

禁則遷移を用いた超高感度レーザー吸収分光法による 酸素原子数密度測定

Number density measurement of atomic oxygen by ultra-high sensitive laser absorption
spectroscopy using a forbidden line

静大工¹, °松井 信¹, 森田 陵¹

Shizuoka Univ.¹, °Makoto Matsui¹, Ryo Morita¹

E-mail: tmmatui@ipc.shizuoka.ac.jp

プラズマ中の酸素原子数密度はプラズマ物理学、材料プロセッシング、電気推進機や宇宙往還機の熱防護材の開発等において非常に重要なパラメータであることが認識されているが、その計測手法は未だ確立されているとは言いがたい。高エンタルピー風洞気流中における絶対原子数密度測定は米国 NASA Ames 研究所が 90 年代より二光子吸収レーザー誘起蛍光法 (TALIF) を用いて試みられており、近年欧州や JAXA でも同手法による気流診断を開始している。TALIF では二光子吸収断面積の不確かさを回避するため、エネルギー準位の近い希ガス (Xe) を感度較正に用いているが較正の困難さ、数値計算による予測との大きなずれが報告されている。さらにクエンチング等 LIF 特有の問題が付きまとう他、特に光学的に厚い衝撃波層内のような高密度領域では適用が難しく、原子状酸素による表面触媒性効果の検証などに用いることは難しい。一方で材料プロセッシング分野における原子数密度測定へのアプローチとして、真空紫外吸収分光 (VUVAS) が用いられている。しかしながら VUVAS は遷移確率が非常に大きいため、吸収長 10 mm に対し酸素原子分圧 0.1 Pa で吸収率が 100% 近くになるためより高压での測定は困難である。

そこで本研究では基底準位からの禁則遷移である OI 630 nm を用いた超高感度レーザー吸収分光法 (LAS) を提案する。図 1 に酸素原子の遷移図と各測定法が使用する遷移線を示す。本手法は半導体レーザーが使用できるため装置が安価ではあるが、遷移確率が低いため 1 Pa 程度の酸素原子に対しては従来の LAS の感度を 5 桁以上向上させる必要がある。そこで本研究では集積キャビティ出力分光法 (ICOS) と波長変調分光法 (WFM) を組み合わせること高感度化を行う。図 2 にマイクロ波放電酸素プラズマ (電力 700 W, 圧力 10 Pa, 吸収長 40 cm) を対象とした ICOS での吸収プロファイルを示す。その結果、ICOS により 10^{21} m^{-3} までの酸素原子数密度の測定に成功した。本講演では WFM を組み合わせることさらなる感度向上を試みたのでその結果と課題を報告する。

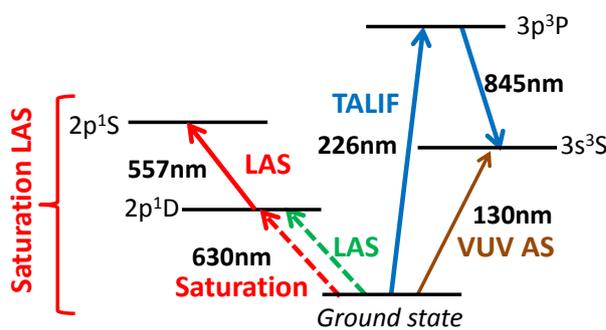


図 1. 酸素原子遷移図と測定法

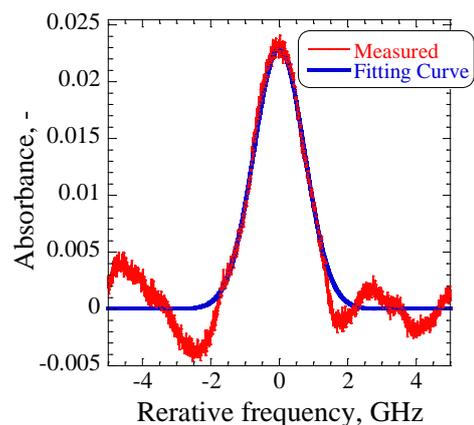


図 2. ICOS による吸収プロファイル