

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 8 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：国立大学法人長岡技術科学大学

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。

このために、

- (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改良を進め、ジッタの少ない予備電離方法及び主放電方法を明らかにする。
- (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) キャピラリー放電型導波路の電源を設計し、その特性を明らかにする。
- (4) 高強度レーザー導波実験で要求されるチャネル維持時間及びジッタとプラズマ素子/電源によって得られる電子密度プロファイルを検討する。
- (5) 試験的にナノ秒パルス YAG レーザーを用いてプラズマチャネルを用いた高強度レーザー導波実験を行い、性能と課題について抽出する。

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改良を進め、ジッタの少ない予備電離方法及び主放電方法を明らかにするため、本年度は 3D プリンタを利用して、[1]プラズマチャネル形成部でのガス導入方法の検討、[2]キャピラリー電極及びキャピラリー径に対する放電プラズマの電圧・電流特性の検討、を行った。その結果、アニュラー型のガス導入方法を新たに開発し、初期ガス密度分布の制御を行うことができた。また、キャピラリー電極及びキャピラリー径に対する放電プラズマの電圧・電流特性の検討により、初期電子密度を制御するためには電流密度が重要であることが明らかとなった。さらに放電路内の電流分布を明らかにするため、放電電流に由来する磁場を利用した電流分布計測法を開発し、キャピラリー内に均一に電流が流れていることを実験的に明らかにした。
- (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。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するため、本年度はキャピラリー径に焦点を当てて検討を行った。その結果、キャピラリー径を大きくすると、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルを形成で

きるが、その電子密度勾配は小さくなることが明らかとなった。これを改善するためには、放電電流値を大きくする必要があるが、中心部の窪んだ凹型の電子密度プロファイルの維持時間とのトレードオフの関係となることから、外部からその分布を制御できる方法を合わせて検討する必要がある。

- (3) (1)及び(2)の実験に基づきキャピラリー放電型導波路の電源を設計した。回路方式としては磁気パルス圧縮方式を利用して、初期にプラズマを得るための予備電離用パルスと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ための主放電パルスを組み合わせたものとした。合わせて、回路インダクタンスを低減するための配線方式を検討し、所望の電流パラメータが得られることが明らかとなった。
- (4) 高強度レーザー導波実験で要求されるチャンネル維持時間及びジッタとプラズマ素子/電源によって得られる電子密度プロファイルを検討するため、マッハ・ツェンダー干渉計により電子密度の半径方向のプロファイルの時間変化を取得した。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する時間を同定し、その電子密度勾配を明らかにした。
- (5) 試験的にナノ秒パルス YAG レーザーを用いてプラズマチャンネルを用いた高強度レーザー導波実験を行い、性能と課題について抽出するため、レーザー導入用光学系を準備した。また、購入した画像計測システムを利用して CW レーザーのプロファイルの観測を行った。その結果、レーザー強度が増加する条件は確認できたが、再現性には問題があるため、引き続き検討を行う必要がある。

2-2 成果

本年度は、プラズマチャンネルで重要な初期ガス密度分布制御、放電回路設計、電子密度分布計測を行った。高強度レーザー導波実験については、電子密度計測に時間を要したため CW レーザーで検討をおこなった。本年度の成果を要約すると、以下の通りとなる。

- (1) アニュラー型のガス導入方法を新たに開発し、初期ガス密度分布の制御を行うことができた。
- (2) 放電電流に由来する磁場を利用した電流分布計測法を開発し、キャピラリー内に均一に電流が流れていることを実験的に明らかにした。
- (3) マッハ・ツェンダー干渉計により電子密度の半径方向のプロファイルの時間変化を取得した。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する時間を同定し、その電子密度勾配を明らかにした。
- (4) 本手法を用いてレーザー強度が増加する条件は確認できたが、再現性には問題がある。

2-3 新たな課題など

本手法の再現性の問題点として、中心部での凹型電子密度分布が位置ずれを起こしているため、その制御方法について検討する必要がある。また、寿命についての評価方法が十分に検討できていないので引き続き調査を進める。

3. アウトリーチ活動報告

特になし