

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¹⁾。また、河合らはリジターノコイルを用いて大直径(直径14cm)のプラズマが生成できることを示した²⁾。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1.5m、直径16cm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2.45GHz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14cmのものと同9cmのものを使用した。長さは共に9cm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

*高エネルギー物質科学専攻修士課程

**九州大学応用力学研究所

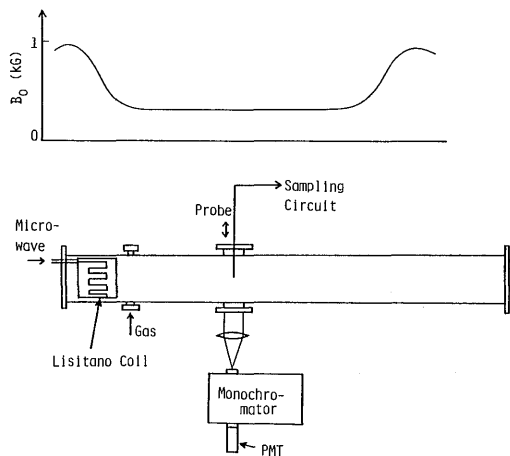


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus.

10^{-4} Torr の圧力で実験を行なった。

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³⁾。光が厚み x の吸収媒質を通過する場合、入射光強度を I_0 、透過光強度を I' 、吸収係数を k とすると、

$$I' = I_0 \exp(-k x) \quad (1)$$

が成り立つ。従って、

$$x = -\frac{1}{k} \ln T$$

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きる。

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_e 、電子温度 T_e の圧力依存性を示して

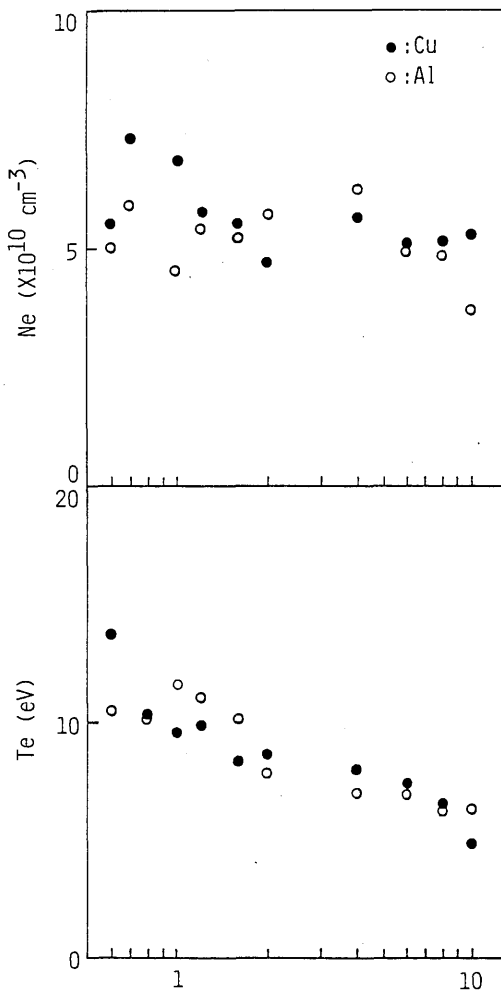


Fig. 2 Dependence of electron density N_e and electron temperature T_e on gas pressure P at $r=0$ cm.

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

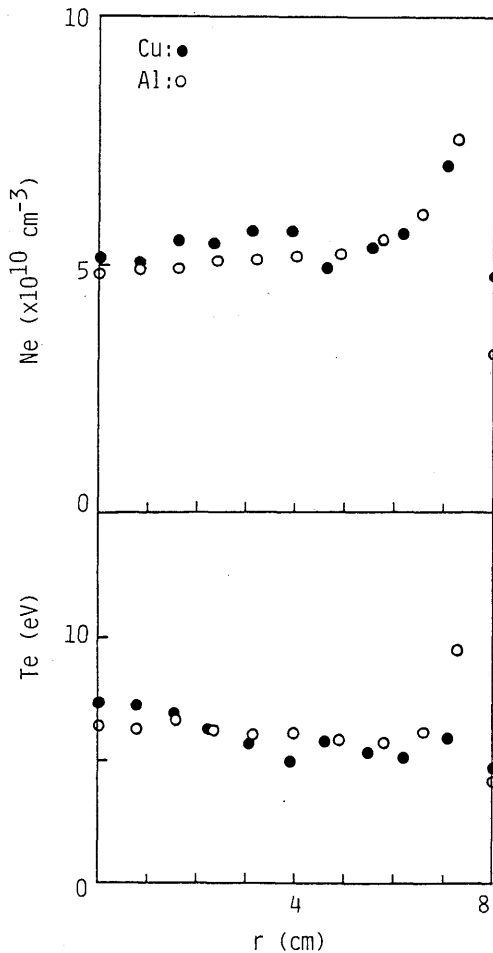


Fig. 3 Radial profiles of electron density N_e and electron temperature T_e , P (gas pressure) $= 8 \times 10^{-4}$ Torr.

は 8×10^{-4} 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 ($r=7\text{cm}$) 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ブ

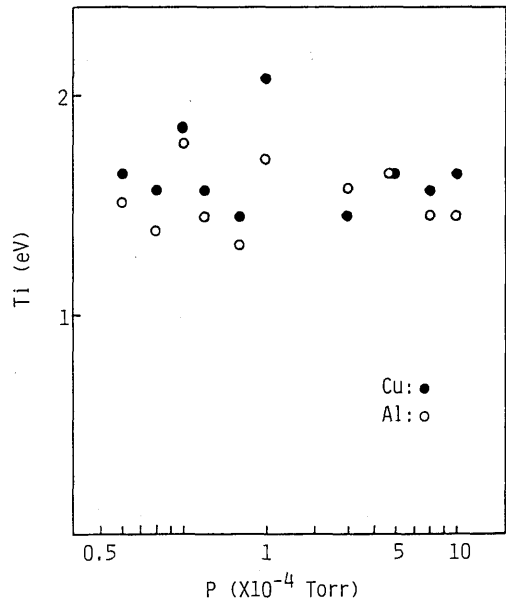


Fig. 4 Dependence of ion temperature T_i on gas pressure P .

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線蛍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。

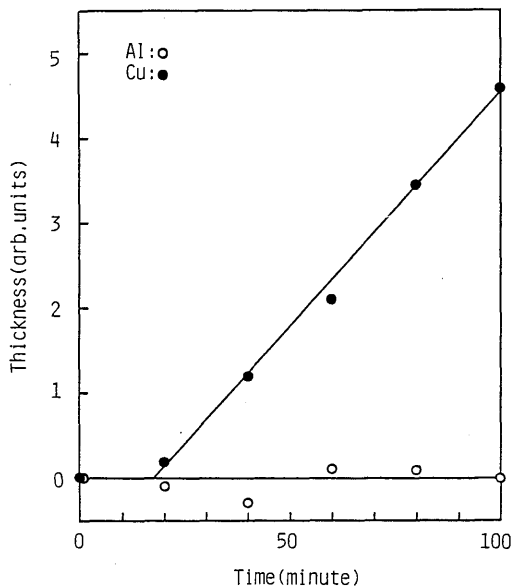


Fig. 5 Time evolution of impurity's relative thickness on the glass.

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

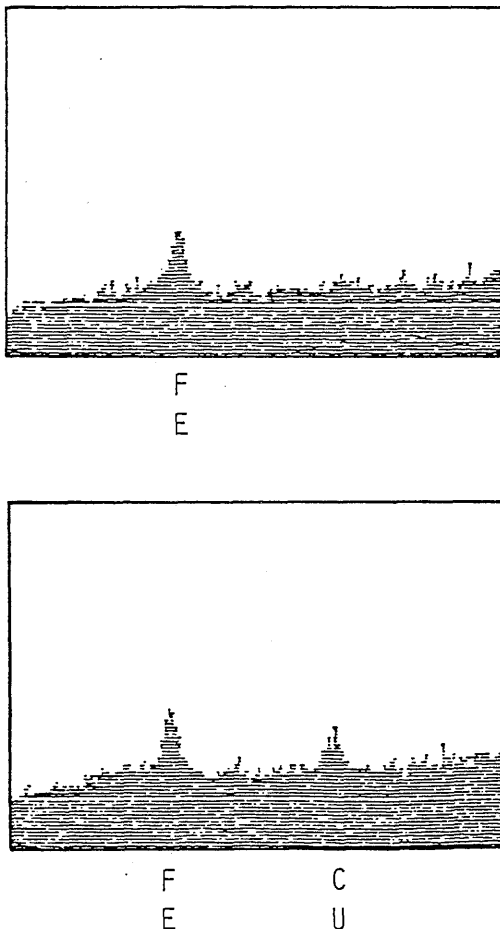


Fig. 6 X-ray fluorescence spectra. The upper figure represents the spectrum obtained with the glass only, while the lower spectrum is obtained with the glass, on which impurity atoms are deposited.

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つれている。

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、マイクロ波のフ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

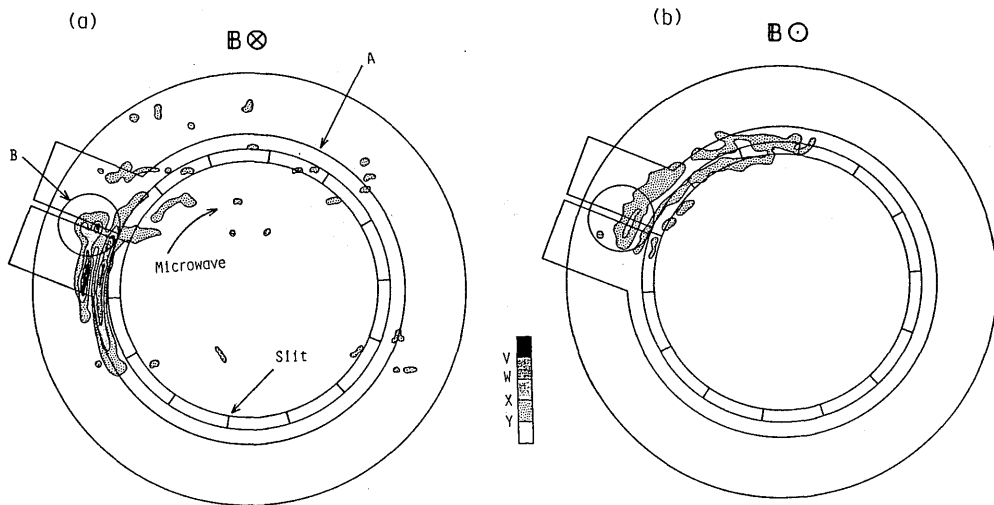


Fig. 7 Contour plots of light intensity transmitted through the glass, on which impurity atoms are deposited. The transmission rate of light is 87% at V, 89% at W, 91% at X, and 93% at Y. A and B represent locations of the Lisitano coil and microwave feeder, respectively. The magnetic field direction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

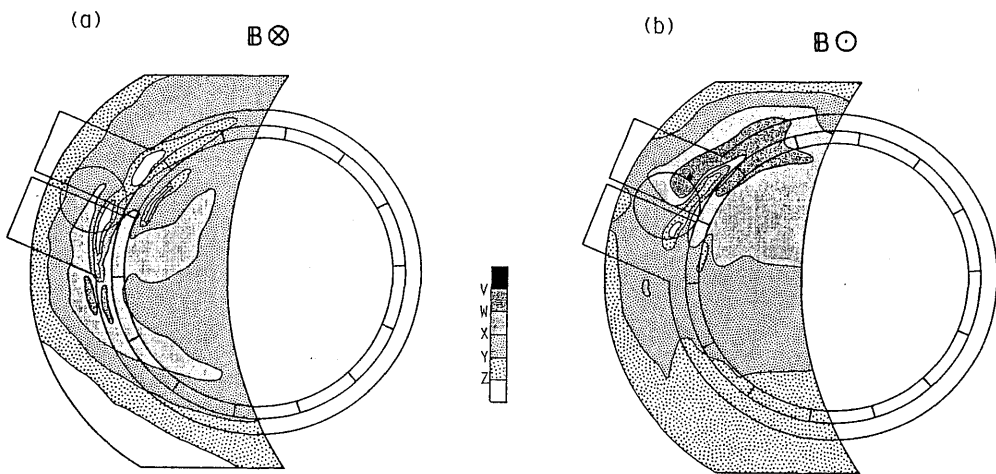


Fig. 8 Contour plots of ion saturation current. The ion saturation current becomes low in alphabetical order. The magnetic field direction is different between (a) and (b).

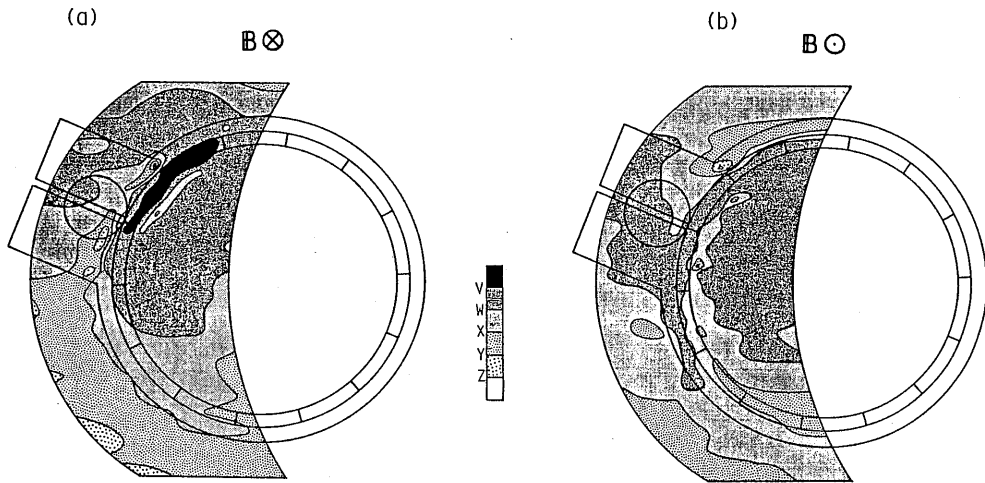


Fig. 9 Contour plots of space potential. The space potential is 14V at V, 12V at W, 10V at X, 8V at Y, and 6V at Z. The magnetic field direction is different between (a) and (b).

ズマが $E \times B$ 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

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