

化学酸素ヨウ素レーザーの高効率化に関する研究

A Study on High Efficiency Chemical Oxygen Iodine Laser

80715338 石原昌志(Masashi Ishihara)

Supervisor : 内山太郎(Taro Uchiyama)

1. 結論

化学酸素酸素レーザー(COIL)は、アルカリ性過酸化水素水溶液と塩素の化学反応によって、一重項励起酸素の生成、ヨウ素の解離、励起、誘導放出を経て発振する化学レーザーである。COIL の特徴としては、発振波長が 1.315 μm のため光ファイバーの伝送に適していること、MWクラスの大出力が可能であること、レーザー発振の化学効率が高いことが挙げられる。本研究では、COIL の性能を決定付ける最も重要な要素の一つである一重項励起酸素発生器(Singlet Oxygen Generator=SOG)の動作特性についての研究と RF 放電による出力増強をめざしたヨウ素予備解離型 COIL の研究を行った。

2. 原理

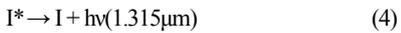
COIL の発振過程を次式に示す。

励起酸素は塩基性にした過酸化水素水溶液(BHP:Basic Hydrogen Peroxide)と塩素ガスの反応により生成される。



M:アルカリ金属(K, Na)

式(1) の反応を行うさいにSOGを用いる。その後、励起酸素 $\text{O}_2(^1\Delta)$ の流れにヨウ素分子を混合する。励起酸素とヨウ素の固有エネルギーは比較的近いエネルギー状態に位置するため励起酸素からヨウ素原子の反転分布形成が可能となる。



3. 実験装置および方法

3.1 励起酸素生成実験について

BHP タンクに35%過酸化水素水溶液 2500ml,純度 85%の水酸化カリウム 1000g,蒸留水 1000mlを混合し,BHP 溶液を作成する。次に,冷却器を用いて BHP 溶液を-10°Cまで冷却したのち,真空による圧力差を利用して反応器に投入し,塩素と反応させる。BHP 溶液は SOG 上部に設置されたノズルプレートよりジェット状にして噴射される。本研究で用いたノズルプレートを Fig.2(a),(b)に示す。そして,BHP 溶液と塩素の化学反応により発生した一重項励起酸素圧力を測定し,効率を算出する。

本研究ではノズル数,反応長および塩素流量を変えてデータを取り,動作特性を検討した。

3.2 ヨウ素予備解離型実験について

Fig. 1 にCOILの実験装置図全体の概略図を示す。実験手順としては、タンクに H_2O_2 と KOH を混合しBHP溶液を作成し、 Cl_2 と反応させ、 $\text{O}_2(^1\Delta)$ を発生させた。

こうして発生させた $\text{O}_2(^1\Delta)$ の流れの中に I_2 を投入し、発振されるレーザー出力を測定した。さらに、 $\text{O}_2(^1\Delta)$ と I_2 との混合の前にRF放電によって解離させる方法(従来型)と混合後に放電を行う方法(新型)のそれぞれの方法において実験を行い、生成される $\text{I}(^2\text{P}_{1/2})$ の圧力を測定した。

Fig. 3 に従来型と新型 RF 放電の放電箇所の違いを図示する。

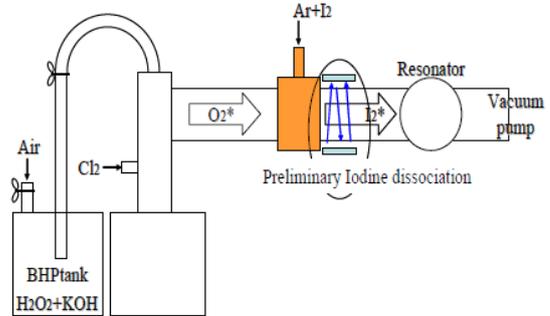


Fig.1 実験装置図全体の概略図

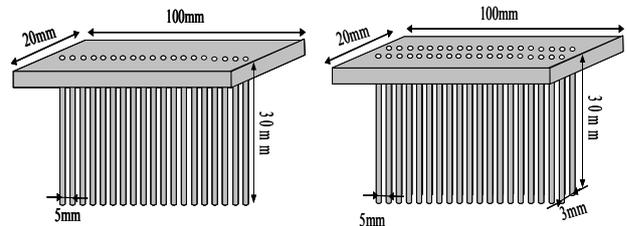


Fig.2(a)nozzle1

Fig.2(b)nozzle2

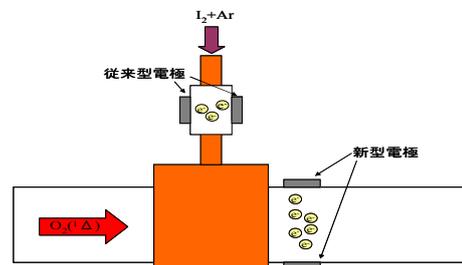


Fig.3 従来型と新型 RF 放電

4. 結果および考察

4.1 励起酸素生成実験

Fig.4 にノズル数による励起効率変化, Fig.5 に反応長による励起効率変化を示す。

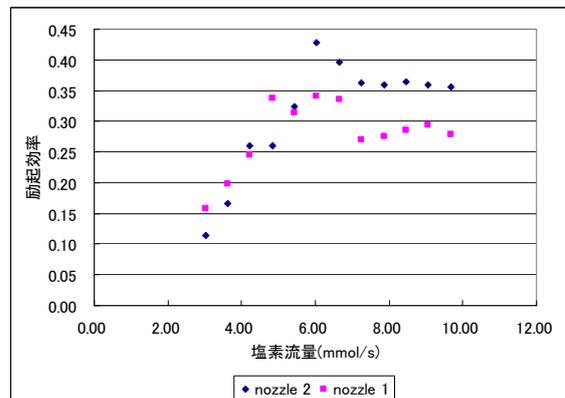


Fig.4 ノズル数

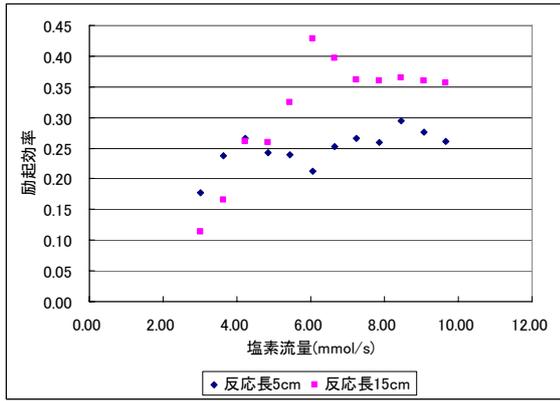


Fig.5 反応長

Fig.4 よりノズル数が多い方が励起効率が低いことが読み取れる。これは、ノズル数が多いことによって塩素の反応効率が上がったことに起因する。しかし、塩素流量が少ない状況においてはその関係が逆転していることもわかる。これは、投入した塩素量に対してBHP溶液が多すぎたため、それが失活要因となったためと考えられる。また、Fig.5 より反応長が長い方が励起効率が低いことが読み取れる。こちらも、反応長が長いことによって塩素の反応効率が上昇し、それが励起効率に良い影響を与えたと考えられる。しかし、こちらも上記と同様に、塩素流量が少ない状況においてはその関係が逆転していることがわかる。これは、塩素流量が少ない、すなわち塩素流速が小さいと、反応効率が低いほど失活の影響を大きく受けるためと考えられる。

また、それぞれの曲線には塩素流量に応じてピーク値が存在しており、単純に塩素流量を増やせば励起効率も増えるということでもないことがわかる。

4.2 レーザー発振実験

本装置における一重項励起酸素発生器 (SOG) の最適なパラメータを設定後、RF 放電を行わない状態での COIL 発振実験を行った。結果としては、0.15W 程度の COIL としては非常に小さい出力しか発振することができなかった。

4.3 励起酸素とヨウ素の混合実験

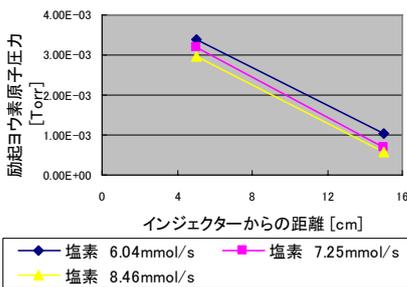


Fig.6 インジェクターからの距離

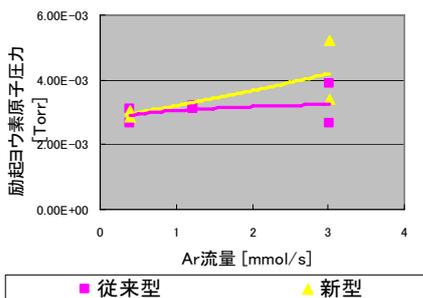


Fig.7 従来型と新型の比較

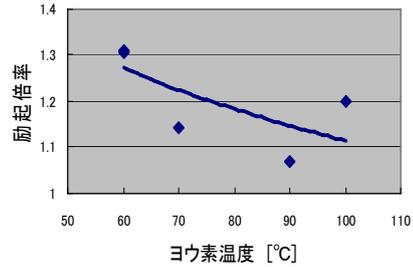


Fig.8 ヨウ素温度と励起倍率

Fig.6 によると 10cm の位置の違いで励起ヨウ素原子分圧が 80%も低下していることがわかる。この原因は、励起ヨウ素の自然放出寿命は約 0.13 秒と極めて短いため、励起されたヨウ素が測定部に到達したころには、その多くがすでに自然放出されてしまっていたからである。このような結果から、レーザーが低出力である原因は、共振器に送られる励起ヨウ素原子が不十分であったためであると考えられる。

この問題を解決するための手段として RF 放電を行った結果、放電により励起ヨウ素原子分圧の増大をはかることに成功した。とくに、Fig.7 をみると、新型 RF 放電は従来型よりも高い励起ヨウ素原子分圧を達成していることがわかり、新型の有用性が確認された。

また、Fig.8 の結果により、適切なヨウ素温度を設定・制御をすることが放電による効果をより向上させることに繋がるということがわかった。

5. 結言

5.1 励起酸素生成に関して

- 励起効率を上げるためには、塩素の反応効率を上げることが必須である。
- 励起効率を上げるためにはノズル数・反応長を大きくすることが必要だが、それは同時に失活率を大きくすることでもあるので、いずれは効率が収束することが予想される。

5.2 レーザー発振に関して

- わずかな出力ながらもレーザー発振が確認された。
- 低出力の原因は共振器に十分な量の励起ヨウ素原子が供給されていない点にあることが判明した。

5.3 励起酸素とヨウ素の混合に関して

- 新型 RF 放電の有用性が確認された
- 適切なヨウ素温度の設定・制御が必要であることが判明した。

参考文献

- 久保田浪之介, 「超音速の流れ学」, 山海堂(2003)
- 増田泰造, "縦渦混合ノズルを用いた超音速化学酸素ヨウ素レーザーに関する研究", 修士論文, 慶應義塾大学, 2005.