

冷陰極直流放電大阪管による電磁波輻射

宮脇 沢美*, 上田 洋征*, 森田 正信**

Radiation of Electromagnetic Wave by the Cold-Cathode DC Gaseous Discharge Ōsaka Tube

Sawami MIYAWAKI,* Hiroyuki UEDA,* and Masanobu MORITA**

(Received September 19, 1968)

Some experimental results on the cold-cathode DC gaseous discharge Ōsaka tube working as an oscillator are described. To make this tube work as a high power oscillator, it is necessary to produce a plasma in a gas at low pressure (e.g., in air at about 10^{-4} to 10^{-2} Torr) by means of DC discharge. The plasma thus produced is found to consist of the negative glow. It is also found that the oscillation power output is extremely influenced by a resonant circuit length.

List of Symbols

H -Magnetic field strength
 V_A -Supply voltage
 I_a -Discharge current
 R_S -Stabilized resistance
 L -Resonant circuit length
 P -Gas pressure

1. 緒 言

近年、気体放電によって生成されたプラズマはプラズマ物理学、マイクロ波プラズマ電子工学等の分野において基礎研究ならびに応用研究に盛んに使われている。一般に高電離プラズマは核融合、MHD発電等の、また弱电離プラズマは電磁波の輻射、増幅、検波等^{1,2)}の研究に使われている。

超高周波の発生を目的とした冷陰極直流放電を用いた磁電管の研究は岡部金治郎博士によってなされたものがある³⁾。また最近では超高周波の発生よりもむしろ電力変換を目的としたPIG放電機構を用いた熱陰極あるいは冷陰極のプラズママグネトロンと称する電子管の研究がなされている⁴⁾。これらはいずれもその動作原理は真空状態における磁電管の動作原理にはほぼ一致するという実験結果が報告されている。筆者らは電磁波の検出、輻

射、増幅を目的として大阪管内に熱陰極ならびに冷陰極で直流放電をおこさせ研究を行なっている。おもに熱陰極放電では電磁波の検出^{5,6)}、冷陰極放電では電磁波の輻射を目的としている。低いガス圧力で冷陰極直流放電により大阪管内に弱电離プラズマを生成させることにより比較的大きな出力で電磁波の輻射が可能なることを実験的に確かめた。この実験結果において、おもに印加電圧、印加周界、共振回路長が発振出力、放電電流、周波数等いかに寄与しているかを定性的に考察した。

2. 実験方法

実験装置と実験に使用した電極構造(平板型)をFig. 1にその電極寸法をTable 1に示す。試作した管型は平板型、円筒型である。電極材料はスパッタによる電極の破損をふせぐため厚めのモリブデン板(0.25mm厚)を使い、ガラス管は超硬質(商品分類名K-250)を使用している。 10^{-3} Torr程度までの真空度は100ℓ/min油回転ポンプで、 10^{-3} Torr以上の真空度は油回転ポンプで充分排気した後、8ℓ/secイオンポンプで排気し設定した。真空度は 10^{-3} Torrまではピラニー真空計で、それより高い真空度は電離真空計で測定した。共振器は5.0mmφの銅パイプを使って平行二線式伝送線を作り、これを外部共振回路とし、この回路長は可動短絡板でかえられるようにしている。発振周波数の測定には吸収型周波数計と試作したレッヘル線波長計を用い、発振出力はクリスタルIN23Bを使った非同調検波器を用いその検波電流を出力の相対値としている。実験

* 本学自然科学科 (Department of Liberal Arts and Sciences—Physics)

** 関西大学工学部 (Faculty of Engineering, Kansai University)

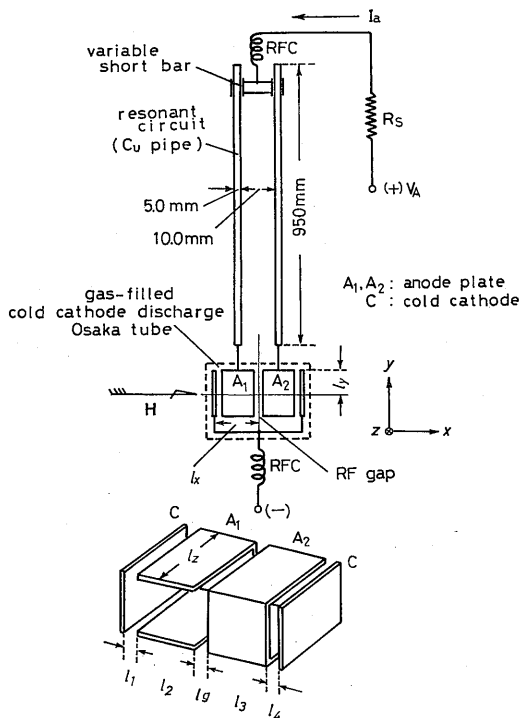


Fig. 1 Experimental arrangement and an electrode structure of the rectangular type.

的に残留ガス (Air) の場合, およそ $10^{-4} \sim 10^{-2}$ Torr の範囲の真空度で直流放電を起すと比較的強く発振し, スパッタ現象もあまり起らないことを確かめたので, この範囲の真空度で発振特性を共振回路長, 電源電圧, 磁界, 安定抵抗の値を変えて調べた。

Table 1 Electrode dimensions (mm)
 r_a : Anode radius
 HO: Rectangular type
 CO: Cylindrical type

Tube	l_x	l_y	l_z	l_g	l_1	l_2	l_3	l_4	r_a
HO-1	5.53	2.02	10.15	0.45	1.05	4.01	4.00	1.95	—
HO-2	4.15	2.05	7.99	0.39	1.00	3.02	3.10	0.80	—
CO-1	4.03	—	—	0.15	1.00	3.00	3.02	0.90	4.05

3. 実験結果と考察

筆者らが冷陰極直流放電大阪管により電磁波の輻射が可能なのはすでに発表しているが⁷⁾, 発振出力が弱くて正確な動作特性を知ることができなかった。したがって発振出力を強められるかどうかということが課題であった。

冷陰極直流放電大阪管で, 安定でしかも強い発振出力を得るためには, 低いガス圧力を必要とし, 残留ガス (Air) の場合は $10^{-4} \sim 10^{-2}$ Torr の間のガス圧力が適当であることを実験的に確かめた。普通の放電管は一般に陰極と陽極は平行であるが, 試作した大阪管は垂直になっており陰極の形状は冷陰極放電管で使われる中空陰極⁸⁾に相当する。また陰極と陽極の間の距離はかなり短い。一方, $10^{-4} \sim 10^{-2}$ Torr の間のガス圧力においては電子の平均自由行程がおよそ $2.6 \times 10^2 \sim 2.6$ cm (0°C) である。したがって電子の平均自由行程が電極間距離にくらべて長いので, 電離しにくい状態にある。放電を起させるためには, この場合, 高い電圧を必要とする (3KV 以上)。しかし磁界を印加すれば 3KV 以下の印加電圧において放電を起すことができ自統放電を得ることができる。このことは γ 作用により陰極から出た二次電子が磁界によりその径路を長くして α 作用が起こりやすくなるためと考えられる。

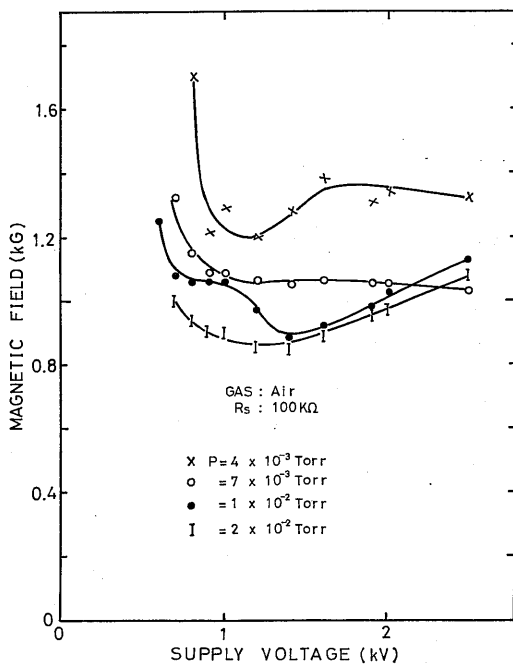
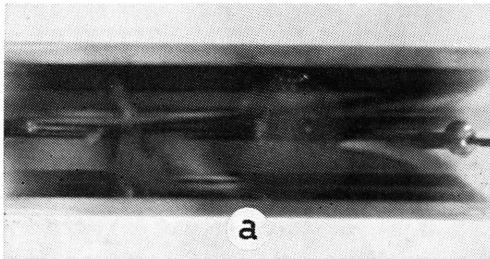


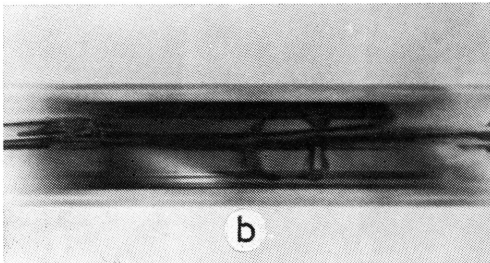
Fig. 2 Dependence of the magnetic field starting discharge on the supply voltage, with the parameter P. (Tube HO-2)

ガス圧力をパラメータとして電源電圧に対して放電を起させるために, 最低必要な磁界についての実験結果を Fig. 2 に示す。一般に低いガス圧力のときの方が高いときにくらべて放電を開始させるためには高い磁界を必要とする。しかし電源電圧が高いときに必ずしも低い

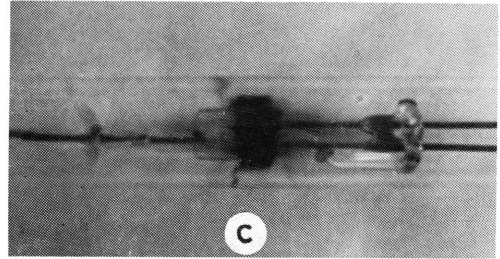
磁界で放電を開始するとは限らなかった。また安定した自続放電を得るためには陽極を円筒型にするか、平板型なら **Fig. 1** に示したような電極配置にしなければならない。すなわち軸対称か、あるいはそれに近い形の陽極を用いなければならないことを実験的に確かめた。



(a) $Ar-9.0 \times 10^{-2}$ Torr, thickness of a Mo plate=0.07mm.



(b) $Ar-1 \times 10^{-1}$ Torr, thickness of a Mo plate=0.07mm.



(c) $Air-9.0 \times 10^{-3}$ Torr, thickness of a Mo plate=0.25mm.

Fig. 3 Mo deposited state on the glass by sputtering in DC discharge.

高電圧、高磁界で動作させると必然的に冷陰極放電管において避けることのできないスパッタ現象が起る。この現象は電極の破損、電極間の絶縁不良、特性の劣化や変化を招く。したがってこの現象を極力押えるようにしなければならない。アルゴンガスを使用すると **Fig. 3** (a), (b) に示すように内部の電極が見えないくらいに広範囲にわたってスパッタによりモリブデンの薄膜がガラス管に付着する。そして動作は不安定で変化が激しく、モリブデンの付着が多くなるに従い発振出力は急激に低下し、ついには電極間の絶縁不良を起し陰極は破壊されてしまう。**Fig. 3** (c) に示すように Air を用いれば部分的にスパッタが起る程度で比較的安定した発振特

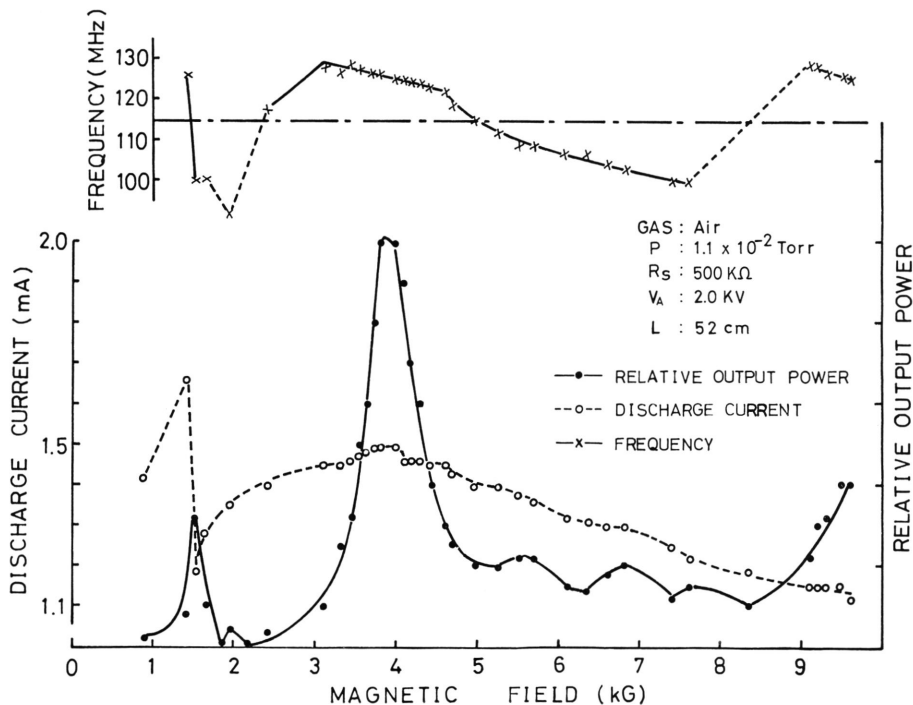


Fig. 4 Oscillation characteristics as functions of the magnetic field. (Tube HO-1; $P=1.1 \times 10^{-2}$ Torr, $V_A=2.0KV$, $L=52cm$)

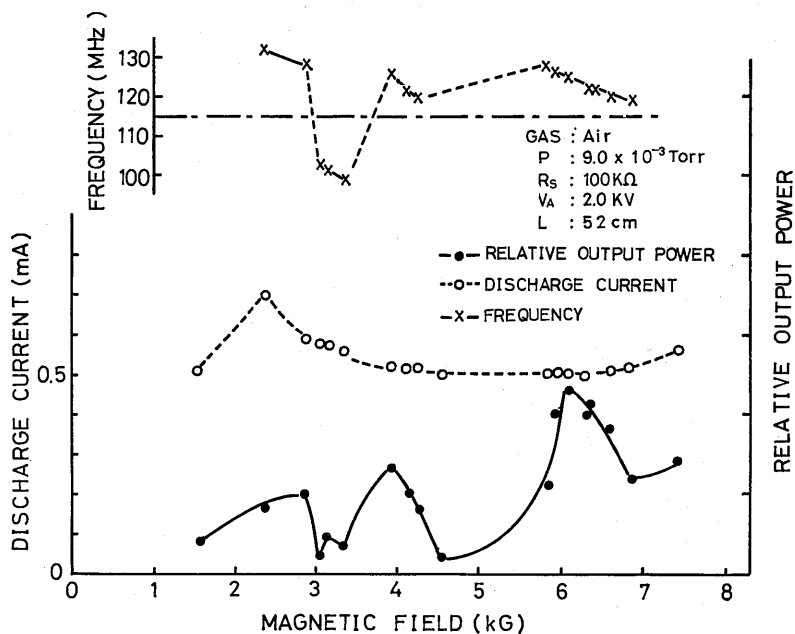


Fig. 5 Oscillation characteristics as functions of the magnetic field. (Tube HO-2; $P=9.0 \times 10^{-3}$ Torr, $V_A=2.0$ KV, $L=52$ cm)

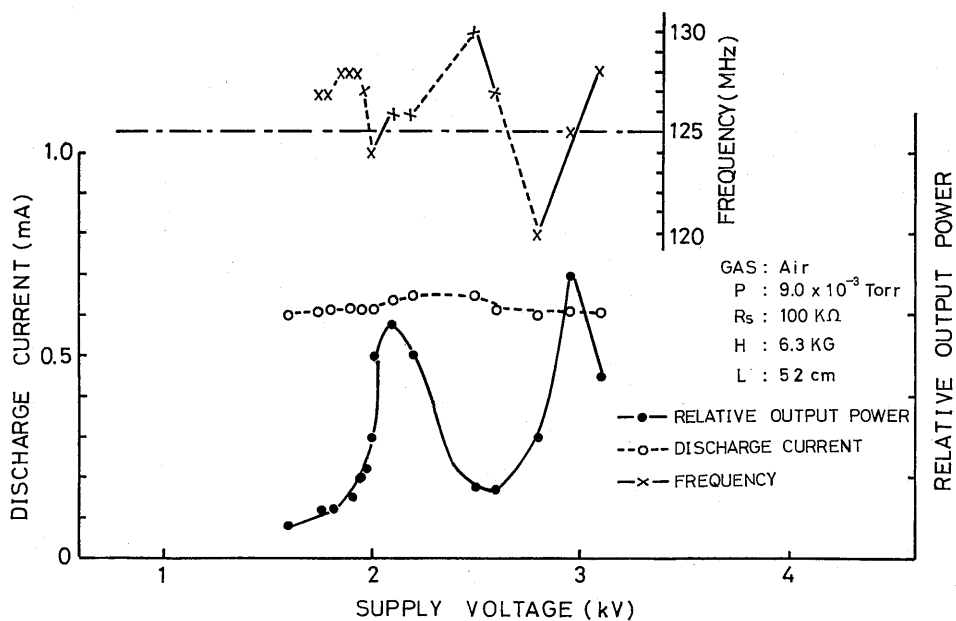


Fig. 6 Oscillation characteristics as functions of the supply voltage. (Tube HO-2; $P=9.0 \times 10^{-3}$ Torr, $H=6.3$ kG, $L=52$ cm)

性を得ることができる。最近、このスパッタ現象を積極的に利用して真空蒸着法よりも多くの利点を有しているスパッタ法による薄膜集積回路や半導体集積回路の製作に使われている⁹⁻¹⁰⁾。

放電を起させるのに磁界が必要であることについては上述したが、同時に最適な発振出力を得るためには適当な磁界を印加しなければならない。発振出力が極大値となるような磁界の値がいくつも存在し、出力が極大値になる付近の周波数は磁界が高くなるにつれて低くなる。また磁界に対する放電電流は、放電を開始してから高磁界になるに従い減少する。したがって発振管としてよく動作しているガス圧力領域においては磁界は、放電を起すきっかけをつくるが高磁界になっても、さらに電離度の高いプラズマを作ることにはない。逆に磁界が高くなるにつれて放電電流が増加することがあるがこの場合には発振出力は急激に減少し発振なくなり、ついには10mA以上の放電電流が流れるようになる。この場合のガス圧力はAirではおよそ 10^{-1} Torr 以上であった。またこの領域のガス圧力になれば、放電開始電圧が低くなるため1KV前後で磁界を印加しなくても放電が起り、磁界を高くしても放電電流を減少させることはできず発振もほとんど起らない。**Tube; HO-1, HO-2** における磁界に対する発振特性は **Fig. 4, Fig. 5** に示す。

印加電圧に対しても発振出力が極大値となる最適な値が存在して、極大値になる付近の周波数は印加電圧が高くなるに従い高くなる傾向を示し、また放電電流は発振出力が極大値になる付近で少し増加する。なお2.5KV付近になるとスパッタ現象が激しくなってくる。**Fig. 6** は **Tube; HO-2** における電源電圧に対する発振特性である。安定抵抗は $50 \sim 500 K\Omega$ の範囲においてほぼ同じ特性を得ることができたので任意に選んで設定した。なお動作時における作用空間内のグローは負グローである。

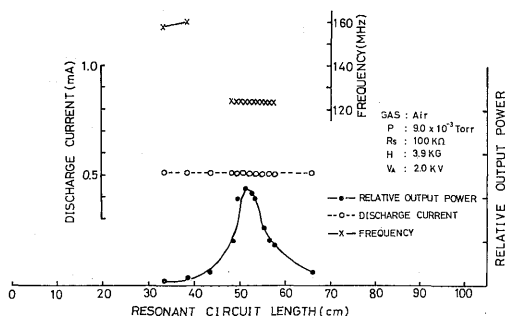


Fig. 7 Oscillation characteristics as functions of a resonant circuit length. (**Tube HO-2**; $P=9.0 \times 10^{-8}$ Torr, $H=3.9kG$, $V_A=2.0KV$)

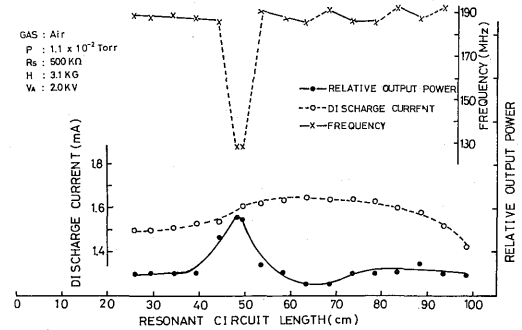


Fig. 8 Oscillation characteristics as functions of a resonant circuit length. (**Tube CO-1**; $P=1.1 \times 10^{-2}$ Torr, $H=3.1kG$, $V_A=2.0KV$)

発振出力は共振回路長により強く影響を受け **Fig. 7, Fig. 8** に示すように、特定の回路長でのみ強く発振しその周波数は共振回路の自己共振周波数にほぼ一致する。このことは平行して研究を行なっている冷陰極直流放電偏分割磁電管の特性とよく似た結果である。印加電圧および印加磁界に対する周波数の変化はB型磁電管¹¹⁾の特性と類似している。

4. 結 言

冷陰極直流放電大阪管が比較的大きな出力で電磁波を輻射し発振周波数は100から200MHzの程度で発振出力、発振周波数とも共振回路長により強く影響を受け、印加電圧や印加磁界に対する周波数の変化はB型磁電管に、発振出力の変化は真空大阪管の動作と類似していた。真空大阪管の基本波の場合と同等と考えるならば中心電位が印加電圧の1/100に降下していることになる。しかし1/100の降下は大きすぎるので真空大阪管の場合とは別の動作機構とも考えられる。したがって作用空間内の電位分布、電子密度等の測定を定量的に行なう必要がある。また冷陰極直流放電磁電管にも類似点が多くあるのでこれとの比較検討も行なわねばならない。

5. 謝 辞

終始われわれの研究に対して有益な討論、ご助言をいただきました関西大学工学部大東延久講師に謝意を表します。また筆者らの研究に日頃ご援助ご助言を賜わります工業物理学科勝守寛教授ならびに実験装置の使用にご配慮をいただきました工業物理学科安達竜三主任教授、物理学教室岡本夏男教授に深謝します。アブストラクトに加筆を賜わりました高木大幹助教授に深謝します。なお吸収型周波数計の使用にあたって電子工学教室のご配慮にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) F.W. Crawford et al. : Proc. IRE, P.1767 (Dec. 1961).
- 2) H. Farber et al. : Contract AF **19**(604)-4143, (Feb. 1959).
- 3) K. Okabe : Proc. IRE, **20**(11) (Nov. 1933).
- 4) 木暮, 他 : 昭43電連大, No. 1476.
- 5) 宮脇, 上田, 森田 : 昭43電連大、No. 1470.
- 6) 宮脇, 上田, 森田 : 中部工大紀要, **3** (Nov. 1967).
- 7) 大東, 上田, 森田 : 昭42電連大, No. 1650.
- 8) J.W. Gewartowski et al.: *Principles of Electron Tubes*. D. Van Nostrand, 1965.
- 9) 織田, 他: 信学誌, **51**, 7, P. 849 (昭43-07).
- 10) 三岡、他 : 応用物理 **37** (1968) 431.
- 11) 朝永, 小谷 : “極超短波磁電管の研究” みすず書房, 1952.