

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12767 号
------	---------------

氏 名 福永 裕介

### 論文題目

Study on Etched Profile Control and the Surface Reaction for  
Organic Material Plasma Etching  
(有機物のプラズマエッチングにおけるエッチング形状制御とその  
表面反応に関する研究)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	堀 勝
委員	名古屋大学	教授	天野 浩
委員	名古屋大学	教授	須田 淳
委員	名古屋大学	特任教授	石川 健治
委員	名古屋大学	教授	秦 誠一

## 論文審査の結果の要旨

福永裕介氏提出の論文「Study on Etched Profile Control and the Surface Reaction for Organic Material Plasma Etching (有機物のプラズマエッチングにおけるエッチング形状制御とその表面反応に関する研究)」は、大規模集積回路製造における有機薄膜のプラズマエッチングプロセスにおいて、エッチング中の基板温度をリアルタイムで計測し、その結果を基にして、プラズマをオン、オフ制御することで、基板温度を一定に保ちながら、有機薄膜の高精度微細加工したときの微細パターン形状とその反応機構の関係について、学術かつ実用的な成果をまとめたものであり、全6章から構成されている。

第1章は、序論で、大規模集積回路製造における微細加工プロセスにおけるプラズマエッチングにおける高分子薄膜の位置づけを概観し、現状及び将来のデバイス構造を描写することで、本論文の目的と意義、そして構成について述べている。

第2章では、本研究で用いたプラズマエッチング装置とエッチングした有機薄膜の評価方法やプラズマ制御方法について述べている。

第3章では、リアルタイム基板温度計測に基づいた自律型プラズマ制御システムによって、水素と窒素の混合ガスによる有機薄膜のエッチング形状依存性を詳細に解析し、プラズマのオン、オフ制御によって、有機薄膜のエッチング形状を高精度に制御できることを実現した。また、基板温度が、60°Cおよび100°Cの場合に、エッチングが終了し、底面が基板に到達した後のオーバーエッチングで、側壁方向に均一にエッチングが進行することを見出した。また、側壁の化学結合を調べることによって、基板温度の制御によってエッチング生成物の表面の吸着確立や活性種反応確率が大きく影響を受けることを明らかにした。

第4章では、水素と窒素の混合ガスプラズマ処理によるトリミングプロセスに取り組み、基板温度100°Cに精密制御することによって、パターン線幅10nm、アスペクト比12の有機薄膜の超微細パターンの形成に世界で初めて成功した。さらに、そのパターン形成は自己停止的な反応によって形成されていることを見出している。この知見を基に、有機薄膜中で生じている化学反応を解析した結果、エッチング中に有機薄膜がCN結合に富む構造に変化して、エッチング反応が自己停止することを突き止めている。これらの結果により、任意の3次元的な構造の上に、CN層に富むナノメーター厚の薄膜を形成する新規超薄膜技術を提案するに至っている。

第5章では、有機薄膜のプラズマエッチングにおけるラジカル種による反応を分子レベルで理解するために、計算的手法の導入に取り組んでいる。計算的手法として、密度汎関数法やab-initio分子動力学法を導入し、有機物表面における酸素原子による反応モデルを構築した。さらに、実験的な手法によって、酸素ラジカルとポリスチレンのエッチング反応を解析した結果、酸素原子は、ポリスチレンの骨格であるベンゼン環を壊すことなく、CO結合に富む構造変化が生じることを明らかにし、計算結果との比較によって、酸素ラジカルによる有機ポリマーのエッチング機構を洞察している。

第6章では、本研究の結果を総括し、今後の課題および展望について述べている。

以上のように、本研究では、大規模集積回路プロセスにおける有機薄膜のプラズマエッチング技術において、基板温度を一定に保持して、有機薄膜のエッチングを実現することで、10nmの超微細な有機薄膜パターンの形成に成功した。さらに、プラズマ中のラジカルと有機薄膜との相互作用を系統的にまとめて、有機薄膜のエッチング反応機構に対する有用なモデルを明示している。これらの成果は、学術上、又工業上寄与するところが極めて大きいと判断できる。よって、本論文提出者である福永裕介氏は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。