A104 エキシマレーザの放電部衝撃波の可視化

株式会社 東芝 小杉伸一郎○

株式会社 東芝 大石 高志

FLOW VISUALIZATION OF SHOCK WAVES IN A EXCIMER LASER

Shinichiroh KOSUGI* and Takashi OHISHI*

Experimental study on shock waves in a high repetition rate excimer laser has been carried out. In a high repetition rate excimer laser, shock waves in subsonic loop are induced by the active medium excitation by means of pulse discharge. Shock waves in He gas by a pulse discharge are visualized by schlieren method using a scale discharge section model, CCD camera, stroboscope, and digital image memory which used to take photographs. Shock waves from anode surface, cathode surface, discharge region, and pin sparks for preionization are observed. Shock waves reflect at anode and cathode surfaces alternately for several times. Shock waves from discharge region travel through channel.

1. はじめに

エキシマレーザは紫外域で発振するレーザであり、半導体プロセスや光反応プロセスへの応用が期待されている。エキシマレーザはXe/HClまたはKr/F₂の混合ガスをHeまたはNeで希釈したレーザガス中で強いパルス放電を行いレーザガスを励起し発振させることで得られる。パルス発振で高い平均出力を得るためにはレーザ発振の高繰り返し化が必要である。ところがエキシマレーザの高繰り返し化には限界が存在し、その1つの原因として衝撃波が考えられている。レーザガスを励起するためにパルス放電を行うと衝撃波が発生し、この衝撃波がつぎの放電時に放電電極間に密度の揺らぎをひきおこしアーキングを誘起するため、次のレーザガスを均一に励起することが困難になると考えられている(1)(2)(3)(4)。

エキシマレーザの放電部で発生する衝撃波についての研究は少なく、放電部での衝撃波と放電現象の関係は明らかになっていない。本研究ではエキシマレーザの放電部スケールモデルを内蔵し、観測窓を持つ可視化用のチャンバーを製作し、Heガス中で放電を行い、そのとき生じる衝撃波をシュリーレン法により可視化し、衝撃波の形成状況を観察している。写真はCCDカメラとストロボ、デジタルメモリを使用して撮影した。

* HEAVY APPARATUS ENGINEERING LABORATORY, TOSHIBA CORPORATION
2-4, SUEHIRO-CHO, TSURUMI-KU, YOKOHAMA, 230 JAPAN

2. 実験装置および方法

エキシマレーザ放電部モデルの光軸方向からみた放電部断面図をFig.1に示す。主放電電極は上がアノード、下がカソードになっており、電極は紙面の垂直方向に約300mmの長さを持つ。主放電電極の両側に予備電離のための放電ピンがならんでいる。この放電部モデルを可視化チャンバー内に設置して実験を行う。ガスはHeを使用し、ガス圧力は1300torrとする。衝撃波の観察が目的であるのでガスは静止状態にて観察を実施した。放電回路をFig.2に示す。放電回路は容量移行型であり、主コンデンサCsは13.3nF、ピーキングコンデンサCpは11.9nFである⁽⁵⁾。コンデンサの充電電圧は24kVである。本実験では繰り返し運転を行わないのでスイッチはギャップスイッチG.P.を使用している。Fig.3に可視化方法を示す。閃光時間が半値幅で75nsと短いストロボ（菅原技研ナノバルスライトNP-1A）を光源としてシュリーレン法により放電電極間を可視化する。写真はCCDカメラとデジタルメモリ（菅原技研ストロボビジョンスコープSuS-2）、VTRを使用して撮影する。デジタルメモリはストロボの発光時にCCDカメラに写った画像を一時的に記録するために使用される。放電後、任意の時間にストロボを発光させそのときのシュリーレン像をCCDカメラとデジタルメモリを使用して撮影し、VTRに記録する。放電後ストロボを発光させるタイミングはリターダー（菅原技研RE-306）を使用して調整する。放電実験を繰り返し行い遅延時間を変えて撮影していくことで連続したビデオ画像が得られる。

Fig.1 Discharge section

Fig.2 Electric circuit

Fig.3 Experimental setup to take schlieren photographs

3. 実験結果と考察

Fig.4とFig.5にナイフエッジを水平においた場合のそれぞれ放電後 $5\mu\text{s}$ 、 $20\mu\text{s}$ 後の可視化写真を示す。写真から主放電電極の表面から衝撃波が発生していることがわかる。カソードから発生する衝撃波はアノードから発生する衝撃波よりも強くなっている。また、予備放電ピンからも衝撃波が発生している。これらの衝撃波は上下の壁面に反射されて何度も往復する。Fig.6とFig.7にナイフエッジを垂直においた場合のそれぞれ放電後 $5\mu\text{s}$ 、 $10\mu\text{s}$ の可視化写真を示す。放電空間から流路方向に衝撃波が発生していることがわかる。これらの写真から放電部には主放電電極のアノードとカソードの表面から発生する上下方向の衝撃波、予備電離ピンから発生する球状の衝撃波、主放電電極間の放電空間から横に広がっていく衝撃波の3種の衝撃波が発生していることがわかる。

これらの写真は放電後 $1\mu\text{s}$ ずつストロボ発光までの遅延時間を変えてビデオ撮影を行っている。ビデオ撮影により現象を連続的に見ることができ、衝撃波の生成から減衰までを観察することができた。ただし、実験で使用したガスはHeガスであるので音速が速い。そのため現象は実際のレーザガスよりも速くなっていると考えられる。

Fig.4 Schlieden photograph at $5\mu\text{s}$ after discharge
(Knife edge is set horizontally)

Fig.5 Schlieden photograph at $20\mu\text{s}$ after discharge
(Knife edge is set horizontally)

Fig.6 Schlielen Photograph at $5\mu s$ after discharge
(Knife edge is set vertically)

Fig.7 Schlielen Photograph at $10\mu s$ after discharge
(Knife edge is set vertically)

4. まとめ

エキシマレーザ放電部に発生する衝撃波を閃光時間の短いストロボを光源として可視化実験を行い、CCDカメラ、デジタルメモリを使用して連続な画像としてVTRに収録した。エキシマレーザの放電部の衝撃波の発生と伝播を連続な画像としてとらえることができた。エキシマレーザの放電部にはカソードとアノードの表面から発生する衝撃波、放電空間から流路方向に広がっていく衝撃波、予備電離ピンから発生する衝撃波の3種の衝撃波が発生することが明らかになった。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構の大型工業技術研究開発「超先端加工システムの研究開発の一環としてなされたものである。

参考文献

- (1) M.L.Sentis et al., J.Appl.Phys.66, 1925 (1989)
- (2) V.M.Borisov et al., Sov.J.Quantum Electron.17, 595 (1987)
- (3) S.Takagi et al., CLEO'90 Technical digest,348 (1990)
- (4) 柿崎他、プラズマ研究会資料 EP-90-77 (1990)
- (5) 高木他、光・量子デバイス研究会資料 OQD-89-8 (1989)