

文章编号: 0258-7025(2009)09-2315-04

模拟 N₂-氧碘化学激光器混合气体脉冲 放电实验研究

多丽萍 李国富 于海军 汪 健 李留成 唐书凯 王增强 金玉奇 桑凤亭

(中国科学院大连化学物理研究所, 中国科学院化学激光重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要 模拟 N₂-氧碘化学激光器(COIL)混合气体对 O₂-N₂-CH₃I 混合气体进行了脉冲放电实验研究, 对混合气体的放电波形、注入能量及放电均匀性进行了探索, 得到一些实验结果和实验规律。

关键词 激光器; 氧碘化学激光器; 脉冲放电; 碘原子

中图分类号 TN 248.5 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093609.2315

Study of Pulsed Discharge of Gases Simulated in N₂-Chemical Oxygen-Iodine Laser

Duo Liping Li Guofu Yu Haijun Wang Jian Li Liucheng Tang Shukai

Wang Zengqiang Jin Yuqi Sang Fengting

(Key Laboratory of Chemical Lasers, Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences,
Dalian, Liaoning 116023, China)

Abstract The primary experiments of pulsed discharge of mixing gases of O₂-N₂-CH₃ simulated in N₂-chemical oxygen-iodine laser (COIL) are investigated. The pulsed discharge profile of current and voltage, deposited energy and discharge uniform are explored and some results and trends are obtained.

Key words lasers; chemical oxygen-iodine laser; pulsed discharge; atomic iodine

1 引 言

氧碘化学激光器(COIL)是目前波长最短的化学激光器,具有高能量、高效率、优良的光束质量和低损耗的光纤传输效率等特点。但随着人们对激光与物质相互作用研究的深入,高能量脉冲激光越来越受到重视。在切割、靶材破坏、石油钻探等方面的研究表明,采用合适的脉冲频率和激光能量,可以避免高能量连续波激光在物质表面引起的等离子体效应和非线性效应,穿透深度更深、速度更快。连续波的高功率激光在大气传输中会产生热晕效应,激光功率越高,这种效应也就越强。热晕效应导致激光在大气中的传输损耗增大。如果采用参数适合(单脉冲能量、占空比等)的脉冲激光,将在很大程度上避免这种热晕效应。另外,要使单一波长的氧碘化

学激光的波长具有可变性,利用受激拉曼散射效应是比较有效的方法和途径,而只有高能量的脉冲激光才能进行高效的拉曼频移,一般所需要的激光功率要在几个兆瓦每平方厘米以上,此时的频移效率高达 70%以上。结合工业和军事上对脉冲激光的潜在需求,脉冲模式的氧碘化学激光器既具有连续波氧碘激光器的传统优势,又赋予其在更多领域更多方面的应用前景,成为当前国际上高能量脉冲激光研制的一个重要方向。

美国、俄罗斯和日本等国家都进行了脉冲化氧碘激光器的研究。采用的方法有机械调 Q,磁调 Q,增益调制(Gain-Switched),光引发或电引发脉冲产生碘原子实现氧碘激光脉冲化。美国采用调 Q 或者增益调制的问题在于残余的磁场降低了激光器的

收稿日期: 2008-09-27; 收到修改稿日期: 2009-01-06

基金项目: 国家 863-802 专题资助课题。

作者简介: 多丽萍(1968—),女,研究员,博士,主要从事化学激光器方面的研究。E-mail: dlp@dicp.ac.cn

提取效率^[1,2],同时也存在脉冲和连续功率比值提不高的问题,大约为 15 倍左右。俄罗斯在光引发产生碘原子进而实现 COIL 脉冲化方面做了大量的工作^[3~5],理论估计光引发脉冲氧碘激光的脉冲和连续功率比值可以做得很高,接近 760 的极限值,但电效率过低,工程放大比较困难。由于碘代物只有在紫外部分吸收的光才可以使其分解生成碘原子,这使闪光灯的利用效率很低,总的电效率仅为 0.02%。分析表明,放电引发的脉冲化 COIL 是比较有希望的,其峰值功率和电效率都比较高。早在 20 世纪 80 年代中国科学院大连化学物理研究所就率先在国际上实现了放电引发的脉冲氧碘激光^[6],但随着转向连续波 COIL 的发展,脉冲 COIL 并没有做深入的研究。近些年来,放电引发的脉冲氧碘激光研究主要集中在俄罗斯^[7~9],2007 年俄罗斯报道了放电引发的重复频率脉冲氧碘激光器^[10],重复频率达到 30 Hz,单脉冲能量达到 1.1 J,提取的比能量为 1.7 J/L。尽管如此,对含有碘代物的类似 N₂-COIL 的混合气体的脉冲放电特性报道很少。由于大多气体为电负性高的气体^[11,12],容易发生局部电弧放电,放电均匀性可能会是一个关键问题。

本文模拟 N₂-COIL 混合气体对 O₂-N₂-CH₃I 混合气体进行脉冲放电实验研究,对混合气体的放电波形、注入能量及放电均匀性进行了探索,得到一些实验结果和实验规律。

2 实 验

为了实现放电引发的 Pulsed-COIL,首先模拟考察 N₂-COIL 气体组分加碘代物的放电情况,因此建立了模拟 O₂-N₂-CH₃I 混合气体脉冲放电装置,该装置主要包括气源供给、放电腔和真空系统 3 部分。气体的流量由文氏管计量,放电腔气体压力由薄膜式压力传感器测量。其中气流方向、光腔光轴方向和放电电场方向相互垂直。放电电极有多种不同形状、不同粗糙度的平板电极,极间距分别为 5 cm,7 cm,9 cm,13 cm 等。脉冲放电电流和电压波形分别用 Tektronix TCP300 电流探头和 P6015A 高压探头来测量,放电均匀性用 Canon 相机来监测。

3 结果与讨论

3.1 放电波形

气体脉冲放电之初,放电波形强烈振荡。图 1

(a)为最初放电考察时的电流电压峰形。说明放电回路很不匹配,经过改进,如图 1(b)所示。可以发现,放电振荡波形有很大改善,由许多振荡峰变为一个峰,说明能量高效注入到介质中。

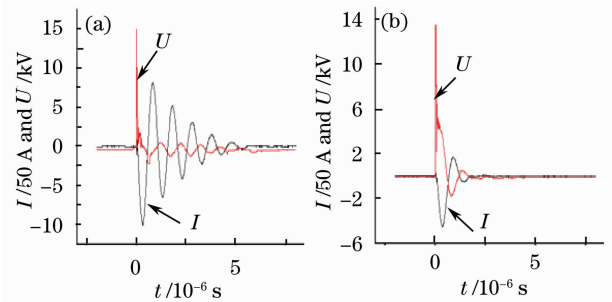


图 1 放电电流、电压峰形

Fig. 1 Profiles of discharge current and voltage

图 2 是 N₂, O₂, CH₃I 流量比大约为 20:10:1, 放电腔气压为 3060 Pa,调压到大约 12 kV 时, O₂-N₂-CH₃I 混合气体脉冲放电的电流电压波形和注入功率峰形。放电脉宽时间大约 0.6 μs,注入能量大约为 0.3 J。

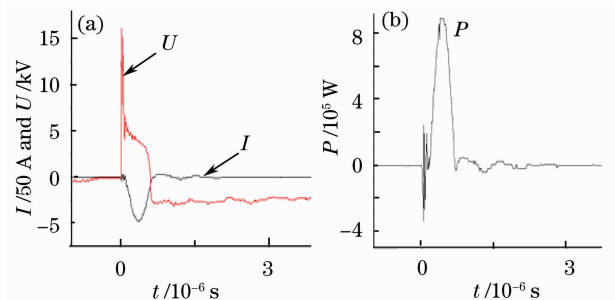


图 2 电流、电压波形和功率峰形

Fig. 2 Profiles of current/voltage and discharge power

3.2 放电特性及注入能量

CH₃I, O₂, N₂ 的文氏管直径分别为 1 mm, 2 mm, 2 mm, CH₃I, O₂, N₂ 文氏管上游压力比大约为 1:2:4。光滑面方平板阳极(117 mm×106 mm)对喷砂平头圆冠阴极放电(底面直径 87 mm, 放电面直径 46 mm),

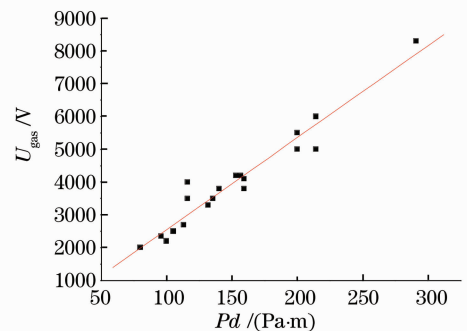


图 3 放电电压和 Pd 的关系

Fig. 3 Relationship of discharge voltage and Pd

极间距分别为 50 mm, 70 mm, 90 mm, 130 mm。脉冲放电电容为 5.6 nF。在上述实验条件下实验, 得到放电电压随 Pd (为气体压强与电极间距的乘积) 的关系如图 3, 以及放电注入能量随 Pd 和 PV (为气体压强与放电介质体积的乘积) 的关系如图 4 和图 5 所示。由实验数据可以得出, 对于含有小量 CH_3I 的 O_2, N_2 混合气体脉冲放电的极间电压随 Pd 线性变化关系是 $28.0 \text{ V}/(\text{Pa}\cdot\text{m})$; 注入能量随 PV 的变化关系为 $2\times 10^{-3} \text{ J}/(\text{Pa}\cdot\text{L})$ 。

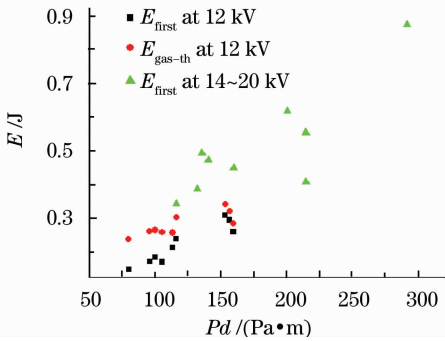


图 4 放电注入能量和 Pd 的关系

Fig. 4 Relationship of deposited energy and Pd

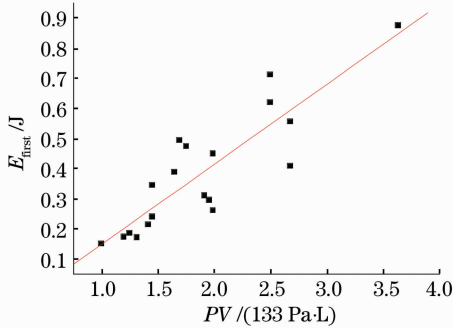


图 5 放电注入能量随 PV 的关系

Fig. 5 Relationship of deposited energy and PV

3.3 放电均匀性

由于碘甲烷和氧气都是电负性较强的气体, 要获得较高气体压力下的均匀辉光放电比较难。为了获得均匀的辉光放电, 主要调节了电极面形和弧度、



图 6 气体放电起弧照片

Fig. 6 Arcing discharge photo

粗糙度等, 调节了极间距的大小。经过多次实验, 发现平板和平球冠电极之间放电容易获得比较均匀的辉光放电, 所用的阳极为光滑面方平板 ($117 \text{ mm}\times 106 \text{ mm}$), 阴极是喷砂平头圆冠阴极 (底面直径 87 mm, 放电面直径 46 mm), 气体配比大约为 $V(CH_3I):V(O_2):V(N_2)$ 为 $1:10:20$ 。实验发现, 在极间距为 50 mm 时, 放电腔腔压分别为 1596 Pa, 1862 Pa, 1995 Pa, 2261 Pa 和 3059 Pa, 充电电压 12 kV 时工作, 全部起弧, 图 6 是腔压为 1596 Pa, 12 kV, 50 mm 极间距的气体放电照片。

极间距为 70 mm, 90 mm 和 130 mm 时, 放电气压为 1463~3192 Pa 之间, 放电电压为 12~18 kV 工作时, 还是能够均匀辉光放电的。图 7 是腔压为 1556.1 Pa, 18 kV, 90 mm 极间距的气体放电照片。

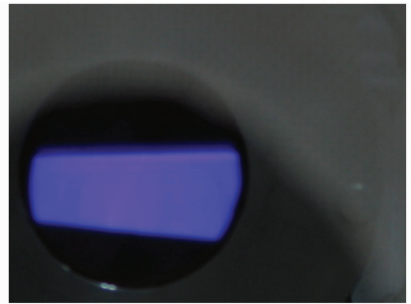


图 7 气体辉光放电照片

Fig. 7 Glow discharge photo

实验发现对含有碘甲烷的氧氮混合气体脉冲放电, 5 cm 极间距时很难获得均匀的辉光放电, 在 7~9 cm 极间距时, 放电比较均匀, 注入能量也较大。

4 结 论

通过对含有碘代物的模拟 N_2 -COIL 混合气体脉冲放电的探索研究, 获得了含有特定配比的碘甲烷氮氧混合气体均匀辉光放电的实验条件参量; 获得了较好的放电匹配条件; 得到了含有小量 CH_3I 的 O_2, N_2 混合气体脉冲放电的极间电压随 Pd 线性变化关系为 $28.0 \text{ V}/(\text{Pa}\cdot\text{m})$; 注入能量随 PV 的变化关系为 $2\times 10^{-3} \text{ J}/(\text{Pa}\cdot\text{L})$ 。

参 考 文 献

- 1 G. D Hager, D. Kopf. The Repetitively pulsed chemical oxygen iodine laser [C]. 25th AIAA Plasma-Dynamics and Laser Conference, 1994~2455, AIAA94-2455
- 2 Gordon D. Hager, Brian Anderson, Kip Kendrick *et al.*. Progress report on the development of a repetitively-pulsed, frequency-shifted COIL laser[C]. SPIE, 2000, **4065**: 646~657
- 3 Nikolai N. Yuryshev. Pulsed chemical oxygen-iodine laser[C]. SPIE, 1991, **1397**: 221~230
- 4 Kenji Suzuki, Kozo Minoshima, Daichi Sugimoto *et al.*. High

- pressure pulsed COIL assisted with an instantaneous production of atomic iodine[C]. *SPIE*, 2000, **4184**: 124~127
- 5 N. Nikolai, N. P. Yuryshv, P. N. Vagin. Pulsed mode of COIL[C]. *SPIE*, 2002, **4760**: 515~525
- 6 Zhang Rongyao, Chen Fang, Song Xueqin *et al.*. Study of pulsed oxygen iodine laser induced by discharge[J]. *Chinese J. Lasers*, 1988, **15**(8): 455~457
张荣耀, 陈方, 宋雪琴等. 放电引发脉冲氧碘化学激光器的研究[J]. *中国激光*, 1988, **15**(8): 455~457
- 7 N. P. Vagin, N. N. Yuryshv. Pulsed chemical oxygen-iodine laser initiated by a transverse electric discharge[J]. *Quantum Electronics*, 2001, **31**(2): 127~131
- 8 N. P. Vagin, N. N. Yuryshv. A pulsed oxygen-iodine chemical laser excited by a longitudinal electric discharge[J]. *Quantum Electronics*, 2002, **32**(7): 609~613
- 9 N. N. Yuryshv, N. P. Vagin, A. F. Konoshenko *et al.*.

- Pulsed COIL with volume generation of iodine atoms in electric discharge[C]. *SPIE*, 2002, **4631**: 271~279
- 10 S. D. Elikanov, V. G. Gorelov, I. V. Gostev *et al.*. Pulsed-periodic chemical oxygen-iodine laser with active medium formation by volumetric electric discharge[C]. *SPIE*, 2007, **6346**: 63463F
- 11 Wang Zengqiang, Duo Liping, Sang Fengting *et al.*. Experimental research of near resonant energy transfer from SiO($b^3\Pi$) to Na[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 529~533
王增强, 多丽萍, 桑凤亭等. SiO($b^3\Pi$)与Na近共振传能实验研究[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4): 529~533
- 12 Liping Duo, Shukai Tang, Haijun Yu *et al.*. DC discharge characteristics and fluorine atom yield in NF₃/He[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3): 170~172

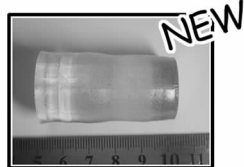


全球领先的激光晶体和非线性光学晶体制造商



磁光晶体系列

铽镱石榴石 (TGG)



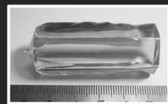
BBO Q-开关

BBO 普克尔盒的应用

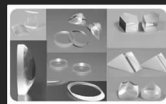
- 1、高重复频率DPSS中Q-开关的理想选择
- 2、用于高重复频率再生放大系统的控制
- 3、腔倒空系统
- 4、削波



Q开关驱动源



超长 Nd:YVO₄ 晶体



光学产品

产品系列

1. 非线性光学晶体
2. 激光晶体
3. 绿光、蓝光晶体组件
4. 声光和电光晶体
5. 双折射晶体
6. 闪烁晶体
7. 激光光学产品
8. 通讯光学产品
9. 光通讯薄膜滤光片
10. 红外光学产品
11. Q-开关、温控炉等

地址: 中国福建省福州市杨桥西路155号

电话: +86-591-83710533

传真: +86-591-83711593

Http://www.castech.com

E-mail:sales@castech.com