

PRODUCTION OF DIRECT FAST CHOPPED BEAM
FROM A SURFACE-PLASMA TYPE H⁻ ION SOURCE

K., Shinto*A., Takagi M., Kinsho K., Ikegami
Z., Igarashi S. Machida M., Yoshii Y., Mori†
National Laboratory for High Energy Physics (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, JAPAN

ABSTRACT

A direct fast chopped beam extracted from a surface-plasma H⁻ ion source is proposed and a preliminary test has been examined. The converter bias voltage is modulated by rf pulses and the extracted H⁻ beam is observed. The direct fast chopped H⁻ beam extracted from the ion source has a good response to the modulated converter bias voltage as expected. The chopped H⁻ beam extracted by this method has been injected into the 500 MeV booster synchrotron at KEK-PS.

表面生成型負イオン源からの高速チョップビームの生成

1 はじめに

高エネルギー物理学研究所の陽子シンクロトロン (KEK-PS) では、近年ビーム強度増強等の性能改善の期待が高まっている。加速器のビーム強度増強の妨げの原因の一つとして、リニアックからブースターシンクロトロンへの入射時のビームロスが挙げられる。入射時のビームロスを軽減するために、ブースターの RF 加速周波数に同期した高速チョップビームが必要とされている。

低エネルギーの H⁻ ビームを PFN 型チョッパー電極を用いた方法もあるが、イオン源で負イオンを生成する時に高速チョップビームが生成できることができれば理想的である。イオン源で負イオンを生成する段階で高速チョップ H⁻ ビームを生成する方法がいくつか試みられている。例えば、PIG 型 H⁻ イオン源の Collar 電極にパルス電圧を印加する方法 [1] や、体積生成型 H⁻ イオン源のプラズマ電極にパルス電圧を印加する方法 [2] などが試されている。

KEK-PS では、負イオンの生成には表面生成型 H⁻ イオン源 (BLAKE) が用いられている。表面生成型負イオン源では、イオン源中にコンバータと呼ばれる金属を入れておく。コンバータはシースによってプラズマから遮断されている。コンバータをイオン源中のプラズマに対して負にバイアスすることにより、プラズマ中の正イオンと金属表面との相互作用から負イオンを生成する。コンバータのバイアスをブースターの RF 加速周波数に同期して変調を掛けることで、負イオン生成量が変化し、イオン源よりチョップビームが生成される。

本発表では、BLAKE イオン源のコンバータ電圧をパルス変調する方式の考案、高速チョップ H⁻ ビームの生成を行い、そのビームを用いてブースターに入射した時のエミッタンスについて報告する。

2 実験方法

本実験で行った BLAKE 負イオン源の概念図を Fig. 1 に示す。このイオン源はイオン源内にカスプ磁場を形成するように、イオン源チャンバーに磁石を取り付けている。LaB₆ をフィラメント材としてイオン源チャンバーとの間で熱陰極放電を行っ

*The Graduate University for Advanced Studies, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, JAPAN

†Institute for Nuclear Study University of Tokyo, Midori-cho, Tanashi, Tokyo 188, JAPAN

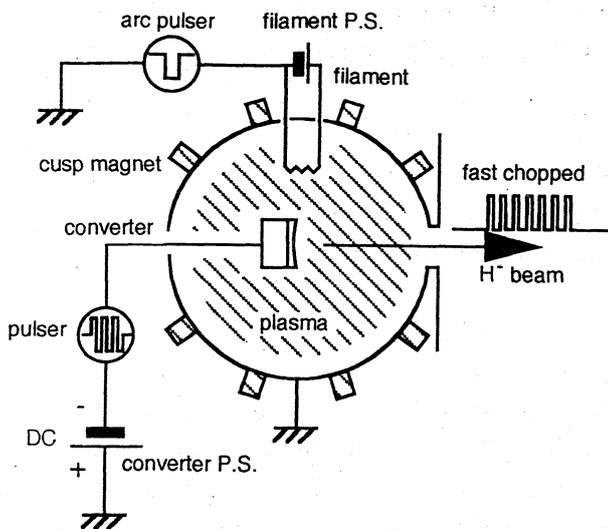


Fig.1: The schematic drawing of the surface-plasma H^- ion source.

てプラズマを生成している。多量の負イオンを生成するために、コンバータの仕事関数を低くしなければならない。そのために、イオン源内にCsを導入し、コンバータ表面に薄い層を形成する。コンバータに負電圧を印加し、プラズマとの相互作用により負イオンが生成される。コンバータ電圧の時間的変化により、イオン源で生成される H^- イオンも追従して増減し、高速チョップ H^- ビームが生成される。引き出された高速チョップ H^- ビームは、コッククロフト・ウォルトン型加速器で750 keVまで加速され、その後リニアックで40 MeVまで加速されてからブースター入射が行われる。チョップされた H^- ビームはブースターの加速空洞のRF電圧の周波数に同期している。従って、ブースターの各RFバケツにチョップした H^- ビームを入れることにより、バケツから漏れる H^- ビームロスを軽減する。

3 実験結果

3.1 高速チョップされた H^- ビームの生成

本実験のコンバータ電源の等価回路図を Fig. 2 に示す。コンバータには、RF 加速電圧の周波数をトリガーにした高電圧高周波パルス電圧を通常用いているコンバータ DC 電圧に重畳して、コン

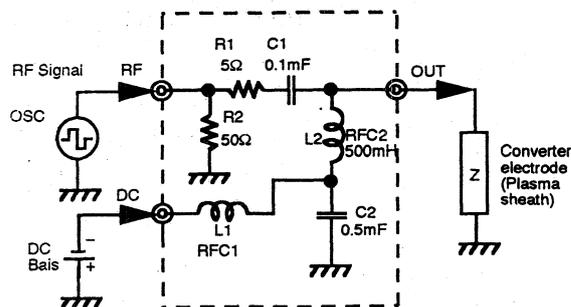


Fig.2: The circuit diagram of the rf modulated power supply for the converter.

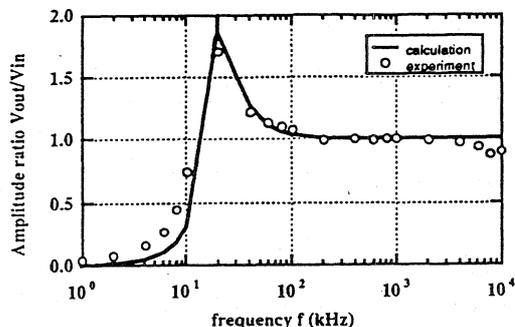


Fig.3: The characteristic of the ratio of the output voltage for input voltage as a function of the rf frequency.

バータ電圧に変調を掛けた。このマッチング回路の周波数特性を Fig. 3 に示す。本実験で用いられた周波数（約 2.5 MHz）の領域では、回路による共振のない領域であり、入出力比が1となるように設計されている。この変調電圧のために、金属表面での負イオンの生成効率に変化し、イオン源の引き出し孔よりチョップされた H^- ビームが生成された。

3.2 高速チョップされた H^- ビームの加速

RF 変調用電源をコッククロフト・ウォルトン型加速器の高圧ステーション内にいれて、イオン源よりチョップした H^- ビームを、KEK-PS の 40 MeV

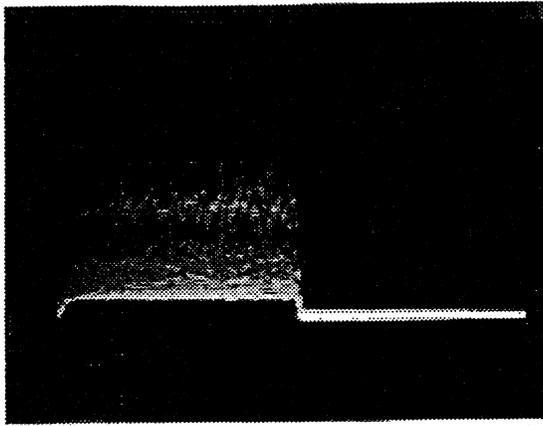


Fig.4: An example of the waveform of the fast chopped H⁻ beam measured by the Faraday cup at 40 MeV beam line. (vertical axis:2 mA/div., horizontal axis:10 μsec/div.) About 94% of the maximum H⁻ beam current is suppressed by the converter bias modulation.

リニアック及び 500 MeV ブースターシンクロトロンに入射した。Fig. 4 に 40 MeV linac 後方の Faraday cup で測定した H⁻ ビーム波形を示す。コンバータ電圧がオフの時には、約 94 % のビーム電流がカットされていることが分かった。

3.3 ブースターでのチョップビームのエミッタンス

ブースターに入射したチョップされたビームの各バンチのバンチ幅から、縦方向のエミッタンスを求めた。位相方程式 [3]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta E}{h\Omega_{rev}} \right) = \frac{eV_{rf}}{2\pi h} (\sin \phi - \sin \phi_0) \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} (\Delta \phi) = \frac{h^2 \eta \Omega_{rev}}{pR} \left(\frac{\Delta E}{h\Omega_{rev}} \right) \quad (2)$$

から、粒子の Hamiltonian は、

$$H_0 = \frac{h^2 \eta \Omega_{rev}}{2pR} W^2 + \frac{eV}{2\pi h} (\cos \phi + \phi \sin \phi_0) \quad (3)$$

で与えられる。ただし、 ΔE は同期粒子のエネルギーからのずれ、 h は harmonics number、 Ω_{rev} は粒子の回転周波数、 V_{rf} は RF 加速電圧の大きさ、 ϕ_0 は同期粒子の位相、 $\Delta \phi$ は、同期粒子からの位相のずれ、 η は Transition parameter、 $W = \frac{\Delta E}{h\Omega_{rev}}$ である。この式よりブースター磁場の最小の時か

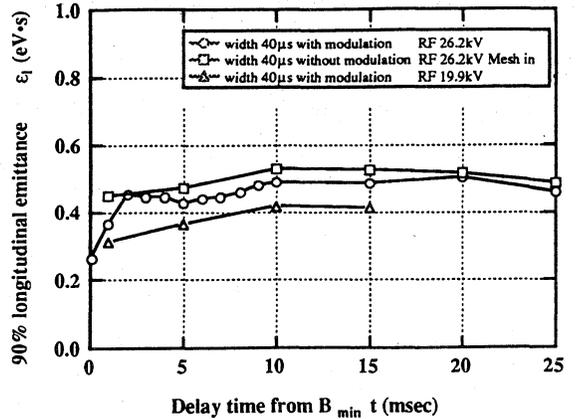


Fig.5: The longitudinal emittance as a function of the time delay from B_{min}

らの経過時間に対する縦方向のエミッタンスを計算した。その結果を Fig. 5 に示す。イオン源よりチョップされたビームは、ブースターの RF 加速周波数にマッチしているおり、RF バケツから漏れるビームロスを軽減できたために、エミッタンスを抑えることができたと考えられる。

4 まとめ

現在までのところ、イオン源より直接チョップした H⁻ ビームを生成し、KEK-PS の 500 MeV ブースターシンクロトロンへの入射を行った。また、そのときのビームのバンチ幅を測定して縦方向のエミッタンスを求めたところ、従来までのチョップをしない場合と較べて減少していることが分かった。

参考文献

- [1] J. M. Brennan, L. Ahrens, J. Alessi, J. Brodowski, J. Kats and W. van Asselt, Proc. of the 1989 IEEE Particle Accelerator Conference, Chicago, pp.1154-1156.
- [2] R. L. York, D. Tupa, D. R. Swenson and R. Damjanovich, Proc. of 1993 IEEE Particle Accelerator Conference, Washington, pp.3175-3177.
- [3] J. L. Duff, Cern Accelerator School General Accelerator Physics (CERN 85-19), PP.125-143.