高い一様性を持つ誘導励起プラズマの生成と応用*

坂本 雄一**・多田 重和**・宮沢 亘**

C. O'Morain**・P. O'Keefe***・林 雄造***

(受理1994年11月17日, 掲載決定1995年2月4日)

Creation of an Induction Plasma with Higly Uniform Radial Distribution and the Application

Yuichi SAKAMOTO**, Shigekazu TADA**, Wataru MIYAZAWA**

C. O'MORAIN**, P. O'KEEFE*** and Yuzou HAYASHI***

**(Nichimen Electronic Technology Corporation)

*** (Irie Koken Co. Ltd)

(Received November 17, 1994, Accepted February 5, 1995)

1. はじめに

最近 TCP¹⁾ (Transformer Coupled Plasma), Helicon²⁾ プラズマ等がプロセシングの領域に現れてから, RF プラズマが見直され, その R & D が前進しつつある. 大面積にわたって一様性がよく, また不純物の少ない, 高密度プラズマを生成することを目的として, 新しい着想に基づいて RF コイルを作り, 誘導プラズマを生成させ, その応用としてフォトリソのアッシングを試みたので, 報告する.

このコイル系の着想の基本的な道筋は次の通りである.

- 1) 軸対称で半径方向に一様性の良いプラズマを作るには, 先ず上流で周辺密度の高いプラズマを作り, そのプラズマが下流に拡散する際に, 周辺プラズマが半径方向に拡散して, 軸近傍の密度を相対的に高め, 従って下流の或る位置で一様性が非常に良くなるという事実³⁾を利用する.
- 2) プラズマの生成率は RF 電界 E_{rf} の二乗に比例するから, 周辺で高密度のプラズマを得るには, 周辺に行く程強くなる RF 電界を発生させれば良い.

3) 半径方向に一様な RF 磁界を発生させれば, 半径 r に比例する E_{rf} が発生する. これは上の条件 2) を満たす. この一様性は必要条件ではなく, 発想の糸口である.

4) 球と無限円柱において周回方向に一様な表面電流 (電流密度 j_θ) を流せば, それらの内部に一様な軸方向磁界 H_z が発生する. 従って r の等しい半球と半無限円柱をつなげば一様な H_z を得ることができる. こうした高周波電流配位は, 上の条件 3) を満たす.

しかしながら実際の装置を造る場合には, 次ぎの様な考慮が必要である.

- 1) 表面電流は高周波コイル電流で近似される.
- 2) 半無限円柱は有限となるから, コイルピッチを詰める必要がある.
- 3) コイル線間に発生する準定常の電界を下げることに依って基板に入射するイオンのエネルギーを下げるができるが, この目的に合わせ, 複数コイルを並列にしてコイルのインピーダンスを下げる. ここでは2個とした.
- 4) 表皮効果のため, 高周波電界プラズマ中への侵入は, 表皮の深さ δ の程度までである. ここで $\delta \sim c/\omega_{pe}$ 但し c は光速, ω_{pe} は電子プラズマ周波数. ちなみに, 半球部では, E_{rf} は円柱部より離れるにつれて小さくなるが, ($E_{rf}r$) この電界は軸近くのプラズマの生

* 平成6年10月26日 第35回 真空に関する連合講演会で講演

** ニチメン電子工研 350-11 川越市下赤坂大野原716-1

*** 入江工研 同上

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental device.

Fig. 2 Ion saturation current density measured by a Langmuir probe versus RF power, the oxygen pressure is 3 Pa.

成に寄与する。

2. 装 置

上記の諸条件を考慮して造られた装置を Fig. 1 に示す。プラズマ容器には 5 mm 厚の石英を用いた。石英を採用した主な理由は電氣的及び熱的特性が良いと言うことは当然の事ながら、不純物制御の容易さや紫外光の観察が可能であることである。

プラズマ・パラメーターは RF 補償型のラングミュアー・プローブ及びトリプルプローブを用いて測定した。フォトレジスト・アッシングに決定的に必要な酸素ラジ

Fig. 3 Radial distribution of ion saturation current density. The RF power and the oxygen pressure are 1 kW and 3 Pa respectively.

Fig. 4 Oxygen radical intensity (777.1 nm line) trend as a function of the oxygen flow rate.

カル（原子状酸素）の発生状況を知るために、酸素原子線を観測した。

3. 実験結果と考察

ガスとしては Ar, H₂, N₂, O₂ を用いたが、本論文では、アッシングに関連する酸素プラズマについてのみ述べる。

Fig. 2 に圧力 3 Pa の場合のイオン飽和電流の RF 電力依存性を示す。電子温度は 1~2 eV であり、空間電位はおおよそ 30 V であった。測定位置は軸上石英管内部に 8.5 cm 及び 13.5 cm はいった点である。ちなみに密度換算のスケールは、 $6 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3} / \text{mA}$ である。Fig. 3 は圧力

Fig. 5 Photoresist etch rate as a function of pressure.
The RF power is 1.32 kW.

3 Pa で RF 電力 1 kW の場合のプロープのイオン飽和電流密度の半径方向分布をしめす。13.5 cm の位置では軸近くに密度の谷が出来ているが、それより下流の8.5 cm の位置では、その谷が埋まり極めて良い一様性が得られて居り、前述した拡散の機構の妥当性が了解される。ここでの一様性は直径20 cm に互って±2%である。

さてフォトレジスト・アッシングの実験に移る前に、酸素の原子線777.1 nm を観測することにより酸素ラジカル発生の状況を調べた。Fig. 4 にガス流量と原子線強度の関係を示す。2.5 × 10⁻² Pa · m³ · s⁻¹ 以下では略一定

のラジカル生成が行われている事が分かる。直径100 mm のシリコン基板に厚さ 2 μm でフォトレジストを塗布したサンプルに RF 電力を1.32 kW に保ち、酸素流量(圧力)を変えたプラズマを照射してアッシング試験を行った。アッシングの進行はレジスト膜の示す干渉色の変化で監視できる。照射を初めてから干渉色の変化が終わるまでの時期を測定することによりアッシング・レートを求める事が出来る。得られた結果を Fig. 5 に示す。得られた最大のレートは 6 μm/min であった。市販のエッチャーの標準的なレートは 2 μm/min であるから、それを十分に越えている。

4. 結 論

低インピーダンスの RF コイルをもちい半径方向に一様性の良い密度分布を持つ高密度プラズマを得た。酸素を用いた場合、電子温度及び密度はそれぞれ 1~2 eV, 6 × 10¹¹ cm⁻³ で、直径20 cm に互っての一様性は±2%であった。

この酸素プラズマを用いてフォトレジストのアッシングを試み 6 μm/min のレートが得られた。

【文 献】

- 1) Yunju Ra, Stephen G. Bradley, and Ching-Hwa Chen: Journal Vac. Sci. & Tech. A 12(4) 1328 (1994).
- 2) F. F. Chen: Plasma Phys. & Controlled Fusion 33 339 (1991).
- 3) N. Shida, T. Inoue, H. Kokai, Y. Sakamoto, W. Miyazawa, S. Den, and Y. Hayashi: Jpn. J. Appl. Phys. 32 (1993) L1635.