レーザー光イオン化されたネオジム
イオンビームの収束特性測定*田 村 浩 司^{*1}

(受理2001年10月26日, 掲載決定2002年1月12日)

Measurement of Collimation Properties of
Laser Photoionized Neodymium Ion Beam

Koji TAMURA

Department of Materials Science, Tokai Research Establishment,
Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, 319-1195, Ibaraki

(Received October 26, 2001, Accepted January 12, 2002)

Intensity distributions of a neodymium ion beam, which was extracted from a laser photoionized plasma were measured by scanning a multichannel Faraday cup. The lateral width of ions at the position of the Faraday cup was broad without any concentric electric field, and it was reduced by an application of a concentric potential produced using a pair of semicylindrical electrodes set outside the extraction electrode. The ion beam was further collimated by the electric field produced using a pair of semispherical electrodes. The central ion beam intensity with these electrodes was increased about 36 times compared without additional electric field. The results were useful for applications of laser photoionized ion beams.

1. はじめに

レーザー光イオン化により生成したイオンを用いて、レーザー光の選択性を保持したイオン源が構成できる可能性がある。このようなレーザーイオン源を用いて、原子衝突過程¹⁾、二次電子放出係数測定²⁾、イオン回収プロセス³⁾等の研究を行ってきた。しかし、電極から引き出されたイオンは、空間電荷効果や蒸発原子ビームの移動などの要因によりビーム広がりが増加して中心ビーム強度が減少してしまうため、イオン源としての利用は制約されたものであった。

本報告では、このようなビーム広がりを抑える目的で、引き出し電極系に収束用電場を印加できる半円筒型電極や半球型電極を付加し、得られたイオン強度分布を

多チャンネルファラデーカップ⁴⁾により測定した。

2. 実験方法

Fig. 1 に実験配置の立面図を, Fig. 2 に平面図を示す。水冷るつぼ中のネオジム金属を電子銃加熱することによりネオジム原子ビームを生成した。原子ビームのフラックスを求めるのに蒸着速度を用いたが、それは Fig. 1 の左下部に示す基板下部に配置した水晶振動子膜厚計によりモニターした。本実験での蒸着速度は、光反応領域で約0.96 nm/s である。

原子ビームを2枚の平板電極(電極1, 2)間に導き、YAG レーザー(波長1.06 μm , 出力1.2 J, パルス幅10 nsec, ビーム径10 mm ϕ)の第3高調波を照射することにより光イオン化した。

生成したイオンを電極2の巾22 mmのスリットから、電極1と2の電位差により引き出した。電極2の外側に2枚1対の半円筒型電極(Fig. 2, 電極3, 4), または

* 平成13年10月18日 第42回真空に関する連合講演会で発表

*1 日本原子力研究所東海研究所(〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4)

Fig. 1 Schematic diagram of apparatus for the ion distribution measurement (front view).

半球型電極を配置した。電極 3 及び 4 の半径はそれぞれ 47 mm と 39 mm (半円筒型), または 27 mm と 23 mm (半球型) である。電極 3-4 間の電位差により焦点 C 方向の電場が生じるため, 電極 3-4 間をイオンが通過する際に焦点 C 方向に向かってイオンは加速される。焦点 C は, 半円筒型電極の場合の検出器表面に, 半球型電極の場合は検出器表面から 21 mm 電極 2 寄りに配置されている。

引き出されたイオンは電極 2 表面から 50 mm 離れた点にある多チャンネルファラデーカップ⁴⁾ (検出器 1) で検出した。これには 4 mm ϕ の検出穴が水平に 7 mm 間隔で配置してあり, 各検出穴の内側には, おおの検出板を配置してある。得られたイオン電流波形を積分することにより検出電荷量を求めた。イオンビームの水平・垂直方向の強度分布は, 検出器 1 を上下に移動させイオン強度を 2 次的にマッピングすることにより得た。

全引き出しイオン量は蒸気量やレーザー光強度の変化により変動するため, 電極側面の小穴より引き出したイオン量を検出器 2 によりモニターすることによりイオン量の変動を把握した。イオン強度分布は, 検出器 1 の各チャンネルから得られた電荷量 Q_i と検出器 2 で得られた電荷量 Q_0 の比 Q_i/Q_0 を用いてまとめた。

3. 結果と考察

Fig. 3(a) に電極 3-4 間に電位差がない場合のイオン強度分布を, 検出器 1 の位置で水平方向 $x = \pm 26$ mm,

Fig. 2 Schematic arrangement of laser ion source, semicylindrical electrodes and detectors (top view).

垂直方向 $z = -22.5 \sim 25$ mm の範囲について示す。ここで $x=0$ は電極 3 及び 4 の焦点位置に, $z=0$ はレーザー光の中心高さとした。また電極 1~4 への印加電圧はそれぞれ 400 V, 0 V, 0 V, 0 V であり, パルスあたりの引き出しイオン電荷量は約 48 pC である。この電極電位の場合, 電極 2 から引き出されたイオンは等電位の空間を移動するため, 蒸発原子ビームの上方への移動やイオンビームの空間電荷効果などにより検出器 1 の位置では幅広いイオン強度分布となっていることがわかる。電極 2 でのイオンビーム幅は電極 2 のスリット幅により決まり 22 mm であったと考えられるが, 検出器位置では 50 mm 程度に広がっている。

一方, 半円筒型電極を用い, その電極 3-4 間に 200 V の電位差を印加した場合のイオン強度分布を同じ範囲について Fig. 3(b) に示す。この場合の電極 1~4 への印加電圧は, 400 V, 200 V, 200 V, 0 V であり, パルスあたりの引き出し電荷量は約 36 pC である。この場合, 電極 3-4 間に 200 V の電位差が生じるため, この収束電場により水平方向のビーム広がり Fig. 3(a) の場合に比べ減少し, 中心部の相対イオンビーム強度は約 2 倍に増加した。一方, 垂直方向に関しては収束電場が存在せず, イオン広がりに変化は見られなかった。

半球型電極を用いた場合は, 水平, 垂直方向とも電極間電圧を増加するにつれビーム広がり減少し, 中心部の相対ビーム強度は増加していった。Fig. 3(c) に電極 3-4 間の電圧差を 1300 V にした場合の水平方向 $x = \pm 14$ mm, 垂直方向 $z = \pm 22.5$ mm の範囲についてのイオン

Fig. 3 Ion intensity distributions measured using a multichannel Faraday cup at the position of detector 1, (a) without a concentric electric field, (b) with semicylindrical electrodes, (c) with semispherical electrodes.

強度分布を示す。この場合の電極1～4への印加電圧は、本実験条件下で最適な1500 V, 1300 V, 1300 V, 0 Vであり、引き出し電荷量はFig. 3(b)と同様である。イオンビームが収束したことにより中心ビーム強度は収束電場を印加しない場合に比べ約36倍に増加した。

この結果から付加的電極を用いることは、レーザー生成イオンのイオンビームとしての利用に有効であることを示した。また、多チャンネルファラデーカップはこのようなイオンの強度分布測定に有効であることを確認した。

4. ま と め

レーザー光イオン化により生成したイオンビームの強度分布を多チャンネルファラデーカップにより計測し

た。半円筒型電極及び半球型電極を加えて収束電場を付加することにより、イオン強度分布の広がりを狭めることができ、中心イオンビーム強度を大幅に増加させることができた。これは、レーザーイオン源の利用に有用な知見である。

〔文 献〕

- 1) K. Tamura, H. Adachi and T. Shibata: Jpn. J. Appl. Phys., **38** (1999) 2973.
- 2) K. Tamura, K. Ogura and T. Shibata: Jpn. J. Appl. Phys., **37** (1998) 5005.
- 3) 田村浩司, 大場弘則, 柴田猛順: JAERI Rep. JAERI-Research 99-064 (1999).
- 4) 足立 肇, 田村浩司, 岡崎哲治, 柴田猛順: JAERI Rep. JAERI-Tech 98-029 (1998).