減圧 CO_2 プラズマ中の CO 分子の電子励起状態の非平衡な回転エネルギー分布

Non-equilibrium rotational energy distribution of electronically excited states of CO molecules in reduced-pressure CO_2 plasma

東工大工学院 [1], 東工大技術部 [2], 東工大研究院 [3]　山田祥太 [1]、森田雄貴 [1]、根津 篤 [2]、○ 赤塚 洋 [1,3]

Sch. Eng., Tokyo Tech.[1], Tech. Div. Tokyo Tech.[2], IIR, Tokyo Tech.[3],

Shota Yamada[1], Yuki Morita[1], Atsushi Nezu[2], ○Hiroshi Akatsuka[1,3]

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

CO_2 プラズマ中の CO 分子の励起カイネティックスは、まだ完全には理解されていないと思われる。本研究では、1 Torr 程度で発生したマイクロ波放電 CO_2 プラズマの CO オングストロームバンド ($B\,^1\Sigma^+ \rightarrow A\,^1\Pi$, $\lambda \sim 410 - 660$ nm) および CO の第 3 正帯 (Third Positive System, 3PS, $b\,^3\Sigma^+ \rightarrow a\,^3\Pi$, $\lambda \sim 280 - 360$ nm) の発光分光特性を実験計測し、比較考察する。実験装置は以前から筆者らの研究室で用いているものと同一である [1]。2.45 GHz のマイクロ波電力 400 – 500 W を内径 26 mm の石英管に照射し、CO_2 プラズマを定常生成する。なお、分光計測に先立ちプローブ計測を行ったところ、$T_e \simeq 1.8 - 2.2$ eV, $N_e \simeq (0.8 - 1.5) \times 10^{12}$ cm^{-3} と、放電管内のマイクロ波放電プラズマとしては一般的な値であった。

生じたプラズマについて、発光分光計測を行い、CO 分子の 2 つの電子励起状態の振動温度 T_v と回転温度 T_r を計測する。 あらかじめこれら両者のバンドスペクトルを、T_v および T_r の関数として理論的に計算し、フィッティングにより両バンドの T_v および T_r を決定する。CO 3PS については、図 1 のように回転温度の関数として適切なフィッティングがなされ、0.15 eV 程度であった [2]。一方、オングストロームバンドについては、図 2 のように回転温度を 1 つとすると適切なフィッテイングが困難で、3/4 をバルク成分 0.04 eV, 残り 1/4 を高エネルギーテール成分 0.17 eV とすることによりフィッテイングが最適になされた [3]。

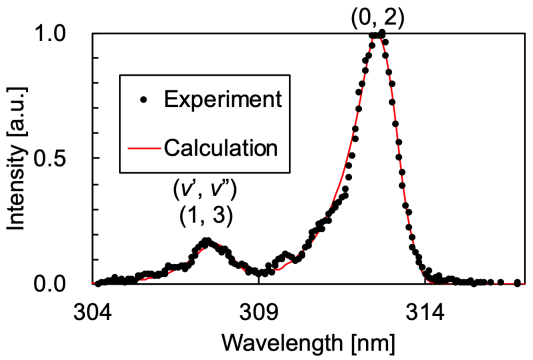


図 1: CO 3PS スペクトル $\Delta v = -2$ の理論フィッティング。$T_v = 0.24$ eV, $T_r = 0.15$ eV.

この理由を以下のように考察した。CO の 3 重項状態生成は、スピン多重度の関係から電子衝突解離で直接生成されることは稀で、一旦生じた CO(多くは基底状態 $X\,^1\Sigma^+$) が、電子衝突励起される必要がある。一方、1 重項 CO の励起状態生成には、基底状態 CO からの電子衝突励起のほか、CO_2 分子の電子衝突解離性励起もありうるものと考えられ、1 重項 CO 励起状態生成パスが複数あることが、今回の実験結果の一因と考えられる。

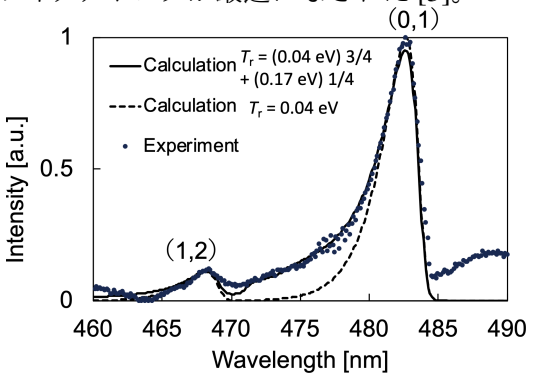


図 2: CO オングストロームバンドスペクトル $\Delta v = -1$ の理論フィッティング。$T_v = 0.3$ eV. 回転温度は、3/4 がバルク温度 $T_r = 0.04$ eV, 1/4 が高エネルギーテール $T_r = 0.17$ eV.

[1] H. Akatsuka, H. Kawano, K. Naoi, H. Matsuura, and A. Nezu, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 056102 (2017).
[2] Y. Morita, A. Nezu, and H. Akatsuka, Proc. APSPT-10 (2017).
[3] S. Yamada, A. Nezu, and H. Akatsuka, Proc. XXXIV ICPIG/ICRP-10, PO18AM-029 (2019).

© 2020年 応用物理学会