高速 CCD カメラを用いた移動縞の観察

学生員 森 あすか (三重大)

正 員 松岡 守 (三重大)

正 員 川口 元一 (三重大)

Observation of Moving Striation by High Speed CCD Camera

Asuka Mori, Student Member, Mamoru Matsuoka, Member, Motoichi Kawaguchi, Member (Mie University)

キーワード：移動縞，高速 CCD カメラ，光強度分布

1. はじめに

移動縞は、グロー放電陽光柱のような低温プラズマ内でしばしば観測されており、古くから研究が続けられている。最近では、コンピュータモグラフィの技術を用いて、正弦波バーストにより励起した移動縞の高時間分解の断層画像を得るという優れた実験例がある⁽¹⁾。また、測定断面を軸方向にずらしたデータを合成することにより軸方向の分布も得ている。しかし、人為的に励起した移動縞の特定の断面における断層画像の合成が、自然に発生する移動縞の特定の時刻における空間形状と対応するとは限らない。自然に発生する移動縞の空間形状の正確な把握のためには、やはり放電の軸方向にも同時測定を行う必要がある。そこで我々は高速 CCD カメラで、時々刻々の移動縞様の形状変化を撮影し解析した。

2. 実験装置

実験装置の概略を図 1 に示す。使用した放電管は内径 73mm の円筒状で、陽極は直径 50mm、酸化物を塗布した熱陰極は直径 77mm であり、陽極-陰極間の距離は 1135mm である。また、陰極から陽極側へ 150mm の所に、放電安定化のため直径 72mm のステンレス製金網を電極面と平行に

図 1 実験装置

Fig. 1. Experimental arrangement.

配置した。金網は 0.25φ, 30mesh/inch のもので、電氣的に浮いた状態にある。放電気体にはヘリウムガスをを用い、圧力 1.5Pa, 放電電流 210mA で実験を行った。静電探針の測定より電子密度、電子温度は、それぞれ $3 \times 10^{15}/\text{m}^3$, 2eV 程度である。実験はこの条件で自然に発生する移動縞について行った。

放電の様子は、シャッタースピード 1/18000s, 録画速度 18000frame/s, 解像度 256×256pixel の高速 CCD カメラで撮影した。カメラは放電管から約 140cm の所に三脚で固定した。撮影範囲は放電管の中央部約 22cm の範囲である。撮影後、画像取り込みボード (解像度 640×480pixel) からコンピュータに取り込み、コマ毎の移動縞の変化の様子を解析した。

3. 実験結果及び検討

図 2 は一つおき、すなわち 1/9000s 毎の映像を元に放電管軸上における光強度分布を求め、その時間的推移を図示したものである。時間は図上から図下に向かって経過している。図中の破線は縞の位置を表したものである。また、この図に示した a1~a4 と b1~b4 の光強度分布に対応するビデオ映像を、それぞれ図 3(a), (b)に示す。

移動縞の発光部は陽極側から陰極側に移動しているが、その速さは等速ではないことがわかる。a1~a4 では加速、b1~b4 では減速されている発光部が見える。文献(1)においては、移動縞は光強度を増しながら伝播方向に徐々に加速し、光強度が特定の値に達すると、その時点で突然 (不連続に) 速度が低下し、それと共に光強度も低下、そこで再び伝播方向に加速し同様の過程を繰り返すとしている。我々の実験では図 2 の b1~b4 に見られるように、徐々に減速する過程も観測されており、この点が文献(1)の結果とは異なる。一つの加速ないし減速の期間は、平均すると約 8 コマ程度、すなわち 0.45ms 程度である。また、繰り返し周

波数は数 kHz である。速さはほぼ停止状態から最高で 800m/s 程度にわたる。移動が最も速い場合にはカメラシャッターの開閉時間中に約 4.5cm 移動することとなり、観測した映像はこの分軸方向にぼやけていることになる。移動が速くなると共に発光部の分布が広がるように見えるのはこの理由によると考えられる。

一つの縞が二つに分裂する現象が過去に観測されている⁽¹⁾。我々の実験でも同様の現象が観測された。その様子を図 4 に示す。図では 1/9000s 毎の映像 (t1~t3) を、時間経

図 2 光強度の時間変化
Fig.2. Time-series light intensity profiles.

図 3 高速 CCD カメラで捕えた映像。記号は図 2 のものに
対応する。

Fig.3. Video image obtained by a high speed camera. Symbols correspond to those in Fig.2.

図 4 縞の分裂の様子
Fig.4. Split of a striation.

過に従って上から順に並べた。t1 から t2 に移行する瞬間、一つの縞が二つに分裂しているのが分かる。また、分裂した縞の一方は、移動方向に加速するが、もう一方は後に残されその位置で消滅していく。

4. ま と め

高速 CCD カメラを用いて、ヘリウム直流放電中に自然に発生する移動縞を観測し、以下の結果を得た。

(1) 移動縞は陰極に向かってほぼ停止状態と最大 800m/s の間で、加速と減速を繰り返しながら伝搬する。一つの加速、ないし減速の期間はいずれも 0.45ms 程度である。

(2) 発光部の分裂する状態を明確に捕えることができた。分裂後陰極側の発光部は移動していく一方、陽極側に残された発光部は移動せずにその場で減光した。

尚、高速ビデオカメラの使用は株式会社 nac のご厚意によるものです。ここで記して謝意を表します。

(平成 10 年 1 月 19 日受付, 平成 10 年 3 月 16 日再受付)

文 献

(1) K.Ohe, A.Naito, T.Kimura and N.Iwama: "Three-dimensional structure of finite-amplitude ionization wave packets excited in He positive columns", *Phys. Fluids B*, 3, 12, 3302~3311 (1991)

森 あすか

(学生員) 1973 年 8 月 27 日生まれ。96 年 3 月三重大学教育学部情報教育課程卒業。同年 4 月同大学院教育学研究科修士課程入学、現在に至る。主として、低気圧磁界中プラズマにおける諸現象に関する研究に従事。

松岡 守

(正員) 1955 年 1 月 27 日生まれ。79 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了。93 年 3 月同後期課程修了(社会人)。79 年 4 月日本原子力研究所入所。核融合工学の研究に従事。94 年 4 月三重大学教育学部助教授、現在に至る。工学博士。主として、低気圧放電の応用、及びクラスター源の開発研究に従事。日本物理学会、プラズマ・核融合学会、日本産業技術教育学会会員。

川口 元一

(正員) 1940 年 11 月 30 日生まれ。63 年 3 月名古屋大学工学部電気学科卒業。65 年 3 月同大学院工学研究科修士課程電子工学専攻修了。68 年 3 月同博士課程修了。同年 4 月同大学工学部電子工学科助手。70 年 4 月三重大学工学部電気工学科助教授、87 年同大学教育学部教授、現在に至る。工学博士。主として、高周波・パルス放電による光源の研究、磁界中放電物性の研究に従事。日本物理学会、照明学会、プラズマ・核融合学会、日本産業技術教育学会、アメリカ物理学会会員。