

VHF容量結合プラズマのトムソン散乱による診断 Laser Thomson scattering diagnostics of VHF capacity coupled plasmas

陳 韋廷, 神家 幸一郎, 荻原 公平, 富田 健太郎, 内野 喜一郎, 河合 良信
W. Chen, K. Koge, K. Ogiwara, K. Tomita, K. Uchino, Y. Kawai

九州大学大学院総合理工学府
Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

VHF Plasma Enhanced CVD法は、高圧・狭電極間隔・高パワー密度の条件で、微結晶Si薄膜の高速高品質製膜が可能であると報告されており、薄膜太陽電池の高速製膜手法として期待されている。本研究では、VHFプラズマの有用性を確認するとともに、同プラズマの診断法としてレーザートムソン散乱法を用いた計測システムの開発を行っている。実験装置の概要を図1に示す。平行平板電極 (60 mm×60 mm、電極間隔10 mm) に高周波電力 (60 MHz)を供給し、ArのVHFプラズマを生成した。電力供給方式は balan 方式および片側接地方式を用いた。計測用レーザーにはNd:YAGレーザーの第2高調波 (波長532 nm, 繰り返し周波数 10 Hz) を使用した。計測用レーザーを、まずは平凸型の集光レンズ (f=550 mm) で集光したのち、プラズマに入射した。散乱光の一部をレンズで集め、3回折格子分光器 (TGS) に導き、ICCDカメラで検出した。TGSの波長分解能は0.8 nmである。予想される電子密度は 10^{17} m^{-3} 程度と低いいため、トムソン散乱信号は多数回の積算で検出した。図2にトムソン散乱計測結果を示す (■のデータ点)。このときの電力供給方式は balan 方式であり、投入電力は80 W、圧力は500 mTorrであった。レーザーエネルギー E_L は300 mJ (パワー密度は $1 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$) とした。横軸は計測レーザー波長からの差波長 ($\Delta\lambda$) の2乗、縦軸はレーザー40000ショットあたりの信号強度 (光電子数) を対数表示したものである。図からわかるように、 $\Delta\lambda^2 < 5 \text{ nm}^2$ の範囲で信号が増加しており、スペクトルは直線分布とならなかった。ここで、 $\Delta\lambda^2 < 5 \text{ nm}^2$ の範囲の信号は、Arの準安定準位にある電子を計測レーザーで多光子電離し、それをトムソン散乱している可能性があった。実際に、この範囲に現れる散乱信号は、 E_L を低減することで減少していき、トムソン散乱信号は直線分布、すなわちひとつの温度であらわせるスペクトルに近付いていった。ここで、高いパワー密度によるプラズマ擾

乱の影響を完全に除外し、かつ十分なトムソン散乱信号強度を得るために、円柱レンズ (f=500 mm) によるレーザー集光を行った。これにより $E_L=300 \text{ mJ}$ であっても、パワー密度は $2 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ に抑えられる。このときの結果を図2に◆印で示しているが、スペクトルは直線となっており、計測レーザーによるプラズマ擾乱が回避できていることが分かる。このときの電子密度は、 $1.5 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ 、電子温度は3.1 eVであった。

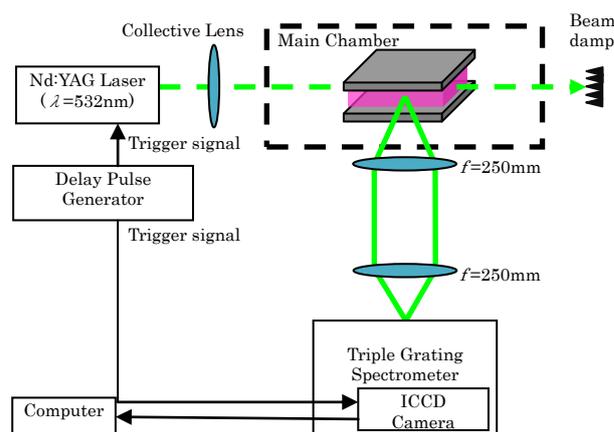


図1. VHFプラズマのトムソン散乱計測システム

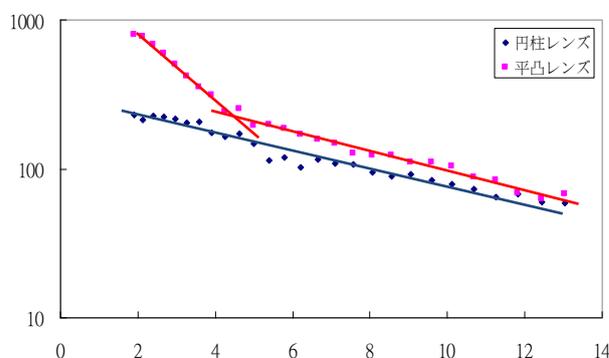


図2. パワー密度によるトムソン散乱スペクトルの変化