

RF負イオン源におけるメニスカス形状とビーム収束性の数値解析 Numerical study of the plasma meniscus shape and beam optics in RF negative ion sources

林 克哉¹, 星野 一生¹, 宮本 賢治², 畑山 明聖¹, Jacques Lettry³

Katsuya Hayashi, Hoshino Kazuo, Kenji Miyamoto, Akiyoshi Hatayama, Jacques Lettry,

1 慶大理工, 2 鳴門教育大, 3 CERN

1 Keio University, 2 Naruto University of Education, 3 CERN

背景

水素負イオン源から高出力で収束性が良いビームを引き出すために、ビーム放出面であるメニスカス形状を制御することが重要である。負イオン源を対象とした数値解析により、負イオン源におけるメニスカスはバルクプラズマ密度と同じように負イオン-電子密度比に依存していることを示された[1]。実験においても、RF水素負イオン源においてプラズマ密度の振動によってプラズマメニスカス形状の振動が生じ、その結果ビーム収束性が低下することが指摘されている。

本研究の目的はRF運転中の負イオン源において、ビーム収束性が低下する物理機構を数値的に明らかにすることである。今回、バルクプラズマ密度に対するプラズマメニスカス形状の依存性を調査した結果について報告する。

手法

メニスカス、すなわち負イオン源内部の電位構造をより正確に解析するために、三次元のPICシミュレーション[2],[3]を用いる。表面生成負イオンを含んだCERNのLinac4イオン源の引き出し領域を対象とした解析を行った。またイオン源内の密度振動を模擬するために、シミュレーションにおいてはバルクプラズマ密度 n_p とPG表面生成負イオン発生量 S_p を、基準値 n_{p0}, S_{p0} を用いて以下のように変化させる。

$$n_p = k \times n_{p0}, \quad (1)$$

$$S_p = k \times S_{p0} \quad (2)$$

本発表では、 k を $k = 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5$ と変化させて、定常的な実効的な極板間距離を考慮することでメニスカスの解析を行った。

結果

バルクプラズマ密度に対する実効的な極板間距離 d_{eff} (～メニスカス位置) の依存性のグラフをFig. 1に示す。 d_{eff} はおおよそバルクプラ

ズマ密度の-0.5乗に比例している。これは、密度の低下によってメニスカスの形状は凹型に変形しビーム収束性が低下することに対応する。

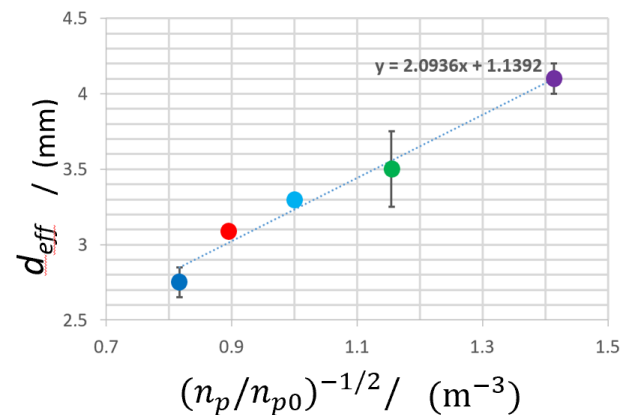


Fig. 1 The dependence of the bulk plasma density on the effective distance

結論

d_{eff} は多量の表面生成負イオンが存在しても電子と正イオンのみの通常のプラズマにおける正イオン引き出しの場合と同様の傾向が見られ、電子密度の低下に伴いビーム収束性も低下した。このことからRF負イオン源のメニスカス制御において密度が重要なファクターであることが示唆された。

詳細はポスターにて議論する。

参考文献

- [1] K. Hayashi, *et al*, Symposium on Negative Ion Beam and Sources, online, Oct. 2022.
- [2] S.Nishioka, *et al*, J.Appl.Phys. **119**, 023302(2016).
- [3] M. Lyndqvist, *et al*, J.Appl.Phys. **126**, 123303(2019).