

審査の結果の要旨

氏名 林 久貴

高集積化、高性能化が進む半導体デバイスの製造において、絶縁膜の微細エッチング技術はキーテクノロジーの一つである。本論文は最小パターン幅が 0.13 μm 世代以降の半導体デバイス製造における絶縁膜エッチングの課題の内、材料間の高選択性、パターン寸法依存性、照射損傷の除去の点に関し、いくつかの課題を解決したことを示したものであり、7章よりなる。

第1章は、序論であり、半導体集積回路の微細化と半導体産業の動向、酸化膜エッチングの課題、本論文の目的と内容、酸化膜エッチング反応機構の概観を述べている。

第2章では、従来不可能であった高選択比 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ エッチングを開発し、実用化したことを述べている。まず、フルオロカーボンイオンビームを用いたエッチング種の探索により、 CF_2^+ および C_2F_4^+ イオンが $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 選択エッチングに好適であり、実プラズマにおいてこれらの種を効率よく生成させるには C_4F_8 ガスが好ましいことを明らかにした。次に、 C_4F_8 ガスに CO を添加することで、高選択 SAC(自己整合コンタクト)加工を工業レベルで初めて実現した。更に、 CO 添加が Si_3N_4 エッチング速度を抑制する C を供給し、フッ素(F)原子を除去していることにより高選択比を実現していることを明らかにした。

第3章では、ナローギャップ平行平板型プラズマにおける C_4F_8 解離機構について述べている。 C_4F_8 の電子衝突解離により生成される化学種の密度を電子密度に対してプロットすることにより、分子量の大きなものから小さなものへと組成が変化していく様子を明らかにした。また、電子衝突解離過程についての速度方程式解析により、 F 原子は主に CF_2 の電子衝突解離から生成されており、排気により損失していることが明らかとなった。そして、 C_2F_4 の密度が CF や CF_3 密度に匹敵することや、 C_2F_4 のプラズマ誘起表面損失が推定できた。更に C_4F_8 の解離パスの内、 $\text{C}_4\text{F}_8 \rightarrow \text{C}_2\text{F}_4 \rightarrow \text{CF}_2 \rightarrow \text{CF} + \text{F}$ が主であることが推定できた。

第4章では、500 MHz 電子サイクロトロン共鳴型リアクタにおいて、高周波バイアスが印加された Si 製上部電極に入射するイオンのエネルギーを変化させ、積極的にプラズマと Si とを反応させることにより、 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{Ar}$ プラズマ中の CF_x ($x = 1-3$)、 Si 、 SiF 、 F 原子の各密度がどのように変化するかを述べている。イオンエネルギーを高くすることで CF_x ($x = 1-3$) 密度を減ずることが可能なことが明らかとなった。特に F 原子密度に関しては、34%減ずることができた。 F 原子密度の減少は、 F 原子を生じる母ガスである CF_2 の減少が原因であり、 Si を高エネルギーイオンで照射した際に起こる F 原子と Si の直接的な反応により起こっているのではないことが明らかとなった。

第5章では、 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{CO}$ マグネトロンプラズマを用いた、コンタクトホール用の SiO_2

エッチング速度と穴の底での Si_3N_4 エッチング速度のパターンサイズ依存性について述べている。これらのエッチング速度は、コンタクトホールのアスペクト比によって決まっていることを明らかにした。次に、微細孔内現象を解明するために、キャピラリープレートでコンタクトホールを見立て、そこを通り抜けてきたイオン電流を計測した。その結果、エッチング速度が高アスペクト比において低下する原因の一つに、ホール内へ形成された重合膜上で正のチャージアップによる正イオンの減速に起因することを初めて実験的に明らかにした。そして、微量の酸素添加により重合膜が除去され、高アスペクト比のコンタクトホール加工を実現できることを示した。このとき、穴の底に到達するイオン電流量が増加していることも確認した。

第6章では、フルオロカーボンガスの RIE(反応性イオンエッチング)により、Si 基板へ導入されるダメージと、RIE の後処理が Si エピタキシャル成長に対してどのように影響するかを述べている。RIE は Si 表面に C(炭素)を含む変質層を形成する。 O_2 プラズマ処理のような酸素イオンを用いた後処理を用いると、Si 基板を変質層深さ以上に酸化でき、形成された SiO_2 膜はフッ酸処理により完全に除去され、欠陥を含まない単結晶 Si が成長する。低温で高精度な深さ制御が可能な、 O_2 プラズマ処理を開発し、これが Si エピタキシャル成長の前処理として有効であることを実証した。

第7章では、総括として、以上の研究の要約とともに今後の展望を述べている。

以上要するに、本論文は、半導体デバイス製造における絶縁膜エッチング技術に着目し、 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{CO}$ プラズマを用いた高選択比 $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ エッチング技術の実現、CO 添加による高選択比発現機構の解明、 C_4F_8 解離機構の考察、微細孔内現象の評価、および照射損傷除去技術の提案を行ったものであり、半導体材料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。