

氏 名	米 田 昌 弘
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3352 号
学位授与の日付	平 成 10 年 5 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	プラズマエッチング技術の半導体デバイスへの応用に関する研究

(主査)

論文調査委員 教授 橘 邦 英 教授 山 田 公 教授 松 波 弘 之

論 文 内 容 の 要 旨

半導体デバイスを製造するために必要な微細加工プロセスとしてのプラズマエッチング技術の高性能化, 高マージン化に対する要求が益々高まってきている。特に, 単結晶, 多結晶シリコン及びシリコン酸化膜の高異方性加工及び高アスペクト比パターン形成における種々の問題点の解決が迫られている。本論文では, 微細加工に必要とされるプラズマの条件を明らかにし, 高異方性, 高選択性, 高均一性, 低損傷性及び微細パターン形成が可能なプロセスを実現するために行った一連の研究の成果をとりまとめたもので, 5章より成っている。

第1章は序論で, 本研究を始めるに至った動機, 関連分野の歴史背景と研究動向, 及び本研究の意義について述べている。

第2章では, 反応性イオンエッチングが最も早く実用化されたシリコン酸化膜の異方性エッチングの微細加工特性について述べ, 高集積半導体デバイスにおける, 微細コンタクトホールのパターン形成を目的として, (1) 低周波陽極結合型平行平板電極方式において, C/F組成比の高い C_4F_8 ガスを用いた場合のシリコン酸化膜の異方性加工の特性を評価している。特に, 大面積の電極間でのガスの流れ及び圧力とプラズマの均一性との関係を明らかにし, 良好な高い均一性を有した異方性エッチング特性を実現させている。また, 高いエネルギーを持つ反応性イオンによるエッチングの場合でも, 損傷無く良好な加工ができることを示している。(2) 高周波陰極結合型平行平板電極方式において, 各種エッチングガスと添加ガスによるシリコン酸化膜の高選択性加工の特性を評価している。特に, シリコン酸化膜のエッチング特性に対して, ガスのC/F比が大きな影響を持ち, それが高くなるほど対シリコン選択比が高くなり, 更にC/F比が高くなると, CF_x 堆積膜がシリコン酸化膜エッチングを阻害することを示している。また, シリコンのエッチャントである弗素ラジカル CF_3 の除去を目的として, 水素ガスの添加依存性を明らかにし, 最適なガスの組み合わせにより良好なエッチング特性が得られることを示している。(3) ECRプラズマ方式において, 低圧力, 高解離, 高密度プラズマによる, 高アスペクト比のコンタクトホール加工特性を評価している。高解離プラズマ条件において, 従来の反応性イオンエッチングでは充分解離することができなかったC/F比の高い C_4F_8 ガスを用いることで, これまで困難であった対シリコン選択性と低RIE-lagの両立を実現している。この方式では, 低圧力, 高バイアス下で, 高密度プラズマから供給される CF_x ラジカルを, 高アスペクト比のコンタクトホールの穴底まで充分到達させることができ, 加えて, 堆積した CF_x 層を反応性イオンにより充分励起しているためであると推論している。また, ラジカル CF_3 の分析により, この時のシリコン酸化膜のエッチャントが CF_3 ラジカルであるとする, 各種エッチング特性が矛盾無く説明できることも示している。

第3章では, 反応性イオンエッチングにおいて, 多結晶シリコン中にドーブされた不純物がエッチング特性に与える影響について評価している。発生する弗素及び塩素ラジカルによるサイドエッチングを抑制するのに充分な側壁保護膜形成がない場合において, 多結晶シリコン中にドーブされた不純物の種類及び量, ドーブ後に行った熱処理による不純物の活性化等がエッチャントの化学的反応性に対してどの様に影響を与えているかを調べている。即ち, 結晶粒径と活性化率との関係によって, 横方向のエッチング速度が決定されていることを明らかにしている。特にPやAsの様なSiの中でn型の導電特性

を持つ不純物は、熱処理により多結晶シリコンの結晶粒成長を促進し、活性化率も大きく変化するため、エッチング速度、異方性度等のエッチング特性に大きく影響することを実証している。

第4章では、微細パターン形成において、低圧力領域で高密度プラズマを発生でき、かつ、高異方性と高選択性との両立が期待できる外部バイアス印加ECRプラズマ発生方式を用いたときに、バイアス電圧及びプラズマ電位分布が微細加工特性に与える影響を調べる目的で、以下の評価を行っている。(1) 反応生成物の蒸気圧が低い条件では、高バイアス時の方がRIE-lagが発生し易い。これは、高アスペクト比パターン内に十分な中性反応種が供給されない状態で、高エネルギーのイオンが入射した場合、より低蒸気圧の反応生成物が形成され易く、この反応生成物がエッチング面へ再付着し易いためにエッチングが阻害されることによると推論している。(2) 被エッチング膜をシリコンとした場合、反応生成物の蒸気圧は高く、且つバイアスを印加しない状態ではRIE-lagが起りにくいと考えられるが、低圧力及び高プラズマ密度の場合に、大きなRIE-lagが観測される。これも上記の(1)と同様に、高アスペクト比パターン内に、十分な中性反応種が供給されないことによるものであることを明らかにしている。低圧力、高プラズマ密度の状態では、プラズマ電位的にイオンが試料面に向かって加速されず、生成されたイオンとガスとの電荷交換衝突によって生成される高速中性分子の運動方向がエッチング試料と垂直にならない。そのため、高アスペクト比パターン内に十分な量が供給されず、また加速されたイオンの方向性も悪いので、エッチャント不足によってRIE-lagが発生すると考察している。即ち、低RIE-lag特性を得るためには、イオンがエッチング試料に対して加速されるような磁場配置にすることが重要であると指摘している。(3) 上記の(2)ではRIE-lag特性を指標として評価しているが、同一の問題として局所的サイドエッチング（ノッチ）の発生が挙げられる。ノッチ発生機構として、電子の方向性がイオンの方向性より悪いいため、絶縁性エッチングマスクの表面が負に帯電し、被エッチング膜表面に電位分布が形成されることが要因であることを明らかにしている。この推論に基づいて、プラズマ電位がエッチング試料面に向かって低下し、イオン及び電子が試料面に垂直な方向に加速される様な磁場配置をとることにより、ノッチ発生を防ぐことが出来ることを提案し、実証している。

第5章では、本研究で得られた成果を総括し、本研究の意義を確認すると共に、更に、微細化が進む現状を踏まえ、今後に残された問題点の解決への向性について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高集積半導体デバイスを製造するために用いられる反応性プラズマエッチング技術について、単結晶、多結晶シリコンおよびシリコン酸化膜（ SiO_2 ）の異方性加工、高アスペクト比パターン形成における実用上の問題点を考究し、微細加工技術の高性能化をはかるために行った研究の成果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 平行平板電極型の高周波プラズマ装置を用いて、 SiO_2 のSiに対する選択加工特性を評価し、原料ガスのC/F組成比や H_2 などの添加ガスの影響、電力結合方式による差異を系統的に調べ、高選択比を実現する条件を解析した。
2. 低ガス圧で高密度プラズマが生成できる電子サイクロトロン共鳴（ECR）プラズマ装置を用いて、高アスペクト比のコンタクトホール加工特性を評価した結果、ECRプラズマ源ではC/F比の高い C_4F_8 ガスを高効率に解離でき、バイアス条件によって SiO_2 のSiに対する選択性の向上と加工速度の寸法依存性（RIE-lag）の低減が両立できることを示した。
3. 多結晶Siのエッチングにおいては、ドーパされている不純物の活性化率と熱処理に依存した結晶粒径の大きさがエッチャントの化学反応特性に影響を与えることを示し、横方向の加工を抑制して高異方性を確保する条件を明らかにした。
4. ECRプラズマ源を用いた高アスペクト比形状のSiのエッチングについて、パターン内部へのイオンやラジカルの輸送をプラズマ中の電位分布と関連付けて考察し、磁場配置によって電位分布を制御して加工特性を最適化し、局所的な形状異常の発生なども回避できることを示した。

以上要するに、本論文は集積回路プロセスにおける要素技術として重要なプラズマエッチング技術について、実用上で要求されている高異方性、高選択性、低損傷化などの高度な加工特性を実現するための問題を分析し、種々の具体的な解決の方策を示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成10年4月7日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。