

Akira Takagi, Kiyoshi Ito, Yoshiharu Mori and Sadayoshi Fukumoto  
National Laboratory for High Energy Physics (KEK)

## ABSTRACT

A negative hydrogen ion source of magnetron type has been developed to increase the intensity of accelerated protons in the KEK 12GeV synchrotron. The source design is based on the magnetron source at FNAL. H<sup>-</sup> ions from the source are directly extracted into a sector focus 90° bending magnet which removes unwanted ions and electrons. The source operates at a repetition rate of 10~20 Hz and the maximum pulse length of 200 μsec. A beam current of 50 mA was achieved in the hydrogen-cesium mode. This high current beam was obtained by using a high voltage pulser for the extraction electrode. The temperature control of the source and the cesium oven was critical to operate the source with good reliability. Typical operating parameters for our source are presented.

## 序

高エネルギー物理学研究所において、12 GeV陽子シンクロトロン<sup>1)</sup>のビーム強度増強の為に負水素イオン源が開発されている。イオン源において生成されたH<sup>-</sup>イオンビームは、前段加速器によって750 keVまで加速された後に陽子ライナックに入射される。陽子ライナックによって20 MeVまで加速されたH<sup>-</sup>イオンビームは、次にブースタ・シンクロトロンへ入射される。ブースタへの入射はH<sup>-</sup>ビームの荷電交換多重入射法により行なわれ、ブースタ軌道内でH<sup>+</sup>イオンビームに変換される。この入射法により、ブースタ内で加速されるビーム強度の増加が期待されている。この荷電交換多重入射法は、現在当研究所において建設中の偏極イオン源のビームをブースタで加速するのに適している。その理由は、多重入射により10 μAのH<sup>-</sup>ビーム強度の入射であっても、200 μAのH<sup>+</sup>ビームを入射したのと同等のブースタビーム強度が得られるからである。ブースタへのH<sup>-</sup>入射法が確立されるならば、偏極イオンビーム及び非偏極イオンビームはいずれも負水素H<sup>-</sup>イオンビームでなければならぬ。我々は、ビーム強度50 mA、くりかえし周波数最大20 Hz、ビーム巾最大200 μsecで動作可能なH<sup>-</sup>イオン源としてマグネトロン型イオン源の開発を行っている。

## イオン源

イオン源は、FNAL<sup>1)</sup>のマグネトロン型イオン源を参考にして設計されている。H<sup>-</sup>イオンはイオン源の陽極スリットから直接に引き出された後に、90°の偏向磁石に入射される。この偏向磁石によって、不必要な他のイオン種及び電子が取り除かれる。又、90°曲げられたH<sup>-</sup>イオンビームが加速管への入射に適した形状となる様

にする為、この偏向磁石の磁極形状は $R \approx 1$ となっている。

イオン源の性能としては、繰り返し周波数最大 $20\text{ Hz}$ 及びパルス中最大 $200\text{ }\mu\text{sec}$ で、 $50\text{ mA}$ 以上の $\text{H}^-$ イオンビームを生成する能力が要求される。Fig. 1は、KEK  $\text{H}^-$ イオン源の構成を示す。陽極及び陰極の材質はモリブデンである。このモリブデン電極は、2つの薄いマコール製の絶縁物によって保持されており、この陽極-陰極構造が一体となってステンレス製のイオン源本体構造内にすっぽりとはまり込ませられている。そして、陽極前面がチタニウム製の陽極板によっておおわれている。陽極板には $1 \times 10\text{ mm}^2$ のスリットがあげられており、ここから $\text{H}^-$ ビームが放出される。引き出し電極のスリットは $2 \times 15\text{ mm}^2$ であり、高電圧によってイオンビームを引き出す働きを行う。

偏向磁石の磁極の側面に取り付けられた補助磁極が、マグネロン型イオン源の動作に必要な磁場を作る。陽極孔から放出された電子は、この横方向磁場によってイオン源の陽極へ曲げもとされる。イオン源本体の全体がマコール製の厚い熱絶縁体によって熱的にベースフランジ部分より分離されている。この熱絶縁体の一部分は、電子の衝突による破壊を防ぐ為にステンレス製のシールド板でおおわれている。

パルスガスバルブは、ベースフランジ部に取り付けられている。このガスバルブは、自動車用の燃料噴射弁を加工して用いている。イオン源本体からの熱の流出によって、パルスガスバルブ自体の温度が $60^\circ\text{C}$ 以上に上昇するので、このバルブは熱的にじょうぶな所が利点となっている。イオン源からのセシウム蒸気が直接バルブ先端のノズル部に到達する事を防ぐ為に、パルスガスバルブはイオン源へのガス導入管と直角の位置関係になっている。

ステンレス製の管によって、セシウム蒸気がイオン源内に導入される。この導入管全体は、シーヒータによって約 $400^\circ\text{C}$ に加熱されている。真空容器の外側の管の長さは約 $40\text{ cm}$ で、途中にストップバルブを設けてある。セシウム炉は、

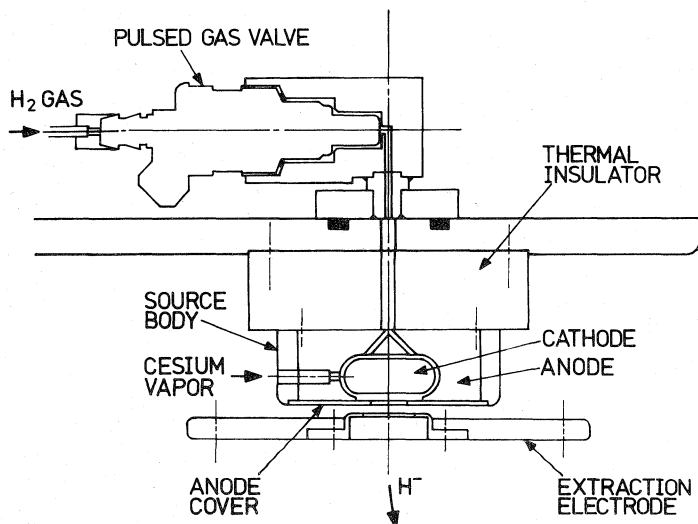


Fig. 1

KEK magnetron ion source with a pulsed gas valve.

シーヒーターによって加熱され、約 $170^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ の範囲内で最適温度に調節される。イオン源からのセシウム蒸気が他へ流れ出ない様にする為に、Fig. 2に示すCOLD BOXが必要である。

イオン源のテストスタンドにおける電気的接続は、Fig. 2に示すとおりである。アーク電力は、パルス動作のアーク電源によって供給される。現在は、トランジスタスイッチング方式の定電流出力特性を持つパルス電源を使用している。アークインピーダンスとアーク電力との相互関係によるイオン源の動作の安定性を改善する為に、PFN型のサイリスタスイッチング方式の定電圧特性を持つ電源に変更する予定である。

直流電源による引き出し電圧の供給は、Fig. 3に示す様に約 $300\text{mA}$ の全引き出し電流が、引き出し電極系に流れ込んでくる。この為に、高圧電源の充放電時の電流容量の不足及び真空中での電極間放電の誘因となる。現在、引き出し

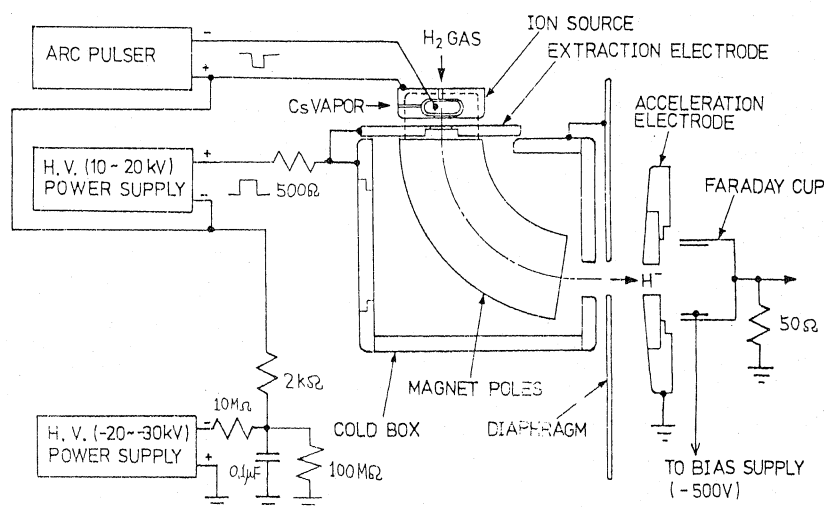


Fig. 2 Electrical connection on the test stand.

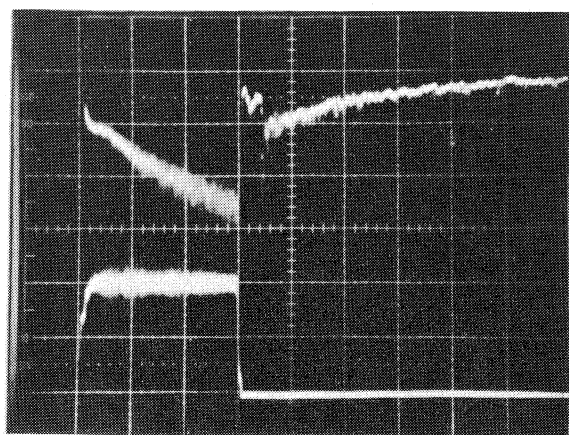


Fig. 3

Extracted current at the DC extraction voltage.

U : Extracted current, 100 mA/div.

L : Arc current, 50 A/div.

Table 1

Operating parameters of magnetron  $H^-$  ion source.

repetition rate	:	10 Hz
arc current	:	$\sim 160$ A
arc volt.	:	$180 \sim 120$ V
arc duration	:	$150 \mu\text{sec}$
source mag. field	:	930 Gauss
bend. mag. field	:	1480 Gauss
anode slit	:	$1 \times 10 \text{ mm}^2$
extraction slit	:	$2 \times 15 \text{ mm}^2$
extraction gap	:	2.5 mm
extraction volt.	:	$\sim 14$ kV (pulsed)
acceleration volt.	:	25 kV
$H_2$ gas flow rate	:	$\sim 4 \text{ atm}\cdot\text{cc}/\text{min}$ .
cathode temp.	:	$\sim 425$ °C
anode temp.	:	$\sim 200$ °C
Cs feed tube temp.	:	$\sim 430$ °C
Cs oven temp.	:	$\sim 201$ °C

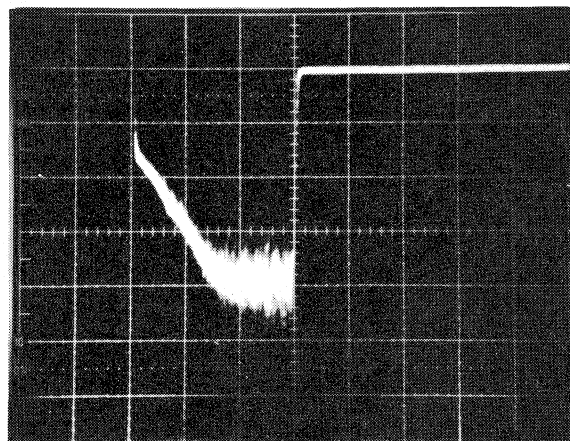


Fig. 4

40 mA  $H^-$  ion beam after  $90^\circ$  bending magnet.

電圧を高電圧パルス電源（最大出力 15 kV, 1 A）によって供給する事によって、比較的安定な  $H^-$  イオンビームの引き出しが可能となった。

#### 動作結果及びまとめ

引き出し電圧のパルス化によって、KEK  $H^-$  イオン源のビーム強度は 40 mA  $\sim$  50 mA に到達した。数時間にもわたって比較的安定な動作状態を示し、その時の典型的な各パラメータの値は、Table 1 に示すとおりである。

水素ガス流量は、約  $4 \text{ atm}\cdot\text{cc}/\text{min}$  と比較的少なく、イオン源部の真空容器内のバックグラウンド圧力は約  $1 \times 10^{-4}$  torr であった。

ビームパルスの繰りかえし又は、ビームパルス巾を変更する場合には、イオン源の陰極の温度が大巾に変化しない程度に、除々に行う必要がある。又、その場合には、セシウム炉の温度も最適条件に変更しなければならなかった。Fig. 4 は、 $90^\circ$  偏向された後にファラデーカップによって測定された  $H^-$  イオンビーム波形を示す。我々は、さらに  $H^-$  ビームのプロファイル及びエミッタンスの測定を行う準備を進めている。

#### REFERENCE

- 1) C.W. Schmidt and C.D. Curtis : IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-26, 4120 (1979).