 混合氣體に對しては、非常に高い壓力の時のみ發火せしめ得る。更に放電の尖頭電流及インダクタンスのエネルギーに對する發火力の關係が、 $(2\text{CO} + \text{O}_2 + 5\% \text{H}_2)$ 、 $(\text{CH}_4 + 2\text{O}_2)$ 及び $(2\text{H}_2 + \text{O}_2)$ 混合氣體に就て定量的に調べられた。結局發火力にはインダクタンス成分のエネルギーが一番大きい役割を演ずる事が明かにされた。

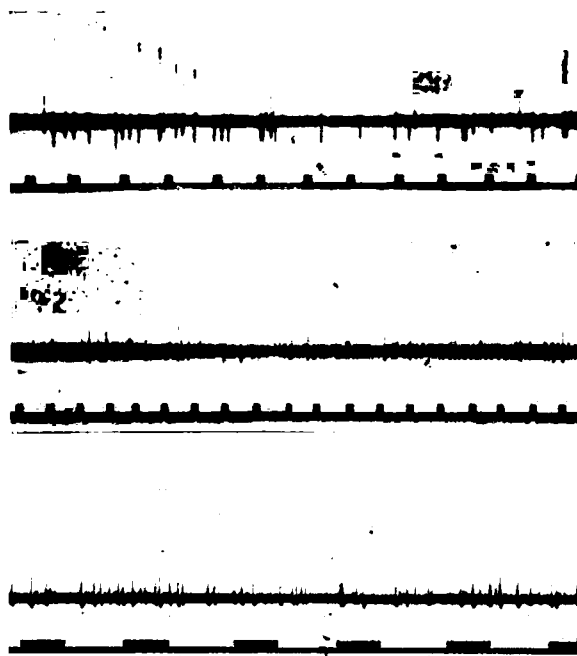
4) 高速度粒子計數への應用

近時目覺しく發展した原子核内化學反應に於て不可欠な高速度粒子の確認計數する方法の一つとして廣く用ひられてゐるので事新しく述べるまでもないがついでに“Newer Alchemy”¹⁰⁾の



第 十 二 圖

一節を拜借して簡単に附加する事とする。例へば粒子の計數には、第十二圖の如く α 粒子は金屬薄膜 A を通して確認室に入るが、平行に絶縁して置かれた B 板に依つて止められる。3~5 ミリ離れてゐる此兩板には兩極間に出来るイオンを迅速に取り除く爲め充分なる電壓が掛けられる。一個の α 粒子が入れば其爲に B の電壓の僅かの上昇となつて現はれるから、之を適當に増巾して現象傾向板に掛ければよい。斯く



第 十 三 圖

して得られるオツシログラフは第十三圖の如きもので垂直線は一つ一つの α 粒子の出現に相當するフレである。寫眞フィルムを迅速に運動せしめて一分間に 1000 程度の粒子を分離記録する事が出来る。同様にしてプロトンやデユトロンでも計數出来るが寫眞から分るやうに等しい速度のものでもイオン化力の差によつてプロトンに依る "kick" は α 粒子に依るものの約 $1/4$ と成つてゐるので、兩者の區別が出来る。

下の寫眞は中性子に依つて反跳せしめられたヘリウム核の計數を示す。5000 の中性子に對して高々一個の反跳 He 核が生ずる事と成る。 α 粒子等に依る原子内化學反應の生成物の計數も同様にして行はれる。

以上陰極線オツシログラフの化学への應用の二三の例を羅列するに止まつて別に結論はない。將來の發展を期待して擲筆する。

参 考 書

- | | |
|---|--|
| E. A. Alberti; <i>Braunsche Kathodenstrahlen und ihre Anwendung</i> (Springer 1932). | 一年). |
| R. A. Wattson-Watt, J. F. Hert & L. H. Bainbridge-Bell; <i>Application of Cathode Ray Oscillography in Radio Reserch</i> (His. Maj. Stat. Off. 1933). | 鈴木久王及大河平光雄; ブラウン管の應用 (昭和九年). |
| 米澤滋及高橋明; E記 Watt の著書の譯本(コロナ社昭和十年). | 浅尾莊一郎; ブラウン管並に電子顯微鏡論.
(電子工學講座, 共立社, 昭和十二年). |
| 鈴木久王及大河平光雄; ブラウン管(工政會 昭和十 | 笠井完; 陰極線オツシログラフ (昭和十二年). |
| | J. T. McGreogor-Morris & J. A. Henly; <i>Cathode Ray Oscillography</i> (Chapman 1936). |

文 獻

- | | |
|---|--|
| 1) Johnson M. C. & Vick F. A., <i>Proc. Roy. Soc. [A]</i> , 151, 296 及 308 (1935). | 6) Langmuir, <i>Phys. Rev.</i> 22, 357 (1923). |
| 2) Cosor Type C, Gass forcussing type; Bedford, <i>J. Inst. Elect. Engn.</i> , 71, 75 (1932). | 7) Frenkel, <i>Z. Physik.</i> , 26, 117 (1924). |
| 3) Langmuir & Jones, <i>Gen. Elect. Rev.</i> 30, 408 (1927). | 8) Tausz J., Görlächer u. Lorentzen J., <i>Z. ang. Chem.</i> , 44, 693 (1931). |
| 4) Langmuir & Jones; <i>Chem. Rev.</i> 13, 147 (1933);
後藤, 物化進; 9, 110 (昭和十年) 紹介参照 | 9) Bradford B. W. & Finch G. I., <i>Chem. Rev.</i> 21, 221 (1937). |
| 5) Roberts, <i>Proc. Roy. Soc. [A]</i> , 152, 445 (1935). | 10) Lord Rutherford, "Newer Alchemy." (Cambridge 1937). |