Rotational and vibrational temperature measurements of OH radicals in the sheet plasma

シートプラズマ中のOHラジカルの回転-振動温度測定

Masakazu TERAJ, Masahiko TAKATORI, and Akira TONEGAWA

Physics Department, Science School, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa, 259-12 JAPAN

TEL:81-463-58-1211(EXT.3684) FAX:81-463-58-1218

Kazutaka KAWAMURA and Kazuo TAKAYAMA

Institute of Reserch & Development, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa, 259-12 JAPAN

TEL:81-463-58-1211(EXT.5300) FAX:81-463-58-1218

(Accepted for publication 16 November 1995)

We produced OH radicals by means of injecting O₂ and H₂ gasses against the Ar-sheet plasma vertically. A P-brunch(A²Σ(v=0)→X²Π(v'=0)) spectrum of OH radicals was measured by Optical Emission Spectroscopy. As a result, the rotational and vibrational temperature was obtained about 2300K~3800K.

keywords: Sheet plasma, OH radicals, Rotational and vibrational temperature

I. INTRODUCTION

フリーラジカルは非常に反応性に優れた粒子であり、その特徴からプラズマプロセッシング、プラズマ重合また、オゾン層破壊等の環境問題でも注目されている。その中でも、幅広い分野で重視されているOHラジカルに注目し、プラズマのパラメータに対するOHラジカルの回転-振動温度の変化を調べた。プラズマと中性ガスが接触している場合、プラズマのエネルギーは荷電粒子だけではなく、中性粒子にも転換される。そこで、中性粒子の励起状態(回転-振動温度)を知ることが大切になってくる。

また、OHラジカル生成過程は一般に複雑である。そこでシートプラズマと中性ガスを垂直に接触させる方法を用いた。¹ この方法を用いると、プラズマの放電条件と接触ガスの条件を独立に変化させることができ、また反応領域と測定領域を特定化することもでき、複雑なラジカル反応を単純化することができると考えている。

II. EXPERIMENTAL

Figure 1に実験装置及び測定装置の概略図を示す。Ar-シートプラズマにO₂とH₂の混合ガスを

垂直に接触させた。このとき生成されるOHラジカルの自然発光を32cmのCzernyTurner型モノクロメーター及び、マルチチャンネルアナライザー(SMA)で分光測定した。この光学系の分解能は、0.06nmである。得られたスペクトルの波長λからK準位おける遷移確率A_Kとエネルギー準位E_Kをデータ表より求めた。² 更に発光強度I_KとA_K, E_Kを式①に代入し、傾き(-1/kT)から回転-振動温度Tを求めた。

$$\log I_K - \log A_K = \text{const.} - \frac{E_K}{kT} \quad - \text{①}$$

式①は次の手順で得られる。準位n→mに遷移するときの発光強度I_{nm}は

$$I_{nm} = N_n A_{nm} h\nu_{nm} \quad - \text{②}$$

である。(N_nは数密度、hνは1光子のエネルギー) またボルツマンの法則より、N_nは

$$N_n = \exp \left(- \frac{E_n}{kT} \right) \quad - \text{③}$$

である。(Enはエネルギー準位、Tは温度)式②、③から式①を得ることができる。

実験条件は、Arガス流量10sccm、外部磁場強度0.3kG、 O_2 、 H_2 流量は共に4sccm、放電電流Idは8Aから14Aまで変化させた。これは放電電流変化に対する回転-振動温度変化を測定する条件である。また O_2 、 H_2 ガス流量変化に対する回転振動温度変化を調べるときの条件は、Arガス流量10sccm、外部磁場強度0.3kG、放電電流Idは10A、 O_2 流量4sccm、 H_2 流量は0sccmから4sccmまで変化させ、更に、 H_2 流量4sccmで O_2 流量を0sccmから4sccmまで変化させた。

FIG.1.The measurement system.

III. RESULTS

Figure 2はガスを接触させたときの306nmから316nmまでのOHラジカルの発光スペクトルの一例である。放電条件は、Idは10A、 Q_{O_2} 、 Q_{H_2} はそれぞれ4sccmである。分子は回転と共に振動運動をする。この振動及び回転運動がカップリングを起こすため、純振動運動の振動数に対応するスペクトル(Q枝)と、その周辺にカップリングによる正枝(R枝)と負枝(P枝)のスペクトルが現れる。ここではP枝付近のスペクトルを測定し、この波長から回転-振動温度を求めた。

Figure 3は、Id、 Q_{O_2} 、 Q_{H_2} を変化させたときの回転-振動温度の変化を示している。Id、 Q_{O_2} 、 Q_{H_2} が増加すれば、共にOHラジカルの回転-振動温度は、2300から3800Kの範囲で急激に減少する。また、 Q_{O_2} が1sccm辺りから回転-振動温度が一定値(3400K)になった。

IV. CONCLUSION

O_2 、 H_2 の増加に伴って、OHラジカルの回転-振動温度が減少する原因として、OHラジカルが増加するほど中性粒子との衝突が増え、エネルギーの損失が多くなるためと考えられる。ま

FIG.2.Emission spectrums of OH radicals.

FIG.3.Temperature against Id, Q_{O_2} and Q_{H_2} .

た、 H_2 と O_2 のガス流量に対する回転-振動温度の減少の割合の違いは、分子質量の違いにより衝突時のエネルギー損失に差が生じるためだと考えられる。すなわち、 H_2 に比べて質量の大きい O_2 が、OHラジカルと衝突するときのほうが、エネルギーの損失が大きくなり回転-振動温度の減少も急激になると考えられる。

REFERENCES

- ¹ K. Sunako, K. Yamauchi, T. Noguchi, T. Nihei, T. Tsugueda, H. Watanabe, T. Tanikawa and K. Takayama: Nudl, Instrm & Methods, B77/3738. 636 (1989).
- ² G. H. Dieke and H. M. Crosswhite, THE ULTRA-VIOLET BANDS OF OH, JOURNAL OF QUANTITATIVE SPECTROSCOPY AND RADIATIVE TRANSFER VOL. 2 pp. 97-199 (1962).

'95 SAS Intelligent Symposium