

# 電磁場によって偏向・集束される負イオンビームの数値シミュレーション Numerical Simulation of Negative Ion Beams Deflected and Focused by Electromagnetic Fields

神吉隆司<sup>1)</sup>, 比村治彦<sup>2)</sup>, 藤本佑弥<sup>2)</sup>  
Takashi KANKI<sup>1)</sup>, Haruhiko HIMURA<sup>2)</sup>, Yuya Fujimoto<sup>2)</sup>

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

現在, 先端半導体デバイスの分野では, ナノスケールでの複雑な3次元微細加工プロセスが必要とされている. 微細加工を可能にする原子層堆積や超薄膜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のが一般的である. PECVDでは, 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反応性イオン, ラジカル, 電子, 中性粒子の全粒子種がウェーハと化学的に, 一部は物理的にも反応する. つまり, 多種多様な粒子が同時にウェーハに照射される. したがって, この方式ではナノデバイスの性能及び信頼性を低下させるような損傷を与える恐れがある. さらに, プラズマ生成室内には, プラズマ生成に必要なエネルギーが投入され続けているため, プラズマが熱的に緩和しない. このため, プラズマのエネルギーと数密度に時間的かつ空間的揺らぎが存在し, 作成する薄膜の膜質をナノスケールで均一にすることが困難である. この技術的課題を解決するために, 現在, そのエネルギー制御が困難なDP方式から, 反応性イオン種のみを選別することによって, より制御性の良い反応性イオンのみを使う方式への転換を狙ったプロセスの開発を進めている. 本研究では, 電極を用いない誘導性結合方式により不純物を

含まないプラズマを生成して, このプラズマから特定の負イオン種だけを静電的にビームとして引き出す. そして, 電磁場で軌道の集束・偏向, 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特定負イオン種だけを輸送する. このようにして反応性負イオン種 (対象は活性酸素の中で非常に強い酸化力を持つアニオンラジカルO<sup>-</sup>と還元力が極めて強いヒドリドH<sup>-</sup>である.)を同定し, 低温かつ低ダメージの全く新しいドライプロセスを創成する.

これまでSIMIONを用いて実験装置の境界条件に適合した輸送部における特定負イオンビームの輸送特性を調べ (図1左参照), 電磁場で軌道を集束・偏向することで輸送制御できることを示した[1,2]. また, 実際の半導体製造装置に据え付けることができるように, 本輸送部のコンパクト化の検討を行っている. さらに, 負イオンの運動方程式を解く際, 初期条件がよく分からず, 境界条件も複雑である場合, 負イオンの軌道や集束の状態を必要となる精度で求めるのが非常に困難となっている. そこで, データ同化技法を導入し, 電磁場中でのイオンの到達位置, エネルギー及び粒子束の制御と精度を完全に予測することを考えている (図1参照).

## 参考文献

- [1] T. Kanki *et al.*, *Proc. Int. Symp. Dry Process*, 107 (2019).  
[2] T. Kanki *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, SJJE01 (2020).

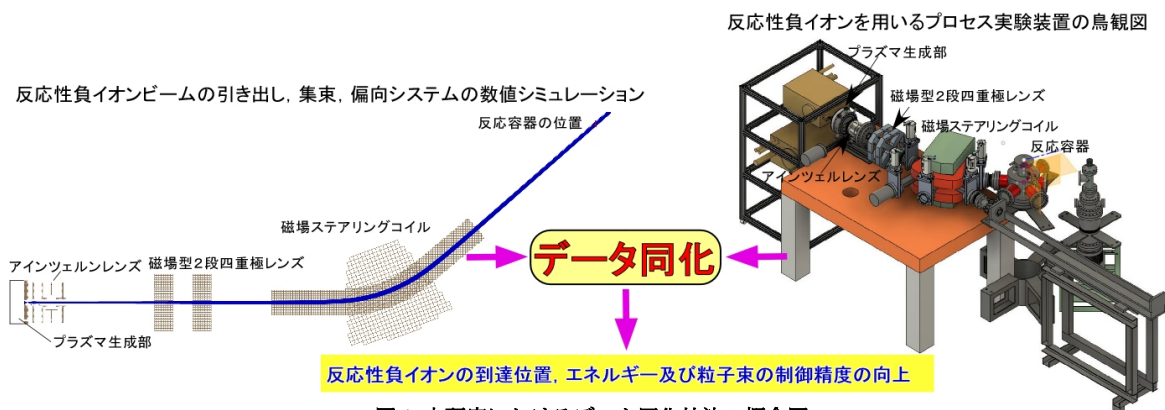


図1 本研究におけるデータ同化技法の概念図