

予備電離を用いない高繰り返し軸方向放電励起 CO₂ レーザーの開発

High-repetition-rate operation of longitudinally excited CO₂ laser without preionization

山梨大学¹, 精電舎電子工業株式会社² (MI) 柳井聖民¹, 宇野和行¹, 児玉康司^{1,2}, 米谷和幸²

Univ of Yamanashi¹, Seidensha Electronics CO.², Kiyotami Yanai¹, Kazuyuki Uno¹,

Yasushi Kodama^{1,2}, Kazuyuki Yoneya²

E-mail:g21te025@yamanashi.ac.jp

1. 背景

現在、産業応用に利用されているパルス幅数十 ns 程度の短パルス CO₂ レーザーの多くは、TEA-CO₂ レーザーである。TEA-CO₂ レーザーでは、尖頭パルスとパルステールからなるテール付き短パルスを出力する。小型な装置 (1 m³ 以下) では、繰り返し周波数 400 Hz 以下のものが大多数を占める。繰り返し周波数 1 kHz で動作する装置では、サイズが 4 m³ 以上となり大型化する。TEA-CO₂ レーザーでは、大きな放電断面積と高ガス圧放電のため、予備電離装置や高速ガスフロー装置が必要であり、装置が複雑化する。産業分野では、小型で高繰り返し動作可能な短パルス CO₂ レーザーが求められている。我々は、小型で高繰り返し動作可能な軸方向放電励起方式に着目し、軸方向放電励起 CO₂ レーザーの研究を行ってきた。先行研究では、繰り返し周波数 700 Hz においてレーザーエネルギー 38.1 mJ が達成された [1]。

本研究の目的は、予備電離を用いない小型装置による高繰り返し軸方向放電励起 CO₂ レーザーの開発である。

2. 実験装置

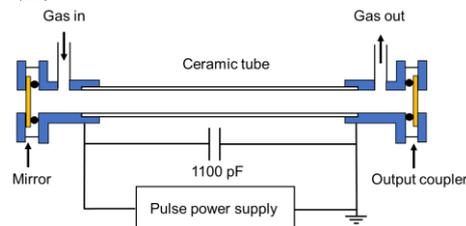


Fig. 1. Longitudinally excited CO₂ laser.

Fig. 1 は、軸方向放電励起 CO₂ レーザーの模式図である。装置は、放電管と共振器、パルス電源、充電容量 1100 pF で構成された。放電管は、内径 8 mm、外径 12 mm、長さ 80 cm のアルミナセラミック管によって構成された。媒質ガスには、CO₂:N₂:He=1:1:2 または 1:1:4, 1:1:5, 1:1:6 が使用された。共振器は、反射率 99%、曲率半径 20 m の全反射 Au コート Si ミラーと反射率 85% の ZnSe 出力カップラによって構成された。共振器長は、89 cm であった。パルス電源は、立ち上がり時間約 140 ns、約 26 kV のパルス電圧を出力した。電源の出力エネルギーは、738 mJ であった。装置には、予備電離装置やガスフロー装置は使用されなかった。装置サイズは、0.5 m³ であった。

3. 実験結果

Fig. 2 は、繰り返し周波数 1 kHz, ガス混合比 CO₂:N₂:He=1:1:5, ガス圧 4.6 kPa によるレーザーパルス波形と放電電圧波形である。放電電圧は、放電開始電圧 25.8 kV, 放電電圧の立ち上がり時間 140 ns, 放電電圧の立ち下がり時間 (90-10%) 144 μs であった。レーザーパルスは、レーザーエネルギー 35.2 mJ, 尖頭パルス幅 260 ns, パルステール長 156 μs, 尖頭パルスに対するテールのエネルギー比 1:112 のテール付き短パルスが発振された。このとき、発振効率は 4.74% であった。

Fig. 3 は、繰り返し周波数とガス混合比に依存する最大レーザーエネルギーの特性を示す。600 Hz 以上の高い繰り返し周波数において、ガス混合比に依存して最大レーザーエネルギーが大きく変化した。

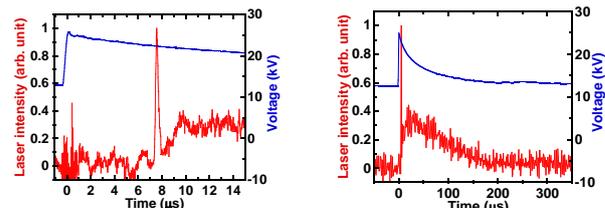


Fig. 2. Laser pulse and discharge voltage waveforms at a pressure of 4.6 kPa of a 1:1:5 mixture of CO₂/N₂/He and a repetition rate of 1 kHz. Red line is laser pulse waveform, and blue line is discharge voltage waveform. (a) Magnified time-scale view of spike pulse part of the laser pulse. (b) Overall waveform of the laser pulse.

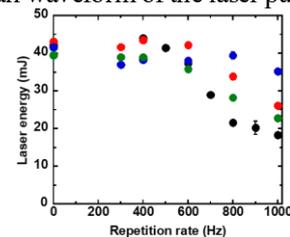


Fig. 3. Dependence of laser energy on gas pressure in discharge tube. Black, red, blue, and green circles represent a 1:1:2, 1:1:4, 1:1:5 and 1:1:6 mixture of CO₂/N₂/He, respectively.

謝辞

本研究成果は、JST A-STEP シーズ育成タイプ (AS3015041S) の成果の一部である。

参考文献

- [1] K. Uno, et. al., “Longitudinally excited short-pulse CO₂ laser with large discharge tube without preionization”, *Opt. Laser Technol.*, 148, 107745 (2022).