

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |  |
|-------------------|--|
| 題目(和文)            | 電子ビームイオン源入射用多核種生成レーザーイオン源の開発   |
| Title(English)    | Development of a laser ion source for injection of various species into an Electron beam ion source  |
| 著者(和文)            | 関根恵  |
| Author(English)   | Megumi Sekine  |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第9475号,<br>授与年月日:2014年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:林崎 規託,赤塚 洋,井頭 政之,小栗 慶之,矢野 豊彦,中川 孝秀  |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第9475号,<br>Conferred date:2014/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文   |
| Category(English) | Doctoral Thesis  |
| 種別(和文)            | 論文要旨   |
| Type(English)     | Summary  |

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

|                         |       |    |  |           |        |
|-------------------------|-------|----|--|-----------|--------|
| 専攻：<br>Department of    | 原子核工学 | 専攻 | 申請学位 (専攻分野)： 博士<br>Academic Degree Requested | Doctor of | ( 工学 ) |
| 学生氏名：<br>Student's Name | 関根 恵  |    | 指導教員 (主)：<br>Academic Advisor(main)          | 林崎 規託     |        |
|                         |       |    | 指導教員 (副)：<br>Academic Advisor(sub)           | 小栗 慶之     |        |

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本研究は、電子ビームイオン源 (EBIS) のための新しいプライマリーイオン源として、原理と構造がシンプルであり、必要に応じて大強度ビームを生成できる、レーザーイオン源の導入を提案し、その実用化開発を行うとともに、イオンビーム電流波形を新しく制御する方法として、パルスソレノイド磁場の導入を提案・実証したものである。

本論文は全 7 章から構成され、その概要は以下の通りである。

第 1 章「序論」では、本研究が行われた米国 Brookhaven National Laboratory の重イオン加速器施設について述べるとともに、その電子ビームイオン源 RHIC EBIS のプライマリーイオン源に利用されてきたホロカソードイオン源が抱える問題点について整理し、解決のためにレーザーイオン源を開発すること、また、取り出されたイオンビームの電流波形を制御するために新しくパルスソレノイド磁場の導入提案を中心に、本研究の背景ならびに目的、論文の構成についてまとめている。

第 2 章「原理」では、本研究で取り扱う EBIS 及びレーザーイオン源の構造と動作原理、また、ビームエミッタンスの定義等について述べている。

第 3 章「EBIS 用レーザーイオン源の原理実証機的设计と製作」では、本研究の主題であり新しく開発を行う多核種入射用レーザーイオン源のビーム供給先となる、RHIC EBIS がプライマリーイオン源に求める粒子数 (電荷数) やビームアクセプタンス等の性能に関して整理し、それに従って本研究で開発した、長さ 3 m のソレノイドコイル付プラズマ輸送部を有する、Nd:YAG レーザーイオン源の原理実証機の構成と各部の機能について述べている。

第 4 章「原理実証機による基礎実験」では、前章で述べた原理実証機による基礎実験として、鉄や銅の 1 価イオンを中心に、ソレノイド磁場が無い条件における動作確認実験、ソレノイド磁場通過実験及びダブルレーザー照射実験の結果について述べ、ビーム電流量やパルス波形に及ぼす効果を明らかにしている。また、一般的にレーザーイオン源の利用は困難とされてきた陽子ビームの生成について、ZrH<sub>2</sub>、MgH<sub>2</sub>、TiH<sub>2</sub> の水素吸蔵合金の粉末を圧縮固化したものをターゲットに使用し、その実用可能性を検証した結果について述べている。

第 5 章「原理実証機による EBIS 入射模擬実験と実用機の開発」では、本研究において開発を行うレーザーイオン源の実用機から取り出されたイオンビームが、RHIC EBIS に入射するまでの間に、ホロカソードイオン源が供給する数十～数百  $\mu\text{A}$  オーダーのピーク電流用に設計された、長さ約 4 m の低エネルギービーム輸送系 (LEBT) を通過する必要があることを述べ、実用機的设计パラメータの取得と最適化を目的に、過去に RHIC EBIS の試験に使用されていた LEBT システムと第 3 章で述べたレーザーイオン源の原理実証機を組み合わせた入射模擬実験を実施し、C、Al、Si、Cr、Fe、Cu、Ta、Au の各 1 価イオンに対する、電荷量やビームエミッタンスの測定

値、ソレノイド磁場やダブルレーザーの有無の結果をまとめている。また、原理実証機の入射模擬実験により得られた結果をフィードバックした、多核種入射用レーザーイオン源実用機的设计製作の内容について述べている。この新しいイオン源では、移動式ターゲットホルダーの導入により、大気開放を必要とせずに生成イオンを短時間で切り替え可能であり、さらにバッファガスの必要も無いことから、これまでホロカソードイオン源が抱えていた問題が全て解決されている。

第 6 章「パルスソレノイド磁場によるビーム制御の研究」では、レーザー照射ターゲットと定常磁場を与える 3 m ソレノイドコイルの間にパルス励磁型ソレノイドコイルを導入し、アブレーションプラズマのイオン密度、すなわちイオン取り出し後においてはビーム電流量の時間構造に対して積極的に変化を与えることを提案している。その結果が良好であれば、シードビームのパルス波形を山形から矩形に変化させて電流量の時間分布の均等化や、RHIC EBIS 入射部におけるビーム形状を最適化する等の効果が期待される。実際に製作したパルス励磁ソレノイドコイルの形状や電源について説明し、励磁タイミングが 1  $\mu$ s から 16  $\mu$ s までの範囲で、ピーク磁場強度が  $15 \times 10^{-3}$  T 以上の領域において電流量の増加がみられ、特にビームパルス後半の電流量の増加はダブルビームの代替となり得ること、また、ツイスパラメータの制御も可能であることを明らかにした。

第 7 章「結論」では、以上の研究で明らかになった内容を総括するとともに、今後の展望と課題について述べている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

|                          |       |    |  |                 |        |
|--------------------------|-------|----|--|-----------------|--------|
| 専攻 :<br>Department of    | 原子核工学 | 専攻 | 申請学位 (専攻分野) :<br>Academic Degree Requested | 博士<br>Doctor of | ( 工学 ) |
| 学生氏名 :<br>Student's Name | 関根 恵  |    | 指導教員 (主) :<br>Academic Advisor(main)       | 林崎 規託           |        |
|                          |       |    | 指導教員 (副) :<br>Academic Advisor(sub)        | 小栗 慶之           |        |

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

The Electron Beam Ion Source (EBIS) at Brookhaven National Laboratory (BNL) is a new heavy ion source for the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) and the NASA Space Radiation Laboratory (NSRL). EBIS requires an injector which provides an ion beam with an emittance less than 0.06 pi mmmrad. Because it has low emittance, a Laser Ion Source (LIS) was selected as the injector for EBIS. LIS is suited for long pulse lengths with high currents and can produce several kinds of ions from solid targets. Some of these ions, C, Al, Mg, Si, Ti, Cr, Fe, Cu, Ta, and Au to name a few, are required by the NSRL to simulate the influence of cosmic rays in the universe. Au ion beam is also required for the operation of RHIC. There are two ways to increase the LIS current: using double pulse lasers or adding a solenoid magnetic field. To keep the current, we used both of these systems. The Faraday cup and pepper-pot were used to measure the ion beam's current and its emittance respectively. Both were located at end of the beam line where the simulated EBIS entrance was located. We succeeded in producing several species of beams with the required emittance and current values.

A laser ion source (LIS), which has very simple structure compared to existing heavy ion sources, can create high current, heavy ion beams. However, it has proven quite difficult to manipulate the beam parameters of LIS. To enhance the capability of LIS, we employed a pulsed solenoid in the plasma drift section and investigated the effect of the solenoid field on singly charged iron beams. The current profile obtained could be controlled by the field in the solenoid and by the diverging angle of the extracted beam could be regulated. This approach may also be useful in the reduction of emittance.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).