

窒素プラズマ中の N_2 および N_2^+ の回転温度の半径方向依存性

Radial Dependence of Rotational Temperature of N_2 and N_2^+ in Nitrogen Plasma

東工大 小波 樹音、根津 篤、○ 赤塚 洋

Tokyo Tech., June Konami, Atsushi Nezu, ○ Hiroshi Akatsuka

E-mail: hakatsuk@lane.iir.titech.ac.jp

[はじめに] 本研究では、マイクロ波放電管内に定常生成された窒素プラズマについて、分子の回転温度の半径方向依存性について実験的に研究・考察する。すなわち、マイクロ波放電窒素プラズマ中の N_2 からの 2PS、および N_2^+ からの 1NS のバンドスペクトルについて、発光分光計測を行い、アーベル変換により各波長ごとに半径方向 r への依存性を求め、2PS および 1NS の回転温度 T_r の半径方向依存性 $T_r(r)$ を議論することを目的とする。

[実験] 低気圧マイクロ波放電実験装置を用い窒素プラズマを定常発生する [1]。周波数 2.45 GHz、マイクロ波出力 400 W、石英放電管内径 26 mm、 N_2 ガスを使用し放電時ガス圧は 1.0 Torr である。

視線方向 (x 方向) に積分した発光強度スペクトル分布 $\epsilon(\lambda, y) = \int I(\lambda, r) dx$ を測定する ($i = 1, 2, \dots, 10$)。 y 方向にスキャンし、 $y = 0 - R$ (R は放電管内径) の間を 10 点等間隔に測定し、各位置におけるスペクトル $\epsilon_i(\lambda) = \int_{-x_i}^{x_i} I(\lambda, r) dx$ を取得する。2PS に対しては 370 – 390 nm、1NS に対しては 410 – 430 nm の範囲を測定し、アーベルインバージョン [2] を施し、 $\epsilon(\lambda, y)$ から半径方向分布 $\epsilon(\lambda, r)$ を求め、半径方向の各位置 r_i における発光強度スペクトル $\epsilon(\lambda, r_k)$ を導出した。なお今回の放電条件では、2PS, 1NS ともに、光学的に薄いと仮定できるものと考えられる。アーベルインバージョンにより求められた $\epsilon(\lambda, r_k)$ に対して、スペクトルフィッティング [3] を行い、2PS および 1NS の回転温度を決定した。

[結果及び考察] 半径方向位置 r の関数として得られた 2PS および 1NS の回転温度を図 1 に示す。中性窒素分子の励起状態からの発光である 2PS の回転温度は、 $T_r \sim 0.04 - 0.06$ eV の間の値を取り、 r の単調減少関数となった。2PS の回転温度はガス温度の近似値と考えられることから、壁面から空冷により除熱されているのであるから、妥当な結果であると考えられる。

一方、1NS の場合は、図示したように、放電管中心部で最小値を取り、半径方向外部に向かうに従い単調上昇するという全く逆の傾向を示した。その理由は検討中であるが、一つの可能性として、窒素分子イオン N_2^+ の励起状態からの発光である 1NS の回転温度の場合には、単純にガス温度を反映したものではなく、絶対値まで正確に表されるとは限らないが、イオンの運動を反映した温度情報が反映されることが考えられる。一般論ではあるが、放電管に封じ切った定常直流放電プラズマのイオン温度について、粒子法シミュレーションを行うと、イオン温度は外周部の方が高くなることが結論されている [4]。したがって、分子イオンの回転温度測定により、イオン温度に関する知見が、少なくとも定性的に得られるのではないかと考えられる。

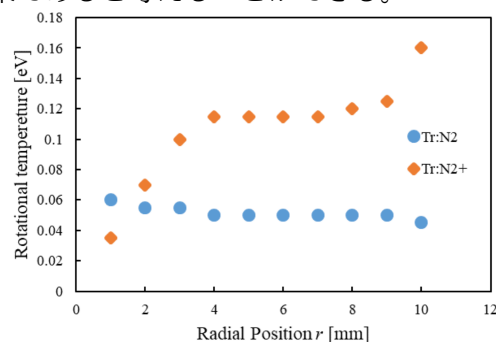


図 1: 2PS および 1NS の回転温度 $T_r(r)$ 。

[1] H. Tan, A. Nezu and H. Akatsuka, Jpn. J. Appl. Phys., **54**, 096103 (2015).

[2] K. Bockasten, J. Opt. Soc. Am., **51**, 943-947 (1961).

[3] H. Akatsuka, H. Kawano, K. Naoi, H. Matsuura and A. Nezu, Jpn. J. Appl. Phys., **56**, 056102 (2017).

[4] T. Ichiki, T. Sakamoto, H. Matsuura and H. Akatsuka, J. Plasma Fusion Res. SERIES **8**, 768-772 (2009).