帯状 1 ループアンテナによる低圧力 高密度プラズマの生成*

高木 憲一**・中川 行人**・塚田 勉**

(受理1994年12月7日, 掲載決定1995年2月4日)

Production of Low Pressure and High Density Plasma Using a Single Loop Ribbon Antenna

Ken'ichi TAKAGI, Yukito NAKAGAWA and Tsutomu TSUKADA

(Anelva corp., 5-8-1, Yotsuya, Fuchu-shi, Tokyo)

(Received December 7, 1994, Accepted February 4, 1995)

1. はじめに

電子デバイス構造の微細化に伴い、ドライエッチングプロセスにおいて、1 Pa 以下の低圧力領域で動作する高密度プラズマ源の実用化が重要な課題となっている。最近、ループ状のアンテナを用いた誘導結合型プラズマ源により、低圧力領域で高密度プラズマの生成が可能であることが報告された¹⁾。このプラズマ源は、簡単な装置構造で基板の大口径化に容易に対応可能であることから²⁾、次世代のプラズマプロセス装置としての応用が期待される。我々は、帯状 1 ループアンテナによる誘導結合型プラズマ源を試作し、プラズマ診断とドライエッチング実験により、アンテナ幅に対応したプラズマ特性の変化を評価したので報告する。

2. 装置構成

Fig. 1 に、プラズマ測定に用いた実験装置の概略図を示す。拡散チャンバに載置した熔融石英製の放電チャンバ（内径266 mm, 高さ220 mm）を取り囲んで、帯状 1 ループアンテナを装置し、これに放電用の高周波電力（13.56 MHz, 最大 2 kW）を、整合回路を通して供給してプラズマを生成した。帯状 1 ループアンテナの幅は、15 mm 及び150 mm とした。また、アンテナの両端には高電圧プローブを取り付けた。

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

プラズマ特性評価用のラングミュアプローブは、拡散チャンバ側面の、放電チャンバ下端より60 mm の位置から半径方向に挿入した。プローブには直径0.3 mm, 長さ1 mm の白金線を用いた。また、拡散チャンバ側面に設けた石英窓を用いて、発光分光測定を行った。

ドライエッチング実験は、同じプラズマ源をエッチング機構を備えた装置に搭載して行った。エッチング装置のウェーハステージは、1.6 MHz の高周波バイアスが可能な構造とし、また冷媒循環と静電吸着によるウェーハ冷却も可能とした。

3. 実験結果と考察

3.1 ラングミュアプローブ測定

ラングミュアプローブを用いてアルゴンプラズマ特性の測定を行った。Fig. 2 に、異なる幅のアンテナにより

* 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

** 日電アネルバ株式会社 (〒183 東京都府中市四谷 5-8-1)

Fig. 2 Electron density (n_e) and electron temperature (T_e) versus Ar gas pressure.
(●): Antenna width of 15 mm; (○): Antenna width of 150 mm. Plasma source power: 2 kW.

生成されたプラズマの密度および電子温度のアルゴンガス圧力依存性を示す。放電電力は 2 kW とした。

アンテナ幅 15 mm の場合、プラズマ密度は放電圧力に応じて増加し、ガス圧力 13 Pa において $4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ に達した。一方、アンテナ幅 150 mm の場合には、プラズマ密度の圧力依存性は小さく、得られたプラズマ密度の最大値は $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ であった。

電子温度に関しては、測定した圧力領域内では、アンテナ幅 150 mm の場合の方が高かった。また、いずれのアンテナ幅においても、放電圧力の上昇に従って電子温度が低下する傾向がみられた。

このように、1 ループアンテナにより生成されたプラズマの特性は、アンテナ幅により異なることがわかった。また、プラズマの生成、維持状態にもアンテナ幅による違いが観察された。アンテナ幅 15 mm では、ガス圧力 0.13 Pa 以下でも放電が維持されたのに対し、幅 150 mm では、ガス圧力 0.3 Pa 以下の領域で放電を維持できなかった。プラズマの形状を観察したところ、アンテナ幅 15 mm の場合はプラズマが放電チャンパ内で生成されるのに対し、アンテナ幅 150 mm の場合には、プラズマが拡散チャンパ内全体に広がった。この放電形態の違いは、ECR 放電等に見られる、放電用電力に対応したモードの変化とは異なり、放電用電力にはよらず、アンテナ幅のみに依存したものであった。従って、アンテナ幅 15 mm の場合には 1 ループアンテナ近傍でプラズマが生成されているのに対し、アンテナ幅 150 mm の場合には、拡散チャンパが電極となってプラズマが生成されているものと考えられる。

3.2 アンテナの高周波電圧の測定

上記のようなプラズマ特性の違いを説明するために、

Fig. 3 Antenna voltage versus plasma source power.
Ar Pressure: 0.53 Pa.

Fig. 4 Optical emission spectra of C_4F_8 plasma generated by two types of single loop ribbon antenna. Gas pressure: 0.53 Pa. Plasma source power: 2000 W.

高圧プローブにより 1 ループアンテナの高周波電圧の測定を行なった。測定においては、アンテナ両端の電圧の差をアンテナ電圧とした。

Fig. 3 に、アンテナ電圧の放電用電力依存性を示す。アンテナ電圧は、放電用電力の増加とともに増加したが、同一の放電用電力で比較すると、幅 15 mm の場合のアンテナ電圧は、幅 150 mm の場合の 2 倍以上の値を示した。アンテナ幅 15 mm の場合には、アンテナ幅 150 mm の場合と比較してアンテナ部分のインピーダンスの誘導成分が容量成分に対して比較的大きいため、アンテナ両端間の電圧降下によって、アンテナ電圧が高く測定されたと考えられる。この結果、アンテナとプラズマとの結合においては、プラズマシースにおける容量結合成分に対して、アンテナにより生成される高周波磁界による誘導結合成分が大きくなっていると考えられる。

Fig. 5 Comparison of the etch result using a narrow (15 mm; ●) and a wide (150 mm; ○) ribbon antenna. The figure shows the SiO₂ etch rate and etch selectivity of SiO₂ to poly-Si versus bias power applied on the wafer stage. C₄F₈ pressure: 1.3 Pa. Plasma source power: 2000 W.

3.3 発光分光及びエッチングプロセスの評価

ドライエッチング実験は、シリコン酸化膜 (SiO₂) 及び多結晶シリコン (p-Si) を成膜した6インチシリコンウェーハを用いて行った。エッチング用ガスにはC₄F₈ (オクタフルオロシクロブタン) を用いた。

Fig. 4 の上段には幅15 mm, 下段には幅150 mm の帯状1ループアンテナにより生成したプラズマからの、発光スペクトルを示す。C₄F₈ の解離により生成されるCF₂ 分子及びC₂ 分子からの発光強度の比率は、両者においてはほぼ同一であり、分子発光種の生成状況は、アンテナ幅に依存しないことがわかった。しかしながら、フッ素原子からの発光スペクトル線は、アンテナ幅15 mm の場合には明瞭に観測されたのに対し、幅150 mm の場合にはノイズレベル以下であった。このことから、アンテナ幅15 mm の場合には、幅150 mm の場合に比較してC-F 結合 (結合エネルギー約4.6 eV) を切ることでできるエネルギーを有する電子の数の割合が大きいと予想される。プローブ測定によれば、プラズマ中の電子温度はアンテナ幅150 mm の場合の方が高かったことから、発光分光の結果と電子温度の結果を結び付けるには、プラズマ中の電子エネルギー分布の評価を行う必要がある。

Fig. 5 に、二種類のアンテナ幅のプラズマ源を用いた

ドライエッチング特性の比較として、SiO₂ エッチング速度及びSiO₂ エッチング速度とp-Si エッチング速度の比 (選択比) の、ステージバイアス電力依存性を示す。アンテナ幅15 mm の場合のSiO₂ エッチング速度は、バイアス電力に対する依存性が小さいのに対し、幅150 mm の場合は、バイアス電力300 W 以上で急激に増加した。ただし、アンテナ幅150 mm の場合には、今回の実験条件の範囲内では、実用的なエッチング速度は得られなかった。

一方、選択比はアンテナ幅15 mm の場合にはバイアス電力によらず3程度の低い値であったのに対し、アンテナ幅150 mm の場合は、バイアス電力の増加にしたがって大きくなり、バイアス電力500 W で約13に達した。

発光分光の結果からは、アンテナ幅150 mm の場合に見られた選択比の向上は、プラズマ中のCF₂ 分子の量と比較したフッ素原子の相対的な量が、幅15 mm の場合より減少したことに対応している。エッチング機構としては、幅15 mm の場合にはフッ素原子がエッチャントとなってSiO₂ およびp-Si が共にエッチングされるのに対し、幅150 mm の場合にはCF₂ 分子等から生成される堆積物がウェーハ表面に堆積することにより、選択性が向上したと考えられる。すなわち、帯状アンテナを用いたプラズマ源において、アンテナ幅によるプラズマ生成条件の違いに起因するプラズマ中の活性種の差が、エッチング結果に反映されたと考えられる。

4. まとめと今後の課題

アンテナ幅の調整により、プラズマ特性を変化させることが可能であることを示した。プラズマ特性の変化は、プラズマへの主たる電力注入方法が、誘導性もしくは容量性であることによると考えられる。今回の実験結果は、誘導性と容量性の違いを直接的に測定してはいないため、より明確なデータとして、アンテナの電流電圧およびその位相差を測定が必要である。

また、帯状1ループアンテナプラズマ源は、アンテナ幅の量適化により、ドライエッチングプロセスへの応用が可能と考えられる。ただし、さらにエッチング速度を向上させる必要がある。

【文 献】

- 1) 菅井秀郎: 応用物理 63, 559 (1994).
- 2) Y. Nakagawa, K. Takagi and T. Tsukada: Proc. ICRP-2/SPP-11, Yokohama, 1994 (Japan Society of Applied Physics, Tokyo, 1994) p. 423.