

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11937

研究課題名(和文) 多種大強度重イオンビーム加速のための軌道制御型加速管の開発

研究課題名(英文) Development of trajectory-controlling acceleration device for high-intensity ion beam from a laser ion source

研究代表者

柏木 啓次 (Kashiwagi, Hirotsugu)

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

研究者番号：30391303

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：レーザーイオン源からの高強度イオンビームを加速する際は、空間電荷効果等に起因したビームの発散によるビーム損失が問題となる。本研究では、レーザーイオン源で発生したプラズマからビームを引き出すとともに、その軌道を制御して加速する装置の開発を行った。まず、イオン発生部付近からのプラズマ拳動のシミュレーションに基づき、プラズマ輸送用ソレノイド磁場中でビームを引き出す位置を決定した上で、加速ビームの軌道を制御する加速・集束電極装置を設計した。そして、実験により、プラズマ輸送磁場に応じた電場を形成することで、ビーム軌道を適切に制御して加速過程での損失を抑制できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は多種の高強度ビームを発生可能なレーザーイオン源の加速装置に関する研究である。開発した加速装置により、磁場中でのビーム引き出しと加速過程での軌道制御を行うことで、ビーム損失を抑制した加速ができることが示された。多種の高強度イオンビームは新材料創成研究等に用いられる材料へのイオンビーム照射に有用であり、本研究成果はその加速器システムの高度化に資するものである。

研究成果の概要(英文)：In accelerating a high intensity ion beam from a laser ion source, beam loss occurs due to beam divergence caused by the space charge effect. In this study, we have developed a beam acceleration device to extract the beam from the plasma and to control its trajectory. Based on the plasma simulation from the vicinity of the plasma generation area, the position to extract the beam in the plasma transporting solenoid magnetic field was determined, and an electrode system to control the trajectory of the acceleration beam by the electric field was designed. Experiments have demonstrated that by producing an electric field depending on the plasma transport magnetic field, the beam trajectory can be properly controlled and losses during the acceleration process can be suppressed.

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固体試料にレーザーを集光照射して高密度プラズマを生成し、そのプラズマからイオンを電場によって引き出すことで、高強度パルスイオンビームを生成することが可能である(図1)。また、様々な種類の固体試料を使用することで、多種のビームが利用できるため、このビームを加速することで高強度かつ多種のイオンビームを得ることが出来る有用なイオン源である。しかし、レーザーイオン源で生成したプラズマからビーム引き出して加速管で加速する際には、高強度ビーム自身のクーロン反発力によるビーム発散やイオン種ごとの軌道の違いに起因してビームが加速管内で損失することが問題となる。

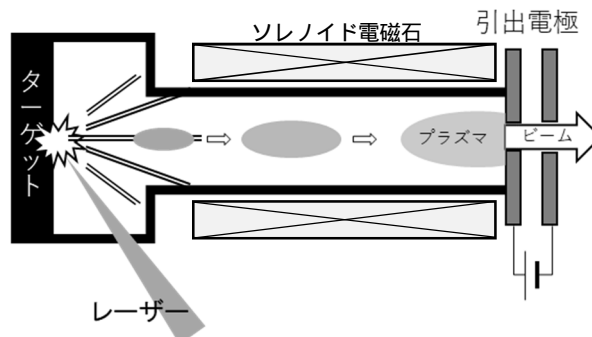


図1 レーザーイオン源の概念図

2. 研究の目的

本研究では、レーザーイオン源からのイオンビームの加速過程での損失を抑制するため、この反発力が顕著に現れる数 10keV までの領域において、ビーム軌道を制御して加速する技術を開発する。

3. 研究の方法

(1) レーザーイオン源で生成するプラズマ速度分布・密度測定

レーザー光をターゲットに照射して発生するプラズマのイオンの価数ごとの密度・速度分布を、照射レーザーのエネルギー密度を変化させて測定した。具体的には、パルスレーザーをターゲットに集光照射してプラズマを発生し、プラズマ中のイオン電流をファラデーカップで、価数分布を静電アナライザーで測定することによって発生イオンの価数ごとの速度分布及び密度を求めた。

(2) ビーム引出・加速・軌道制御を行う電極装置の設計

レーザープラズマからビームを引出し、加速ビームを軌道制御する電極装置の設計を行った。これは(1)で測定したイオンの速度分布・密度を用いて、プラズマの挙動をシミュレーションすることにより行なった。イオン源で生成したプラズマはソレノイド電磁石(図1)の軸方向磁場によって輸送されるため、この磁場が存在する領域でビームを引出して加速し、その軌道の制御が可能となる電極系を設計した。

(3) ビーム引き出し加速実験

製作した電極装置をレーザーイオン源下流のプラズマ輸送路に接続し、レーザーイオン源で生成したプラズマからビームを引き出して加速したビームの軌道制御を実証する実験を行った。

4. 研究成果

(1) レーザーイオン源で生成するプラズマ速度分布・密度測定

本測定を行うための測定プログラムを開発した。静電アナライザーで分析後の電子増倍管で測定される S/N 比が小さい信号のピーク同定を容易にするため、平均化によるノイズ除去プログラムを既存測定プログラムに組み込むとともに、測定後の各価数のエネルギー分布とファラデーカップによる全電流波形との比較を半自動で行えるようにした。これにより測定精度が高まるとともに、迅速な解析が行えるようになった。

本測定プログラムを用いて、グラファイトターゲットに Nd:YAG レーザー(波長 1064nm, パルス幅約 5ns)を照射し、レンズ($f=750\text{mm}$)とターゲットの距離を変えて測定を行い、生成した炭素プラズマ中のイオンの価数・速度分布を明らかにした。

(2) ビーム引出・加速・集束を行う電極装置の設計

プラズマ生成部近傍からビーム引き出し加速電極までの領域について Particle-in-cell 法によるプラズマシミュレーションを行い、引き出し前後のプラズマ及びビームの挙動を考慮した電極系の設計を行った。プラズマ輸送用ソレノイド電磁石中においてプラズマが中心軸付近に集束する箇所があることがわかり、輸送したプラズマのロスをもっとも少なくできるこの箇所からイオン引き出しを行うことを決定した。そして、引き出されたビームの軌道とエミッタンスを評価し、これが最小になるように軌道制御用電極の配置を決定した。

(3) ビーム引き出し加速実験

製作した電極系をレーザーイオン源下流に設置し、ビーム引き出し加速実験を行った。レーザーイオン源で生成したプラズマからビームを引き出した上で、集束用電極の電位を変更することにより軌道制御できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 K. Yamada, H.Kashiwagi	4. 巻 91
2. 論文標題 Low-charge-state ion production by a laser ion source for the TIARA ion implanter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013305-1~4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5128570	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Kashiwagi, K. Yamada	4. 巻 91
2. 論文標題 Investigation of the time interval of plasma generation for a high repetition rate laser ion source	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 033305-1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5130999	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hirotsugu Kashiwagi, Keisuke Yamada
2. 発表標題 Investigation of time interval of generating laser plasma for high-repetition operation
3. 学会等名 The 18th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Yamada, Hirotsugu Kashiwagi
2. 発表標題 Investigation of Low Charge State Ion Production by a Laser Ion Source
3. 学会等名 The 18th International Conference on Ion Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	山田 圭介 (Yamada Keisuke)		
研究協力者	細谷 青児 (Hosoya Seiji)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------