

審査の結果の要旨

氏名 芦田 純生

本論文は「時間変調プロセスプラズマの特性に関する研究」と題し、半導体集積回路などの製造に適用される時間変調プラズマの最も単純化されたシミュレーションモデルを構築し、実験との対比によって同モデルの妥当性を検証し、さらに同モデルの適用知見を論じたものである。

プラズマプロセッシング高度化の過程で、微細加工性と処理速度の飛躍的向上に向け、近年、励起電力を高速にオン・オフする時間変調高密度プラズマ源が導入されてきた。その深化においては、大規模計算による精緻なシミュレーション展開とともに、その本質を的確に把握する為の可能な限り単純化されたモデル化が望まれ、本論文は後者の立場から、バルクプラズマの均一性を仮定する「ゼロ次元モデル」を基本とした手法を開発している。同モデルは、単純でありながら、アルゴンや塩素プラズマの時間変調による挙動特性の本質を明示するとともに、定量的にも必要十分な精度が得られることが、実験との比較により確認されている。本論文は全6章から構成されている。

第1章は序論であり、電子デバイス部材加工分野の高度化にプラズマプロセッシングが果たした役割、プロセスプラズマの進展、並びにプロセスプラズマの多様なシミュレーション手法を概観し、本研究の目的を明確化している。

第2章は、本研究展開の直接の動機となった、電子デバイス部材のCVDや超微細加工に使用されるプラズマの進化過程を詳述するとともに、それらのプラズマに時間変調を適用して得られる効果について具体例を通して紹介している。また、従来の粒子モデルなどのシミュレーション例を紹介して、より単純なシミュレーション手法の必要性を論じ、本研究の位置づけと意義を明確化している。

第3章は、アルゴンプラズマの時間変調ゼロ次元モデルの導出を詳細に展開し、プローブ測定との対比によってモデルの妥当性を確認している。特に、当該モデルにより導出される印加電力オフ後のプラズマ密度の減衰時定数及び電子温度の減衰時定数から、変調周期をその中間に設定することでプラズマを維持しながら電子温度が制御されることを明示し、この機構こそが半導体の微細加工における時間変調の主要な効果であることを明らかにしている。

第4章では、電子デバイス部材微細加工に広く使われ、かつ負イオンや分子イオンを含め、多様な粒子からなる塩素プラズマについてモデルを構築し、報告されている測定例と比較して、シミュレーション結果の妥当性を論じている。結果として、解離性電子付着による塩素負イオンの生成には塩素分子の十分な供給が必要であることから、反応容器壁面での塩素原子の再結合が大きな役割を果たすことを明らかにしている。また、塩素プラズマは、印加電力オフ後の電子密度の減衰時定数が解離度に依存し、解離度が低い場合には、電子が実質的に消滅して、正イオンと負イオンのみとなる状況もあり得ることなどを明示している。

第5章では、第3章、第4章で展開したアルゴンと塩素プラズマのゼロ次元モデルによるシミュレーション結果および実験との対比による総括的考察を行うとともに、当該ゼロ次元モデルがより広範なガス系にも適用しうる事が述べられている。中でも、アルゴンプラズマや解離度の高い塩素プラズマと、解離度の低い塩素プラズマとの大きな特性の差異を、印加電力オフ後の電子密度の減衰時定数の長短によって論理的に明示したことは高く評価される。

第6章は総括であり、本論文で提示した時間変調プラズマのシミュレーションモデルの意義と限界、および将来への展開などをまとめている。

以上を要約すると、本研究では高密度時間変調プラズマの新規なシミュレーション法である「ゼロ次元モデル」を構築しその有用性を示すとともに、電子デバイス部材のプラズマプロセッシング高度化におけるパルス変調の本質を明示したものであり、材料加工学分野に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。