九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

## 材質の異ったリジターノコイルによるプラズマの生 成

**米須, 章** 九州大学大学院総合理工学研究科高エネルギー物質科学専攻

大津, 茂実 九州大学大学院総合理工学研究科高エネルギー物質科学専攻

中島, 寿年 九州大学応用力学研究所

小森, 彰夫 九州大学大学院総合理工学研究科高エネルギー物質科学専攻

他

https://doi.org/10.15017/17652

出版情報:九州大学大学院総合理工学報告.8(1), pp.25-30, 1986-07-25.九州大学大学院総合理工学 研究科 バージョン:

権利関係:

### 材質の異ったリジターノコイルによるプラズマの生成

# 米須 章\*・大津茂実\*・中島寿年\*\* 小森彰夫・河合良信 (昭和61年3月31日受理)

#### Comparison between Plasmas Produced with Aluminium and Copper Lisitano Coils

Akira YONESU, Shigemi OHTSU, Hisatoshi NAKASHIMA, Akio KOMORI, and Yoshinobu KAWAI

An attempt to produce a pure ECR plasma is performed with an aluminium Lisitano coil. Plasma parameters obtained agree well with those of the plasma produced with a copper Lisitano coil. Sputtered-impurity atoms which are ejected from the surface of the aluminium Lisitano coil are found to be very few, compared with the copper Lisitano coil.

#### 1. 緒 言

現在, プラズマは超 LSI 加工等の工学的分野で広 く利用されている. これらの分野では, プラズマのパ ラメーターが製品の品質, 生産効率等に大きく影響す るため, 生産の高効率化と製品の高性能化を実現でき るプラズマ, 具体的には, 直径の大きい高温・高密度 プラズマの生成法の開発が望まれている.

本論文では、リジターノコイルを用いた直径の大き い高温・高密度プラズマの生成法について述べる. リ ジターノコイルは、リジターノらにより電子サイクロ トロン共鳴加熱用アンテナとして開発されたもので、 リジターノらはこれを用いて直径2-5cmの高温・高 密度プラズマを生成した<sup>1)</sup> また、河合らはリジター ノコイルを用いて大直径(直径14 cm)のプラズマが 生成できることを示した<sup>2)</sup> このようにリジターノコ イルを用いると比較的簡単に高温・高密度で大直径の プラズマを得ることができるが、この方法でプラズマ を生成するとリジターノコイルがプラズマに接触して いるため、リジターノコイルからプラズマ中へ不純物 が放出される可能性がある. 従って、リジターノコイ ルを超LSI加工等に利用するためには、プラズマの 生成効率の良い、しかも不純物の放出量の少ないリジ ターノコイルを開発する必要がある.一般にリジター ノコイルの材質は、導電率の良い銅であるが、銅はス パッタしやすく、従って不純物を放出しやすいという 欠点を持っている.これに対して、アルミニウムはス パッタしにくいと考えられているため、アルミニウム でリジターノコイルを製作すると、不純物の放出量の 少ないアンテナを実現できる可能性がある.本論文の 目的は、アルミニウム製のリジターノコイルと銅製の リジターノコイルのプラズマ生成効率と不純物の放出 量を比較し、これらの量の材質依存性を明らかにする ことと、不純物のプラズマ中での振舞いを解明するこ とである.

#### 2. 実験装置と実験方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す. 真容容器は,長 さ 1.5 m,直径 16 cm のステンレス製円筒容器である. 容器外部の 8 個の磁場コイルにより,単純ミラー磁場 が形成される. 容器の一端には,スロット型リジター ノコイルが置かれ,出力約 1KW のマイクロ波が印加 される.リジターノコイルの位置は,リジターノコイ ル中央での電子サイクロトロン周波数が,印加するマ イクロ波の周波数 2.45 GHz に等しくなるように設定 されている.リジターノコイルは直径が 14 cm のも のと 9 cm のものを使用した.長さは共に 9 cm である. 実験に使用したガスは水素とアルゴンで (0.4~10) ×

高エネルギー物質科学専攻

<sup>\*</sup>高エネルギー物質科学専攻修士課程

<sup>\*\*</sup>九州大学応用力学研究所



Fig. 1 Schematic of experimental apparatus.

10<sup>-4</sup> Torr の圧力で実験を行なった.

— 26 —

プラズマのパラメーターの測定には,径方向に可動 なラングミュアプローブと分光器を用いた.ラングミ ュアプローブにより電子温度と電子密度を,分光器に よりイオン温度を求めた.

リジターノコイルから放出される不純物の量は,プ ラズマ中へガラス板を入れ,ガラス表面に付着した不 純物の厚みを測定することにより求めた<sup>3)</sup>.光が厚み xの吸収媒質を通過する場合,入射光強度を Io,透過 光強度を I',吸収係数を k とすると,

 $x = -\frac{l}{k} \ln T$ 

ここで T (=I'/I) は透過率を示す. 従って, 透過率を 求めれば相対的な厚みを求めることがでる.

#### 3. 実験結果と考察

#### 3.1. プラズマの生成効率

銅製のリジターノコイルとアルミニウム製のリジ ターノコイルで各々プラズマを生成し、そのプラズマ のパラメーターを比較することにより、生成効率の評 価を行なった.なお、実験には水素ガスを使用した.

**Fig.2**は、プローブをプラズマの中心に固定して求めた電子密度 N<sub>e</sub>、電子温度 T<sub>e</sub>の圧力依存性を示して



Fig. 2 Dependence of electron density Ne and electron temparature Te on gas pressure P at r=0 cm.

いる. 黒丸が銅製のリジターノコイルで生成されたプ ラズマでの値, 白丸がアルミニウム製のリジターノコ イルで生成されたプラズマでの値を表わしている. こ れらのプラズマの電子密度と電子温度はほぼ同じ値と なっており, 電子密度は圧力に依存せずほぼ一定で, 電子温度は圧力が低くなるにつれて上昇していること がわかる.

**Fig.3**は,電子密度と電子温度の径方向の分布を示している. **Fig.3**の横軸はプラズマの中心を0とした時のプラズマ中心からの距離を表わしている.ガス圧



Fig. 3 Radial profiles of electron density Ne and electron temparature Te, P (gas pressure)  $= 8 \times 10^{-4}$  Torr.

r (cm)

は8×10<sup>-4</sup> Torr である.電子温度及び電子密度とも リジターノコイルの材質に依らずほぼ同じ径方向分布 を示している.また,リジターノコイルの位置 (r = 7cm)を除いて径方向に一様なプラズマが生成されて いることがわかる.

Fig. 4 は, イオン温度の圧力依存性を示している. イオン温度は, プラズマから放射される光のドップ ラー拡がりから求めた. 図から, イオン温度もリジ ターノコイルの材質に依らずほぼ同じ値になっている ことがわかる.

以上の実験結果から、銅製のリジターノコイルとア ルミニウム製のリジターノコイルで各々生成されたプ



Fig. 4 Dependence of ion temparature Ti on gas pressure P.

ラズマはほぼ同じパラメーター値を持つことがわかった. つまり, これらのリジターノコイルはほぼ同じプ ラズマ生成効率を持つものと考えられる.

#### 3.2. リジターノコイルより放出される不純物

Fig.5にプラズマ中へ入れたガラス板の表面に付着 した不純物の相対的厚みの時間変化を調べた結果を示 す. この実験ではアルゴンガスを使用した. 銅製のリ ジターノコイルを用いた場合、一定の割合でガラスに 不純物が付着することがわかる.一方,アルミニウム 製のリジターノコイルを用いた場合、ガラスに不純物 がほとんど付着しないことがわかった.不純物が付着 したガラスをX線螢光分析法で分析した結果を Fig.6 に示す. 上図が未使用のガラスのスペクトル, 下図が 不純物が付着したガラスのスペクトルである.上下の 図を比較すると不純物の付着した方のスペクトルには 未使用のガラスのスペクトルにはない銅のスペクトル ラインが存在していることがわかる.従って、ガラス に付着した不純物は銅である.以上の結果から,アル ミニウム製のリジターノコイルは不純物を放出しない が銅製のリジターノコイルはプラズマ中へ銅を放出す ることがわかった.



28 -

Fig. 5 Time evolution of impurity's relative thickness on the glass.

次に不純物の放出機構とプラズマ中での振舞いを調 べるため銅製のリジターノコイルを用いて行なった実 験の結果を示す. Fig.7はプラズマ中に置かれたガラ スの透過率の2次元空間分布を示す. 透過率の分布は, 透過率の等しい点を結ぶことによって表わした. 前述 のようにこの図はガラスに付着した不純物の相対的な 厚みの2次元空間分布とみなすことができる. Fig.7 では, Aがリジターノコイルの位置を, Bがマイクロ 波が供給されるフィーダーの位置を表わしている. ま た, (a)と(b)では磁場の向きが逆になっている. 不純物 はフィーダー付近から放出されていることがわかる. 磁場の方向により, 不純物はマイクロ波が入射する最 初のスリットと最後のスリットの間で観測される場合 (Fig.7(a))と最初のスリットと次のスリットの間で多 く観測される場合 (Fig.7(b))とがある.

不純物の多く分布しているフィーダー付近のプラズ マの様子を詳しく知るため、イオン飽和電流と空間電 位の2次元空間分布を測定した結果を各々 Fig.8と Fig.9に示す.これらの図で、(a)と(b)は磁場の向きが 逆になっている.

Fig.8より,電子密度の2次元空間分布が不純物の 厚みの2次元分布に非常によく一致していることがわ かる.しかし,電子密度の最も高いところは,磁場の





方向に依らず,不純物の厚みが最も厚いところから方 位角方向に少しずれている.

Fig.9より,マイクロ波のフィーダー付近を除いて, リジターノコイルの外側では,等電位線はリジターノ コイルに沿っていることがわかる. E×B ドリフトは 等電位線に沿って起こるため,荷電粒子はE×B ドリ フトによりリジターノコイルに沿って方位角方向に動 くと考えられる.従って,上述の電子密度の2次元分 布は,マイクロ波のマィーダーと最初のスリットあた りのマイクロ波の電界の強いところで生成されたプラ





Fig. 7 Contour plots of light intensity transmitted through the glass, on which impurity atoms are deposited. The transmission rate of light is 87% at V, 89% at W, 91% at X, and 93% at Y. A and B represent locations of the Lisitano coil and microwave feeder, respectively. The magnetic field direction is different between (a) and (b).



Fig. 8 Contour plots of ion saturation current. The ion saturation current becomes low in alphabetical order. The magnetic field direction is different between (a) and (b).



Fig. 9 Contour plots of space potential. The space potential is 14V at V, 12V at W, 10V at X, 8V at Y, and 6V at Z. The magnetic field direction is different between (a) and (b).

ズマが **E**×**B**ドリフトによってリジターノコイルに沿って動いた結果形成されたものであると解釈すること ができる.不純物がリジターノコイルのこの部分から どのような機構で放出されているのかを論じることは 難しいが,フィーダー付近の空間電位による強い静電 界でイオンが加速され,これがリジターノコイルと衝 突することによって銅を放出している可能性がある. しかし,不純物の詳しい放出機構や空間電位による強 い静電界がフィーダーの近くで形成される原因につい てはさらに詳しく研究する必要がある.また,リジ ターノコイル近傍を除いた空間電位は正しく測定され ているが,スリット近傍の空間電位は,高温電子が存 在するため正しく測定されていない可能性がある.

#### 4. 結 論

この研究で得られた結果をまとめると以下のように なる.

(1) 銅製のリジターノコイルとアルミニウム製のリ

ジターノコイルはほぼ同じ生成効率を持つ.
(2) アルミニウム製のリジターノコイルはプラズマ 中へ不純物をほとんど放出しないが、銅製のリジ ターノコイルは多量の銅をプラズマ中へ放出する.
(3) プラズマ中の不純物の2次元空間分布は、電子 密度の2次元空間分布とよく一致している.また、 空間電位は、フィーダー付近を除いて、リジターノ コイルに沿った等電位線を持つ、フィーダーの付近 では強い静電界が存在する.

(4) 不純物はフィーダー付近の空間電位による強い 静電界で加速されたイオンがリジターノコイルと衝 突することによって放出されている可能性がある。

#### REFERENCES

- G. Lisitano, R. A. Ellis, Jr., W. M. Hooke and T. H. Stix, Rev. Sci. Instrum. 39, 295 (1968).
- Y. Kawai and K.Sakamoto, Rev. Sci. Instrum. 53, 606 (1982).
- 3) H. Mase et al., J. Appl. Phys. 38, 2960 (1967).