

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	トモグラフィック発光分光計測と衝突輻射モデルにもとづくアルゴン誘導結合プラズマの位置分布診断
Title(English)	Positional Distribution Diagnosis of Argon Inductively Coupled Plasma Based on Tomographic Optical Emission Spectroscopic Measurement and Collisional-Radiative Model
著者(和文)	山下雄也
Author(English)	Yuya Yamashita
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第278号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:赤塚 洋,浦壁 隆浩,竹内 希,清田 恭平,河邊 賢一,伊藤 剛仁
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第278号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	山下 雄也	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	赤塚 洋	准教授	河辺 賢一	准教授
	審査員	浦壁 隆浩	特任教授	伊藤 剛仁	学外審査員 (東京大学 准教授)
		竹内 希	准教授		
清田 恭平		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Positional Distribution Diagnosis of Argon Inductively Coupled Plasma Based on Tomographic Optical Emission Spectroscopic Measurement and Collisional-Radiative Model」(トモグラフィック発光分光計測と衝突輻射モデルにもとづくアルゴン誘導結合プラズマの位置分布診断)と題し、英文で記述されており、5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、近年の半導体プロセス分野の高集積微細化や多種材料適用性など、産業現場からの要求に伴い、半導体プラズマプロセスを支配する電子温度・密度等のプラズマパラメータの非接触空間分布計測が必須となってきた事情を説明し、プラズマ空間分解診断方法の開発が必須であることを指摘し、アルゴン誘導結合プラズマを対象として、断層撮像即ちトモグラフィック計測を適用して求めた励起状態数密度の空間分解計測により、プラズマパラメータ空間分解診断方法の開発が本研究の目的であると述べている。

第2章「Theoretical background」では、衝突輻射モデルに基づくプラズマの発光分光計測理論を詳述している。線スペクトルからの発光強度から励起状態数密度を求められるが、当該励起状態の生成消滅の過程を素過程レベルで記述することにより、電子衝突過程と輻射遷移を主とする衝突輻射モデルによりアルゴンプラズマ中の励起反応機構を記述できることを示し、測定対象プラズマがたとえ非平衡でも、発光分光計測により電子温度・密度を求められることを示し、最適化手法を用いた計算方法も詳述している。

第3章「Radial dependence diagnosis of inductively coupled Ar plasma based upon optical emission spectroscopic measurement with spectral reflectance compensation」では、プラズマ発生容器壁での反射の影響まで含めた誘導結合 Ar プラズマの空間分解発光分光診断手法の開発について述べている。光線追跡にもとづく多重反射補正法は、既往研究でも取り入れられていたが、プラズマ容器の幾何学的構造を詳細に数値化し入力する必要があり実用的でないことが問題点であると指摘している。この問題の克服のため、照明工学における光束法に着想を得て、参照用反射板の有無による分光放射照度の比較によりプラズマ容器内壁分光反射率の測定方法を案出して実験によりその成立性を確認し、光線追跡不要の多重反射補正を初めて実現している。これにより、アーベル変換を施して励起状態数密度を導出する操作に対し多重反射光を補正し、プラズマの正味の分光放出係数を、空間分布として得る方法を考案し確立している。さらに電子温度・密度の半径依存性を種々の放電条件の下で測定し評価し、プローブ計測や電磁界シミュレーションの結果を比較し、本研究による光反射率補正手法の妥当性を示し、反射補正によって電子温度・密度それぞれ 0.6%, 3.1%の精度向上を確認している。

第4章「Spatial distribution diagnosis of electron temperature and density of argon inductively coupled plasma by tomographic optical emission spectroscopic measurement and collisional-radiative model」では、第3章の研究結果として非軸対称でもプラズマ診断を実施する必要性を見出したとし、トモグラフィック発光分光計測および衝突輻射モデルにもとづく電子温度・密度の空間分布診断方法開発を記述している。制約正則化アルゴリズムと分光トモグラフィ計算手法を開発し、多数の分光計測用光ファイバを用いた光学系を含めた実験装置を設計製作して、トモグラフィック計測を各種放電条件で実施し、さらに放電 RF 出力や放電気圧に対する空間分布まで含めた電子温度・密度の依存性が適切であることを確認し、本研究で開発した空間分解トモグラフィック発光分光計測診断手法の妥当性と適用限界を詳述している。

第5章「Conclusion」では、本研究で得られた結論をまとめ、将来の応用展望を述べている。以上を要するに本研究は、発光分光計測によるプラズマ診断の分野に大きく貢献し、半導体プロセスに応用されるプロセスプラズマ源の計測分布診断に関し、トモグラフィック発光分光計測と衝突輻射モデルの適用によって、空間分解まで含めたアルゴン誘導結合プラズマ中の電子温度・密度を決定するための計測手法を原子衝突物理学と応用光学に則って提供するもので、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。