

審査の結果の要旨

氏名 中川 秀夫

多層配線を形成するための層間絶縁膜エッチング技術の研究開発においては、垂直形状、対下地 Si 高選択比、低 RIE-lag という特性を併せ持った高性能高アスペクト比コンタクトホール(HARC)エッチング加工技術を実現するために、HARC 内のエッチング反応表面(側壁と底部)でのイオンとラジカルの競合反応の制御が必要となってきた。その際、プラズマ中で生成されたイオンとラジカルのエッチング反応表面への供給制御が必要になり、ラジカルの生成・供給制御が有効な手法となる。本論文は、SiO₂ 膜の HARC エッチングにおいて HARC 内でのラジカル輸送機構と、その供給源となるラジカルのプラズマ中での生成機構の考察を行っている。さらに微細化の進行と共に必要となってきた低誘電率(low-k)膜においても SiO₂ 膜と異なるガスケミストリを必要とする有機 low-k 膜の HARC エッチングに対して、エッチング表面反応に基づき新規ガスケミストリ設計を行い、プラズマ中で生成されるラジカル/イオンの組成制御についての考察を行ったものである。本論文は 6 章からなる。

第 1 章は序説であり、これまでの層間絶縁膜エッチング技術の研究開発に関する背景について概説し、HARC エッチングにおけるラジカルの生成・供給制御の必要性和重要性について説明し、本研究の役割、位置づけ、必要性及び本研究の目的について述べている。

第 2 章では、HARC エッチングにおいて第 1 に重要なエッチング形状制御を定量化するために、従来の SEM では観察できなかった高アスペクト比パターン底部の観察が可能となる高解像度走査型電子顕微鏡(SEM)を新たに開発し、インラインでの高アスペクト比パターン底部の高解像度観察と寸法(CD)測定を可能にした。本 SEM の 64MDRAM 及び 256MDRAM の実研究開発への適用を通じて、HARC エッチングにおける CD 制御、すなわち、形状制御の重要性を早期に明確化し、その後の HARC エッチング研究の方向性を見出している。

第 3 章では、CF 系プラズマを用いた堆積膜を伴う SiO₂ 膜の HARC エッチングにおいて、HARC 内のラジカル輸送機構とエッチング特性との関係について実験解析し、議論している。広ギャップ RIE(反応性イオンエッチング)装置において、ウエハ温度と HARC 内でのラジカルの吸着率の関係を実験とシミュレーションの両面から実験解析し、ウエハ温度の上昇に伴いラジカルの吸着率が指数関数的に低下することを見出し、十分な側壁保護膜の形成と HARC 底部へのラジカルの供給量増大を両立し、その結果、垂直形状、対下地 Si 高選択比、低 RIE-lag を同時実現可能なラジカルの吸着率の最適値として約 0.05 が存在することを明らかにしている。

第 4 章では、SiO₂ 膜の HARC エッチングを行うための CF 系誘導結合プラズマ(ICP)において、ICP 励起周波数が 100 MHz と 13.56 MHz の二種の場合を調べ、プラズマ

励起機構の違い、及びラジカルの生成機構の違いを明らかにすると共に、プラズマ励起機構とラジカル生成機構との関係を空間的に取り扱うことの重要性を示している。また、LIF(レーザ誘起蛍光)と AMS(出現電位質量分析法)を組み合わせることにより、CF、CF₂ ラジカル空間密度分布の絶対値測定を実現して、13.56MHz-ICP の気相中の空間密度分布を測定し、CF、CF₂ ラジカル密度が反応室の中心部で低く周辺部で極端に高いことを確認している。その一因として、壁からのラジカルの生成の影響を推定し、それを確認するためにウエハ上の軸方向ラジカル密度分布を評価して、壁(ウエハ)とプラズマとの相互作用について議論し、壁での CF、CF₂ ラジカルの生成がラジカルの空間密度分布に大きな影響を与えていることを検証している。

第5章では、有機 low-k 膜の HARC エッチングにおいて、ガスケミストリとプラズマ中で生成されるラジカル/イオン組成との関係、さらにはエッチング特性との関係を議論し、ガスケミストリと表面反応との関係を研究している。有機 low-k 膜にダメージを与える酸素を用いることなく、従来の H₂/N₂ プラズマでは実現できなかった「堆積膜を伴うエッチングシステム」を実現するために、CH₄/N₂ プラズマと CH₃NH₂/N₂ プラズマによるエッチングプロセスを新規開発し、垂直から順テーパに至る形状に対してマイクロトレンチの無い HARC エッチングを実現している。前記3種類のプラズマにおいてガス混合比を変化させてエッチング特性を比較評価することにより、エッチング機構と表面反応の違いを明確化している。また、エッチング中に生成される堆積膜を光電子分光(XPS)により評価解析した結果、「堆積膜を伴うエッチングシステム」に有効な堆積膜は CN 結合を含む膜であり、C/N 比を 2~3 にすることにより高性能エッチングが実現されることを見出している。

第6章は総括である。

以上要するに、本論文は、層間絶縁膜の HARC エッチングにおいて、エッチングケミストリの異なる SiO₂ 膜と有機 low-k 膜のいずれの場合もプラズマ中でのラジカル生成と HARC 内(側壁及び底部)へのラジカルの供給を質的・量的に制御することにより、高性能な「堆積膜を伴うエッチングシステム」を実現できることを示し、その有効性を明らかにした内容をまとめたものであり、マテリアル工学の発展への寄与が大きい。

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。