

# 論文審査の結果の要旨

氏名 金 東珉

本論文は「Numerical Analysis on Discharging Characteristics in Microwave-excited Surface Wave Plasma Apparatus with Self-consistent Simulation Method (セルフコンシステントシミュレーションによるマイクロ波励起表面波プラズマ装置の放電特性解析)」と題し、準安定原子を含むプラズマ化学反応を考慮し、マイクロ波励起表面波プラズマ装置におけるマイクロ波の伝搬特性とプラズマパラメータの空間分布を解析できるシミュレーションツールを開発し、実験データとの比較によりその有効性を検証したもので、6章から構成される。

第1章は「Introduction」であり、マイクロ波励起プラズマ、特にマイクロ波励起表面波プラズマと発生装置、およびその数値解析法の現状を整理した上で、本研究の目的を述べている。

第2章は「Simulation Method」と題し、マイクロ波伝搬を解析する電磁界解析部とプラズマ化学反応を含むプラズマ解析部から構成されるシミュレーションツールについて詳述している。各解析部について、支配方程式と離散化法、境界条件を示し、解析の安定化条件を説明している。本解析ツールで重要な意味を持つ化学反応と各反応の速度定数を示し、さらに、電磁界解析部とプラズマ解析部をつなげるための三次元セル構造に関しても説明している。

第3章は「Electromagnetic Wave Propagation in Uniform Plasma」と題し、定常状態にある均一なプラズマを仮定して、円形誘電体表面波プラズマ装置におけるマイクロ波伝搬特性を解析した結果について述べている。電子温度やアルゴンガス圧力より、電子密度が電磁波の伝搬特性に強く影響していることを確認し、そのプラズマ装置において発生可能なプラズマの電子密度限界も評価している。解析結果より、プラズマの電子密度限界が約  $2.8 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$  であると予想され、それ以上の電子密度では電磁波が装置中心部まで十分に伝搬できなくなり、プラズマによる電力吸収が効果的に行われなことをシミュレーションにより示した。

第4章は「Self-consistent Simulation in Simple Model」と題し、導波管と放電容器から成る単純な理想モデルで解析を行った結果について述べている。解析結果から、マイクロ波によってプラズマの電子密度や電子温度が変化し、またこれらのプラズマパラメータの変化により電磁波の伝搬特性が変わるという結果が得られ、セルフコンシステントなシミュレーションが開発したツールによって可能であることを示し、ツールの有効性を定性的に確認している。

第5章は「Self-consistent Simulation in RDL-SWP Apparatus」と題し、開発したシ

シミュレーションツールを用いて、10 mTorr と 30 mTorr の 2 種類のアルゴンガス圧力条件で、1.5 kW のマイクロ波入力のもと、円形誘電体表面波プラズマ装置における電磁波の伝搬特性と電子温度や電子密度の空間分布を解析した結果について述べている。さらに実験で測定された電子密度と電子温度の分布と解析結果を比較することで、シミュレーションの妥当性の評価を行い、その結果、表面波プラズマの放電特性がシミュレーションによってよく再現できていることを示した。ただし、10 mTorr の低圧力条件では電子温度が約 0.5 eV 高い解析結果となっている。電子温度分布における実験結果と解析結果との相違の原因について、電界強度やパワー吸収の分布、電子密度や電子温度の分布から分析している。

第 6 章は「Conclusions」であり、本研究の成果を総括している。

以上これを要するに、本論文は、様々な応用が展開されているプラズマ発生源の一つであるマイクロ波励起表面波プラズマ装置の放電特性を解析するために、準安定原子を含むプラズマ化学反応を考慮した詳細な物理・化学モデルに基づくシミュレーションツールを開発し、実験結果との比較からその高い有用性を検証したものであり、先端エネルギー工学、特にプラズマ工学に貢献するところが少なくない。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上、1783字