

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	発光分光診断によるヘリウムプラズマ電子密度・温度測定における衝突輻射モデルの展開
Title(English)	Advancements in Collisional-Radiative Models for Electron Density and Temperature Determination in Helium Plasma Using Optical Emission Spectroscopy Diagnostics
著者(和文)	LINKeren
Author(English)	Keren Lin
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12539号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:赤塚 洋,沖野 晃俊,竹内 希,萩原 誠,清田 恭平,江角 直道
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12539号, Conferred date:2023/9/22, 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	LIN Keren		
		氏名	職名	氏名	職名	
論文審査 審査員	主査	赤塚 洋	准教授	清田 恭平	准教授	
	審査員	沖野 晃俊	准教授	審査員	江角 直道	学外審査員 (筑波大学准教授)
		竹内 希	准教授			
		萩原 誠	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Advancements in Collisional-Radiative Models for Electron Density and Temperature Determination in Helium Plasma Using Optical Emission Spectroscopy Diagnostics」(発光分光診断によるヘリウムプラズマ電子密度・温度測定における衝突輻射モデルの展開)と題し、7章から構成されている。

第1章「Introduction」では材料プロセス・医療・核融合などヘリウムプラズマの各種応用例を概観し、放出される線スペクトル強度が励起状態の数密度に比例することを述べ、詳細な分光計測によって電子温度・密度の計測が物理的に可能であるが、非平衡性ゆえに励起状態密度は Boltzmann 分布に従わず、分光特性から電子温度・密度の決定が困難であることが現状における問題点であると指摘している。

第2章「Collisional-Radiative Model」では、非平衡プラズマ中の励起状態数密度を物理的に記述しうる衝突輻射モデル(CR モデル)を概観し、現状の CR モデルが中性粒子の衝突過程および光子再吸収を無視した近似の上に立脚していることを指摘している。たとえば核融合炉周辺領域では、基底状態ヘリウム原子による線スペクトル再吸収評価が不十分なこと、大気圧非平衡プラズマ及びプロセスプラズマでは、原子衝突による励起状態失活の影響が無視できないという問題点を指摘するとともに、原子衝突励起脱励起過程および光吸収過程を正確に取り込んだ CR モデルを再構築し、実験実証することが本研究の目的であると述べている。

第3章「Measurements of Plasma Parameters」では、発光分光計測(OES)実験装置の仕様・構成を詳述し、較正方法並びに精度及び測定波長範囲についても確認し、以降の本研究の実験手法・実験条件を明確化している。

第4章「OES Diagnostics of Low-Pressure Microwave Induced Helium Plasma Based on Dominant Processes Analysis of CR Model」では、放電気圧 1 Torr のマイクロ波放電ヘリウムプラズマを対象とし、CR モデルを原子衝突過程を含めて改良し、さらに単純化により支配的素過程を抽出したレート方程式を導出し、3 励起準位密度の入力に対して数理的最適化手法を用いた電子温度・密度の導出法を理論的に初めて案出し、さらに考案したモデルを実験検証している。理論検討およびプローブ計測実験との比較検証により、電子温度 1.0 - 4.0 eV, 電子密度 $10^{11} - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内で、高精度の電子温度・密度の発光分光計測法を確立している。

第5章「Improvement on Three-Line Intensity Analysis for Low-Pressure Helium Plasma for Thermo-Nuclear Fusion Reactor」では、核融合炉境界領域でのプラズマ診断について、長い光路長ゆえの光子再吸収による計測精度劣化を克服するため、計測対象準位を 3 から 8 に増やし、光子再吸収効果をオプティカルエスケープファクタとして含めてフィッティングパラメータとする手法を考案し、それによる電子温度・密度の計測精度の大幅な改善を報告している。核融合炉周辺領域ヘリウムプラズマ中の電子温度・密度を精度良く決定できただけでなく、顕著な不一致のため従来計測対象外とされた 4^1D 及び 4^3D 準位の数密度が、改良 CR モデルによる計算結果と一致することを確認し、本研究の改良 CR モデルが核融合炉境界領域にも適用可能なことを明らかにしている。

第6章「Development of Diagnostics for Atmospheric-Pressure Helium Plasma」では、低温大気圧ヘリウムプラズマの電子温度密度計測を対象とし、原子衝突励起脱励起過程の速度係数を導入して CR モデルを大気圧向けに修正している。そこでは 3^1S , 3^3S , 3^1P , 3^3P , 3^1D , 3^3D , 4^1D および 4^3D の 8 励起状態密度を入力とするが、低圧・大気圧プラズマそれぞれに対してプローブ法および連続スペクトル発光分光計測法によって得られた電子温度・密度と、精度よく一致することを実験により確認し、本研究の線スペクトル発光計測結果を大気圧向け修正 CR モデルで解析し電子温度・密度を導出する本研究の計測方法の妥当性を明らかにしている。

第7章「Conclusion and Future Prospects」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、医療用から核融合にまで及ぶ幅広いパラメータ範囲にわたって、簡便な分光計測機器でヘリウム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。