

プラズマ中基底水素分子の非熱的回転エネルギー分布局所計測に向けたCARS分光システムの開発

押岡翼, Kuzmin Arseniy, 四竈泰一, 蓮尾昌裕

京大院工

様々なプラズマ中で、水素分子が2温度の非熱的な回転エネルギー分布を示すことが知られている。例えば、核融合プラズマでは図1のようなエネルギー分布が観測されており[1]、低温成分の回転温度が壁面温度に依存することが知られている[2]。この2温度分布は壁近傍での反応が関係していると考えられている[3, 4]。しかし、発光分光法では励起水素分子が生じる条件下の線積分測定しかできず、基底水素分子の局所的なエネルギー分布が得られない。この課題を克服するため、本研究ではコヒーレントアンチストークスマン散乱 (CARS) 分光システムを開発する。

CARS 分光法では、時空間的に重ねた2本のレーザー光(角周波数 ω_1, ω_2)の角周波数差を、基底分子の振動回転遷移に対応する角周波数 $\omega_{v,N}$ と一致させることで生じる非線形光学現象のCARS光($\omega_{\text{CARS}} = 2\omega_1 - \omega_2$)を計測する。図2に示すように、事前の理論計算によって、図1の低温(T_{low})成分と高温(T_{high})成分の分布と存在比からCARSスペクトルを求め、両成分が明確に区別できることを確認した。

本研究では、 ω_1, ω_2 用の光源にそれぞれNd:YAGレーザー第二高調波(波長532 nm)と波長可変色素レーザー(DCM-LDS698混合色素, 波長域640-690 nm)を同軸上に重ねて使用する。色素レーザー光の波長掃引により、上記の式を満たして波長435-455 nmに発生するCARS光を計測する。空間分解能は厚さ2 mmの石英板で生じる非共鳴CARS信号の計測からビーム方向に5 mm, ナイフエッジ法で求めたビーム径から径方向に50 μm と評価した。また、水素ガスセルを用いて、水素分子共鳴CARS信号が検出できることを確認した。今後、可動ステージ上に設置したグロー放電装置を用いて空間分解計測を行う予定である。

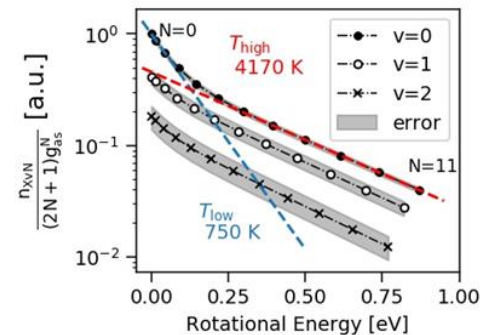


図 1. LHD 周辺プラズマの発光分光から推定した基底水素分子の振動回転状態占有率のボルツマンプロット [1]

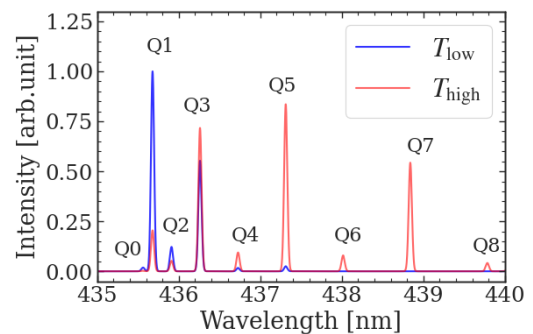


図 2. CARS スペクトルの計算結果。
青・赤線はそれぞれ低温・高温成分。

- [1] H. Ishihara, A. Kuzmin, M. Kobayashi, T. Shikama, K. Sawada, S. Saito, H. Nakamura, K. Fujii, M. Hasuo, the LHD Experiment Group, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* **267**, 107592 (2021) [Corrigendum**291**, 108316 (2022)].
- [2] N. Yoneda, T. Shikama, F. Scotti, K. Hanada, H. Iguchi, H. Idei, T. Onchi, A. Ejiri, T. Ido, K. Kono, Y. Peng, Y. Osawa, G. Yatomi, A. Kidani, et al., *Nucl. Fusion.* **63**, 096004 (2023).
- [3] P. Vankan, D. C. Schram, and R. Engeln, *Chem. Phys. Lett.* **400**, 196 (2004).
- [4] H. Nakamura, S. Saito, T. Sawada, K. Sawada, G. Kawamura, M. Kobayashi, and M. Hasuo, *Jpn J. Appl. Phys.* **61**, SA1005 (2022).