

氏 名 山岡 義和

学位（専攻分野） 博士（工学）

学位記番号 総研大乙第 139 号

学位授与の日付 平成 17 年 3 月 24 日

学位授与の要件 学位規則第 6 条第 2 項該当

学位論文題目 プラズマビーム照射による有機ポリマーエッチングに関する研究

論文審査員 主査 教授 齊藤 芳男  
教授 神谷 幸秀  
教授 鎌田 進  
助教授 加藤 茂樹  
グループ長 野中 秀彦（産業技術総合研究所）  
名誉教授 高田 耕治（高エネルギー加速器研究機構）

## 論文内容の要旨

半導体電子素子の集積化および高密度化は、メモリー素子ばかりでなく信号処理を実行するシステム素子においても、近年その要求が高まっている。その際、各機能モジュール間を接続する配線は薄く細くさらに多層となるため、層間の絶縁膜の持つ静電容量に起因する信号伝達遅延時間の増大が問題となる。このため、従来から絶縁膜として用いられてきた酸化シリコン系化合物に代わり、より誘電率の低い材料の利用が強く求められている。半導体素子の製造プロセスにおいてフォトレジストとして使われている有機ポリマーは低誘電率の絶縁材料であり、この要求を満たすものとして、さらに、工程においてハロゲン系ガスが不要なため地球環境に適合するものとして、大いに期待されている。しかしながら、実際の製造工程、とくにプラズマエッチング工程におけるプラズマと有機ポリマーとの相互作用に関しては明らかになっていない部分が多く、反応の素過程を解明して、エッチングのプラズマ最適条件を確立することが要求されている。

本論文では、プラズマと有機ポリマーとの反応素過程を詳しく調べるため、まず、プラズマからイオンおよび活性中性粒子をビームとして取出す装置を構築した。各種混合ガスで生成されるプラズマから取出されたビームの、中性粒子のフラックス強度、および、イオンの組成比とフラックス強度、エネルギー分布などを、質量分析器、ファラディカップなどを用いて詳しく測定し、さらに、イオンビームの収束状態を測定し、かつシミュレーションにより確認した。これらの結果を利用して、ビームの様々な条件を精度よく制御することに成功した。

次に、このビームを有機ポリマーに照射し、その結果表面から脱離してくる反応生成物を、雑音を低減する工夫を施した質量分析器により詳しく測定し、生成物の同定、ビーム中のイオン組成比と生成物との関連について、新しい知見を得ている。

さらに、ビームとの反応の前後における有機ポリマーの表面状態を電子スピン共鳴法により「その場測定」し、プラズマ中のある種のイオンによりポリマーの構成元素である炭素の電子構造に変化が起きることを見出した。

これらの実験から、有機ポリマーのエッチングにおいては、プラズマ中の活性中性粒子よりもイオンによる反応が支配的であること、エッチング収率はあるイオン種に対して特に高くなること、さらに入射するイオンのエネルギーにより特徴的な振舞いを持つことなど、新規性の高い事実が見い出された。そして、これらは、シリコン系材料のエッチング過程とは大きく異なることが明らかにされた。したがって、シリコン系材料と有機ポリマーとを複合的に用いれば、選択性の高いエッチング工程が可能であることが示された。また、有機ポリマー中の炭素原子の電子状態の観察から、水素イオンによる炭素未結合手の形成とその後の窒素イオンとの反応という最も基本的な過程を推察することが、今回始めて可能となった。

## 論文審査結果の要旨

半導体電子素子の集積化および高密度化に際して重要な課題となっている層間絶縁膜の静電容量の低減化を目的とした本研究は、半導体素子の製造プロセスにおいてフォトレジストとして使われている有機ポリマーの利用を念頭に置いたものであり、これは低誘電率素材の活用であるだけでなく、工程においてハロゲン系ガスが不要なため地球環境に適合するものとしても大いに注目される。

従来、プラズマエッチングの実際の工程におけるプラズマと有機ポリマーとの反応の素過程については多くが明らかにされておらず、基礎実験が不足していた。この点を考慮し、まず、プラズマからイオンおよび活性中性粒子をビームとして取出す装置を構築し、これを用いて、プラズマビーム中の中性粒子のフラックス強度、および、イオンの組成比とフラックス強度、エネルギー分布、さらにはイオンビームの収束状態など、ビームの種々の基礎特性を測定してそれを精度よく制御している。これは、プラズマと有機ポリマーとの反応素過程を調べる上で最も重要であり、研究の方針として全く正しいものである。

したがって、このビームを有機ポリマーに照射して得られた数々の実験からは、反応生成物の同定、イオン組成比と生成物との関連性、さらに、プラズマ中のある種のイオンによるポリマーの構成元素である炭素の電子構造の変化など、きわめて多くの新しい知見を得ることに成功している。

これらの実験から、有機ポリマーのエッチング過程は従来広く用いられてきたシリコン系材料のそれとは大きく異なることが明らかにされ、選択性の高いエッチング工程の実現など、本研究の応用も提案されている。また、有機ポリマー中の炭素原子の電子状態の観察から今回初めて推察が可能となった炭素未結手に関する反応素過程は、この分野での、今後の研究の方向づけを示唆している。

以上より、本論文の内容はきわめて充実しており、基礎ならびに応用分野への寄与が大きいものと判断する。

なお、口頭発表に際しては、実験装置、実験結果、考察に関する各種質問に適切に回答しており、さらに、学会、学術誌などでの発表も適宜なされていることも確認できた。また、公開論文発表会でも、内容が論理的に構成され、また的確な用語を用いており、理解しやすい表現であった。既に発表されている英文の論文から、十分な英語力を持つことも確認できており、工学博士として必要な学力を有することを認める

したがって、本論文は工学博士の学位に値するものと認められ、論文博士学位申請に対する審査の結論を「合格（工学博士）」とする。