

Cesium effect on the volume H⁻ ion source

T. OKUYAMA Y. MORI A. TAKAGI AND A. UENO

KEK, National Laboratory for High Energy Physics
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

ABSTRACT

A high intensity volume H⁻ ion source has been developed at KEK. Introducing a very small amount of cesium vapor into the ion source chamber, 20mA H⁻ beam current was extracted. The measured 90% normalized emittance was 1π mm-mrad for 12mA H⁻ beam current. It was found that this cesium effect was caused by the surface effect between hydrogen plasma and metal surface of which work function was reduced by cesium coating.

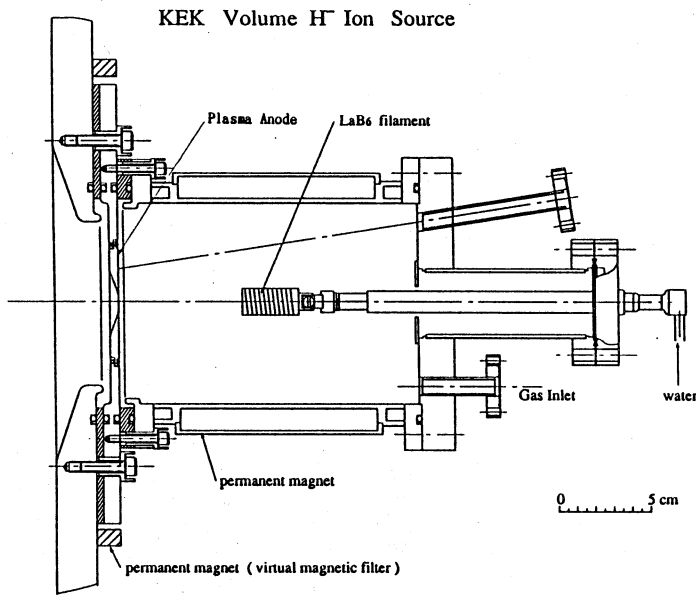
1. はじめに

高エネルギー物理学研究所の12 GeV陽子シンクロトロン/ion源は表面効果生成型負水素イオン源を使用している。この方式のイオン源では、コンバータ表面にセシウムを付着させ、仕事関数の低下した金属表面とプラズマとの相互作用を利用して負水素イオンを生成させている。このため、表面効果生成型のイオン源ではコンバータ表面のセシウム層を常に良好に保つ必要からセシウムを連続的に安定供給しなければならず、セシウムの消費量も多く、ビーム輸送路を汚染し放電を引き起こすおそれもある。一方、セシウムを使用しない負水素イオン源として体積生成型のものが注目されているが、このイオン源ではビーム強度の向上が課題であった。そこで、KEKではこのほど微量のセシウム消費で高強度のビームを引き出せる体積生成型の負水素イオン源を開発した。ここではこのイオン源の概要と体積生成型の負水素イオン源におけるセシウムの効果による負水素イオンの生成機構について述べる。

2. 体積生成イオン源の概要

図1に体積生成負水素イオン源の構造を示す。イオン源は、内径110mm×160mmのSUS304製の円筒容器中にLaB₆フィラメントを配置し、熱陰極放電により水素プラズマを生成して、容器外周に配置した永久磁石のカスプ磁場によりプラズマを閉じこめている。体積生成イオン源の特徴であるプラズマ領域を低エネルギー領域と高エネルギー領域に分離する磁気フィルターは、プラズマ電極の両側に永久磁石を設置することにより作り出している。

このイオン源に微量のセシウム蒸気を注入するとH⁻イオンのビーム電流が著しく増加する。図2-a、bにセシウム注入前と注入後におけるH⁻イオンのビーム波形を示す。セシウムを注入することにより最大20mAのH⁻イオンのビーム電流が得られた。イオン源の運転モードは図1に併せて示す。図3にはビーム電流が12mAのときのエミッタンスを示す。90%規格化エミッタンスで約 1π mm·mradを得た。ビーム電流を増加させると空間電荷効果によりエミッタンスは悪くなる。



Operating parameters

ARC CURRENT	100-200 A
ARC VOLTAGE	120-150 V
H ₂ FLOW RATE	15-20sccm
BEAM EXTRCTION VOLTAGE	30-40 V

図1 KEK体積生成型負水素イオン源断面図

3. セシウム注入の効果

バルブを開けてセシウム蒸気を徐々に注入していったときのビーム電流の変化には以下の特徴がある。

- セシウムを入れ始めて10分ぐらいはビーム電流値に変化は見られず、十数分してから急激にビーム電流が増加する。
- セシウムを20分ぐらい注入すればビームは減少しないまま10時間以上引き出せる。
- 運転を停止して翌日再び運転してもビーム電流は増加したままである。

このことから、セシウムの効果として、金属表面に対する効果、すなわちプラズマ電極表面にセシウムが付着することによって表面の仕事関数が低下し、金属表面とプラズマとの相互作用によって負水素イオンが生成されるという効果に着目した。

そこで、レーザーによる光電子放出を利用して仕事関数の変化を調べられるようにし、セシウムの付着とビーム電流の変化との関係を調べた。図4には仕事関数の測定システムを示す⁽¹⁾。この結果、以下のことがわかった。

- プラズマ電極表面の仕事関数は、セシウムを注入して10分ぐらいは光電子放出を起こす値にまで下がらない。
- プラズマ電極表面の仕事関数が低い限りビーム電流は増加したままである。
- Arプラズマでプラズマ電極のセシウムをスパッタするとこの表面の仕事関数も高くなり、ビーム電流も注入前の値に戻る。

このことから、セシウム注入の効果として、やはりプラズマ電極にセシウムが付着することによる表面効果生成が主たる要因であることが判明した。この場合、プラズマ中の低エネルギーの水素原子が金属中からの自由電子を捕獲してH⁻イオンを生成しているものと考えられる。

低エネルギーの水素原子がH⁻イオンになる確率は極めて低いとされている。そこで、低エネルギーの水素原子がセシウムを付着させた金属表面でH⁻になりえることを実験で示した。実験では、水素解離器で発生させた熱運動の水素原子をセシウムを付着させたモリブデンのターゲットに当て、表面で生成する粒子を質量分析器を通して測定した。その結果、セシウムがターゲットの表面に付着し仕事関数が下がると、図5に示すようにH⁻イオンを検出することができた。

4. まとめ

体積生成イオン源にセシウムを注入することにより20mAの高強度H⁻イオンビームを引き出すことが可能になった。また、このセシウム注入効果の機構を明らかにし、電極面とプラズマとの相互作用で負水素イオンが新たに生成されていることを示した。低エネルギーの水素原子がH⁻イオンになる確率は極めて低い。しかしながら、イオン源中には $\sim 10^{14}$ n/cm³もの水素原子が存在している。このため、0.1%程度の生成確率でもビーム電流の増加に大きく影響する。

参考文献

(1) H.Yamaoka et al : Nuc. Instr. and Meth., B36(1989) 227

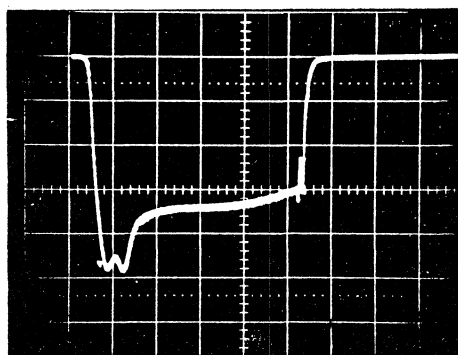


図2-a H⁻ビーム波形 (non-Cs mode)

Vertical
1mA/div
Horizontal
0.1msec/div



図2-b H⁻ビーム波形 (Cs mode)

Vertical
5mA/div
Horizontal
0.1msec/div

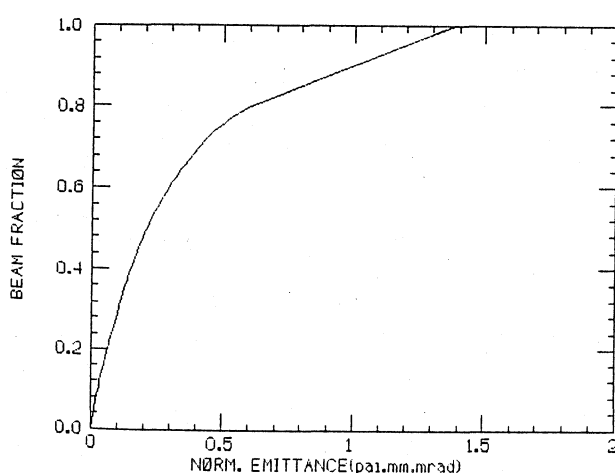
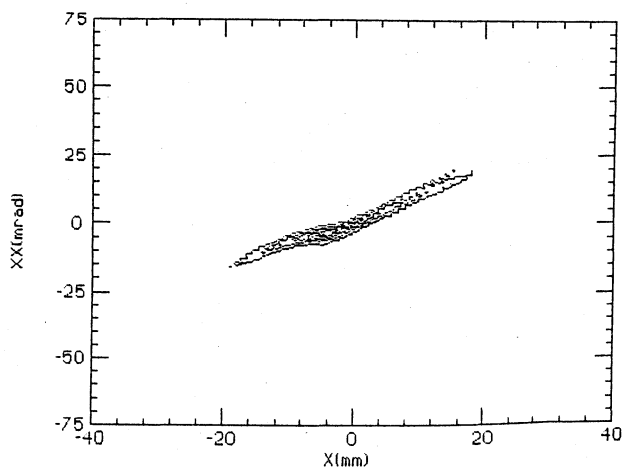


図3 エミッタンス測定結果

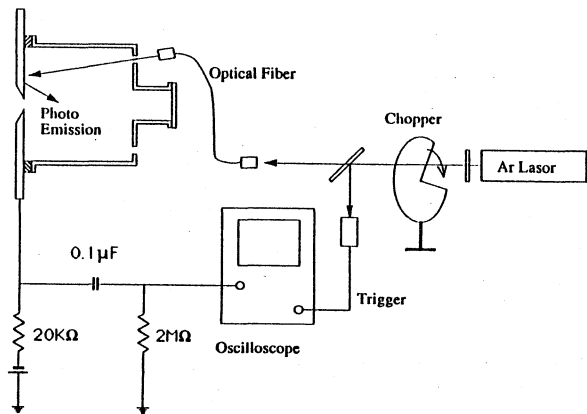


図4 Schematic diagram of the workfunction measurement system

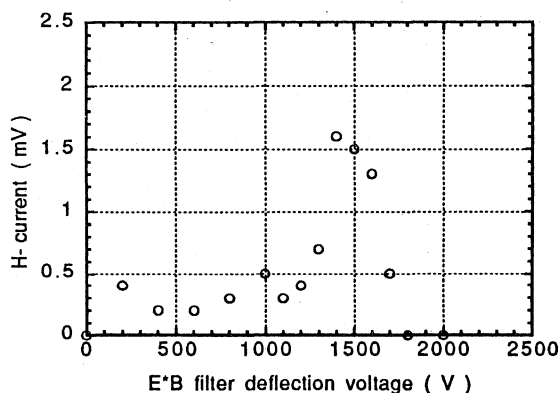


図5 検出したH⁻イオンのシグナル