

飽和吸収分光法によるアルゴン含有プラズマの電子密度測定の可能性

Possibility of electron density measurement in argon-containing plasmas by saturation spectroscopy

北大工¹ ○王 惠民, 西山 修輔, 佐々木 浩一

Hokkaido Univ. ○H. Wang, S. Nishiyama, and K. Sasaki

E-mail: whm@athena.qe.eng.hokudai.ac.jp

[はじめに] 飽和吸収分光法は、純粋分光学の分野では一般的な実験技術で、原子・分子スペクトルの微細な構造を高波長分解能で測定するために用いられているが、この方法をプラズマ計測に応用した研究はほとんどない。我々は、飽和吸収分光法をアルゴン含有プラズマの電子密度計測に応用するための研究を行っている。本講演では、velocity changing collision と呼ばれる速度空間での輸送現象に起因する飽和吸収スペクトルの変化を文献 [1] で報告されている方法でモデル化し、アルゴン原子の準安定状態 $4s[3/2]_2^o$ の緩和周波数を求めてプラズマの電子密度と比較した結果について報告する。

[実験] 内部アンテナ型誘導結合プラズマ源を使用し、13.56 MHz の高周波電力によりアルゴン・ヘリウム混合プラズマを生成した。飽和吸収分光法の光源には半導体レーザーを用いた。半導体レーザービームを二つに分岐し、強度が大きいビームをポンプ光として用い、強度の小さいビームをプローブ光として用いた。ポンプ光とプローブ光を正反対の方向からプラズマに入射し、透過したプローブ光の強度をフォトダイオードを用いて測定することにより、飽和吸収スペクトルを求めた。

[実験結果および考察] 飽和吸収分光法の理論によれば、線中心における飽和パラメータ S_0 は、 α_0 をポンプ光が無い場合における線中心での吸収係数、 $\Delta\alpha$ をポンプ光の導入による吸収係数の減少分として、 $S_0 = 1/(1 - \Delta\alpha/\alpha_0)^2 - 1 = B_{12}I_\nu/cR^*$ で与えられる (B_{12} はアインシュタインの B 係数、 I_ν はポンプ光のスペクトルパワー密度、 c は光速)。 R^* は吸収下準位の緩和周波数で、本研究で対象とするアルゴン原子の $4s[3/2]_2^o - 4p[3/2]_2$ 吸収線の場合、準安定状態 $4s[3/2]_2^o$ の電子衝突クエンチングレート係数を k_q^e として $R^* = k_q^e n_e + \bar{v}/a$ となる。 n_e は電子密度、 \bar{v} はアルゴン原子の平均速度、 a はポンプ光の直径である。以上のことから、 α_0 および $\Delta\alpha$ を実験で測定すれば、電子密度 n_e を求めることができると考えられる。

$\Delta\alpha$ は、元来は均一広がり幅のローレンツ分布となるが、衝突が頻繁な条件では、velocity changing collision と呼ばれる速度空間での輸送現象に起因するガウス型の広がりをテール部に有することとなる。本研究では、文献 [1] に示された方法で velocity changing collision による広がり成分を評価し、実験で観測されたスペクトルからローレンツ成分を分離して $\Delta\alpha$ を求めた。このようにして求めた $\Delta\alpha$ から $1/S_0 \propto R^*$ を計算し、ラングミュアプローブで測定した電子密度 n_e との関係調べたのが Fig. 1 である。プラズマ生成に用いた高周波電力を変化することにより n_e を変化させた。また、アルゴン分圧を 5 mTorr で固定し、ヘリウム分圧が 50 mTorr および 70 mTorr の場合にポンプ光パワーが 0.131 mW および 0.065 mW の二通りについて実験を行った。図からわかるように、 $1/S_0$ と n_e の間には理論で予測される直線関係が見られたものの、ポンプ光パワーが異なる場合の直線の傾きの違いは理論の予測と一致しない。本研究で提案する方法をプラズマの電子密度測定法として確立するためには、velocity changing collision の取り扱いを含めたモデル化の改善が必要と考えられる。

[1] C. Brechignac and R. Vetter, Phys. Rev. A **17**, 1609 (1978).

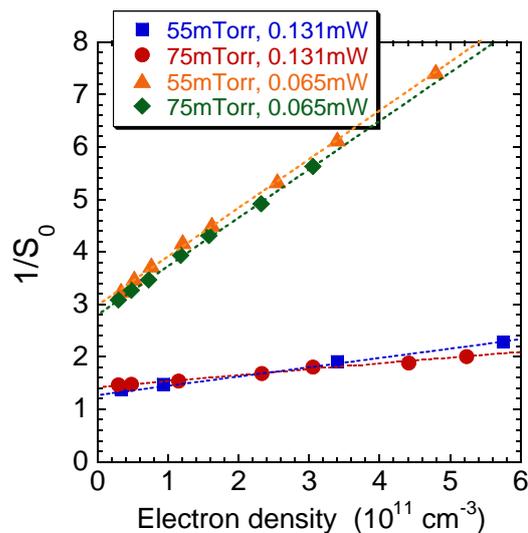


Fig. 1: Relationship between the reciprocal of the saturation parameter and the electron density.