

# ECR プラズマを用いたドライエッチングについて

## ～ECR 発散磁場型プラズマ流ドライエッチング～

三橋 雅彦 (電子技術部)

### 1 はじめに

マイクロ・ナノオーダーでの微細加工技術は半導体デバイスや各種センサー作製、あるいは MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を支える重要なプロセスで、大きく分けると金属や絶縁物などの薄膜材料を作製する成膜技術、ナノレベルの形状を作製するパターニング、このパターンに従い薄膜や基材などを加工・除去するエッチング(蝕刻)技術を組み合わせたの工程となる。エッチングには薬液の化学反応を用いたウェットエッチングと導入ガスのプラズマ分解種との反応を用いたドライエッチングに分けられる。当部ではどちらのエッチングにも対応可能ではあるが、ここでは主に高密度プラズマである ECR プラズマ流方式を用いたドライエッチングについて紹介する。

### 2 ECR プラズマエッチング装置

当所のドライエッチング装置としては、現在、バレル型プラズマエッチング装置、平行平板型プラズマエッチング装置、ECR プラズマエッチング装置の 3 方式がある。

バレル型プラズマエッチング装置の動作圧力は  $10\sim 10^3$  Pa 程度であり、ラジカル反応が主となり**等方的なエッチング**となる。主には加工精度を要しないプラズマ処理、レジスト・アッシング(除去)などが主な用途である。

平行平板型プラズマエッチング装置は容量結合型プラズマ:CCP (Capacitively Coupled Plasma) を活用、具体的には対向した平行平板の電極に RF 電力を印加することによりプラズマを発生させ、本格的なパターン加工などにも広く用いられていた一般的なエッチング装置である。動作圧力は数 Pa～数 10 Pa 程度で用いられることが多い。プラズマ密度は  $10^{10}$   $\text{cm}^{-3}$  台程度である。

ECR プラズマエッチング装置では動作圧力は  $10^{-2}\sim 1$  Pa 前後と低圧であり、プラズマ密度は  $10^{11}$   $\text{cm}^{-3}$  以上の高密度プラズマとなる。更にプラズマ励起条件とは独立にイオンエネルギーが制御可能などの要素も加わり、CCP プラズマと比較しても平均自由行程が長く、イオンの直進性が高まることにより、より**異方性のエッチング**が可能となるなど、微細加工に適したポテンシャルがある。ECR (Electron Cyclotron Resonance) は電子サイクロトロン共鳴を意味する。図 1 には ECR エッチング装置の基本的な構造と 2 つの方式を示した<sup>1)</sup>。ECR プラズマは 2.45GHz のマイクロ波を、石英ガラス・ウィンドウを通してプラズマ室に導入する。プラズマ室は電磁コイルに囲まれており、プラズマ室内の電子はマイクロ波の電界とそれに垂直方向の磁界に

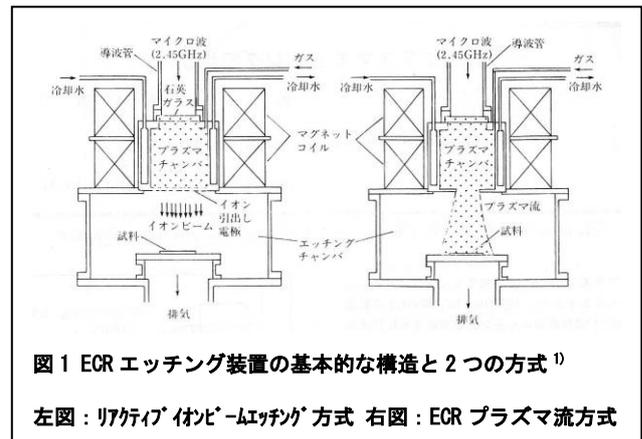


図 1 ECR エッチング装置の基本的な構造と 2 つの方式<sup>1)</sup>

左図：リアクティブイオンビームエッチング方式 右図：ECR プラズマ流方式

よりサイクロトロン運動を行う。2.45GHz のマイクロ波の場合、磁束密度 875G で電子サイクロトロン共鳴が起こり、衝突確立が増加し低圧力下でも高密度なプラズマが維持できる。左図はリアクティブイオンビームエッチング(RIBE)方式である。プラズマ室出口の引出し電極により反応性イオンのみを積極的に引出すが、200V 以上の高電圧印加でないと実用的なイオン電流が得られないことや高電圧によるデバイスダメージなどの点から、あまり使われていない。一方、右図は ECR プラズマ流(イオンシャワー)方式である。イオン引出し電極は用いずにマグネットコイルの発散磁場(磁場勾配)による電界を用いている。この場合はイオンだけでなく、電子やラジカルなどと共に流れ出てくる。この時のイオンエネルギーはおおよそ 30eV 程度である。

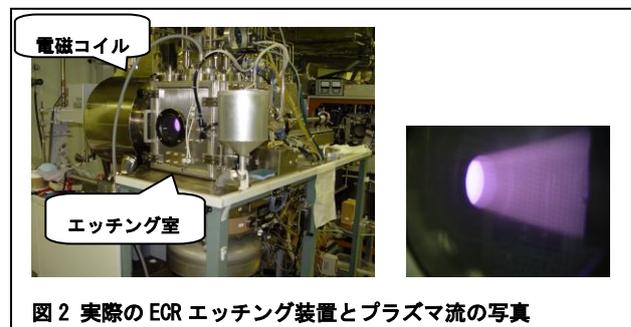


図 2 実際の ECR エッチング装置とプラズマ流の写真

当部の装置ではどちらの方式も対応可能ですが、基本的には発散磁場型プラズマ流方式を活用している。図 2 に装置写真とプラズマ流の写真を示す。装置写真での円柱形状がプラズマ室を囲む電磁コイルであり、その横の直方体のチャンバがエッチング室である。この様に実際にはプラズマ室やプラズマ流は水平に出てくる構造であり、基板ホ

ルダ―は垂直な状況での設置となる。この基板ホルダ―には 16.56MHz の RF 電力を印加することが可能であり、これによりエッチング速度は確実に向上する。

### 3 実験及び結果

本装置のエッチング中の基板温度を調べた結果を示す。本装置はロードロック方式での基板ホルダ―をセットし、通常ではエッチング室を大気に開放しない機構となっている。その事もあり、基板ホルダ―はほとんど冷却機能が働いていない状況である。エッチング時の基板温度の上昇を以下の条件で確認した。

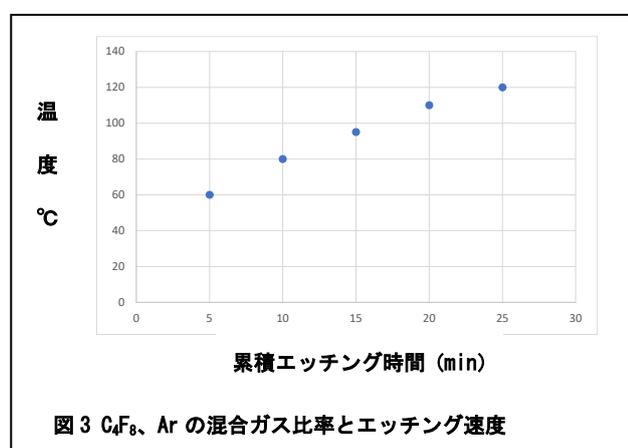
ガス種：Ar、ガス流量：10SCCM、

プラズマ励起マイクロ波電力：300W

基板バイアス(13.56MHz)RF電力：25W

エッチング室圧力： $1.33 \times 10^{-1}$ Pa

エッチング開始時から、5分間隔で基板温度をモニターした結果を図3に示す。エッチングはシャッターの開閉を



5分間隔で行った。グラフの横軸では冷却時間は含まずに、プラズマ流を照射した累積時間で示した。基板温度は 50~120°C、10°C間隔の温度表示素子（サーモラベル）をホルダ―表面にとり、目視による指標の変化を観察し、読み取った。これから20分ほどで100°C以上になっていることが分かる。

次に実際のエッチング事例を示す。シリコン単結晶、石英ガラス、サファイア、セラミックス (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系、AlN系)、ポリイミドを各ガス種でのエッチングを行った。主なエッチング条件は以下のとおりである。

ガス種：Ar、CF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、O<sub>2</sub>、ガス流量：10SCCM、

プラズマ励起マイクロ波電力：700W

基板バイアス(13.56MHz)RF電力：80W

エッチング室圧力： $1.33 \times 10^{-1}$ Pa、時間：30分

試料である板材にシリコンウェハ―の薄片にてマスク固定し、エッチング後の複数個所の段差を触診式段差計 Sloan社、Dektak3030STにて測定し、エッチング速度の平均値としてまとめたものを表1に示す。ポリイミドとのエッチング速度の比較データから、レジストをマスクとして用いた場合の対マスク選択比（被エッチ膜 E とマスク Er のエッチング速度比：E/Er）を検討する上での参考データとなる。

表1 各ガス種によりエッチング結果

| 試料                                 | エッチング速度 (nm/min) |                 |                 |                |
|------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
|                                    | Ar               | CF <sub>4</sub> | SF <sub>6</sub> | O <sub>2</sub> |
| シリコン                               | 77.7             | 86.7            | 276.7           | 6.5            |
| 石英ガラス                              | 77.7             | 137.7           | 222.7           | 12.6           |
| サファイア                              | 13.2             | 54.3            | 19.3            | 6.7            |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 系セラ | 6.5              | 56.0            | 20.6            | 6.3            |
| AlN系セラ                             | 7.4              | 30.0            | 19.7            | 8.6            |
| ポリイミド                              | 90.0             | 216.7           | 316.7           | 656.7          |

更にはPt薄膜、圧電材料であるPZT (Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>)薄膜を被エッチング材として、混合ガス C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、Ar の混合比率によるエッチング速度への影響を調べた。エッチング条件を以下に示す。

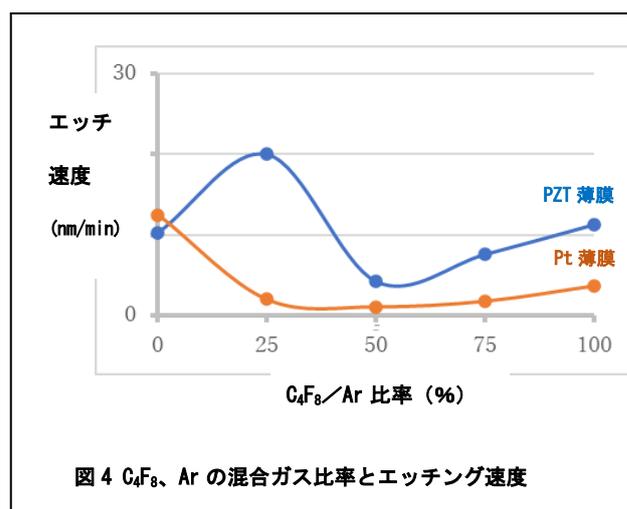
ガス種：C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、Ar 混合、トータルガス流量：10SCCM、

プラズマ励起マイクロ波電力：300W

基板バイアス(13.56MHz)RF電力：20W

エッチング室圧力： $1.33 \times 10^{-1}$ Pa、時間：30~60分

その結果を図4に示す。化学的に安定であるPt薄膜では混合ガスの影響は見られず、むしろ元素としての質量が大きいAr100%でのエッチング速度がもっとも大きくなった。また、PZT薄膜ではC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>の場合ではArとほぼ同等のエッチング速度であったが、Arを混合し25%の場合はほぼ2倍の速度の増加が見られた。Arは不活性ガスであるので、Arイオンアシスト効果として考えられる<sup>2)</sup>、ただし、それ以外の比率の場合にはむしろエッチング速度が低下しており、これはこのエッチング機構について、電氣的、物理的、化学的など総合的に検討を進める必要があることと考えている。



#### 【参考文献】

- 鈴木、鶴飼、表面技術、vol.41, No.9, 6 (1990).
- J. W. Coburn, H. F. Winters, *J. Appl. Phys.*, 50, 3189 (1979).