

報告番号 ※ 甲第 655 号

# 主論文の要旨

題名 BEHAVOUIUR OF IONS IN AN RF PLASMA

(高周波プラズマ中のイオンの挙動)

氏名 岡本 幸雄

プラズマの診断は基本的な方法としてこの静電  
プローブをはじめとして、光の輻射、吸収お  
よび反射などの現象と応用標準光学的方法  
による測定。その他によつて行なわれてい  
る。しかしながら、これらは主としてプラズ  
マ中の電子に関する情報と手えるもので、イ  
オンに関する情報は間接的に上記方法によ  
り得られるデータから推論し得る外ない。プ  
ラズマ中のイオンは電子と異なり、たとえ  
混合ガスでなく純粋ガスでも、とも一般に単  
一種類であることは稀で、通常は原子イオン  
、分子イオン、多価イオンなどのいろいろな  
イオンが混在している。しかもこれらの割合  
は一定でなく、プラズマの外部諸条件によ  
り変化可能。しかも、これら構成粒子の運  
動は多くの場合輻射まで含めた熱平衡状態か  
らは程遠い。また電子とイオンとの大きな質  
量比のために、イオンと電子との間のエネル  
ギーの緩和時間は、電子-電子、イオン-イ  
オンの衝突時間に比べて長いので、エネルギ

一 の注入のされかたや損失の機構などによ、  
二 電子とイオンとは別々の温度を持つ、のが  
普通である。従来、イオンに関する諸量は複  
雑なイオンの平均的効果として得られたもの  
で、プラズマのミクログル性値を説明するには  
、イオンの種類およびその存在比とエネルギー  
一分布などの微視的なデータが不可欠であ  
る。著者はこの点に着目して、四重極マスフ  
ィルターと静電エネルギー分析器との組合せ  
からなる独自の計測体系と完成し、プラズマ  
からのイオンのエネルギー分布とイオンの種  
類に分けて独立に測定した。その結果、プラ  
ズマからのイオンの引出し機構、プラズマ中  
のミクログル不安定性とエネルギー分布関数との  
相互関係およびプラズマ中の化学反応その他  
に関する情報が直接的に得られ、これらの理  
論との比較検討が明確化された。本論文は以  
上の研究をまとめたもので、5章から構成さ  
れている。

以下に各章の概要と主な成果について述べる。

第1章序論にふいては、関連した研究の総括および本研究の目的意義と述べるとともに、以下に続く各章の内容と概論的に紹介し、本研究にふいてなされた成果を概説した。

第2章では、計測体系について述べた。体系の中心となるマスマイラターは他の種類の質量分析器に比して、(1)データの精度と直接決定する分析器の分解能が、入射イオンの速度分布や運動量に関係しない、(2)容易に分解能が変えられるなどの利点を持つ、という。従って、静電エネルギー分析器と組合せることにより、このイオンの種類およびそのおのおのエネルギー分布が独立に同時に精度よく測定する事が可能となる。著者はこれらの分析器に改良を加えて、低エネルギー( $\sim 10$  eV)から300 eVに至る広いエネルギー範囲において、マスマイラターでは100, エネルギー分析器では170の最大分解能を得ることに成功した。

に。なお、ここで、プラズマの基礎物理量（電子密度、電子温度、ゆらぎなど）の測定に使用した静電プローブについても簡単に述べた。

第3章では、プラズマからのイオンのエネルギー分布を測定し、理論的に考察した結果と比較して、両者が極めて満足すべき一致を示したことに、ついで述べた。イオンシースを通じて引出されたイオンのエネルギー分布も、第2章で述べたように粒子分析器を用いて測定した。イオンのエネルギーおよびその分散は、プラズマの電子温度その他から期待される値よりも大きいことが判明した。これはプラズマ電位が高周波電界に追隨して変化し、そのために引出されるイオンが速度変動を受けることによるものである。理論的解析の結果、イオンのエネルギー分散は高周波の周波数およびイオンの質量の平方根に反比例し、高周波電圧に比例することが解った。実験は、周波数  $10 \text{ MHz} \sim 100 \text{ MHz}$  および  $\sim 4.5 \text{ GHz}$ 、高周波

電圧 50~300 ボルトおよびイオンの質量 1~44 amu. についてなされ、理論とよく一致する結果を得た。このことはプラズマから引出されるイオンのエネルギー分布は、途中に通過するメシースの条件によつて殆んど決められてしまふことを示している。プラズマ中のイオンのエネルギー分布を知るためには、以上の事柄を考慮した上でメシースの影響を除去しなければならぬ。またこの結果は、高周波イオン源からのイオンビームの質をよくするためのキーポイントを与えるものである。

第4章では、第3章で考察した点に注意して、まずこれまでの G-Machine に換るべく、Lisitano 型局所的電子サイクロトロン共鳴による“静かなプラズマの生成”について述べ、その成果の上に立つて巨視的パラメータの制御以外に、速度分布や乱れの度合の制御によるミクロ不安定性について説明した結果について述べた。まずこの RF プラズマの基礎

物理量にっいて述べ、さらに共鳴ポイントの  
設定位置と度えることによりイオンのエネル  
ギー分布の制御できることと指摘した。この  
エネルギー分布の制御と利用して、不安定性  
に関する実験的研究と行ない、従来の理論と  
もとに考察を加えた。その結果、イオンのエ  
ネルギー分布にダブルハンブが存在する時に  
逆ランダム減衰作用により、イオン音波が励起  
されることが判明した。また、この音波はカ  
スプ碰場中には伝搬しないことも明らかにな  
った。これはカスプ碰場を通過することによ  
る記憶の喪失、即ち、エネルギー分布のマッ  
クスウエル化と考えられる。このように、粒  
子と波との間には、エネルギーの交換が行な  
われていることが明らかになされた。

さらに、プラズマ化学の立場から、プラズ  
マを構成するイオンの種類が電子温度などに  
よってどのように変化するかにっいて述べた。  
。プラズマ中では、電子およびイオンと気体  
分子との衝突による衝突電離、電荷交換によ

この交換により解離等により、2. 各種のイオン-分子反応が行なわれている。また、イオン-分子反応の衝突断面積は極めて大きく、2種類以上のイオンが含まれている。従って、イオンに関する微視的物理解現象。例之は波動現象においては、イオンの種類およびその割合と考慮して解析されるべきであることも合せて指摘した。

第5章では、各章で得られた成果をまとめて述べた。

- 以上 -