

マイクロ波プラズマ源を用いた負イオンプロセス装置の設計のための
負イオン軌道シミュレーション
Trajectory Simulations of Negative Ions for Design of Negative-ion Process
Apparatus Using Microwave Plasma Source

神吉隆司¹⁾, 比村治彦²⁾
Takashi KANKI¹⁾, Haruhiko HIMURA²⁾

¹⁾海上保安大, ²⁾京都工繊大
¹⁾Japan Coast Guard Academy, ²⁾Kyoto Institute of Technology

先端半導体デバイスの製造過程では、ナノスケールでの3次元微細加工技術が求められている。その微細加工を可能にする原子層堆積などの原子層プロセスでは、反応性プラズマを用いたPECVDがダイレクトプラズマ (DP) 方式として用いられているが、ウェーハがプラズマに直接曝されているため、プラズマ中に含まれる多種多様な粒子が同時にウェーハに照射されてしまう。そのため、DP方式ではそれらの粒子の緻密な制御や粒子種の同定が困難である。特に高速イオンがウェーハに損傷を与えることが問題になっている。また、有限温度に由来する密度の揺らぎが、薄膜の膜質をナノスケールで均一にすることを困難にしている。この技術的課題を解決するために、我々は現在、より制御性の良い反応性イオンのみを使う方式を提案している。本研究ではプラズマ源から特定イオン種だけを静電的にビームとして引き出し、電磁場で軌道の集束・偏向 (選別)、エネルギー制御を行いながら、離れた場所にある反応容器内へと反応性イオン種だけを輸送する。このようにして反応性イオン種を同定するために、ビーム軌道シミュレーションを行いながら、原理検証実験を行っている。これまでRF (13.56 MHz) プラズマ源 (水素プラズマ, 電子密度 $n_e \sim 10^{15} \text{ m}^{-3}$, 電子温度 $T_e \sim 7 \text{ eV}$) で得られている実験結果を基に、低い負イオン密度 ($n_i \sim 10^{12} \text{ m}^{-3}$) の場合のシミュレーションを行ってきた[1]。ビーム引き出し実験 (ビーム電流 $I_b \sim 3 \mu\text{A}$) では、解離性電子付着による負イオンHの効率的生成に必要な電子温度 ($T_e \sim 1 \text{ eV}$) の低下や高い電子密度 ($n_e \sim 10^{17} \text{ m}^{-3}$) が得られなかった。そこで、実機で用いられているマイクロ波プラズマ源に置き換えて、実験を開始しており、現在、 $n_e \sim 10^{16} \text{ m}^{-3}$, $T_e \sim 7 \text{ eV}$ が得られている。

本講演ではこの実験結果に対応して、高い負

イオン密度 ($n_i \sim 10^{15} \text{ m}^{-3}$) 場合のシミュレーションを行い、特定負イオンの輸送特性について調べた結果について報告する。加速電圧にはほぼ比例して n_i が 10^{16} m^{-3} 程度まで上昇し、HとOで大きな違いはない (図1)。電流量 I も加速電圧にはほぼ比例して 10 mA 程度まで増大するが、Hの質量がOの1/16であるため、Hの I はOのほぼ4倍となる (図2)。フラックス nv も加速電圧と共に $10^{21} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 程度まで増大するが、ビーム径が細くなるため、 I よりも増大率が高い。Hの nv は、 I と同様にOのほぼ4倍となる (図3)。

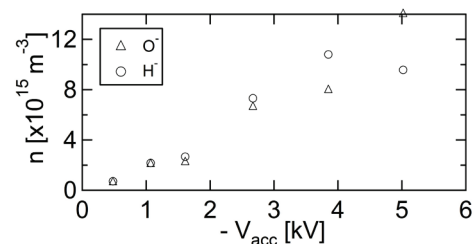


図1 数密度 n の加速電圧 V_{acc} 依存性

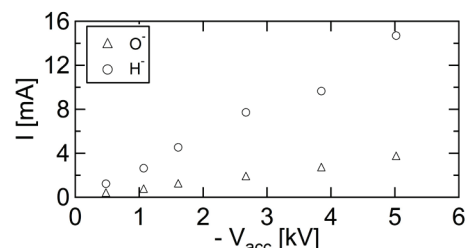


図2 電流量 I の加速電圧 V_{acc} 依存性

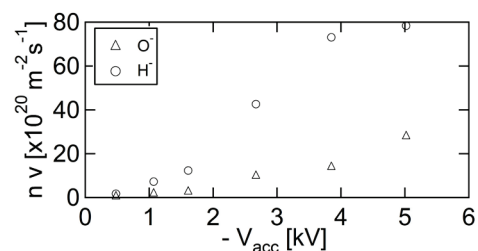


図3 フラックス nv の加速電圧 V_{acc} 依存性

参考文献

[1] T. Kanki *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **59**, SJJE01 (2020).