

報告番号	乙 第 7378 号
------	------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 低気圧・高密度プラズマエッチング現象の
解明とその高性能化に関する研究

(Study on low pressure and high density
plasma etching phenomenon and its high
performance)

氏 名 大森 達夫

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、超大規模集積回路(ULSI: Ultra Large Scale Integrated Circuit)、DRAM(Dynamic Random Access Memory)をはじめとする電子デバイスにおいて、現在、回路パターンを高精度に加工するために広く利用されている低気圧・高密度プラズマエッチング技術を対象として、プラズマエッチング現象を明らかにして、より高性能なエッチングを実現するための検討を行った。ECR 放電塩素プラズマによるポリシリコンゲート加工を例に、電気的、光学的プラズマ計測・診断法を用いて、プラズマ内のイオン、ラジカルの密度、温度、基板入射イオンエネルギーを明らかにし、ECR プラズマのモデル化を試みた。また、微細パターンの高選択比エッチング時にみられる形状異常現象(ノッチング現象)の評価と発生機構を明らかにし、その解決策を実験とシミュレーションから示した。また、今後必要になる 10nm 以下の回路パターンをより高精度に加工するための、高純度・低エネルギーイオンビーム発生技術や、ビーム状プラズマによる高精度エッチング技術の提案と実証について論じたものであり、7 章より構成されている。

第1章 序論

本研究の背景について述べ、本研究に着手した動機ならびに目的とその意義を明ら

かにした。

第2章 電氣的、光学的診断法による電子サイクロトロン共鳴(ECR)放電塩素プラズマのプラズマパラメータ、塩素原子密度測定と ECR プラズマのモデル化検討

シリコン膜エッチングに広く利用されている ECR 放電塩素プラズマのプラズマパラメータの空間分布、基板入射イオンの入射フラックス、入射エネルギー分布を複数の電氣的測定法により明らかにし、ECR プラズマの一次元モデルを検討した。ECR 放電プラズマ中のプラズマパラメータは、磁力線に沿った中心軸上(z 軸方向)に不均一で空間分布を持ち、特に電子密度、プラズマ電位は ECR 領域付近で最大になることを明らかにした。

また、プラズマ中の主要ラジカルである塩素原子密度を二光子励起レーザー誘起蛍光(LIF: Laser Induced Fluorescence)法測定により測定し、ECR 放電プラズマでは、通常の平行平板 RF プラズマに比べ、ラジカル対イオン密度比が $1/10^3$ 程度に小さくなることを明らかにした。

基板入射イオンの入射エネルギー分布は、圧力の低下とともに幅が広くなり、入射イオンエネルギー分布は高エネルギー側に広がることを示した。また入射エネルギー分布の広がり、主にプラズマ電位差によって発散磁場方向に加速されて基板にドリフトして入射されるイオンの影響であることを明らかにした。

第3章 ECR エッチングでのエッチング形状異常現象(ノッチング現象)と微細パターン内のイオン軌道解析による現象解明と改善方法の検討

ECR 放電を利用したエッチングで、微細パターン酸化膜上のポリシリコン膜の高選択比エッチングを行った場合に、ライン・アンド・スペース(L&S: Line and Space)パターンの最外側のラインの内側にノッチング形状が発生しやすいという形状異常現象(ノッチング現象と名付ける)の発生条件と発生機構について検討し、プロセス圧力の低下や基板位置を ECR 領域から離すことによって、プラズマ中のイオンは大きなドリフト速度を持ってウエハに入射し、ノッチング現象が改善されることを明らかにした。

さらに、ノッチング現象の発生機構として、ウエハ表面の微細パターン内のイオン、電子の軌道解析をパターン内のチャージングの効果も含めたパーティクル・シミュレーションを行い検討した。ノッチング現象は微細パターン表面のチャージングにより生じる局所電場によりイオン軌道が曲げられ、特に対称性が崩れる最外側のラインの内側下部でその変化が大きいとノッチング現象が起こることを明らかにした。

また、基板入射イオンのドリフト速度を考慮した微細パターン内の電子、イオンの軌道解析から、ノッチング量は微細パターンのアスペクト比が大きくなるほど大きくなり、今後の微細加工の大きな課題になることを明らかにした。あわせてこのノッチング現象にはプラズマ中の電子温度やドリフト速度が大きく影響し、ノッチング現象改善には、

電子温度の低温下(低電子温度プラズマ)や、基板入射方向のドリフト速度の増大(基板に入射するプラズマのビーム化)が有効であることを明らかにした。

第 4 章はレーザー励起リドベルグ原子を利用した新しい電離方法と高純度・低温イオンビーム発生方法の研究

微細パターンエッチング時の形状異常現象(ノッチング現象)の改善には、プラズマ中の電子温度の低温化や基板に入射するプラズマのビーム化が有効であり、本章では、電子の温度をほとんど上げない低エネルギー・イオンビームの発生方法としてレーザー励起のリドベルグ(Rydberg)状態を用いた方法の提案とその実証を行った。

従来の直接光イオン化は光利用効率が悪いという欠点があったが、ここではレーザー励起手法を用いて高励起状態の原子(リドベルグ原子)を発生させ、その後電場を印加してイオン化させることにより、従来の光イオン化より効率良く高純度・低温なイオンを発生できることと示し、これを用いて低速のイオンビームを発生できることを明らかにした。さらにイオンビーム量を増大させるためにリドベルグ原子の長寿命性を利用した大口径や高繰り返しイオンビーム発生方法を提案した。

第 5 章ガスパフ・プラズマ源を用いたビームエッチング技術の開発

次世代エッチング技術として、プラズマ源と高速ガスパフ・バルブを備えたノズルビーム・システム(ガスパフ・プラズマ源)を用いたエッチング方法の提案とその実証について述べる。

ガスパフ・プラズマ源について 1 次元シミュレーションによるガス流れとビームプラズマの生成について検討し、試作したガスパフ・プラズマ源のプラズマ特性とエッチング特性について調べ、同形状リアクターの ECR プラズマとの比較を行った。基板入射イオンのエネルギー分布は高エネルギー領域に広がりを持ち、オーバーエッチング時のノッチング現象が改善されることを明らかにした。

また、ポリシリコンエッチング中の微細パターン内に入射するイオン軌道とイオン・フラックスを、材料の電気的性質およびプラズマ特性やチャージング効果を考慮したシミュレーションを行い、L&S パターンのスペースに入射するイオン・フラックスはオープンスペースより小さく、基板に入射するプラズマのドリフト速度を増加させると、この差は小さくなることを明らかにした。あわせて、ガスパフ・プラズマ源を用いたエッチング実験を行い、最小パターンサイズ 0.15 μm の L&S パターンまで一定のエッチング速度を示し、RIE-lag も見られなくノッチング現象も見られない高精度エッチング特性が得られた。

第 6 章「大口径ガスパフ・プラズマエッチング装置の開発

第 5 章で得られた研究成果から、今後の高精度の大口径ウエハ対応のエッチング装置として、マルチノズルを用いたガスパフ・プラズマ源を用いたエッチング技術を開

発し、大口径化への適用性を評価した。8 インチウエハ上で 0.1 μm レベルの微細パターンまでノッチング現象なく、また RIE-lag なく高精度にエッチングできることを示した。あわせて、エッチングダメージの評価を行い、従来の高性能 ECR-RIE に比べてダメージの増加は見られなかった。

第 7 章 まとめ

本研究では、現状のプラズマエッチング技術の課題について、特に、エッチングのノッチング現象に関して、その発生機構の解明について調べた。さらに、ノッチング現象を抑制するための指針を提示し、ビームプラズマによるエッチング技術を提案し、大口径ガスパフ・プラズマエッチング装置を開発した。