

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0185-03

掺氢溴化亚铜激光器动态阻抗的研究*

陈钢 潘佰良 姚志欣

(浙江大学物理系, 杭州 310027)

提要 测量和比较了溴化亚铜激光器掺氢前后的光电脉冲波形和动态等离子体阻抗。发现掺入2%的氢使放电激励的电压幅度增加了约34%,而电流脉冲幅度却下降了约23%,激励阶段激光放电管的等离子体阻抗增加了约3倍;光脉冲宽度明显增大。定性分析了产生这一现象的原因及掺氢机理。

关键词 掺氢, 动态等离子体阻抗, 光电脉冲, CuBr 激光器

中图分类号 TN248.2⁺5 **文献标识码** A

Study of the Dynamic Plasma Resistance in CuBr Laser with Hydrogen Additive

CHEN Gang PAN Bai-liang YAO Zhi-xin

(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The electro-optics pulse waveforms and dynamic plasma resistances are measured and compared with and without hydrogen additive. It is found that the peak of the discharge voltage increased about 34% and the amplitude of pulse current reduced approximately 23%, meanwhile the dynamic plasma resistance increased about 2 times with 2% hydrogen additive in Ne buffer gas. The reason for this phenomena and mechanism with hydrogen additive are discussed and presented.

Key words hydrogen additive, electro-optics pulse, CuBr laser, dynamic plasma resistance

1 引言

溴化亚铜激光放电管中掺入少量氢气可以大幅度提高激光输出功率和激光器运转效率,国内外早有实验报道^[1,2,9],并获得2.5%稳定运转的激光效率,有些文献从不同角度对掺氢的物理机制给出了定性解释^[3,4,9],但迄今为止尚未有定论,对掺氢后放电等离子体动态阻抗的专门研究还很少报道。

我们先前在以氖气为缓冲气体的流动式溴化亚铜激光器中掺适量氢使激光功率和效率提高50%^[9]。这次实验重点用固定比例的氖氢混合气体作为缓冲气体,精确地控制了掺氢比例,文献[9]也曾指出掺氢存在最佳比例。文献[7]的研究指出了等离子体阻抗在掺氢中的影响,但具体的研究没有开展,因此在以前试验的基础上专门针对等离子体阻抗开展了本次试验,实验时测量和比较激光器掺

氢前后的放电电压、电流波形,光脉冲波形和根据电压、电流脉冲采样数据经运算得到的放电等离子体动态阻抗,希望能从等离子体动态阻抗的变化规律来分析掺氢的影响及机理。

2 实验描述和结果

实验装置类似于先前报道的文献^[9],不同之处主要是缓冲气体采用了固定比例的氖氢混合气体,更能精确地控制掺氢的比例。放电电路采用普通倍压充电通过闸流管放电的电路。放电电压用 Tektronix P6015A 高压探头跨接于激光放电管电极测量(阳极接地),放电电流用 Pearson Model 410 脉冲电流转换器套接在激光放电管阳极引线上探测,快响应光电二极管测光脉冲波形。测量时仔细估算并校正光电信号在光路和电路中的延时,将电压、电流和激光脉冲信号同时显示在 Tektronix TDS754C 四通道数字存储示波器上。

实验时一直维持充电电压 4.8 kV,脉冲重复频

* 浙江省自然科学基金(698054)和激光技术青年科学基金(863-410-98-01)资助课题。

率 24 kHz, 缓冲气体 7.9 kPa, 放电管外壁通过轴向温控装置维持在 404 °C。实验分别在纯氖气和掺氢 2%、2.5% 的氖氢混合气体稳定流动的情况下进行, 待激光器稳定工作时, 测量激光管电压和电流波形, 以及激光脉冲波形, 同时记录采样数据。等离子体阻抗是由放电电压和电流脉冲的实时运算得到。这一方法已被广泛应用于激光动态等离子体阻抗的研究中^[4]。实验中三种情况的电压、电流、光脉冲波形分别被同时显示在示波器上, 并分别进行数据采样, 然后通过计算机处理将三种情况下的电压、电流、等离子体阻抗脉冲波形进行分析比较, 从而解决了实验上不能同步的困难, 实验结果如图 1~图 4 所示。

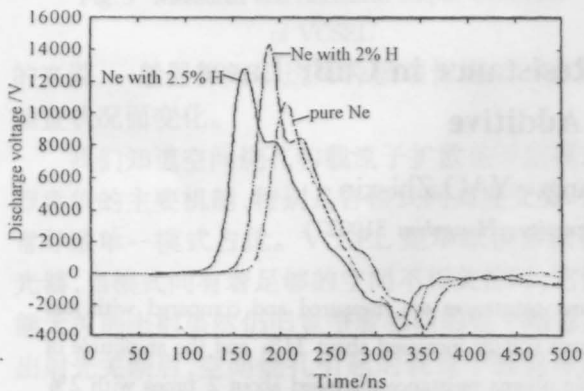


图 1 电压脉冲波形随掺氢量的变化曲线

Fig. 1 Voltage pulse waveforms with different hydrogen additive

图 1 中放电电压在纯氖时最小, 掺氢时明显增加, 掺入 2% 的氢使放电激励的电压幅度增加了约 34%, 提高了用于激励的电场强度, 从而有更多的基态原子被激发到激光上能级, 有利于激光功率的提高。但电压在 2% 的掺氢比例时又比 2.5% 的比例时大, 这说明掺氢确实存在一个最佳比例, 相同的结论在文献[9]也曾得到。

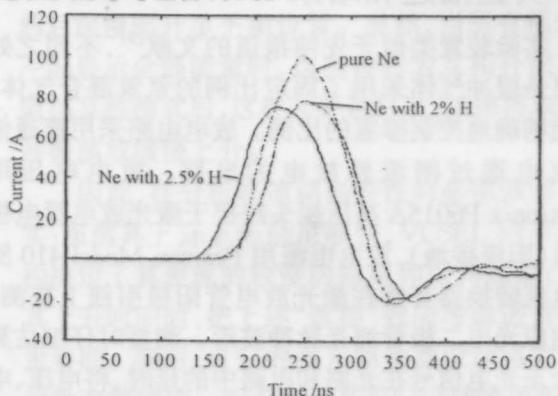


图 2 电流波形随掺氢量的变化曲线

Fig. 2 Current pulse waveforms with different hydrogen additive

图 2 与图 1 的趋势恰恰相反, 放电电流幅度在纯氖气时最大, 掺氢时明显降低, 在掺氢 2% 时电流脉冲幅度下降了约 23%, 掺氢 2.5% 比掺氢 2% 下降的稍多, 很明显氢的加入改变了放电过程的阻抗。

图 3 所示为实时计算的放电等离子体的动态阻抗波形, 最大值的时刻对应于激光管击穿的时刻。从图中可以看到, 氢的加入不但提高了等离子体阻抗, 还将击穿时刻提前了约 30 ns, 当掺氢量为 2% 时, 激励阶段激光放电管的等离子体阻抗峰值增加了约 3 倍(从 543 Ω 增加到 2150 Ω), 表明输入放电管用于激励的有功电功率在掺氢后有明显增加。

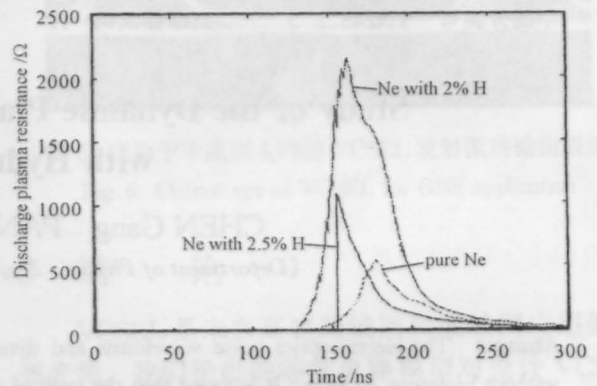


图 3 放电等离子体动态电阻比较

Fig. 3 Dynamic plasma resistances with different hydrogen additive

图 4 为激光脉冲波形图, 由于激光强度较大, 为避免损坏光电二极管, 光脉冲是通过不同衰减片后分别显示在示波器上的, 因此图 4 中的幅度大小只代表相对的激光强度。从图中可以看出掺氢后的光脉冲不但提前, 并且脉冲宽度增加了 10 ns~20 ns, 这与文献[9]得到的结论一致, 光脉冲宽度反映了出光的持续时间, 出光时间长则有利于提高光功率。这说明氢的加入使得对激光上能级的激励效率明显

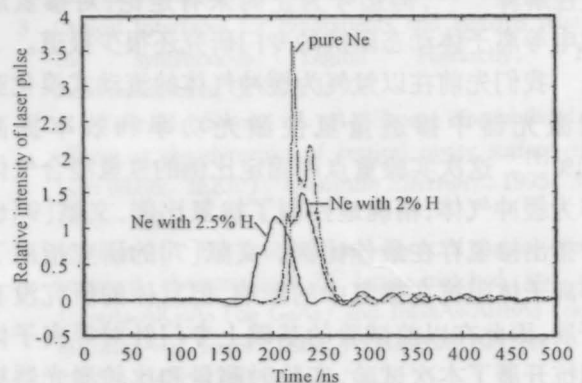


图 4 激光脉冲宽度的比较

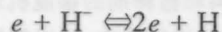
Fig. 4 The comparison of the laser pulse widths with different hydrogen additive

提高,从而反映在宏观上的结果就是激光功率的提高和激光脉冲宽度的增加。

3 讨 论

通过对以前试验的进一步完善,实验上,以固定比例氦氢混合气体为缓冲气体,测量和比较了溴化亚铜激光器掺氢前后的光电脉冲波形和等离子体动态阻抗。从图 1、图 2、图 3 可以得到一致的结论,掺氢后,导致等离子体阻抗增加,因而激光管两端电压增加,电流减小,这些宏观的变化完全吻合。

进一步研究表明氢对电子有很强的可剥离吸附作用,



这是一个可逆的过程,在放电的不同时期,其中一个过程占主要的地位,在放电余辉期,由于电子温度较低,游离态的氢也比较多,反应主要是氢对电子的吸附作用,使得电子密度减少,提高了等离子体阻抗,使处于激发态的原子和离子能快速地消激励;在放电初期,电子密度还比较低,而电子温度快速上升,于是氢负离子对电子的可剥离反应占主要地位,且这一过程的速率要比铜原子的电离速率大一个数量级以上^[7],这不但会释放出大量的电子,提高电子密

度,还有效地屏蔽了铜的电离,在放电初期使得对激光上能级的激励效率大大提高。

参 考 文 献

- 1 D. N. Astadjov, N. V. Sabotinov, N. K. Vuchkov. Effect of hydrogen on CuBr laser power and efficiency. *Opt. Comm.*, 1985, **56**(4):279~282
- 2 张桂燕,陈国彬,宋秀冬. 掺氢的溴化亚铜激光器. *激光与红外*, 1990, **20**(4):10
- 3 N. V. Sabotinov, N. K. Vochkov, D. N. Astadjov. Effect of hydrogen in the CuBr- and CuCl-vapor lasers. *Opt. Comm.*, 1993, **95**(1,2,3):55~56
- 4 程成,孙威. 周期自治的充氢溴化亚铜激光动力学模型. *物理学报*, 1995, **44**(11):1734~1745
- 5 姚志欣,潘佰良等. 实用化 10 W 溴化亚铜激光器. *中国激光*, 1996, **A23**(1):11~12
- 6 姚志欠,潘佰良,陈星等. 用于卤化铜蒸气激光放电管的电极装置. 实用新型专利(98215146.2), 1998
- 7 D. N. Astadjov, N. K. Vuchkov, N. V. Sabotinov. Parametric study of the CuBr laser with hydrogen additives. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1988, **24**(9):1927~1938
- 8 A. A. Isaev, D. R. Jones, C. E. Little *et al.*. Characteristics of pulsed discharges in copper bromide and copper HyBrID lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(6):919~926
- 9 朱加民,潘佰良,姚志欣等. 流动式溴化亚铜激光器掺氢实验. *应用激光*, 2000, **20**(1):4~6