亜音速型化学励起ヨウ素レーザー (COIL) における Jet型励起酸素発生器の動作試験

北谷 文人, 藤井 寛一

茨城大学大学院 理工学研究科 (〒 316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

Test Operation of Jet-Type Singlet Oxygen Generator at Sub-Sonic Type Chemical Oxygen Iodine Laser

Fumito KITATANI and Kan-iti FUJII

The Graduate School of Science & Engineering, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi, Ibaraki 316-8511

(Received September 7, 1998)

A jet-type singlet oxygen generator (jet-type SOG) shows high efficiency in yielding singlet oxygen ($O_2(^1\Delta)$) at higher pressures. Generally, The jet-type SOG is employed in the super-sonic type COIL. In this paper, we report the experimental result of operating a jet-type SOG in a table top sub-sonic COIL. Under our operating conditions, the yield of $O_2(^1\Delta)$ by a jet-type SOG was less than about 1/10 of the yield of the ordinary bubbler-type SOG. From this result, the bubbler-type SOG is considered to be suitable for a sub-sonic type COIL since it has the merit of easy handling when compared to the jet-type SOG.

Key Words: Chemical oxygen iodine laser, COIL, SOG, Jet-type SOG

1. はじめに

化学励起ヨウ素レーザー (COIL) は, 励起酸素 ($O_2(^1\Delta)$) からヨウ素へのエネルギー移乗により動作するレーザーである。このため, 励起酸素の衝突による失活を避けるために, 流速が亜音速の場合, キャビティでの圧力1torr以下の低圧力で動作させる。しかし, レーザーのゲインは, キャビティでの動作圧に比例するので, レーザー媒質単位体積当たりの出力を増加させ装置をコンパクトにし, 共振器の

負担を軽減するためには, 高圧力で動作させることが望ましい。このために, COILの超音速動作が試みられている。また, 動作効率を向上させるために, より高い圧力下で, 励起酸素の発生効率の向上を目指した励起酸素発生装置の改良が行われている。この一例としてロシアで開発されたJet型励起酸素発生器 (Jet型SOG)¹⁻³⁾がある。筆者らは, 今回, 従来検討してきた亜音速タイプのCOILにJet型SOGを組み込んでその適応性を評価するための試作動作試験を実施したので報告する。

Fig.1 Schematic diagram of COIL.

2. 実験装置概要

COILは、以下の3つの部分からなる。今回用いた実験装置は、出力100W級の小形COIL試作機である⁴⁾。装置の概要をFig.1に示す。

・励起酸素発生装置 (Singlet Oxygen Generator: SOG)

SOGは、バブラー型およびJet型を併用ができる構造とした。Jet発生器は、 200×20 (t3) mmの矩形板に径0.7mmの穴が135個 (45×3) 並んでいる。バブラーは、外形1/4inchのビニールチューブに0.3mmの穴を多数開けたものである。

・蒸気トラップ (Water Vapor Trap: WVT)

WVTは、内径 $\phi 40$ mmのパイレックスの直管を用いたシェル&チューブタイプのコールドトラップで、ドライアイス+エタノール冷媒で -70°C 程度まで冷却可能である。

・レーザーダクト (Laser Duct: LD)

ダクトハイト可変型の亜音速タイプのものである。

測定項目は、LD圧力、SOG温度、WVT温度、SOGでの励起酸素発光強度、WVT通過後の励起酸素発光強度、である。また、バッファガスおよび塩素ガス流量は、マスフローコントローラを用いて制御する。各々の測定値は、8ペンの多チャンネルデジタルペンレコーダに取り込まれGPIBを介してデータ処理用のコンピュータへ送られる。ペンレコーダの制御もこのデータ処理用コンピュータを用いて行う。各々の物理量の測定のための装置は、圧力については、絶対圧測定用の容積型マノメータ、温度については、K型の熱電対、発光強度は、赤外用電子冷却型Geフォトダイオードを各々用いる。

3. 試験方法

・動作条件

基準状態として次のような条件を設定し、トラップ温度を変化させて励起酸素の発光強度を測定する。

・薬液量：35% H_2O_2 20 (kg), 50%NaOH 2 (ℓ)

・薬液温度：開始時で -12°C 付近

Fig.2 Dependence of emission intensity of $\text{O}_2(^1\Delta)$ on Cl_2 mass-flow rate in jet-type SOG.

・バッファガス： N_2 1 (SLM: Standard Liter per Minutes)

薬液混合後、薬液温度が -12°C 付近まで低下後、測定装置の指示値が安定していることを確認し、塩素フローを開始する。

・Jetの動作条件

-12°C 程度に冷却した燃料をマグネットギヤポンプで循環させる。液温が -16°C 以下になると、粘度の上昇および塩の析出によってJetが動作不能になる。このために、最低液温は、 -14°C とする。このときの、Jetの流速は、3~8m/sである。

・塩素フロー条件

マグネットギヤポンプを動作させ、燃料が液だめに溜まった状態で、メインバルブをあけて、Jetをつくる。塩素ガスは、2, 4, 6 (SLM) の流量を基準とする。励起酸素発光強度の計測は、塩素ガスを流さない条件で2分測定した後、各々の流量で塩素ガスを2分間流して測定し、塩素ガスを止めてさらに2分間測定する。次に、従来のバブラー型SOGの性能と比較するために、マグネットギヤポンプを止めて液だめを空にした後、塩素ガスの流路を切り替えて同一の条件でバブラーを動作させ励起酸素の発光強度を測定する。

4. 試験結果

・塩素流量と励起酸素発生量

Fig.2にJet型SOGにおける励起酸素発光強度の塩素流量依存性を示す。

塩素流量に比例し励起酸素発光強度は増加していることがわかる。

・トラップ温度と励起酸素失活

Fig.3にトラップ温度と励起酸素失活率(トラップ通過後の励起酸素発光強度に対するトラップ通過前の励起酸素発光強度の比)を示す。これから、トラップ温度が低いほど失活の割合が低くなっていることがわかる。

・バブラー型SOGとの比較

Fig.3 Dependence of quenching rate of $\text{O}_2(^1\Delta)$ on trap temperature in jet-type SOG.

Fig.4 Dependence of quenching rate of $O_2(^1\Delta)$ on WVT temperature in jet-type and bubbler-type.

同一条件で動作させた従来のバブラー型とJet型でのSOGでの励起酸素の失活率をFig.4に示す。また、塩素流量が、2 (SLM), 4 (SLM) の場合のJet型とバブラー型のSOGでの励起酸素発生量の比をTable 1に示す。

これから、失活率は、どちらも変わらないが、SOG内の発光強度は、Jet型はバブラー型の1/10程度となることがわかる。

5. 考 察

今回、試作し動作試験を行ったJet型SOGは、今回の動作条件では、従来のバブラー型SOGに比べて、励起酸素の発生効率が、大きく落ちることがわかった。Jet型SOGの発生効率の低い理由として塩素と薬液の反応効率が低いことが考えられる。これは、Jet型SOGを用いた場合、塩素流量

Table 1 Production rate of $O_2(^1\Delta)$ represented in jet/bubbler.

Cl ₂ mass-flow rate (SLM)	Trap temperature (°C)	Production rate
2	- 20	0.12
	- 40	0.07
	- 50	0.05
4	- 20	0.20
	- 40	0.74
	- 50	0.81

を増加させていった時、装置の下流側にかなり未反応の塩素が流れてきていることから裏づけられる。

今回の動作試験より、低圧力の超音速動作COILでは、動作の簡便性、低圧力での励起酸素発生効率の高さなどから、Jet型SOGよりバブラー型SOGの方が適していることがわかった。しかし、高出力装置の小型化の観点からは、バブラー型が、適しているとは考えにくく、Jet型の動作条件の確立や新しい方式のSOGの考案等が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) N. F. Balan, R. M. Gizatullin, M. V. Zagidullin, A. Yu. Kurov, V. D. Nikolaev, V. M. Pichkasov, and M. I. Svistun: Sov. J. Quantum Electron. **19** (1989) 1412.
- 2) M. V. Zagidullin, A. Yu. Kurov, N. L. Kupriyanov, V. D. Nikolaev, V. M. Pichkasov, and M. I. Svistun: Sov. J. Quantum Electron. **21** (1991) 747.
- 3) M. V. Zagidullin, E. V. Erasov, A. Yu. Kurov, V. D. Nikolaev, M. I. Svistun, and N. A. Khvatov: Sov. J. Quantum Electron. **21** (1991) 1303.
- 4) 北谷 文人, 藤井 寛一: レーザー研究 **25** (1997) 654.