

反応性プラズマにおけるカーリングプローブの アンテナデザインによる反射スペクトルへの影響

Effect of antenna design of curling probe utilized for material processing plasma on a reflected spectrum

中部大工¹, [○](M1) 加藤 翔太¹, 中村 圭二¹, 小川 大輔¹

Chubu Univ.¹, [○]Shota Kato¹, Keiji Nakamura¹, Daisuke Ogawa¹

E-mail: te22003-9708@sti.chubu.ac.jp

1. はじめに

プラズマ中の電子密度の計測の代表例として、ラングミュアプローブ (Langmuir Probe, LP) が挙げられるが、静電気力を用いた計測方法であるという点で絶縁膜が堆積する条件下において有効な計測方法とはならない場合がある。その一方で、カーリングプローブ (Curling Probe, CP) は、マイクロ波領域における電磁波の共振現象を用いたプローブであるため、材料プロセスで要求される反応性プラズマにおいて、電子密度の計測の可能な技術の1つとして挙げられる。このプローブは、渦巻き状のスロットアンテナを有しており²⁾、その他のマイクロ波共振を利用したプローブ同様、プローブのデザインによる固有の基本共振周波数がアンテナに接する物質により共振周波数が変化する特性があり、この現象がプラズマ中の電子密度の計測を可能とさせている。さらに、これまでの研究によると、プラズマにより堆積する膜も誘電体であるとき、その共振周波数の変化が堆積膜の厚さに依存するため、カーリングプローブのアンテナ上に堆積した膜厚についても計測が可能であることも分かっている。

このようなカーリングプローブの実用性を基に、これまで我々は、膜が堆積する条件下で、2つのサイズの異なるカーリングプローブを用いて、プラズマ中の電子密度と堆積膜厚をその場同時計測が可能であるダブルカーリングプローブ法の計測技術の開発を進めてきた³⁾。しかし、実際の応用を想定した場合、膜厚計測において測定精度を改善させる余地があり、反射スペクトルから得られる共振周波数の読み取り精度を向上しなければならないという結論に至った。そこで、本研究では、プローブ上に成膜されるような反応容器に適用できるダブルカーリングプローブ法の改善を目指し、膜厚計測から得られる共振周波数の読み取りを向上させるために、電磁界シミュレーションソフト CST Studio を用いて、カーリングプローブのアンテナのデザインを変更することで、プローブから得られる反射スペクトルの鋭さ (Quality Factor: Q 値) にどのように影響するのか計算学的に調査を行った。

2. 解析結果

Fig. 1 は、CST Studio を用いて、各電子密度におけるカーリングプローブのスロットアンテナの厚さを変更することによる、プローブから得られる反射スペクトルの鋭さを表す Q 値の推移を示したものである。

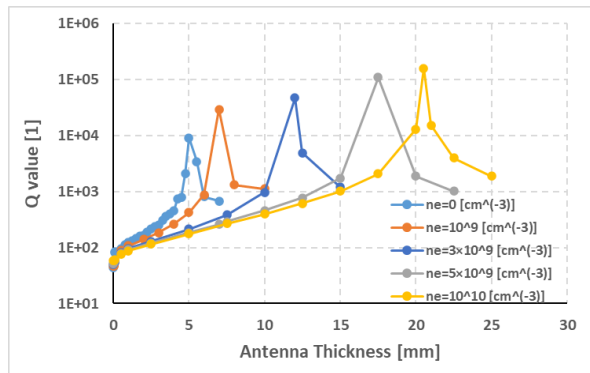


Fig. 1 Evolution of Q value as a function of antenna thickness for five different plasma densities.

この図で見られるように、シミュレーション上でプラズマを模擬した場合、プラズマがない状態 ($n_e=0$ [cm⁻³]) と同様に、あるアンテナの厚さまでは Q 値が増加傾向にあり、あるアンテナの厚さを境に Q 値が減少傾向に転じることがわかった。また、プラズマがない状態では Q 値が最も高くなるアンテナの厚さが 5 [mm] であったが、電子密度が高くなるにつれ、アンテナの厚さが厚い帯域にシフトする傾向が見られた。この結果より、プラズマ中の電子密度により、共振周波数のアンテナ厚さの依存性が変化することがわかった。つまり、プラズマ中における計測精度を向上させるためには、適切なスロットアンテナの厚さを選ぶ必要があることがわかった。本発表では、この調査の最新の成果について報告を行う。

- 1) A. Pandey et al., *APE* **6** (2013) 056202.
- 2) H. Sugai et al., *JJAP* **58** (2019) 060101-15.
- 3) D. Ogawa et al., *PSST* **30** (2021) 085009.