High-efficiency operation of supersonic COIL using nitrogen as buffer gas for optical power system

光力システムにおける窒素を用いた高効率超音速化学酸素沃素レーザー

Masataka KAWAKAMI, Shoji NAGATOMO, Keiichi UMEHARA, Masamori ENDO and Shuzaburo TAKEDA
Department of Electro-Photo-Optics, Faculty of Engineering, Tokai University,
1117 Kitakaname, Hiratuka, Kanagawa 259-12 JAPAN

TEL: 81-463-58-1211 (EX. 4431), FAX: 81-463-58-7187

Katsuhiko SUNAKO and Tomoo FUJIOKA

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

TEL: 81-463-58-1211 (EX. 3700), FAX: 81-463-50-2013

Fumio WANI

Opto Engineering Department, Kanto Technical Institute,
Kawasaki Heavy Industries, 118 Futatuzuka, Noda, Chiba 278 JAPAN

TEL: 81-471-24-0269, FAX: 81-471-24-5917

(Accepted for publication 6 November 1997)

The Chemical Oxygen Iodine Laser (COIL) has unique characteristics and it is expected to be used in the energy field. Usually, Lasing threshold of COIL is decreased by the supersonic expansion. To obtain the high stagnation pressure at the plenum, helium is added as a buffer gas. However, using large amount of expensive helium is out of the question for industrial applications. We achieved a high efficiency operation of COIL using nitrogen as buffer gas. Obtained overall efficiency was 23.5% and it is the highest among the supersonic COILS using nitrogen gas as a buffer gas.

keywords : COIL, Supersonic expansion, N₂ buffer gas, efficiency, Optical power system

1. INTRODUCTION

光技術は、情報産業、製造業において中核の技術の一つになりつつある。この光技術に基づく新しいエネルギーシステムとして「光力システム」への期待が高まっている。光力システムとは既存の電力システムに対応するだけでなく、かつ補完するものであり、石英ファイバーで遠く離れた工場や各家庭まで光子を送光し受光端で種々の用途に利用できるエネルギーシステムである。この光源として考えられる化学酸素沃素レーザー (COIL: Chemical Oxygen Iodine Laser) は、諸特性よりエネルギー分野での利用が期待される連続発振レーザーである。従来のCOILは、超音速ノズルによる断熱膨張を用い、レーザー媒質の温度を低下させ、発振の閾値を減少させている。そのため、超音速ノズル入口においてガス圧力を高める必要があり、従来は、希釈ガスとして分子量が小さく比熱の大きいヘリウムが用いられていた。本研究は、高価なヘリウムの代用として安価な窒素を用い、沃素の混合条件 (沃素量、キャリアガス量) 等の動作条件を最適化することによってヘリウムと同等の化学効率を得ることを目的として行った。

II. EXPERIMENTAL

COILは、化学反応により生成したO₂(¹Δ)とI₂ガスを混合するだけで発振する純化学レーザーである。以下にレーザーの動作反応式を示す。

(3)式のエネルギー移乗反応の順反応速度定数Kfと逆反応速度定数Krは

$$Kf = 2.33 \times 10^8 / T \quad \dots \dots (5)$$

$$Kr = 3.1 \times 10^8 \exp(-403/T) / T \quad \dots \dots (6)$$

で与えられる。ここで、Tは温度 [K] である。この反応は非常に速く、局所平衡を仮定すると、

$$Kf[\text{O}_2(^1\Delta)][\text{I}(^2\text{P}_{3/2})] = Kr[\text{O}_2(^3\Sigma)][\text{I}(^2\text{P}_{1/2})] \quad \dots \dots (7)$$

となる。この式にKf、Krを代入することにより

$$[\text{I}(^2\text{P}_{1/2})]/[\text{I}(^2\text{P}_{3/2})] = 0.75 \exp(403/T) [\text{O}_2(^1\Delta)]/[\text{O}_2(^3\Sigma)] \quad \dots \dots (8)$$

が得られる。(8)式より発振閾値は $[\text{I}(^2\text{P}_{1/2})]/[\text{I}(^2\text{P}_{3/2})] > 1/2$ なのでレーザー発振に最低限必要な励起酸素励起率

(励起酸素励起率閾値Y_{th})は、

$$Y_{th} = [\text{O}_2(^1\Delta)] / \{ [\text{O}_2(^1\Delta)] + [\text{O}_2(^3\Sigma)] \} = \frac{[\text{I}(^2\text{P}_{1/2})] / \{ 0.75 \exp(403/T) [\text{I}(^2\text{P}_{3/2})] + [\text{I}(^2\text{P}_{1/2})] \}}{1} \quad \dots \dots (9)$$

(9)式となる。²

これらによって、温度T [K] を下げるすることにより、Y_{th}を小さくすることが可能であり、気体の冷却がいかにかに有効であるか理解できる。

Figure1に実験装置を示す。励起酸素発生器 SOG (Singlet Oxygen Generator) より生成された $O_2(^1\Delta)$ は希釈ガスである窒素のバッファガスと混合され、更にキャリアガスである窒素により酸素分子が供給され、超音速ノズルにおいて断熱膨張を起こし発振する。今回の実験では、バッファガス及びキャリアガスを変化させ、またあらかじめ冷却したバッファガスを流し込むことにより結果を検討した。

FIG.1. Experimental Device.

III. RESULTS

Cl_2 ガス、キャリアガス流量を20mmol/sとし、バッファガス流量を変化させた時の出力変化の結果をFig.2に示す。

FIG.2. Relationship between laser power and buffer gas flow.

バッファガスの増加に伴い断熱膨張効果を増大することで閾値が低下し出力が増加傾向が増加することがわかる。

次にバッファガス及びキャリアガスの窒素の流量を合計60mmol/sとし、バッファガス流量を変化させたときの出力変化をFig.3に示す。

FIG.3. Relationship between laser power and buffer gas flow (N_2 Total flow 60mmol/s).

バッファガス流量及びキャリアガス流量の割合がそれぞれ30mmol/sの時出力が最大となり、この結果からキャリアガスによって供給される酸素量の変化に伴い、酸素量が過剰なとき逆に不足なときは、出力が低下することがわかる。

バッファガスをあらかじめ冷却し、酸素流量と出力の関係をFig.4に示す。

FIG.4. Relationship between laser power and Cl_2 flow.

バッファガスを冷却することによってレーザー出力はより増大し、化学効率 $\eta_c = \frac{\text{レーザー出力}}{\text{入力化学エネルギー}}$ の式により窒素では世界記録である23.5%の化学効率を得る事ができた。

REFERENCES

- Hiroo Fujii, Hiroshi Tuji, Mikio Muro, Fumio Wani, Noriyuki Naito, Touru Nagai, Kouzou Yasuda, Takatoshi Shouji, Kawasaki technical review, vol.131, 204-209 (1996)
- P.V.Avizonis, K.A.Truesdell, SPIE, vol.2502, 180-203 (1994)