

令和 3 年 10 月 20 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04743

研究課題名(和文) レーザー生成プラズマの連続化による大電流ビーム生成技術の開発

研究課題名(英文) High-intensity beam generation by high repetition rate production of laser plasma

研究代表者

柏木 啓次 (Hirotsugu, Kashiwagi)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線高度利用施設部・主幹研究員(定常)

研究者番号：30391303

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、レーザーイオン源において高頻度でプラズマを生成して連続したビームを生成する基礎的研究として、2つのプラズマパルス安定に生成可能な条件を探った。この研究では、はじめに、2つのレーザー装置から出射するレーザーをそのエネルギーとパルス幅を合わせて同一光軸上に合成する光学系及び出射パルス間隔を制御するシステムを構築した。次に、このシステムを用いて炭素プラズマの連続生成実験を行い、その結果、100マイクロ秒程度までのパルス間隔で相互パルスの影響がなくプラズマの生成が可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レーザーイオン源は従来パルスビームイオン源として利用されてきたが、本成果を基に高頻度でプラズマパルスが発生可能となれば、材料照射等で多くのイオン照射量が必要となる場合においてもレーザーイオン源を使用することができる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated a condition capable of stably generating two plasma pulses by a laser ion source with two lasers as a basic research for producing a continuous beam by generating plasma pulses at a high repetition rate. An optical system for combining lasers emitted from two laser devices on the same optical axis with the same energy and pulse width, and a system for controlling the emission pulse interval were constructed. As a result of double carbon plasma generation experiments, it was confirmed that the generation of two plasma pulses are possible with the pulse interval down to about 100 microseconds without the influence of mutual pulses.

研究分野：イオン源工学

キーワード：レーザーイオン源 重イオンビーム

1. 研究開始当初の背景

レーザーイオン源はターゲットにレーザーを集光照射することで高密度のパルスプラズマを生成し、そこから電場によってイオンを引き出すことで高強度パルスイオンビームを生成できる(図1)。また、ターゲットとして様々な固体元素の試料が使用可能なため、多くのイオン種を生成可能である。これまでは、生成ビームがパルス状であることからパルスビーム加速器用イオン源としての用途が多かったが、高頻度パルスビームや、連続ビームを得ることができれば多くのイオン種に対応した高強度イオン源として有用である。しかし、短いパルス間隔でのプラズマ生成においては、生成したプラズマやガスが次に続くプラズマ生成用レーザーと相互作用することで単一プラズマ生成時とは異なる振る舞いや生成プラズマが不安定になることが懸念される。

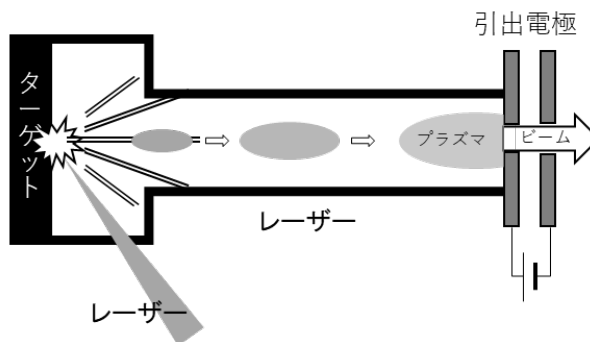


図1 レーザーイオン源の概念図

2. 研究の目的

本研究は、レーザーイオン源において高頻度でプラズマを生成して連続したビームを生成する基礎的な研究として、2つのプラズマパルスを生単一プラズマ生成時と同様に安定に生成可能なプラズマ生成時間間隔を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) レーザー合成光学系の構築及びレーザー出力制御プログラムの作成

レーザーイオン源で時間間隔を制御して2つのプラズマパルスを生成するため、2台のレーザー装置から出射するレーザーのエネルギーとパルス幅を揃え、それらを同一光路に合成してターゲットの同一位置に集光する光学系を構築した。また、2台のレーザーの発振タイミング、エネルギー及びパルス幅を制御するプログラムを作成した。

(2) レーザーのエネルギー及びパルス幅の測定

2台のレーザーそれぞれで同じ特性のプラズマを発生させるためには、2台のレーザーのエネルギーとパルス幅を同一にする必要がある。このための条件を明らかにするため、(1)で構築した光路と測定プログラムを用いて、各レーザーの励起と発振のタイミングを変化させてエネルギー及びパルス幅を測定した。さらに、パルス幅を保ったまま各レーザーのエネルギーを揃えるため、偏光方向を変える1/2波長板の回転角を変えてエネルギーを測定した。

(3) ダブルプラズマ生成実験

エネルギーとパルス幅を揃えたレーザー光の時間間隔を変えてターゲットへ照射し、生成プラズマの電流波形を測定する実験を行った。

4. 研究成果

(1) レーザー合成光学系の構築およびレーザー出力制御プログラムの作成

図2に構築した合成光学系を示す。2つのレーザーの合成は垂直偏光成分を反射し、水平偏光成分を透過する偏光ビームスプリッタキューブにより行なった。基本的な考え方としては、各レーザー装置からは水平偏光のビームが出射されるため、Laser 1は水平偏光のまま偏光ビームスプリッタの出射面反対側に導いて透過させ、Laser 2は1/2波長板により偏光を回転させて垂直偏光に変換して偏光ビームスプリッタの出射面に対してなす角が90度の面へ導く。実際には、Laser 1及びLaser 2の両方の光路に1/2波長板が設置されており、それぞれの水平・垂直偏光成分を任意に変えることで、偏光ビームスプリッタ下流での各レーザーのエネルギーを制御可能な光学系となっている。また、出射したレーザーは水平偏光以外の成分も多少混在しているため、レ

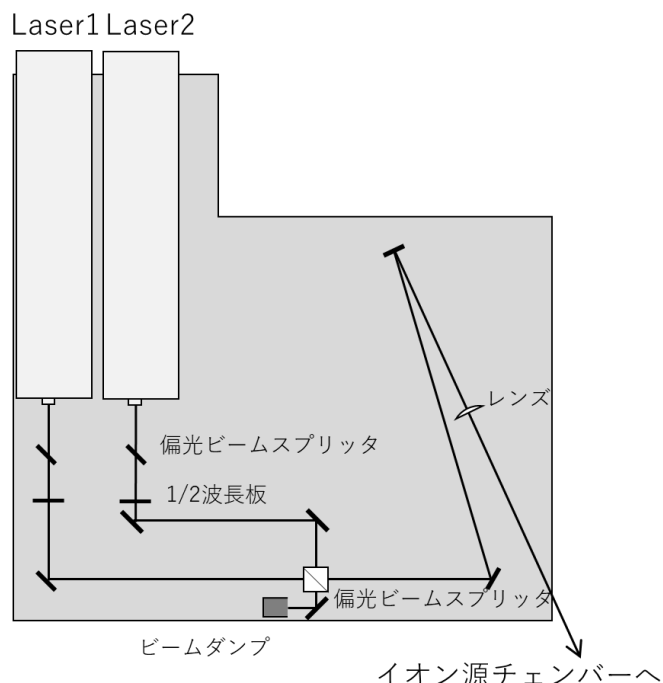


図2 レーザー合成光路の概略図

レーザー出射直後で偏光ビームスプリッタにより水平偏光成分のみが下流に導かれる。合成後のレーザーはイオン源チェンバーへの最終集束ラインへ導かれ、レンズ ($f=750\text{mm}$) によってターゲット上の同一点に集光される。

2つのレーザーから出射するレーザーパルスの時間間隔の制御は、各レーザー装置の励起と発振のトリガ信号のタイミングを制御することにより行う。また、励起トリガに対する発振トリガの遅延時間により出力レーザーパルスの特性(パルス幅・エネルギー)が決定する。これら4つの動作タイミング(励起 $\times 2$ 、発振 $\times 2$)の制御を1つのパルスジェネレーター(Stanford Research Systems DG645)で行った。

これらのレーザー出射タイミング制御やパルス幅を変更するためのパルスジェネレーターのパラメーター設定、そして、エネルギーを変更するための1/2波長板回転角度の変更を簡便・正確に行えるよう、これらを制御するプログラム、そしてこの制御に連動してレーザーのエネルギーを測定するプログラムをプログラム開発環境LabVIEWで作成した。

(2) レーザーパルス幅・エネルギーの測定

各レーザーの励起トリガに対する発振トリガの遅延時間を変えてパルス幅及びエネルギーの測定を行った。その結果、同一の発振トリガ遅延時間においては概してLasser 1がLasser 2に比べてパルス幅が短く、エネルギーも高いことがわかった。また、1/2波長板の回転角とエネルギー減衰率の測定により、回転角を調整することで100%から0.2%以下までエネルギーを変えられることがわかった。これらの2つの測定結果を基に、発振トリガ遅延時間を制御して同一のパルス幅にするとともに、1/2波長板の回転角を制御することで同一のエネルギーに調整することができることを確認した。

(3) ダブルプラズマ生成実験

2つのレーザー(パルス幅: 5.4ns、エネルギー: 15 mJ, 30, mJ, 45mJ)を時間間隔 1000 μs から 0 μs まで変えてグラファイトターゲットに照射して、2つの炭素プラズマを生成する実験を行った。発生したプラズマの炭素イオン電流を、ターゲットから 1.64 m離れた位置で、開口 10 mmのファラデーカップ中でイオンを引き出すことで測定した。生成したプラズマ中の炭素イオン電流波形の時間積分値から各時間間隔における2つのプラズマパルスの総電荷量を求めた結果、時間間隔が約 100 μs よりも短くなると一定だった総電荷量が急激に減少することがわかった(図3)。これにより、100 μs までは相互作用せずにプラズマ発生可能であることがわかり、最大 10kHz 程度までの高頻度なプラズマ生成を行うレーザーイオン源の実現可能性の見通しが得られた。

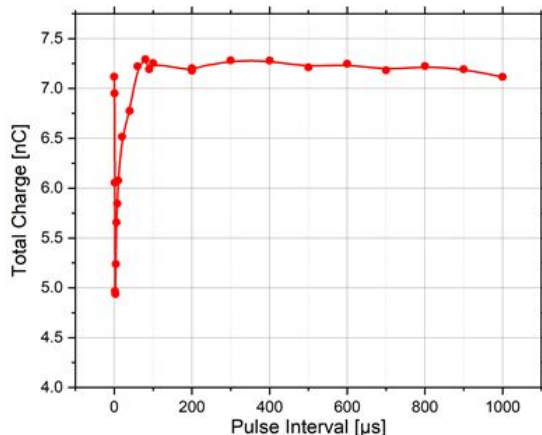


図3 2つのプラズマの時間間隔とファラデーカップで測定したイオン電流波形の総電荷量の関係(レーザーのエネルギー: 45mJ)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2件)

[H. Kashiwagi](#), K. Yamada, Laser-plasma-generation system with controlled interpulse delays between two laser shots: System and preliminary experiments, AIP Conference Proceedings, 査読有, 2011, 030012, 2018
DOI: 10.1063/1.5053273

[H. Kashiwagi](#), K. Yamada, S. Kurashima, Development of a laser ion source of high-intensity heavy-ion beams, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 査読有, 406, 256-259, 2017
DOI: 10.1016/j.nimb.2016.12.033

[学会発表](計 2件)

[Hirotugu Kashiwagi](#), Keisuke Yamada, Laser-plasma-generation system with controlled interpulse delays between two laser shots: System and preliminary experiments, The 17th International Conference on Ion Sources, 2017

[Hirotugu Kashiwagi](#), Keisuke Yamada, Satoshi Kurashima, Development of a laser ion source of high-intensity heavy-ion beams, The 12th European Conference on Accelerators in Applied Research, 2016

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：山田圭介

ローマ字氏名：Keisuke Yamada

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。