容量結合を考慮した誘導結合プラズマ解析
Capacitive Coupling Simulation in Inductively-Coupled Plasma

中部大工 [1]，芝浦メカトロニクス [2]
°(M1)森山誠 [1],Ivan Ganachev[1,2],中村圭二 [1]
Chubu Univ.[1], Shibaura Mechatronics[2]
°(M1)Makoto Moriyama[1],Ivan Ganachev[1,2],Keiji Nakamura[1]
E-mail: nakamura@isc.chubu.ac.jp

１．はじめに

RF 誘導電流で維持される誘導結合プラズマ(Inductively Coupled Plasma: ICP)は多くの材料プロセスに用いられている．これまでに我々は，商用の汎用物理計算ソフトウェア COMSOL®を用いて高周波電流が流れているコイル周辺の電磁界解析を行い，コイルと誘電体窓の間に設けるファラデーシールド(FS)について、誘導電界成分を維持しつつ静電界成分を抑制するための FS 形状最適化の考え方・方法を検討・提案した．そのときプラズマの電子密度・電子温度を計算せず，最初から想定していた値を与えていた．本報告では，プラズマ生成モデルを連成させたシミュレーションを行い，更に ICP で望ましくないアンテナの静電界による容量結合も考慮し，各プロセスに非常に重要であるシースバイアス電圧を自己調和的に計算する．

２．解析モデル

解析には，商用のソフトウェアである COMSOL®を用いた．解析空間は軸対称の二次元モデルとし，直径 120mm 高さ 40mm の円筒状のプラズマの上部に厚さ 10mm の誘電体窓がある構成となっている．誘電体窓上部に設けた太さ 3mm 直径 60mm のワンターンコイルに 13.56MHz の RF 電流を流し，RF パワーが誘導的にプラズマに結合する．一方、コイルのインダクタンスでアンテナ周辺に強い静電界も生じ，RF パワーの一部がプラズマに容量的に結合される．両者を考慮するため，静電界を考慮する COMSOL®の容量結合プラズマ(Capacitively Coupled Plasma: CCP)インターフェースを誘導電界を計算できる COMSOL®の磁場（Magnetic Field: MF）インターフェースに連成させ，CCP・MF インターフェース内で逐次にそれぞれ静電界・誘導電界を計算し，さらに CCP インターフェースのプラズマモデルで電界による電子加熱，ガスイオン化，電子・イオン・電子エネルギーの輸送の時間発展を計算する．

３．解析結果と検討

計算結果の一例として，電子密度 n_e および電荷中性からのずれ$(n_i - n_e)/n_i$ の空間分布を Fig. 1 に示す．この時の放電ガスが 1Torr のアルゴン、コイル電流が 100 A_{pp}，容量結合の原因となるコイル電位が 200 V_{pp} である．容器および誘電体窓の表面近傍でイオンが電子より顕著に多く，プラズマシースが可視化され，シースは電子密度が高い領域で薄くなる．シース厚がデバイ長にほぼ比例しているからである．電荷密度分布からプラズマ電位分布が計算され，最終的にシースバイアス電圧を求める．

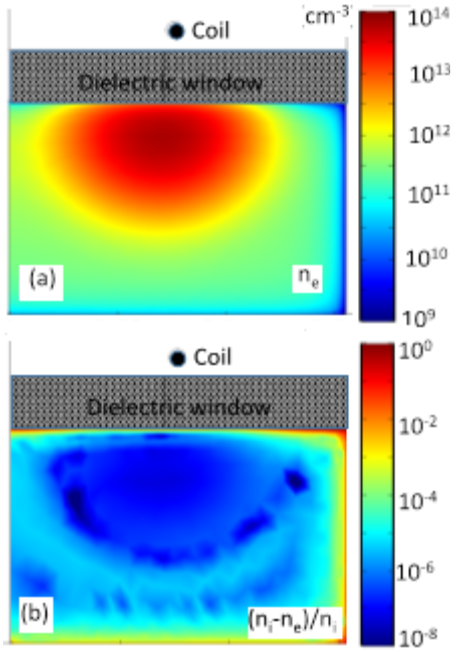

Fig. 1. Spatial distribution of (a) electron density n_e and (b) deviationfrom charge neutrality $(n_i - n_e)/n_i$

© 2017年 応用物理学会