

ビームのプラズマ化を考慮した低エネルギーイオンビームの 引出しシミュレーション

Simulation of low energy ion beam using beam plasma model.

○早川 太郎¹、井内 裕¹、池尻 忠司¹ (1. 日新イオン機器)

○Taro Hayakawa¹, Yutaka Inouchi¹, Tadashi Ikejiri¹

(1. Nissin Ion Equipment, Co. Ltd.) E-mail: hayakawa_taro@nissin.co.jp

背景と目的: イオンビームは、イオンの作る電荷密度 (空間電荷密度) のために正の電位に帯電しており、この空間電荷はビームを発散する作用がある。特に、イオンビームエッチング(IBE)に用いられるような低エネルギーで、高電流密度のビームの場合は、空間電荷による発散の影響を強く受けることになる。

実際には、イオン源の接地電極の以降のビーム、ターゲットなどから発生した電子が、イオンに近い密度で含まれておりプラズマ化している。特に、大面積のビームでは、ビームのプラズマ化の影響は大きく、空間電荷密度は大きく低下している。

また、イオンビームの引き出しと同様に、このイオン領域とプラズマ領域の境界の形状でビームの発散角が決まると考えられる。しかし、これまでのイオンビームの引出しシミュレーションでは、ビームのプラズマ化の影響は考慮されていなかったため、低エネルギービームのシミュレーションでは、異常に発散したビームが得られる場合が多く、実験結果が再現できていなかった。

本発表では、低エネルギービームの正確なシミュレーションを行うために考案した、ビームのプラズマ化を考慮したイオンビームの引出しシミュレーションモデルについて述べ、実際に得られたビームの特性と比較する。

実験と結果: ビームプラズマのモデルは、ボルツマン方程式による詳細なものではなく、イオン源からのビームの引出しに用いる簡易なプラズマモデルと同様なものを用いた。このプラズマモデルは、(i)イオン密度 n_i は電子の再配置の影響を受けない、(ii)電子密度 n_e は、空間電位によるボルツマン分布(1式)になり、空間電位 V がプラズマポテンシャル V_p のときに $n_i = n_e$ となる、というモデルである。イオン密度は粒子の軌跡から求めたものを用いる。(ii)の電子分布が変わることにより空間電位が変動するので、イオン源上流からイオンを走らせて n_i を求めるステップと、(1)式で n_i の値を補正するステップを交互に計算し、軌道が

安定した状態のときの値がシミュレーションの解とみなすことにする。ただし、 V_p 、 T_e の値はこの式だけでは定まらないので、実験値を用いた。

$$n_e = n_{e0} \exp\left(-\frac{e(-V+V_p)}{kT_e}\right) \quad (1)$$

イオン源の引出しシミュレーションに、このビームプラズマモデルを追加してビームの軌道を計算したのが Fig.1 である。モデルは汎用シミュレーションソフトウェアの comsol 上に構築した。

この計算例では、プラズマ電極を 0V、接地電極を -0.2kV であり、イオンは Ar^+ で、ビームのエネルギーは 0.2keV である。ここでは、 $V_p = 20\text{V}$ 、 $T_e = 5\text{V}$ としている。この条件では、ビームプラズマモデルが無い場合、接地電極の後方 10mm 程度でイオンがすべて跳ね返されていたが、このモデルにより、実験同様にイオンが直進する結果が得られることが分かった。また、ビーム下流のプラズマ領域側の電位が -190V 付近で頭打ちになっていて、凹形状の電位分布をもつプラズマ境界面が出現していることが分かる。

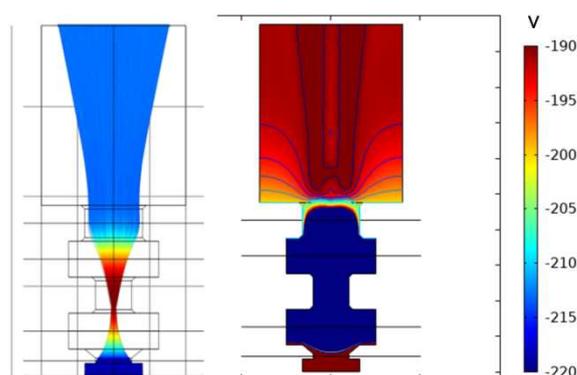


Fig. 1 : The ion trajectory and space potential of the simulations using beam plasma model. The beam energy is 0.2keV (The exit hole of the ion source is -0.2keV).

まとめ: プラズマ化したビームのモデルをシミュレーションモデルに追加したことにより、より正確に低エネルギービームの軌道をシミュレーションできるようになった。