Measurements of ion temperature for string plasma and sheet plasma

ストリング・プラズマ、シート・プラズマのイオン温度測定

Teruo YAJIMA, Naoto SUZUKI and Sigeyasu SAKAMOTO
Department of Nuclear Engineering, School of Engineering,
Akihiro MATSUBARA and Goichi OHMAE
Department of Physics, School of Science,
Kazutaka KAWAMURA and Kazuo TAKAYAMA
Institute of Research and Development,
Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa, 259-12 Japan
TEL: 81-58-1211 (EX. 5305), FAX: 81-58-1203

(Accepted for publication 16 November 1995)
Two machines, called "String Plasma Device (SPD)" and "Isotope Separation Device (ISD)", were used for the present work. Among many plasma parameters the ion temperature, T_i , is not yet determined for these machines. The T_i obtained from the emission spectrum is 2-13 eV for the SPD and 1-4 eV for the ISD.

Key words : String plasma, Sheet plasma, Ion temperature, Doppler effect

I. INTRODUCTION

プラズマ実験棟には2台の直線型プラズマ生成装置 [ストリング・プラズマ生成装置: SPD (String Plasma Device)、シート・プラズマ生成装置: ISD (Isotope Separation Device)] がある。これらの装置はTP-D (Test Plasma generated by DC discharge) 型プラズマ源を改良したもので東海大学独自のものである。生成されるプラズマの形状は、ストリング・プラズマ生成装置では直径1cm程度の紐状、シート・プラズマ生成装置では厚さ1cm、幅3cm程度の板状となっている。^{1, 2}

現在のところ、これらのプラズマのイオン温度は詳しく測定されていない。イオン温度は、プラズマの挙動を解析する上で重要なパラメーターである。イオン温度は、ファラデーカップ等のエネルギー分析器または分光測定から求めることができる。しかしエネルギー分析器は、磁場中では正確に測定することができない。そこで本研究では分光測定によって各々のプラズマのイオン温度を測定することを目的とした。

II. SETUP

プラズマ中のイオンが発する線スペクトルは、熱運動によってそのスペクトル線に広がり(ドップラー広がり)を生じる。このドップラー広がりを測定することによりプラズマ中のイオンの温度を求めることができる。

ドップラー効果によって広がったスペクトルの半値幅 $\Delta \lambda_{1/2}$ [eV] は、イオンの質量数を A としイオン温度を T_i [eV]、波長 λ [Å] で表せば

$$\Delta \lambda_{1/2} = 7.7 \times 10^{-5} \lambda_0 \sqrt{\frac{T_i}{A}}$$

となり、イオン温度は半値幅を用いて

$$T_i = 1.7 \times 10^8 A \left(\frac{\Delta \lambda_{1/2}}{\lambda_0} \right)^2$$

で与えられる。³⁻⁵

今回の測定で使用したストリング・プラズマ生成装置とシート・プラズマ生成装置、各々の仕様をTable 1に示す。Table 1に示した電子密度 N_p 、電子温度 T_e は、以前にラングミュアプローブで測定されたものである。ストリング・プラズマ生成装置での測定は、放電気体をアルゴン、アルゴンの流量(Q_{Ar})は0.3 sccm、放電電流(I_d)を4、8、12 Aとし、磁束密度を(B)を0.5、1、2、3 kGと変化させて行った。シート・プラズマ生成装置での測定は、放電気体をアルゴン、アルゴンの流量(Q_{Ar})は10 sccm、放電電流(I_d)を8、10、20 Aとし、磁束密度(B)を0.93、1.23、1.85 (一部0.63から) kGと変化させて行った。測光系には3枚の鏡、それぞれ1個ずつのレンズと色消しレンズを用いた。色消しレンズは分光器の前に設置した。イオン温度を求めたスペクトル波長は、

TABLE 1. Specification of SPD and ISD

	ストリング・プラズマ生成装置	シート・プラズマ生成装置
放電電流 I_d	~12 (A)	~20 (A)
磁束密度 B	~3 (kG)	~1.85 (kG)
放電領域圧力 P_s	~1 (Torr)	~1 (Torr)
実験領域圧力 P	~ 10^{-5} (Torr)	~ 10^{-4} (Torr)
電子密度 N_p	~ 10^{17} (/m ³)	~ 10^{18} (/m ³)
電子温度 T_e	~14 (eV)	~5 (eV)

スゴンのイオン線：Ar II 4348.06 Åである。分光器は SPEX1404(焦点距離0.85m)、検出器は光電子増倍管(浜松ホトニクスR928)を用いた。

III.RESULTS

ストリング・プラズマ生成装置での測定結果を Figure1に示す。Figure1では磁束密度を横軸とし、それぞれの放電電流でのイオン温度を縦軸にとった。Figure1では放電電流4Aと8Aではイオン温度は2から8eVと変化した。しかし放電電流12Aになるとイオン温度は3から13eVと急激な上昇がみられる。特に磁束密度3kGの時にイオン温度の上昇が強くなるのがわかる。これは磁束密度を上げることによって、放電領域内のプラズマが陽極周辺に集中し、放電領域圧力が上昇したためにプラズマが加熱され易くなり、イオン温度が上昇したものと考えられる。Fig. 2. に放電領域圧力を横軸、イオン温度を縦軸にとったグラフを示す。

Figure2では各放電電流で一番低いイオン温度から順に、それぞれ磁束密度0.5、1、2、3kGとなっている。このグラフから放電電流、磁束密度と放電領域圧力が比例していることがわかる。また放電領域圧力とイオン温度が同様に比例していることがわかる。このことから前述したプラズマ中のイオンの加熱過程が起こっているものと考えられる。

Figure3にシート・プラズマ生成装置での測定結果を示す。シート・プラズマではイオン温度は、1から4eVとなり、ストリング・プラズマの様なイオン温度の急激な上昇はみられなかった。また、シート・プラズマ生成装置では磁束密度を上げてても放電領域圧力の上昇は起こらなかった。よって、これはシート・プラズマ生成装置はストリング・プラズマ生成装置に比べ、陽極が非常に大きいために前述のプラズマ中のイオンの加熱が行われなかったためと考えられる。

これ以上の詳しい解析には、プラズマの生成機構、特に浮動電極内について詳しく調べる必要がある。

FIG.1.The relation of magnetic field and ion temperature.
Devicd:SPD,Gas:Ar,Q(Ar)=0.3sccm, $\lambda=4348.063 \text{ \AA}$

FIG.2.The relation of discharge ricgion pressure and ion temperature.

Device:SPD,Gas:Ar,Q(Ar)=0.3sccm, $\lambda=4348.063 \text{ \AA}$

FIG.3.The relation of magnetic field and ion temperature
Device:ISD,Gas:Ar,Q(Ar)=10sccm, $\lambda=4348.063 \text{ \AA}$

REFERENCES

- ¹T.Tanikawa,T.Noguchi,S.Harakawa,H.Watanabe,K.Yamauchi, K.Sunako,K.nanri and K.Takayama:in Proceedings of International Conference on Plasma Physics (1989,New Delhi) Vol. III,p.1157
- ²K.Takayama,M.Otuka,Y.Tanaka,K.Ishii and Y.Kubota:in Proceeding of the Eighth International Conference on Phenomena in Ionized Gases(1967,Vienna)Vol. I .p.551
- ³The japan society of plasma science and nuclear fusion research editing,Purazumashindan no kiso(Nagoya univ. pablication society,1990)
- ⁴Y.Fujioka editing,Bunkougaku(Koudanshya,1967)
- ⁵H.R.Griem,Plasmaspectroscopy(McGrawHill,New York,1964)

'95 SAS Intelligent Symposium