

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	対向プラズマフォーカス装置を利用した高エネルギー密度プラズマの形成と極端紫外光放射特性に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	袖子田 竜也
Author(English)	Tatsuya Sodekoda
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10528号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:堀岡 一彦,奥野 喜裕,赤塚 洋,長谷川 純,河村 徹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10528号, Conferred date:2017/3/26, 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

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	袖子田 竜也	
論文審査 審査員		氏名	職名		
	主査	堀岡 一彦	教授	河村 徹	講師
	審査員	奥野 喜裕	教授		
		赤塚 洋	准教授		
長谷川 純		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「対向型プラズマフォーカス装置を利用した高エネルギー密度プラズマ形成と極端紫外放射特性に関する研究」と題し、高い平均出力を発生する能力を有する新型の高エネルギー密度プラズマ源の研究開発について述べたものであり、7章で構成されている。

第1章「序論」では、パルス放電で駆動される高エネルギー密度プラズマ発生装置の特徴と課題を概観し、研究の背景と目的について述べている。最初に、放電型のプラズマ装置として工学分野への応用を幅広く展開するためには高出力に加えて高効率で安定な動作が可能で、しかも電極やスイッチング素子をはじめとする基幹構造部品が長寿命であることが要求されることを示した後、プラズマフォーカス装置に代表される従来のパルス放電型装置は高エネルギー密度状態のプラズマを閉じ込める能力が乏しいうえに繰返し能力と効率が低く、産業応用には適さないことを指摘している。また、対向型プラズマフォーカス方式を採用したプラズマ装置の研究開発の背景と経緯を述べ、本論文の位置づけと目的を明らかにしている。

第2章「対向プラズマフォーカス型光源」では、従来型のプラズマフォーカス方式の基本的な動作原理を述べた後、新しく提案された対向プラズマフォーカス方式の新型プラズマ光源の動作原理と特長について説明している。また、従来型と比較しながら、提案された方式の利点と高平均出力化に向けた具体的な研究課題を提示している。

第3章「試験装置の構築」では、対向プラズマフォーカス方式の基礎特性を把握するために構築されたパルス動作の試験装置の詳細について述べている。また、構築した試験装置が、ダブルパルスの放電が可能であること、6チャンネルに分割したマルチ電極対とレーザートリガー機構を有するため均一性の高い初期プラズマを形成可能であること、電流・電圧測定や時間応答を有する光検出器、高速フレーミングカメラ、さらには可視光および極端紫外領域の分光器などを備えており、放電基礎特性やプラズマダイナミクスを把握するための長所を有することを述べた後、装置構成と各種計測装置の詳細について説明している。

第4章「光源の基礎特性評価」では、対向プラズマフォーカスの基本的な挙動や放射基礎特性を明らかにするとともにプラズマ光源としての基礎特性評価の方法と実験結果について説明している。また、プラズマ形成の動作原理の基本的な特性確認として実施した、放電時の電極間電圧や放電電流波形、極端紫外領域の発光強度と出力波形の計測、パルスあたりのエネルギーの評価、発光スペクトルなどの分析結果について述べている。さらには、対向プラズマフォーカス方式を採用することによって、 μ 秒級の長パルス極端紫外光を発生できること、従来の方式の装置と比較して一桁以上高い変換効率を実現できること、加えて、高平均出力の高エネルギー密度プラズマの形成が可能であることを実証したことを述べている。

第5章「要素技術の研究開発」では、対向プラズマフォーカス方式を用いて高平均出力の高エネルギー密度プラズマ形成のために重要となる要素技術（マルチ電極のレーザートリガー、レーザーアブレーションによるプラズマ源供給、電極部の絶縁回復能力）について、検討した結果を述べている。また、連続繰り返し動作に特に重要な要素技術であるプラズマ媒質供給方法に関しては、放電電極から独立した供給法についての検証試験を実施したこと、さらには供給方法改善の指針を示したこと、について述べている。さらには、ダブルパルス試験による放電空間の絶縁回復特性結果から、繰返し動作の基本的な限界を検討した結果について述べている。加えて、パルスプラズマ生成に伴う未利用な電磁エネルギーを高効率で再生する技術を確立でき、実効的な必要電力を5分の1程度に削減することが可能であることを明らかにしている。

第6章「光源動作の理論的考察」では、実験結果を基にして対向プラズマフォーカス方式で生成されたプラズマから極端紫外領域の光への変換過程についての解析を行い、高平均出力化についての展望を述べている。また、電源から高エネルギー密度プラズマへの電磁エネルギーの移動に加えて、簡単化したモデルを用いてプラズマから放射エネルギーへの変換過程を見積もり、装置全体のエネルギーフローを定量的に明らかにしている。また、最大利用可能な光源出力と実効的な電極熱負荷を見積り、平均出力向上への指針を示している。さらには、開発した装置の応用は半導体露光分野に限られるものではなく、イメージング光源や中性子源を目的とした高エネルギー密度プラズマ発生装置としても有望であることを指摘している。

第7章「結論」では、得られた結果を総括するとともに、産業応用に向けた今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文では高エネルギー密度プラズマ生成の高効率化と高平均出力化の課題と必要な要素技術を示したうえで、対向プラズマフォーカス方式を導入した新型のプラズマ光源の基礎特性の定量的な把握と要素技術の評価を行なった結果を述べ、出力と効率をさらに向上させるための指針を明らかにしている。これらの研究成果は、パルス放電型高エネルギー密度プラズマ装置の幅広い産業応用を促進するものであり、工学ならびに工業上貢献することが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(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。