

平面アンテナ型UHF波 プラズマエッチャーの開発

株式会社 日立製作所
執行役社長 庄山悦彦

(株)日立製作所 中央研究所研究員	横川 賢悦
(株)日立製作所 中央研究所主任研究員	板橋 直志
(株)日立製作所 中央研究所主任研究員	増田 俊夫
(株)日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所部長	川原 博宣
(株)日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所副事業所長	田地 新一

はじめに

半導体デバイスの微細化による高集積化が急速に進展しており、2005年には加工寸法40nmの量産技術が必要とされる。また直径200mmウエハに代わり、300mmウエハによる量産が導入されつつある。半導体デバイスの微細構造は、レジストによりパターンニングされたウエハをプラズマにさらし、半導体材料をパターン形状どおりにエッチングすることで形成される。従来のプラズマエッチングでは、プラズマの原料ガス、圧力及びウエハに印加する電圧等の制御で微細化に対応してきた。しかし、これら従来の制御のみでは今後要求される加工精度の達成が困難となる。次世代以降の大口径高精度加工には従来の制御因子に加えて、プラズマ内でのガス分子の解離状態とその分布、リアクタ壁での反応による活性種の状態、反応生成物のウエハへの再入射の影響を制御する必要がある。

上記要求に対応した制御性をもつプラズマ生成技術として、平面アンテナで導入する450MHzのUHF (Ultra High Frequency) 波と磁界の相互作用でプラズマを生成するプラズマ生成方式を開発した。さらにエッチングメカニズムの解明も行い、本技術の特徴であるプラズマの制御性と合わせて次々世代半導体に対応可能な大口径高精度エッチングを実現した。

開発のねらい

図1に示す従来装置の特徴から本開発装置の狙いを説明する。図1中の平行平板型装置の利点は、シリコン酸化膜 (SiO_2 膜) エッチングでの高エッチング選択性 (レジスト等エッチングしたくない材料と加工対象のエッチング速度比) である。フロロカーボンガスを用いる SiO_2 膜エッチングでは、原料ガスの過剰解離で生ずるフッ素原子がエッチング選択性を低下させる。平行平板型装置はプラズマのギャップが小さく、原料ガスが電子と衝突する頻度が少ないため、過剰解離が抑制される。またウエハ対向電極面での反応によりフッ素原子量を制御できる。これらの作用により高いエッチング選択性が得られる。さらに平行平板型装置はウエハ面及びその対向電極面の両方も常に安定した反応が起こっていることから、安定した壁状態が保持されることで長期にわたり安定動作を行うことができる。しかし、放電維持に電極間隔を20mm程度とする必要があり、ウエハの大口径化に際してはウエハ面内でのガス圧力の不均一を起こしやすい。また低圧力での動作が困難である。これらから、加工均一性と微細加工性に課題を有する。さらに高速加工に必要なプラズマ密度が十分でない課題も有する。

もう一方の従来装置である高密度プラズマ装

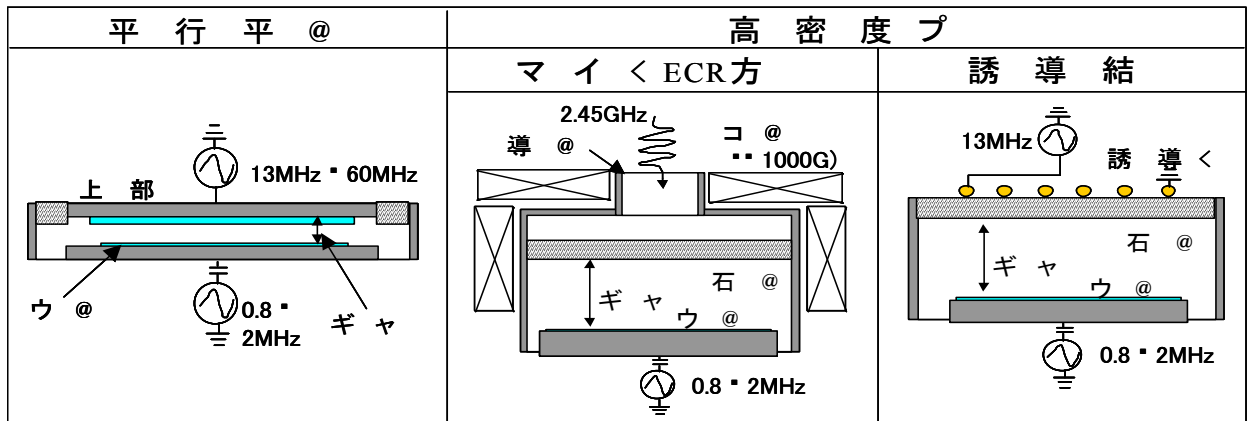


図1 従来装置

置には、マイクロ波ECR (Electron Cyclotron Resonance) 方式と誘導結合方式 (ICP : Inductive Coupled Plasma) がある。高密度プラズマ装置の利点は、ほぼ $10^{12}/\text{cm}^3$ の高密度プラズマによる高速加工と低圧力動作 (0.5Pa以下) による微細加工性である。またウエハに印加するバイアスの独立性が高く、ウエハに引き込むイオンエネルギーの制御性が高い利点も有する。しかし高密度プラズマ装置は、過剰に高密度でギャップも大きいため原料ガスの過剰解離を引き起こし、エッチング選択性が得られない課題を有する。また微細構造部での局所的なチャージアップによるダメージや形状の異常を引き起こす課題もある。

本開発では、上記した従来装置の利点を継承し、課題を克服できるプラズマとして、**図2**に示す新たな領域での安定プラズマ生成が可能な装置を理想とした。また同時に、**図3**に示すような反応生成物再入射分布の制御を可能とする

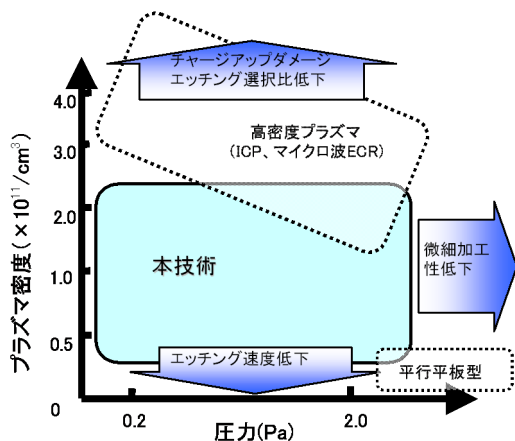


図2 本開発装置と従来装置の比較

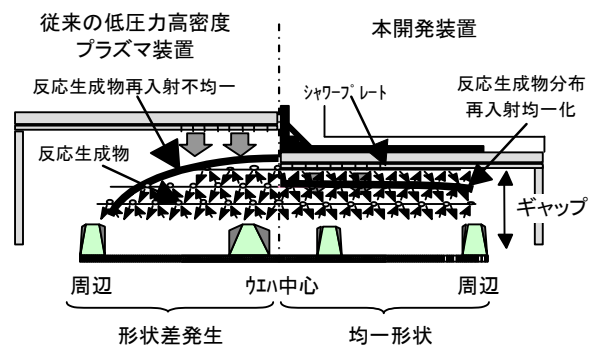


図3 ギャップ制御による形状精度均一化

プラズマの広範囲なギャップ制御や、プラズマ分布を自由に制御できる装置の開発を目指した。

装置の概要

図4、**図5**に本開発装置の外観およびリアクタ部を示す。本開発装置では、450MHzのUHF波を平面アンテナで真空容器内に導入し、磁界との相互作用でプラズマを形成する。平面アンテナによるUHF波導入により、平行平板型のリアクタ構造となっている。このUHF波という従来装置にない周波数の電磁波と磁界の相互作用により、高速加工と低ダメージ性を両立できるプラズマ密度 ($0.1 \sim 2 \times 10^{11}/\text{cm}^3$) を0.1Pa~10Paの広範な圧力域で生成可能となった。また磁界の制御でプラズマの分布も制御可能である。

以上の効果により平行平板型装置の利点である対向電極面での反応によるプラズマ内の活性種制御性や長期安定性を有しながら、ガス圧力

分布の不均一、低圧動作性及び高速加工に必要なプラズマ密度の課題を解決することが可能となった。またギャップ制御により反応生成物再入射現象の分布均一化が可能となり、形状精度のウエハ面内高均一化を実現できる。



図4 本開発装置の外観

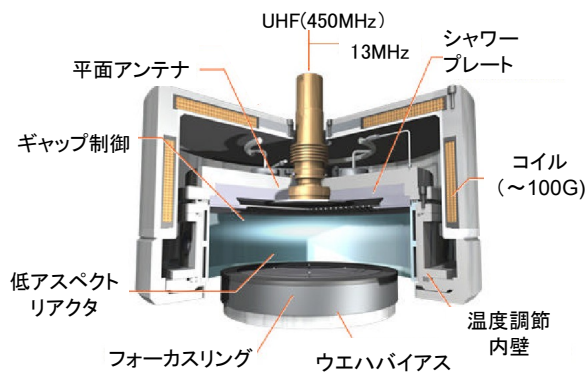


図5 本開発装置のリアクタ部

技術上の特徴

本技術の特長を以下に示す。

(1) 高速加工性、低ダメージ性、原料ガスの過剰解離抑制を両立する $0.1 \sim 2 \times 10^{11}/\text{cm}^3$ の中密度プラズマ生成。

(2) 形状精度とその高均一化を実現する $0.1 \sim 10\text{Pa}$ の圧力範囲での安定動作とギャップ制御による反応生成物再入射分布制御。

(3) 高エッチング選択性と長期安定性を実現する平行平板構造での原料ガスの過剰解離抑制と、上部電極面での反応を活かした活性種制御。

4) コイル磁場によるプラズマ分布の制御。

以上より本開発装置は、従来装置の利点の継承と課題の克服を両立し、また従来装置にない新たな利点も有している。広範なプラズマ制御領域（密度、ギャップ、圧力）を持ち、幅広い材料や構造に最適なプロセス構築を可能とする。

実用上の効果

ゲートエッチングと配線層間のコンタクトを形成するHARC (High Aspect Ratio Contact hole) エッチングを例に、本技術の効果を説明する。

ゲートエッチングは半導体デバイスの基本素子であるトランジスタのゲート電極を形成するプロセスであり、もともと高精度が要求される工程である。ゲート電極は、密に配列された領域と疎に配列された領域が同一チップ内に存在する。この配列の疎密により、エッチング中の反応生成物が再入射する程度が異なるため、加工形状に差が生じる（疎密差）。さらに、ゲート電極材料にはP型とN型シリコンを混在して加工する場合もある。N型はP型に比べエッチングされやすい特性を持つことから、P型とN型で形状差（PN差）が生じる。したがって、ゲートエッチングでは加工寸法の精度だけでなく、同時に疎密差とPN差を低減することが要求される。形状精度以外では、チャージアップによるダメージや加工形状異常を抑制することが重要となる。さらに下地材料であるゲート酸化膜とのエッチング選択性も非常に重要な課題である。ゲート電極はポリシリコン膜をエッチングすることで形成されるが、ポリシリコン膜を加工する際、下地のゲート酸化膜でエッチングを停止する必要がある。次世代のゲート酸化膜は 2nm 程度となるため非常に高いエッチング選択性（数百）が必要となる。

上記したゲートエッチングに対する形状精度の要求を満足するには、 $0.1 \sim 0.5\text{Pa}$ の低圧力域

でのプラズマ生成が必要となる。また過剰な荷電粒子による形状異常やダメージを発生させず、加工速度を両立する条件として今回開発したリアクタで初めて実現できる $0.1\sim 2\times 10^{11}/\text{cm}^3$ の中密度域での制御性が必要である。また中密度域では、原料ガスの過剰解離も抑制できることからPN差も抑制される。さらに本技術における装置では、ギャップを自由に制御することができ、高い形状精度を大面積なウエハ全面で得ることが可能となる。図6に本開発装置によるゲート長37nmのゲートエッチング結果を示す。300mmウエハ全面にて、加工精度 $\pm 3\text{nm}$ 以下

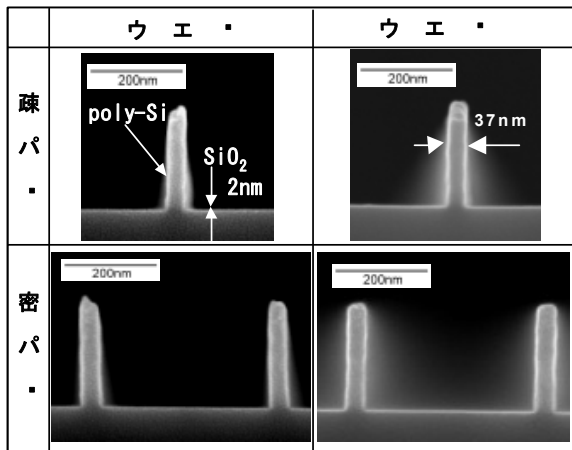


図6 極微細(37nm)ゲートエッチング結果のエッチングを実現し、次世代以降の超微細加工に対応できることが示された。

次にHARCエッチングへの適用結果を説明する。次世代のHARCエッチングでは孔径 $0.2\sim 0.1\mu\text{m}$ 、深さ $2\sim 3\mu\text{m}$ のアスペクト比(深さ/孔径)20以上の加工が必要となる。HARCエッチングでは高速加工とレジスト及び孔底材料に対する高エッチング選択性及び垂直加工性が求められる。レジストに対するエッチング選択性では、高速加工に必要なプラズマ密度の確保と過剰解離抑制の両立が必要である。本開発装置では、平行平板構造の効果によりエッチング選択性を低下させるフッ素原子を低減できることから、高いエッチング選択性を実現できる。垂直加工性では、低圧動作性と孔内に輸送される活性種の制御が重要となる。図7に本開発装置のHARCエッチング結果を示す。次々世代以降に対

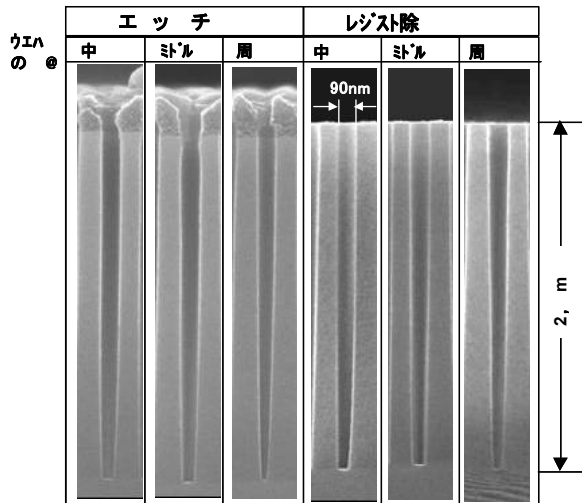


図7 孔径90nmのHARCエッチング結果

応する孔径90nm、深さ $2\mu\text{m}$ の超高アスペクト孔の加工を、対レジスト選択比30以上でかつ垂直形状で実現できることが確認できた。

以上に記したように本開発装置は、その特徴から高い形状精度とその均一性を量産性と両立して実証した。本開発装置は現在先端デバイス製造の量産及び開発に適用されている。

工業所有権の状況

平面アンテナ型UHF波プラズマエッチャーに関して、出願した特許は55件(内26件は米、台、韓国への国際特許出願)で、基本特許を含む4件は既に、登録されている。

むすび

半導体デバイスの微細化に対する要求は今後も高まり続ける。原子・分子オーダーの加工精度と同時に新しい材料や構造が提案され、エッチングに求められる技術も高度化と多様化を両立して発展させる必要がある。さらにこれら高度化を量産性や低コスト化も高めながら進展させなければならない。プロセス開発による本開発技術のアプリケーションの拡大、及び更なる改良を今後も続け、半導体デバイスの発展に寄与していくことを目指す。