

審査の結果の要旨

氏名 鳥羽 孝幸

本論文は「複数誘電体窓を有する表面波プラズマ装置における電子密度空間分布制御に関する研究」と題し、2.45GHz マイクロ波表面波を利用した平板型プロセスプラズマ装置の放電特性を実験と数値シミュレーションの両面から検討し、特に大面積プロセスに適用するために、複数の誘電体窓を有するモジュール構造を提案し、その実現性を評価したもので、全体は7章より構成されている。

第1章は「序論」であり、本研究の背景となる高集積電子部品製造等におけるプロセスプラズマ装置の現状を概説し、その分野における表面波プロセスプラズマ装置の役割を述べ、本研究の目的と構成を示している。特に本論文では予備研究として用いられる正方形単一窓型装置、および大口径化装置のモジュールとなる縦長構造を有する複数窓型装置、の2種類を研究対象としたことが説明されている。

第2章は「平板型表面波プラズマ装置の構成」と題し、正方形単一窓型装置と複数窓型装置の詳細な構造について説明し、特にマイクロ波入射窓としてアルミナ板および石英板を使用していることが述べられている。また電子密度計測システムとして静電プローブと75GHz マイクロ波干渉計を併用し、電子密度計測データの信頼性について考察し、マイクロ波電界中での静電プローブ動作の健全性を確認している。

第3章は「単一窓型表面波プラズマ装置の放電特性に関する実験研究」と題し、正方形単一窓型の装置において生成されるプラズマの電子密度、電子温度等の空間分布を計測し、特に誘電体窓に垂直方向に対して、電子密度空間分布は上部誘電体窓との境界から20~30mmの位置にピークを持っていること、一方、電子温度空間分布は境界に近づくにつれて単調に増大していることを確認している。他方、マイクロ波伝搬方向の水平方向に対して、電子密度分布はアルゴンの場合にはマイクロ波電力を上げることによって均一な分布が得られるものの、酸素、窒素等の分子気体の場合には最大電力入射時においても入口領域に偏った電子密度分布をしていることを計測している。このとき、窓の開口部を狭くし、マイクロ波入射エネルギー密度をアルゴンに比して約6倍にすることによって酸素プラズマでも均一な分布が得られることを見いだしている。

第4章は「単一窓型表面波プラズマ装置の放電特性に関するシミュレーション」と題し、FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法による電磁界解析と電子に対する流体モデルに基づく数値計算コードを開発し、単一窓型装置の放電プラズマパラメタの空間分布を再現できるモデルを構築し、その計算結果を示している。特に空間セルサイズを細かくし、さらに電子密度の境界での値をゼロに設定することによって、電子温度の垂直方向分布に関して実験結果の特徴を再現できることを確認している。またアルミナ窓の厚さについては、電力吸収効率が良く、均一性に優れたプラズマ生成可

能な最適な厚さが求められている。

第5章は「複数窓型表面波プラズマ装置におけるプラズマの一樣生成に関する実験」と題し、平板型表面波プラズマ装置を大面積化する際の1モジュールとして、チャンバ長約50cm、幅約10cmを有する4枚の誘電体窓を備えた縦長モジュールを対象として、その構造におけるプラズマの一樣生成に関する実験を行った。この構造においては4枚の誘電体窓を支える梁が放電容器内に突起しているが、新に梁の高さと同一寸法の厚みを有する石英板を梁の間に挿入することによってプラズマ表面を平坦にして、それによって梁の影響を受けることがなく、マイクロ波伝搬方向にほぼ一樣な電子密度分布を有するプラズマ生成に成功している。

第6章は「複数窓型表面波プラズマ装置における放電特性に関するシミュレーション」と題し、前章で述べた複数誘電体窓型表面波プラズマ装置における放電特性を参考にして、より縦長、具体的には約1m長のモジュールに対して数値シミュレーションを行った結果を述べている。このとき装置各部の寸法、特に梁の寸法について適切な値を探索し、梁の高さ、およびその間に挿入される石英板の厚さは、電子密度の均一性およびマイクロ波電力効率の面から15-20mmが適していることを指摘している。他方、窓の寸法は一辺を50-60mmにするとときに最も均等に各窓からエネルギーがプラズマに吸収され、一樣な電子密度分布が得られることを見いだしている。これらの条件に基づいて、1m強の長さのプラズマが一樣生成され、窓数は16であるモジュールの基本設計を成功させている。

第7章「結論」では、本論文で得られた結果をまとめている。

以上これを要するに、本論文は2.45GHzマイクロ波を用いた平板型表面波プロセスプラズマ装置を対象として、その放電特性を実験、数値シミュレーション両面から検討し、そこで生成されるプラズマの電子密度空間分布の一樣性向上を達成するための方策を明らかにすることで、複数のマイクロ波導入窓を有しモジュール構造化された大口径装置の実現可能性を検証したもので、電気工学、特にプラズマ工学に貢献するところが大きい。

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。

