HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	プラズマ振動
Author(s)	西辻, 昭
Citation	北海道大學工學部研究報告, 24, 99-107
Issue Date	1961-02-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40667
Type	departmental bulletin paper
File Information	24_99-108.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

プ　ラ　ズ　マ　振　動

西　辻　　昭

Plasma Oscillation

Akira NISHITUJI

Abstract

The auther found that the plasma oscillation could be observed in hot-cathode discharge tubes or mercury arc rectifiers, as the noise or oscillation character.

It was explained that the generative conditions depended on the discharge currents, filled pressure and electron beam from the cathode.

The experimental results are expected to be useful for the generative or protective method of the plasma oscillation.

目　　次

1. 緒　　論 …… 99
2. 低気圧放電の際に発生する振動及び雑音の分類 …… 100
3. 実験結果 …… 101
4. 実験結果に対する考察 …… 106
5. 結　　論 …… 106

1. 緒　　論

プラズマ振動は1929年にI. Langmuir と L. Tonks[1] によつてその概念が導入され，1949年には D. Bohm と E. P, Gross[2] によつて拡張された理論が発表されている。

実験としては，古く1926年の Penning[3] に始まり，数多くの実験結果が報告されている。

欧米に於いては，最近になつてプラズマ振動を利用した増幅及び発振管の試作研究に迄進展している。一方我国に於いてはプラズマ振動の検知に成功した人も少なく，プラズマ振動そのものの性質も実験的には十分に明らかにされて居らない。プラズマ振動を検出するには，特殊な電極構造を有する放電管によらねばならないと考えられていた。

筆者はプラズマ振動が，手近かな封入気圧の低い，放電管及び水銀整流器にも発生している事実を明らかにすると共に，プラズマ振動の発生条件を明らかにした。

プラズマ振動は，極寒地に於いては条件によつて電波防害になつたり，原子核融合反応研究の熱雑音測定及び密度測定の誤差の原因になる事を示した。

又このプラズマ振動の発生研究は，今後開発されるプラズマ振動を利用した増幅管及び発

振管の開発基礎研究に役立つものと思われる。

2. 低気圧放電の際に発生する振動及び雑音の分類[4]

筆者が実験の対称にしたプラズマ振動は仔細に観察すると，雑音的になつたり，強い振動に変つたりする。一方低気圧放電に於いては，各種の雑音及び振動が発生するのでプラズマ振動とまぎらわしい為，これらを分類しその差異を明きらかにした。即ち雑音及び振動は電子の物理定数に結び附くものと，イオンの物理定数に結び附くものがあり，第1表のようになる。尚表中の周波数範囲は多くの人々の実測結果を参考にしてある。

第1表 雑音及び振動の分類

支配する物理量	雑音及び振動の名称	測定周波数範囲
電子	熱雑音	周波数によらない
	ショット雑音	10 Mc～100 Mc
	プラズマ振動	300 Mc～4600 Mc
正イオン	陽極振動 (1) 振動的	(1) 1000 c/s～数 100 Kc
	(2) 雑音的	(2) Dc～数 M c/s
	陽光柱空間電荷波	数 100 c/s～数 1000 c/s
	陰極振動 (1) 振動的	(1) 50 Kc～数 M c/s
	(2) 雑音的	(2) Dc～数 Mc/s
	強制振動	数 K c/s～数 Mc/s
	Ramser-Townsend 振動	数 M c/s
	プラズマイオン振動	数 100 Kc～10 Mc

表中の雑音及び振動について簡単に説明する。

電子の物理定数に支配される雑音及び振動

(1) 熱雑音　プラズマの中の電子は電子温度に相当するマックスウェル速度分布をもつている。電子はプラズマ中の電界によつて加速され運動のエネルギーを得たり，中性分子と衝突してエネルギーを失つたりする。即ち電子温度は高い値を取り，電子は不規則運動をするために個々独立の電流パルスが生ずるので熱雑音が発生する。

(2) ショット雑音　プラズマ中の電子は，プラズマに加わつている電界の為に陽極方向にドリフトを受ける。この為に熱雑音に重畳した電子の動きによる電流パルスが，ショット雑音として観察される。

(3) プラズマ振動　プラズマ中の電子群が何らかの作用によつて変位し，空間電荷が発生するとクーロン力の作用により直ちに変位をもとに戻す力が作用する。しかしその変位が平衡点に戻つた時も余分の運動エネルギーを持つているので，平衡点の周りに静止する事なくプラズマ振動を起す。

正イオンの物理量に支配される振動及び雑音

(1) 陽極振動　陽極振動は振動として観察される場合と雑音として観察される場合がある。これは封入気圧によつて異なる。封入気圧が高く集団的な陽極降下部の変動が起る場合は振動となり，封入気圧が低く陽極降下の各部が独立に変動すると雑音となる。

陽極振動は何等かの原因により平衡状態より電位降下層の正イオンが不足すると，負の空間電荷が多くなり陽極降下は急峻となる。この為に電子は加速されて過剰なイオン化が起る。そこで正イオンが過剰に出来ると，電界に依り移動する正の空間電荷の為に陽極降下はなだらかとなり急激なイオン化が停止する。このような現象を繰り返すので正イオンの伝達速度やイオン化時間よりは早い変化とはなり得ない。

(2) 陽光柱の空間電荷波　これは陽極振動及び陰極点の変動に起因して起り，陰極から陽極に向う電流変動と，陽極から陰極に向う電界変動が相互作用して起る空間電荷の波動である。

(3) 陰極振動　陰極振動は陰極より出る電子ビームに起因する事が判明した。これは陰極前面の陰極降下に流入する電子流の為に発生するもので，陽極変動と同一機構による。

(4) 強制振動　強制振動には二種類ある。一つは放電管とこれに並列に挿入された容量との間の充放電による鋸歯状波振動である。他は浅見教授と筆者の共同研究により見い出した格子制御作用を用いた増幅放電管によるものである。

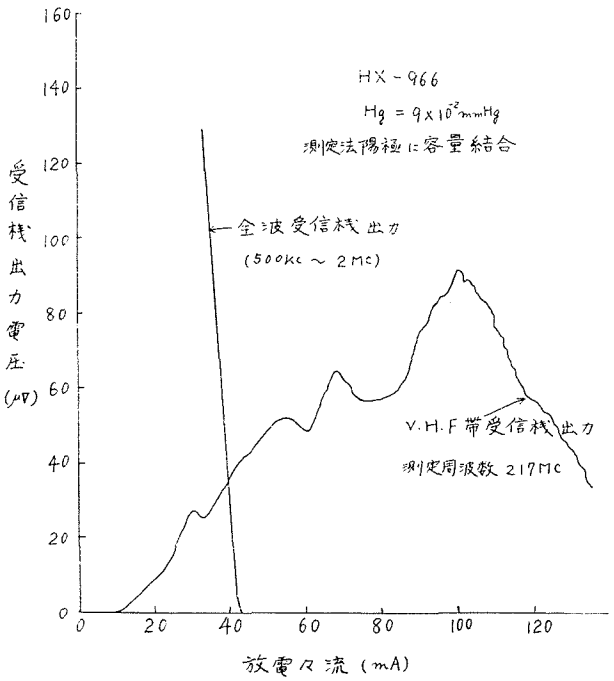
(5) Ramsaer-Townsend 振動これは電子の衝突断面積が電子の速度によつて変るが，これが速度に対して山を持つような特性の封入ガスでは，加速された電子は高速の電子群と低速の電子群に分れる事に起因する。

(6) プラズマイオン振動　これは電子に対するプラズマ振動と全く同様に考えたものである。

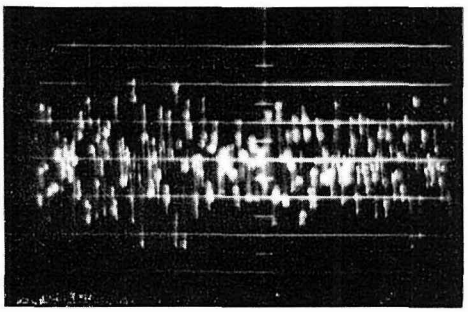
今回は特に之等と区別する実験を行ひながら，プラズマ(電子)振動に就いて述べてある。

3. 実験結果

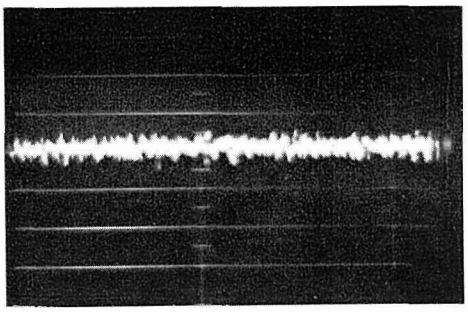
筆者はプラズマ振動を測定するのに V·H·F 帯の受信機を用いた。又検出にはアンテナ・プローブを用いたり，陽極に容量結合する方法を取つた。



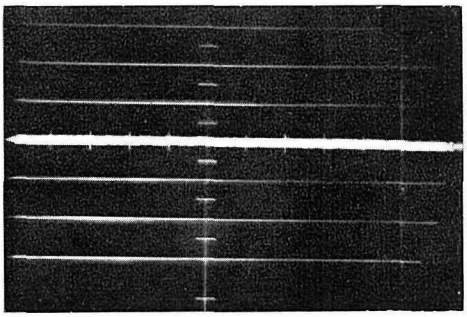
第1図(a)　陽極振動及び陰極振動の受信機出力とプラズマ振動の V·H·F 帯受信機出力との比較



HX-966
放 電 電 流
10 mA
振幅 0.2 V/cm
掃引時間 5×10^{-6} sec/cm



HX-966
放 電 電 流
30 mA
振幅 0.02 V/cm
掃引時間 5×10^{-6}sec/cm



HX-966
放 電 電 流
50 mA
振幅 0.02 V/cm
掃引時間 5×10^{-6}sec/cm

第1図(b) (a)図に対応するシンクロスコープに依る陽極振動波形

尚測定周波数範囲は V·H·F 帯 (90 Mc～200 Mc) である。

プラズマ振動の測定周波数が低いので，陽極振動及び陰極振動の高周波成分と区別する事を行なつた。即ち全波受信機及びシンクロスコープで，陽極振動及び陰極振動を観測すると同時に V·H·F 帯受信機でプラズマ振動を検出し，これ等を分離する方法を取つた。この実験では陽極振動及び陰極振動がプラズマ振動とは無関係で独立に発生しており，共存する場合と単独に発生する場合とがあつた。

HX-966 放電管の場合を例に取ると第1図の様になる。即ち放電電流を変化した場合の，全波受信機，V·H·F 帯受信機の出力電圧の比較を (a) に，シンクロスコープ波形の変化を (b) に示した。尚 HX-966 の放電管の封入気圧を変える目的で，管壁温度を 80°C から 40°C に変えると，この封入気圧では全放電電流領域で，陽極振動及び陰極振動は観察されず，放電電流 15 mA 以上でプラズマ振動が観察された。

(1) 各種放電管とV·H·F帯雑音の有無

筆者はHX-966放電管でプラズマ振動の検出に成功したので，数多くの放電管を集め，陽極振動及び陰極振動とプラズマ振動とを別々に観測した。これを第2表に示す。

尚表中の陽極振動・陰極振動及びプラズマ振動は，全放電電流について調べたもので，放電電流の一部の範囲で発生している場合も含んでいる。

第2表 プラズマ振動の有無

放電管	封入ガス	封入気圧 (mmHg)	陽極振動及ぶ陰極振動	プラズマ振動
76型	He	1	有	無
	He	5	〃	〃
	Ar	10^{-1}	〃	〃
	Ar	1	〃	〃
	Ar	5	〃	〃
	Xe	1	〃	〃
	Xe	5	〃	〃
	Hg	1.3×10^{-2}	〃	有
螢光燈 (20 W)	Ar+Hg	3～5	有	無
螢光燈 (40 W)	Ar+Hg	3～5	〃	〃
螢光燈 (特殊)	Ar+Hg	3～5	〃	〃
HX-966	Hg	1.5×10^{-2}	有	有
2G-57	Hg	1.5×10^{-2}	〃	〃
試作放電管 (電子銃付き)	Hg	1.5×10^{-2}～4×10^{-1}	〃	〃
水銀整流器	Hg	1.5×10^{-2}～5×10^{-1}	〃	〃

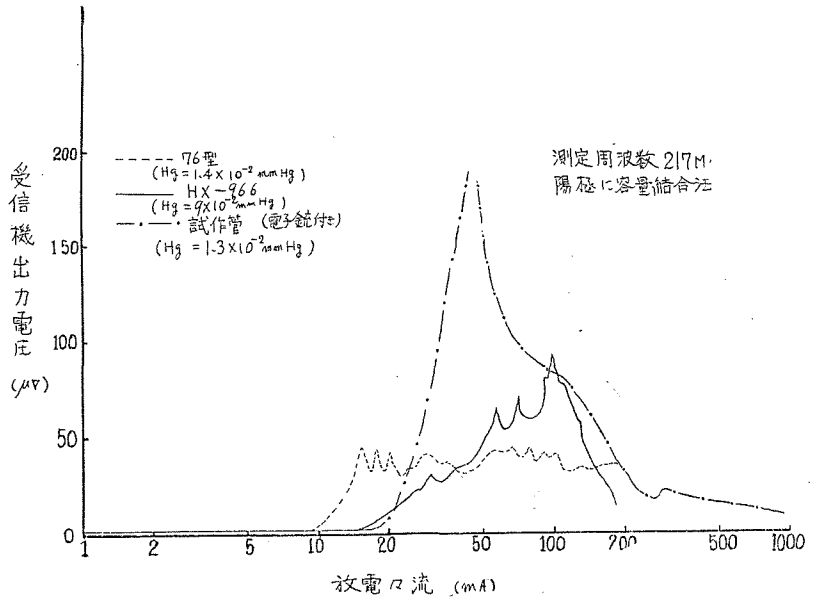
(2) 放電電流との関係[5),6),7),8)]

放電電流の変化と放電のモードは密接な関係を有している。即ち放電電流を増大して行くと，プラズマが増大し放電管内一面に拡がる。一般に，プラズマが放電管内一面に拡がるとプラズマ振動が発生していた。

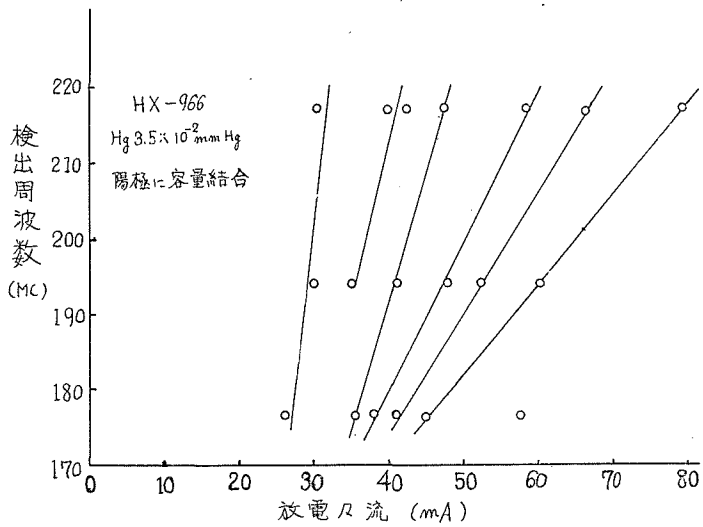
放電電流を変化する場合には，放電電流の少ない状態では，プラズマ振動が観察されず，放電電流を増加して行くと検出電圧は増大し，更に放電電流を増大すると観測周波数に対する検出電圧は減少する傾向を示す。

HX-966・76型(Hg封入)試作管を例に取ると第2図の様になる。観測した放電管では特に76型(Hg封入)の場合のみ平坦な出力電圧が観測されている。

第1図(a)からもわかる様に放電電流を増大して行く過程に強いプラズマ振動のピークが観察される。このピークは数多くある。そこで観測周波数を変えて，このピークの強いものを選び出し放電電流対観測周波図表上にプロットしたものが第3図である。これ等ピークは一連のグループとなり，放電電流の増大と共にプラズマ振動の周波数が増大する事を示している。



第2図 放電電流の変化に対して検出されたプラズマ振動



第3図 強いプラズマ振動の放電電流に対する周波数変化

尚強い出力電圧を示すピークに対応する放電電流でも受信機の音声に雑音が入るが，ピークをはずれると更に強い雑音が聞えた。

(3) 電子ビームとの関係

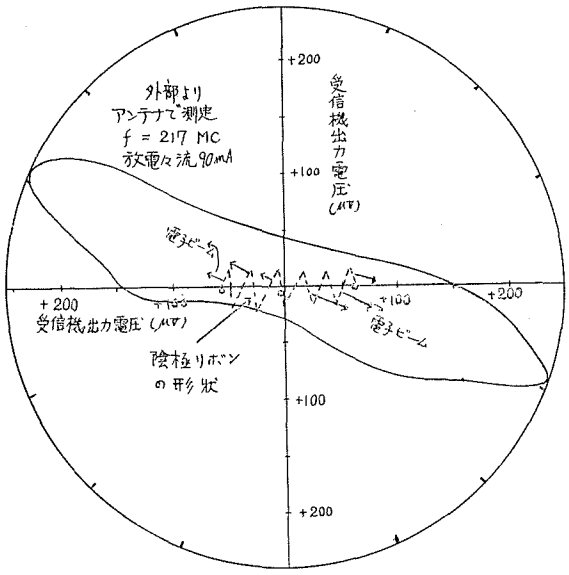
放電管内で発生する第1図(a)中のピークは，陰極表面より放射される電子ビームがその原因となている事が次の事実により明らかになつた。

(a) 放電電流対出力電圧特性に於いても，放電電流が少なく出力電圧が零の状態では，プ

ラズマが管内一面に拡がつていない状態では，肉眼で電子ビームは観察されない。そこで放電電流を増大し，プラズマ振動が発生する状態では，プラズマが管内一面に拡がり，電子ビームが観察される様になる。

(b) (2)で述べた第3図のグループの数と肉眼で観察した電子ビームの数を比較しこれ等が一致している事を確めた。

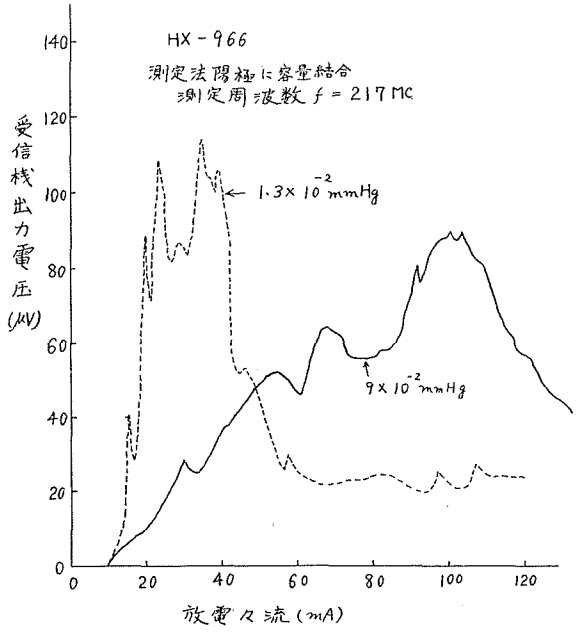
(c) HX-966 では電子ビームが特定の方向に多く出ているので，放電管を廻しながら，これに直角の位置に固定したアンテナで受信したものを第4図に示す。この様に HX-966 のリボン状の陰極から電子ビームが出る方向で強いプラズマ振動が検出出来た。



第4図 陰極の形状と受信機出力特性

(4) 封入気圧との関係

筆者の観測結果プラズマ振動は封入気圧に敏感に影響を受ける。封入気圧を変えるには水銀を封入してあるので，外部的に管内温度を変化したり，又同時に陰極温度を変化して測定した。

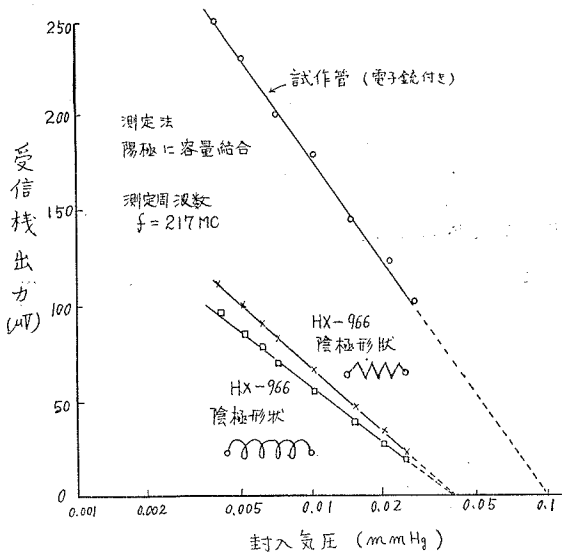


第5図 封入気圧を変えた場合の放電電流対受信機出力電圧特性

一例を HX-966 に取ると，気圧が低いと強いピークを持つた振動が容易に検出される。一方気圧を高くするにつれて強いピークは消滅し，雑音的となる。これを第5図に示す。そこで試作管では，強いピークが一つより無いので，封入気圧の増大と共に出力電圧が減少する様子を第6図に示す。これは略封入気圧 0.1 mmHg で全く検出出来なかつた。試作管では気圧軸との交点が 10^{-1} mmHg であるが，HX-966 では一つのピークに着目すると 4×10^{-2} mmHg となつた。

4. 実験結果に対する考察[9),10),11)]

筆者の実験では制御出来る電子銃を有する試作放電管は一種類だけであつたので，理想的な実験結果が得られなかつたが，プラズマ振動の検出とその性質を調べる事が出来た。即ちプラズマ振動が数多いピークを持つたり，広い放電電流範囲で受信されたのは，均一な電子ビームが得られなかつた事とプラズマの電子密度の不均一によるものと思われる。一方封入気圧によるプラズマ振動の減衰は電子の衝突周波数の増大の為に早く減衰する事と励起に必要な電子ビームが形成されにくいからであろう。



第6図 封入気圧対受信機出力特性

D. Bohm-E. P. Gross によつて明きらかにされた様に，電子ビームがプラズマ中に入るとその境界附近で異常散乱（エネルギーの散乱）を受けて，プラズマ振動を励起する。この時プラズマに入つた電子ビームは，プラズマとの相互作用で不安定となり，電子ビームが振動を起しバンチングを受けた様になる。この電子ビームは適当な距離を進むと密度が急増し衝撃波の様になる事を示している。

上記の様に筆者の測定したプラズマ振動は，実験結果からも明きらかにされている様に，電子ビームとプラズマとの相互作用による。即ち陰極から出るビームは，肉眼でも明瞭にプラズマに入る附近で強い散乱を受けていた。この事は I. Langmuir の考えたプラズマ振動そのものを単純に検出したのではなく，電子ビームとプラズマの相互作用の結果を検出したものである。

5. 結　　論

本研究に於いては I. Langmuir の指摘した様なプラズマ振動（電子ビーム無し）は検出出来なかつた。しかし電子ビームとプラズマの相互作用の起る条件が明瞭となつたので，プラズマ振動を利用した放電管増幅及び発振器に対する基本的データーが得られた。一方放電管内の電子密度分布が一様でないとプラズマ振動が雑音的になり易い事が判明した。

尚緒論に於いて述べた様に，電波防害及び原子核融合反応に於ける諸測定の際にも充分考慮すべき問題であろう。

本研究に際し御指導を戴いた浅見教授に深謝すると共に，実験に協力された精密工学科高橋助手に感謝する。

文　　献

1) I. Langmuir and L. Tonks: Phys. Rev. 33, 195 (1929).
2) D. Bohm and E. P. Gross: Phys. Rev. 75, 1851 (1949).
3) Penning: Nature, Aug. 28 (1926).
4) 西辻: 応用電気研究所彙報, 11, 12 (1959).
5) H. J. Merrill and H. W. Webb: Phys. Rev. 55, 1191 (1939).
6) D. H. Looney ann S. C. Brown: Phys, Rev. 93, 965 (1954).
7) S. Kojima, K. Kato and S. Hagiwara: J. Phys. Soc. Japan, 11, 1276 (1957).
8) S. Kojima, K. Kato, S. Hagiwara and R. Matsuzaki: J. Phys. Soc. Japan, 14, 821 (1959).
9) D. Bohm and E. P. Gross: Phys. Rev. 79, 992 (1950).
10) 浅見・西辻・高橋: 電気四学会北海道支部連合大会予稿, 36 (1959).
11) 西辻: 電気四学会連合大会, 64 (1960).