N₂ ガス繰返しパルスグローの回転温度測定

正員 鶴田 浩一 (茨城大)

正員 遠藤 秀哲 (茨城大)

Measurement of the Rotational Temperature in Repeated N₂ Gas Pulse Glow

Koichi Tsuruta, Member, Hidenori Endo, Member (Ibaraki University)

キーワード: N₂ ガス放電, 繰返し放電, グロー放電, 回転温度

近年, 線強度比法による放電プラズマの温度測定結果が報告されている。対象は光学的データが整っている N₂ ガスが多く, 放電形態は直流⁽¹⁾あるいは比較的電流が大きい (10 A 以上) パルス⁽²⁾である。継続時間が短いパルス放電の発光スペクトルの時間変化を測定する場合, 放電電流が小さいと光量は微弱となり, 必然的に光電子増倍管で電流に変換されたスペクトルの振動成分が大きくなって, 線強度比法の適用が困難になる。しかし, 繰返し放電の場合はスペクトルを繰返して取り込むことができ, それらを測定系の内部で平均(averaging)すれば, 発光が弱い場合でも振動成分の小さいスペクトルが測定できると期待できる。本研究では上記の手法を N₂ ガス中の繰返しパルスグロー放電に適用し, パルス電流が 200 mA 程度でも線強度比法による回転温度の測定が可能になることを示す。

図 1 に実験装置の概略を示す。真空容器は内径が 100 mm のパイレックスガラス管で圧力は 10 Torr とした。陽極は先端が半球状 10 mmφ のタングステン棒, 陰極は 40 mmφ の黄銅円板, ギャップの長さは 40 mm とし, 半波整流電源によって周波数 50 Hz の繰返しパルス放電を発生させた。放電電流の波高値は 180 mA, 一つのパルスの電流継続時間は 1 ms 以下である。図 1 に挿入した写真はギャップの放電発光であり, 上から順に陽極グロー, 陽光柱および負グローが認められる。直径 25 mm の石英レンズの焦点を放電の中心軸上に合わせ, 発光を集光し, 石英ファイバ (住友 MS-08) で分光器に導いた。縦方向の測定位置は両電極を上下に動かして変化させた。

線強度比法をパルス放電に適用する場合は二つの波長を同時に測定する必要がある, 分光器の出射部に複数の光ファイバを配列⁽²⁾した多チャンネル分光法が報告されている。本研究では, 図 2 に示すように市販の分光器 (光研工業 SG-250) の出射部の後にスペクトル分岐部を設け, 主波長スペクトルは直進, 副波長は分岐ミラーで反射させて直角方向の出射スリットで検出した。主波長は分光器本体で決定され, 副波長は分岐ミラーの角度調整により任意に選べる点が本分光法の利点である。主, 副のスペクトルを

図 1 実験装置

Fig. 1. Experimental setup.

図 2 スペクトル分岐部をもつ分光器

Fig. 2. Spectrometer with spectral separation system.

各々同一定格の光電子増倍管 (浜松ホトニクス 1P28) で測定し, 主, 副の波長を同一に設定したとき, 出力強度が等しくなるように測定系を校正した。

本研究では回転温度測定用スペクトルとして N₂ 2nd Positive (0, 2) Band を用いている。入射および二つの出射スリットのスリット幅を 0.1 mm としたとき, 検出系の半値幅は 6 Å, 片側広がり (FWHM) は 15 Å であった。スペクトルの広がりを考慮に入れて N₂ 2nd Positive (0, 2) Band のスペクトル強度の分布を数値計算⁽³⁾し, 分布のピーク付近の 3,805 Å とその近傍の 3,795 Å の強度比と回転温度との

図 3 放電電流、電圧およびスペクトル強度の時間変化

Fig. 3. Temporal variations of discharge current, voltage and spectral intensities.

図 4 回転温度の時間変化

Fig. 4. Temporal variations of rotational temperature.

関係を求めた⁽⁴⁾。スペクトルの強度比から回転温度が推定でき、また熱平衡を仮定すれば回転温度はガス温度に等しい。

図 3 は放電電流波形と電極間電圧波形およびスペクトルの時間変化の例を示す。測定位置は陽極から 1 mm (陽極グロー)、陽極から 20 mm (陽光柱) および陰極から 1 mm (負グロー) の 3 点である。一つのパルス電流に対するスペクトル出力には大きい振動成分を含むが、パルス 256 回分の出力を DM (Digital memory scop, YOKOGAWA DL-1200 E) 内部で平均化するとスペクトルは図のように安定した。3,795 Å と 3,805 Å の強度比から回転温度の時間変化が求まる。また、各測定位置における 3,805 Å のスベ

クトルの時間特性を比較すると、陽極グローは放電の開始時に特に強く発光し、陽光柱の発光は短時間で低下することがわかる。

図 4 は上記位置の陽極グロー、陽光柱および負グローの回転温度の時間変化を示す。各温度は径方向に対しては平均量である。回転温度は放電の開始とともに急上昇し、電流がピークとなる 50 μs で陽極グローでは 1,650 K、ギャップ中央の陽光柱では 900 K、負グローでは 830 K に達する。陽極および負グローの回転温度は電流の低下とともに緩やかに低下するのに対し、陽光柱の回転温度は急速に低下する。放電電流がピークを過ぎ、空間電荷分布が確立した後では、陽光柱への電力の供給が小さくなるためと考えられる。この方法でも温度が測定できる発光強度には下限があり、各温度低下特性の右端はその限界を示す。

パルス放電の継続時間および図 4 の回転温度の時間変化より、本実験条件では各パルス放電の間でプラズマは消滅し、ガス温度も常温まで低下していると推定される。従って、測定された温度の時間特性は単一のパルスによる時間特性と差がないと考えられる。

(平成 6 年 3 月 1 日受付)

文 献

- (1) 西嶋・常安: 「N₂ ガスの収縮した直流グロー放電の陰極近傍での放電発光の分光学的研究」, 電学論 A, **111**, 221 (平 3-3)
- (2) 辻・大坪・蟹田・福山: 「インパルス放電路の気体温度測定と検討」, 宮崎大学工学部研究報告, **34**, 52 (昭 63-6)
- (3) G. Hartmann & P. C. Johnson: "Measurements of relative transition probabilities and the variation of the electronic transition moment for N₂C³II_u-B³II_g second positive system", *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.*, **11**, No. 9, 1597 (1978)
- (4) 遠藤・松村・渡辺・鶴田: 「線強度比法による低気圧パルスグローの温度測定」, 平 5 電気学会全大, No. 211

鶴田 浩一 (正員) 1944 年 6 月生。1967 年 3 月茨城大学工学部電気工学科卒業。1971 年 4 月同大学工学部助手, 現在, 同電気電子工学科助教授。工学博士。真空およびガス中の絶縁破壊現象, 真空アークなどの研究に従事。応用物理学会, 真空協会会員。

遠藤 秀哲 (正員) 1969 年 4 月生。1992 年 3 月茨城大学工学部電気工学科卒業。1994 年 3 月同大学大学院工学研究科修了。同年 4 月東京電力(株)入社。在学中は放電プラズマの光学的計測に関する研究に従事。