Hollow Cathode Discharge^{*}

吉 川 庄 一 (原研)^{**}

序 論

一種の pig 放電で、原理的には新しい事はないと思うが、手軽に Completely Ionized Plasma (少くとも現在迄の測定によれば) を作るのに適していると思うので、此処に報告する。装置は Fig. 1 の通り。今迄も勿論種々の報告に散見しているが (例えば Oak Ridge) 現在の所、我々の見る限りでは、電流に制限がないので ($>150\text{A}$) その意味で興味があると思う。

実 験 装 置

数字は Table 1 にまとめた。ガスはアルゴン、ヘリウム、水素を今迄に使い、Cathode の金属には、 ω , Ta を用いた勿論、Electrodes は水冷せねばならない、真空容器はパイレックスでは、熱くなり過ぎるので真鍮を水冷して用いている。放電の開始には、Welding RF Starter を用いている。磁場があると、RF をかけた時に、まづすぐに Anode にあたるので、開始が楽である。

Fig. 1.

* たとえば ORNL 2926, 2802, 2693 等参照。

** S. Yoshikawa (Japan Atomic Energy Research Institute)。

Table 1.

Pressore ;	$3 \times 10^{-4} \text{ mm Hg} \sim 2 \times 10^{-3} \text{ mm Hg}$
Flow of gas ;	$0.1 \text{ cc/sec} \sim 1 \text{ cc/sec S.T.P.}$
始動電圧 ;	$60 \sim 140 \text{ v}$
電 圧 ;	$20 \sim 70 \text{ v}$
電 流 ;	$15 \text{ A} \sim 150 \text{ A}$
磁 場 ;	$0 \sim 1,400 \text{ ガウス}$
拡散ポンプ ;	$700 \text{ l/sec} \times 3$
Cathode 半径 ;	$1/8" \sim 1/2"$ (恐らく更に大きく出来る)
Anode 半径 ;	$5/8"$
真空容器 ;	$2"$ 半径
Anode, Cathode 間隔 ;	$2" \sim 6"$

原 理

放電についてはいろいろの説があつたが (ORNL report) 多くの仮説は結局、くつがえされて、Cathode からの電子の放出は、i) Thermo ionic. ii) Thermo ionic + others という二つにまとめられている。ii) は Field emission 等々の影響を考えて、初めて十分に説明出来るというのだが、筆者のみる所では(i)だけで充分説明出来るようである。温度の測定は、比色計でなされたが、どうも充分な結論はまだ出ない、いずれ $E(\nu)$ カーブをとるつもりである。

Cathode の筒の中の圧力は、 1 mm 又はそれ以上に達する。(Much 流)、Cathode の Hot spot (一番明るい所) は $\text{Flow} \times \text{圧力}$ の函数として、前後に移動する。但し水銀装置の Hot spot のように、同じ条件のもとで動く事はない。

Cathode Anode 間の Plasma は $5 \times 10^{12} / \text{cc}$ 以上の密度がある。此は、 $I/\nu a e$ で計算しても、Probe で測定してもそうなる。(ν ; Anode Cathode 間の電圧に対応する電子速度、 a ; 断面積) マイクロ・ウェーブは、いかに見ついても $1 \mu \text{ Hg}$ の order しかない。従つて、Coulomb Collision が支配していると考えられる。実際 probe を $\pm 120 (\text{D.C.})$ に bias しても、別に急激に probe Current があがるというような事がない。

Hollow Cathode Discharge

測定

Ta の $1/8$ " 棒を中心に、まわりをBNでinslateしたLangmuir Probeで、種々測定を行つた。勿論、磁場がある時には、色々な時とは違う効果があり、その理論は面倒だが次の様な事が言える。

- (i) 温度は $1\text{ eV} \sim 2\text{ eV}$
- (ii) ion と electron の温度は同じ位、比はPlasma Potential が壁に較べて負の事から Tonks の言つた理論があてはまるとして、見事に説明出来る。
- (iii) 中心には所謂、primary electrons がある。
- (iv) Arc ($1/8$ ") から 2 " 離れた壁の近くでも、相当多くの ion 飽和電流がある。 $>10^8$ 此はDiffusion が Coulomb Collision によるとすると初めて、説明出来る。
- (v) ある条件のもとでは、(未だはつきり決定出来ない) 二つの operating mode があつて、一つでは異常なNoise の増加と probe 飽和電流の減少がある。(13~400 gauge)、恐らく此はLehnert や Oak Ridge で観測された noise による Loss と考えられる。その相違は、50%に達し、非常にはつきり表われている。Noise はk.c. の order で、此も、Oak Ridge の実験と合う。

実験

磁場に直角の拡散、Noise の測定等々、やる事は色々ある。筆者は弱い磁場(1,000 gauss 以下)における拡散測定と新しいprobeを作る計画をしている。triple probe など色々あるが、此は multipole probe で現在作っているのは、5枚の銅板からなっている。もう、probe を小さくする事は不可能なので、一層の事、systemに取り入れて、それを入れて、計算をする考えている。原理的にはもつと、数を多くする事は可能である。全部をFloating point にしておけば電場は、少なくとも、一次近似では全く無視する事が出来る。理由は磁場に平行には、sheath が出来にくい事による。(Fig 2)

少なくとも一次近似としては 此も Wall の一部として、取り扱える。

* L. Tonks Phys. Rev. 56 360(1939)

** β .Lehnert. Proc.Geneve Conf.(1958)32 P349.

四重極なので、probe による、局所電場が遠く迄影響を与えないであろうというのが筆者の考えである。もう一つ、タングステンのピンを使つて、12極位の probe を作る計画をしている。

装置の改良

現在の装置には種々な不便な点があり、新しい装置として、作るには次の様な欠点を是正すると良いように考えている。

- i) Arc の長さを長くする。勿論、コストはかさむ。(Magnet)
- ii) 拡散ポンプを余計につける。
- iii) Cathode を外部から別の回路で熱する。Ta (又は ω で作れば) のCathode なら 1,000 A位迄は充分引き出せるだろうし、pulse を加えれば 10,000A迄行くのではないかと思う。

以上は、M.I.T.Fusion group の Lawrence Lidshy, Stephen Rothleder それに筆者の共同実験で、Dr.David Rose のもとでResearch Lab.of Electronics でなされている。此のHCD は最初 Oak Ridge においてdevelopされたものである。