

## DEVELOPMENT OF A PLASMA-BEAM ION SOURCE FOR INJECTION TO THE INS 50MHz SCRFQ

Eiki Tojyo, Shigeaki Arai, Toshiyuki Hattori\*, Teruhisa Morimoto,

Shinji Shibuya\*\* and Noboru Tokuda

Institute for Nuclear Study, Univ. of Tokyo

\* Tokyo Institute of Tecnology

\*\* The Graduate Univ. for Advanced Studies

### ABSTRACT

A plasma beam ion source is being fabricated for a high current acceleration test of a split coaxial RFQ. This ion source consists of three section chambers : the first chamber (duoplasmatron) generates a plasma beam; the second one increases the  $H^+$  ion production ratio; and the third one makes a small radius beam. By use of strong axial magnetic field and a high acceleration voltage in the last two chambers, it will be possible to realize a high-current and low-emittance beam. The preparation for a beam extraction test is now in progress.

## SCRFQ入射用プラズマビーム イオン源の開発

### 1. まえがき

核研ではこれまで数年間、分割同軸型の高周波四重極線形加速器 (SCRFQ) の開発研究を続け、50MHzの陽子加速モデルではピーク値が数 $\mu$ A程度の陽子のパルスビームを用いてその加速実験を行い、設計値との良い一致を確認した。<sup>1)</sup>

その後、ビームの空間電荷効果を定量的に調べるために、 $\sim 0.2$ mA以上の、比較的強い電流領域での加速実験をする計画が立てられた。低電流領域のイオン源としては、これまで時間的安定性と再現性の良い小型ECRイオン源を開発して実験に供してきたが<sup>2)</sup>、引出し電圧が2kVという低い値のため、ビームエミッタンスを増加させずに直ちに大電流ビームを取り出す事は困難であった。

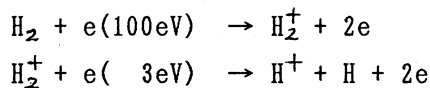
そこで大電流用イオン源としては、フランクフルト大学でSCRFQの加速実験用に作られたプラズマビームイオン源 (変形ジュオプラズマトロン) の方式<sup>3)</sup>を採用することにした。この場合も、引出し電圧が2kVという制約上、低エミッタンスで大電流を実現するにはジュオプラズマトロンに後続して、ビーム圧縮チャンバーを取り付ける必要がある。一方、小型ECRイオン源もビームスリット径を広げれば大電流取り出しは可能であるが、そのままではエミッタンスの増加は避けられない。しかし一方ではヒーターなしに安定にビームを出せるというメリットがあるので、できればビーム取り出し側で適当な処理をして低エミッタンスが実現できればジュオプラズマトロンよりもメリットは大きい。このような考察に基づき、当グループではとりあえずフランクフルト型のプラズマビームイオン源を先ず製作して大電流ビームを実現し、その後出来ればプラズマ生成室の部分をECR方式に切り替える方針でSCRFQ入射用イオン源の開発を進めてきた。目標値は $H^+$ イオンについてパービアンズ $\geq 1.12 \times 10^{-8}$  [ $A/\sqrt{V}$ ] (2kVで1mA以上)、

規格化エミッタンスは $\sim 0.3\pi$  [mm·mrad] である。

## 2. ビームチェンバーの多段構成と機能

このプラズマビーム型イオン源は、ビーム取り出し方向に3段の構造をもっている。第1段（プラズマ生成室）は通常のジュオプラズマトロンと同じであるが、 $H^+$ などの軽イオンの取り出しに的を絞っているので、アノードの形状は通常の重イオンビーム用のものと逆に内向きで、しかもフランジは非磁性体で作られており、磁界を軸方向に延長しているのが特徴的である。

アノードから取り出したプラズマビームを軸方向の圧縮磁界にかけるが、そのほぼ中央部にコリメーターを置き（制限電極を兼ねる）、2段に分ける。その前半部（第2チェンバー）は $H^+$ イオンの生成比を上げる拡張カップとして機能する。 $H^+$ は主に次の過程で作られる<sup>4)</sup>：



圧縮チェンバー後半部（第3チェンバー）では、軸方向磁界と併せて引出し電極に $-15 \sim -20$  kVの軸方向電圧をかけることにより、細く絞られたビームが引き出される。第2・第3チェンバーには共通のソレノイドを用いているので、便宜上これをまとめて圧縮チェンバーと呼んでいる。

## 3. 圧縮チェンバーの設計

圧縮チェンバーへの入口側の磁界は界浸型であるが、簡単のためチェンバー内のビームをブリュアン・フロウで近似すれば、ビーム電流 $I$ 、ビーム半径 $a$ 、加速電圧 $V$ と閉じ込めに必要な磁界 $B$ の関係は次式で与えられる。ただし、ビームの径方向の電位降下は小さいので省いた。<sup>5)</sup>

$$\begin{aligned} B^2 &= \frac{\sqrt{2}}{\pi \epsilon_0} \left( \frac{q}{M} \right)^{\frac{3}{2}} I a^{-2} V^{-\frac{1}{2}} \\ &= 5.42 \times 10^{-2} I a^{-2} V^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{MKSA, } H^+ \text{ ions}) \end{aligned}$$

そこで  $a=2$  mm,  $I=2\text{mA}$ ,  $V=20$  kV のビームについては、必要な磁界は $B=0.43$  Tとなる。Fig.1の圧縮チェンバー部分の形状寸法はこれらのパラメーターの値を基準にして決めたものである。ソレノイドの総巻数は2600、枠を含めた軸長は180mmである。ビーム閉じ込め半径はチェンバー中央部の $\phi 4$ の制限電極により、それ以上の拡りが多少あっても削られる。ソレノイドと散逸ビームの放熱のため、ソレノイドの内筒側を水冷する構造とした。

## 4. あとがき

現在、このイオン源はジュオプラズマトロンの部分が完成しており、後続の第2・第3チェンバーを組立中である。Fig.1からも明かなように、このメイン・ソレノイド部分は第1チェンバー・引出電極に比べて、どうしても径方向・軸方向共に大きくなり、重量もかさんで不釣合いなので、所定の特性が得られた後は永久磁石に置き換えて小型化する事も考えられる。（NEOMAX-30のコアを用いると、 $\phi 40 \times \phi 90 \times 45$ の寸法で $B=0.34$  Tが可能。やや低い磁界だが著しく小型軽量で扱い易くなる。）また初めに述べたように、プラズマ生成室部分（第1チェンバー）を小型EC

R イオン源に置き換えれば、第3 チェンバーまで含めたこの方式のイオン源は著しく小型化され、安定動作・長寿命が見込まれる。そこで今後はまずジュオプラズマトロン駆動で必要なビームを出し、プラズマビームイオン源としてのシステムテックな動作特性を確認したのち、E C R 駆動方式に切り替える予定である。 (1989. 8. 4)

Ref.1) N. Tokuda, S. Arai, T. Fukusima, T. Morimoto and E. Tojyo : Contributed paper to the 1989 Particle Accelerator Conf., Chicago (1989)

2) E. Tojyo and T. Hattori : Proc. of the 13th Linear Accelerator Meeting in Japan : p. 58 (1988)

3) K. Langbein : Contributed paper to the European Particle Accelerator Conf., Rome (1988)

4) K. Langbein : Private communication (1989)

5) J. D. Lawson : Physics of charged particle beams (2nd edition); Clarendon Press; p. 125 (1988)

