

プログラム名：ユビキタス・パワーレーザーによる 安全・安心・長寿社会の実現

PM名：佐野 雄二

プロジェクト名：レーザー加速 XFEL 実証

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 7 年 度

研究開発課題名：

プラズマ素子および電源技術の開発

研究開発機関名：

長岡技術科学大学

研究開発責任者

佐々木 徹

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

高エネルギーのレーザー粒子加速を実現するためには高強度レーザーを長尺で伝搬させることができる中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを有する導波路が必要である。このような凹型の電子密度プロファイルを形成し、高強度レーザーを導波するため、ジッタを低減できるプラズマチャネル形成部形状の検討、プラズマチャネルの維持時間、プラズマチャネルに適する電源の検討により、プラズマ素子/電源を構築する。これらにより、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを有する導波路を形成し、高強度レーザーを長尺伝搬できることを実証する。

そのために、本年度はジッタを低減できるプラズマチャネル形成部形状の検討及び、プラズマチャネルのチャネル維持時間の実験及び数値解析による検討を行うため、以下の目標を達成することを目指す。

- (1) キャピラリー放電型導波路実現の鍵となるプラズマチャネル形成部の試作を行い、時間ジッタの少ない電極形状を明らかにする。特に、放電駆動時の時間ジッタについて光学計測及び電氣的計測を併用して定量的に評価を行い、統計遅れと形成遅れの弁別を行う。
- (2) キャピラリー放電型導波路を形成するためには要求される電子密度に加えて、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成する必要がある。特にキャピラリー放電型導波路では、内部の電子密度構造がレーザーの導波特性に影響を与えるため、同じ電子密度が得られていたとしても、初期条件や放電電流、放電時間によって影響を受ける。このため、数値解析により電子密度プロファイルの時間変化と放電電流波形の関係を明らかにし、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成できる条件とその維持時間を明らかにする。
- (3) プラズマチャネル形成部の電子密度プロファイルを実験的に明らかにするため、放電時の密度プロファイルを観測できる光学系を構築する。特に中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成できる条件とその維持時間が重要であることから、放電時の電子密度プロファイルのダイナミクスを観測できる光学系を構築する。

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

- (1) キャピラリー放電型導波路実現の鍵となるプラズマチャネル形成部の試作を行い、時間ジッタの少ない電極形状を明らかにするため、放電駆動時の時間ジッタについて光学計測及び電氣的計測を併用して定量的に評価を行い、統計遅れと形成遅れの弁別を行った。まず、プラズマチャネル形成部を試作するため、3Dプリンタを用いてキャピラリー放電型導波路の試作を行った。その結果、統計遅れと形成遅れを低減するために必要な電極間隔を決定することができた。これにより、放電駆動時の時間ジッタを抑制することができた。
- (2) 数値解析により電子密度プロファイルの時間変化と放電電流波形の関係を明らかにし、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成できる条件とその維持時間を検討した。1次元数値解析モデルにより、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成できる条件について、投入電流を中心に検討を行った。その結果、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成できる条件が

数 100A 程度であることを明らかにした。また、その維持時間は、100ns 以上であり、従来よりも寿命の長いキャピラリー放電型導波路を形成できる可能性があることを示唆している。

- (3) プラズマチャネル形成部の電子密度プロファイルを実験的に明らかにするため、放電時の電子密度プロファイルを観測できる光学系をストリークカメラ及び分光計測により時間変化を観測し、そのダイナミクスを観測できることを確認した。

## 2-2 成果

本年度は、研究開始初年度であり、実験装置の準備を中心に開発を行った。当初の想定した目標は概ね達成したと言えるが、改善、検討の余地があるため、次年度に引き続き対応を進めていく。

項目	目標	成果	今後の課題
プラズマチャネル形成部の試作	放電駆動時の時間ジッタの特性とその評価を行い、ジッタの少ない電極構造を明らかにする。	5mmのギャップ間隔を有する長尺化可能なキャピラリー放電型導波路の構築を行い、ジッタについては十分問題がないことを確認した。	寿命の評価が不足していることから、引き続き実験を行い、要求値を満たすことを確認する。また、3Dプリンタを用いて最適なキャピラリー放電型導波路を設計する。
数値解析により電子密度プロファイルの時間変化と放電電流波形の関係	数値解析コードを構築し、電流値に対する中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成できる条件の検討	-電流値：数100A程度 -維持時間：100ns以上	キャピラリー放電型導波路半径に対する凹型の電子密度プロファイルを形成できる条件の検討をし、最適化を図る。
放電時の電子密度プロファイルを観測できる光学系の構築	ストリークカメラ及び分光器を用いた電子密度計測	放電中の電子密度の時間変化を観測し、同時に電子温度の観測ができることを確認した。	電子密度の算出の際にモデリングが必要となることから、直接計測を行えるように干渉法を取り入れる。

## 2-3 新たな課題など

これまでの結果より、特に寿命の評価が不足していることが課題である。寿命の評価方法についてはプラズマチャネル形成部の構造が決まり次第、連続的・系統的に観測を進め、キャピラリー放電型導波路の信頼性を高めるデータを取得する。

## 3. アウトリーチ活動報告

特になし