

審査の結果の要旨

氏名 藤原 伸夫

半導体産業は、大容量かつ多機能の半導体デバイスの開発を推進することによって目覚ましい発展を遂げて来た。この発展は微細加工技術の進歩によるところが大きい。近年の先端半導体デバイスにおいては、トランジスタ性能を直接的に決定するゲート電極寸法が 100 nm 以下に微細化され、素子特性のバラツキ抑制のためにはナノメートルレベルでの高精度寸法制御が要求される。本論文では、高精度な微細パターンを形成するために、反応性プラズマエッチング技術において低圧力領域にてプラズマ生成が行なえる電子サイクロトロン共鳴 (ECR : Electron Cyclotron Resonance) プラズマを用いて、微細加工に適した ECR プラズマの生成と制御方法を検討し、エッチング異方性とプラズマ特性の関係、微細パターンとプラズマの相互作用、および被エッチング表面の反応機構の考察を行なったものである。本論文は 5 章からなる。

第 1 章は緒言であり、微細パターン形成に必要なエッチング技術において、低圧力化、低イオンエネルギー化、高密度化が重要であることを示し、高効率のプラズマ生成方式の 1 つである ECR プラズマの重要性をまとめ、本論文の意義と目的について述べている。

第 2 章においては、エッチング異方性とプラズマ特性の関係を考察し、異方性エッチングに適した ECR プラズマ生成方法を検討している。その結果、ECR プラズマによる多結晶 Si の異方性エッチングにおいて、プラズマ中のイオン温度とイオンシース電圧が加工形状における側壁のくびれや逆テーパ形状に大きく影響することが示されている。異方性向上に対してイオン温度を低温化することが重要である。このためには、プラズマ生成の磁場分布においてプラズマを安定に閉じ込める磁場領域を広げることが重要と考え、多極磁場を併用することによってイオン温度が低温化し、加工形状の異方性が増すことを実証している。プラズマ安定化の別の手法としてエッチングに必要なハロゲンイオンよりも軽質量のイオンを含むプラズマでは異方性が向上することも示している。プラズマ密度を均一化し安定なプラズマ生成がイオン温度の低温化に重要であるという考察に基づき、ECR 領域におけるプラズマ生成を均一かつ最適化するために磁場勾配の分布を均一にする必要性を導き出し、実験により実証するとともに ECR プラズマ生成方法の最適化指針を示している。

第3章においては、第2章において最適化された ECR プラズマによる多結晶 Si のエッチングにおいて、パターンに依存した特異な加工形状をもたらすチャージアップについて原因究明と対策方法を検討している。この結果、微細パターンにおいて発生する局所的なサイドエッチ(ノッチ)は、パターンによる電子入射の遮蔽により、パターンのアスペクト比に依存したチャージアップが原因であるとするモデルを提案し、実験的に検証している。チャージアップに起因するノッチは低電子温度、低イオン電流密度により抑制されるが、実用的観点から高イオン電流密度でのノッチ抑制を検討し、その方法としてパルス変調プラズマを適用している。パルスプラズマにおいては放電休止中における低電子温度状況下においてチャージアップが中和され、さらに放電開始の瞬間において、放電させるために必然的に生じる高エネルギー電子のパターン底部への到達によりチャージアップを中和させると考え、この電力変調の方法によってチャージアップを制御できることを実証している。

第4章では、代表的なゲート材料のエッチング時における表面反応機構をイオン束と中性粒子束の供給の観点から検討している。その結果、低圧力の ECR プラズマエッチングでは WSi_2 、Si、多結晶 Si のいずれに対しても中性粒子束供給がエッチング速度に影響し、パターン寸法に依存したエッチング遅れ(RIE-Lag)の原因となっている。さらに WSi_2 の Cl_2 ガスプラズマによるエッチング反応では、低揮発性の反応生成物による表面被覆や再付着が RIE-Lag の主要原因であるとしている。そこで低揮発性の反応生成物が生じる要因として、高イオンフラックス供給や高エネルギーイオン照射により反応面における中性粒子吸着量低下であると考え、反応面における中性粒子量を増加する一手法として第3章で述べられたパルスプラズマを適用し、RIE-Lag が低減すること、揮発性の高い反応生成物が生じていることが示されている。

第5章は総括である。

以上要するに、本論文は、ECR プラズマによる微細エッチング技術において、微細加工に適したプラズマ生成方法を示し、微細化に伴うチャージアップ現象に対応するプラズマ制御方法の開発、表面反応機構とエッチング特性の解明がなされており、プラズマ工学への貢献が大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。