

文章编号: 100124322 (2004) 1021274203

用于等离子体诊断的 ps 激光探针^X

秦兴武, 袁晓东, 黄 进, 徐 冰, 邓 武, 李文洪, 贾怀亭

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘 要: ps 激光探针作为激光等离子体诊断的探针光源, 它是通过两次倍频和两次受激喇曼散射, 将波长为 1 054nm、脉宽约为 1ns 激光转换成波长为 308nm、脉宽小于 30ps 的紫外光。研究结果表明: 探针光系统输出能量大于 1mJ, 脉宽小于 30ps, 均匀性较好, 运行成功率大于 90%, 满足了激光等离子体诊断的要求。

关键词: 倍频; 喇曼散射; 激光等离子体; 激光探针

中图分类号: TL65; TN24

文献标识码: A

超短脉冲激光具有很高的时间分辨率, 可在短时间内捕获等离子体像, 给出重要的物理信息, 是等离子体冕区物理诊断不可缺少的工具。在 20 世纪 80 年代, 利弗莫尔实验室^[1] (LLNL) 研制了可见光及紫外激光探针, 并利用它们对等离子体密度进行物理实验。国内在这方面也进行了研究, 但大多数采用液体^[2]作为介质, 探针光的脉宽比较宽, 稳定性较差。而我们获得的 ps 激光探针系统脉宽小于 30ps, 能量大于 1mJ, 稳定性超过 90%。

1 理论分析

介质内部有两种力学运动, 一种是介质整体的力学振动, 它是介质内弹性声波场运动, 这种宏观弹性声波振动与光波相互作用将导致布里渊散射效应; 另一种是介质内部不同质点间的相对运动, 这种内部力学运动的振动波场具有较高的频率, 但却不能沿着介质内部空间传播, 这种光频声子与光波相互作用将导致喇曼散射效应。这两种效应都是 3 阶非线性效应。受激散射具有尖锐的阈值特性, 只有达到特定阈值才会产生。受激布里渊散射有较大的稳态增益, 慢的响应 (约 1ns), 而受激喇曼散射有较小的稳态增益, 而有快的响应 (约 1ps)。一般情况下, 长脉冲泵浦易产生受激布里渊散射, 而短脉冲泵浦则易产生受激喇曼散射。在 ps 激光探针系统中, 我们采用了喇曼散射效应来对激光脉冲进行压缩和频移。对高斯型泵浦脉冲, 喇曼散射光脉宽为

$$\tau_s = \frac{\tau_p}{\sqrt{P_p g_s^{-1} \arctan(L/Z_R)}} \quad (1)$$

式中: τ_p 是泵浦光脉冲宽度; P_p 是泵浦光脉冲的峰值功率; g_s 是介质的增益系数; λ_p 是泵浦光波长; L 是由透镜焦面来测量的后向喇曼光输出距离; Z_R 是聚焦光束的瑞利长度。

而喇曼散射光的脉宽的稳定性主要取决于泵浦光的功率和泵浦光的脉宽, 由于泵浦光脉宽变化一般较小, 所以主要通过控制泵浦光的功率来提高 ps 激光探针系统的稳定性。

2 实验装置及结果

该 ps 激光探针系统采用滤波器对泵浦光的光束质量进行改进, 再利用 BBO 晶体倍频和两级喇曼池进行脉冲压缩和频移, 其光路如图 1 所示。

利用两块 I 类匹配的 BBO 晶体 (9mm × 9mm × 7mm) 对基频光进行倍频, 将波长为 1 054nm 的激光转换为 263nm 的激光, 其转换效率如图 2 所示, 实验中获得转换效率最高可达 20%。再利用两级喇曼气体介质对 263nm 的激光波长进行频移和脉宽压缩, 第 1 级 CO₂ 将波长频移至 273nm, 并将脉宽由约 1ns 压缩至约 200ps, 第 2 级 H₂ 将波长频移至 308nm, 并将脉宽压缩至 30ps 以下。

利用 CCD 对输出的 308nm 激光近场均匀性进行测量, 获得的结果如图 3 所示, 调制度小于 2.0, 其较大区域的调制度为 1.6。实验中获得泵浦光与输出激光能量及输出脉冲宽度见图 4, 从图中可以得知, 输出的 308nm 激光能量大于 1mJ, 最高输出能量超过 2mJ; 脉宽均小于 30ps, 最窄可达 15.86ps。

X 收稿日期: 2004205211; 修订日期: 2004207222

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 秦兴武 (1973—), 男, 助理研究员, 主要从事高功率激光技术研究工作; 绵阳市 9192988 信箱。

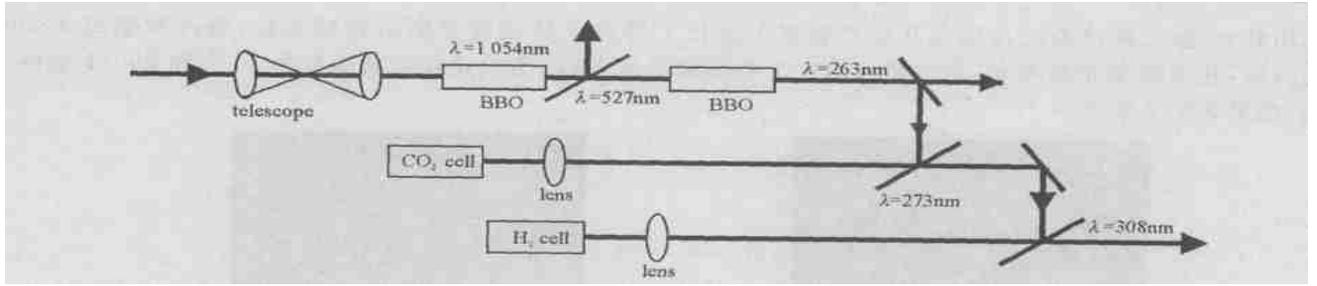


Fig. 1 Optics setup of laser probe system

图 1 激光探针光路示意图

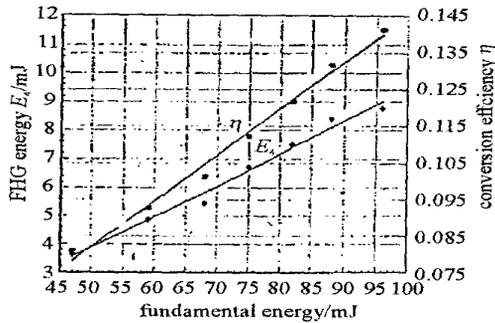


Fig. 2 Dependence of fourth harmonic energy and conversion efficiency on the fundamental energy

图 2 4 倍频光能量及转换效率与基频光能量的关系

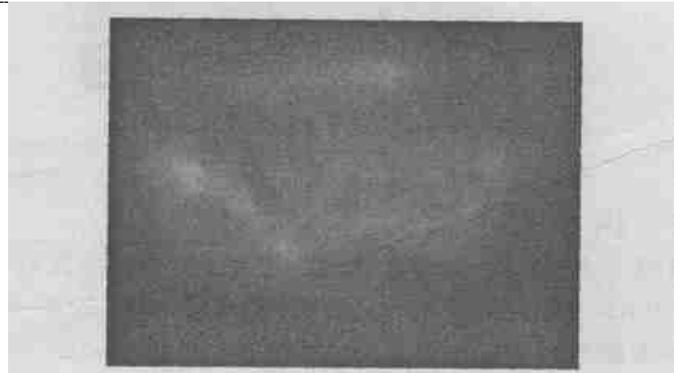


Fig. 3 Near field of 308nm ultraviolet laser

图 3 308nm 紫外光输出近场

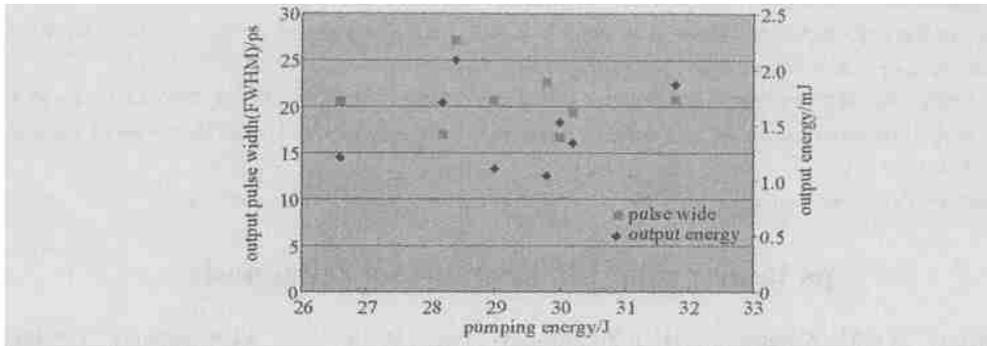


Fig. 4 Dependence of output energy and pulse width on the pumping energy

图 4 输出能量及脉宽与泵浦光能量的关系

利用精度约为 2ps 的条纹相机测量输出激光时间波形, 获得的结果如图 5 所示。其中图 5(a) 是在泵浦能量为 28.4J 条件下, 输出 308nm, 能量为 2.09mJ, 脉宽为 27ps 的时间波形; 而图 5(b) 是在泵浦能量为 31.8J 条件下, 输出 308nm, 能量为 1.86mJ, 脉宽为 20ps 的时间波形。

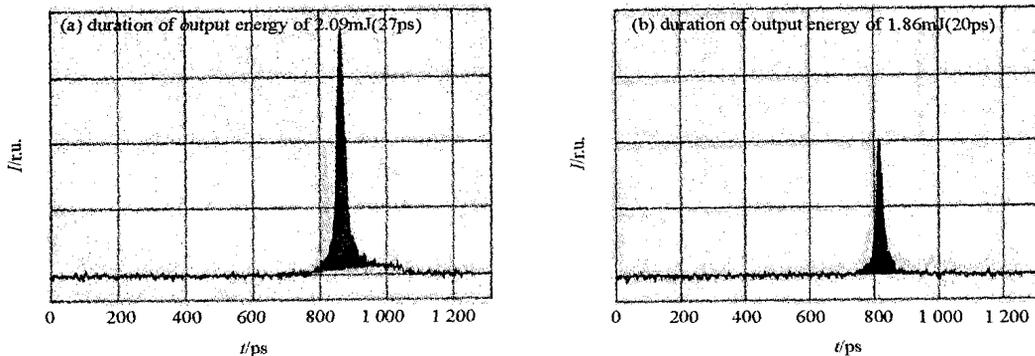


Fig. 5 Duration of output laser

图 5 输出激光时间波形

利用此 ps 激光探针系统在星光 激光装置上进行了等离子体密度诊断的物理实验,通过对输出 308nm 的激光分束,获得物光和参考光,通过靶点后在干板形成干涉条纹,实验是在泵浦能量为 30.2 和 29.8J 条件下获得的,结果如图 6 所示。

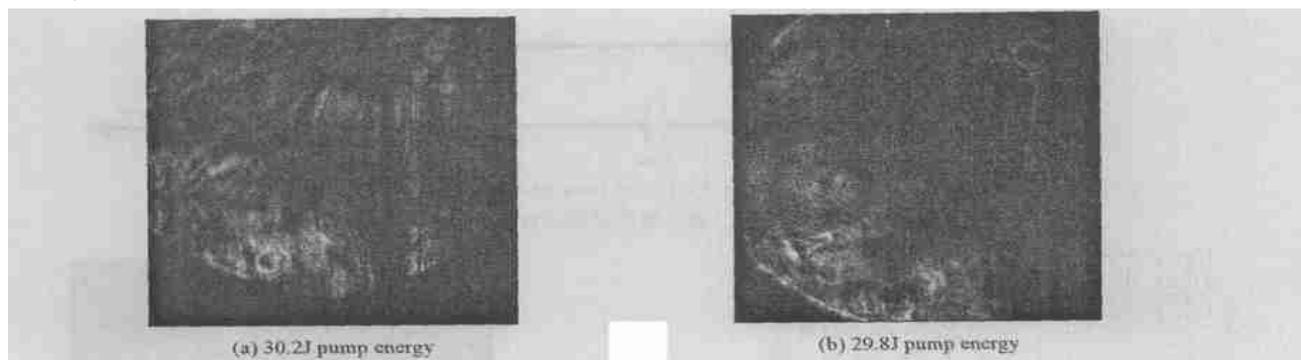


Fig. 6 Interferogram obtained in experiments

图 6 实验获得的干涉条纹图像

3 结 论

研究表明:通过对波长为 1 053nm、脉宽约 1ns 的激光两次倍频和两次压缩,ps 激光探针系统输出波长为 308nm、脉宽小于 30ps 和能量大于 1mJ 的激光,在注入光稳定的情况下,该系统运行的成功率大于 90%,可以作为激光等离子体密度诊断的探针光源,还可应用于其它领域。

参考文献:

- [1] Laser Program Annual Report[R]. Lawrence Livermore National Laboratory, 1981.
- [2] 孟绍贤,江志明,徐至展,等. 激光等离子体探针及其应用[J]. 核聚变与等离子体物理,1989,9(2):102—105. (Meng S X, Jiang Z M, Xu Z Z, et al. Laser plasma probe and application. *Nuclear Fusion and Plasma Physics*, 1989, 9(2):102—105)
- [3] 唐军,张树葵,王晓东,等. 用受激喇曼散射方法产生紫外皮秒激光探针测量[J]. 强激光与粒子束,2000,12(1):8—10. (Tang J, Zhang S K, Wang X D, et al. Ultra-violet picosecond laser probe by means of stimulated Raman scattering. *High Power Laser and Particle Beams*, 2000, 12(1):8—10)
- [4] Walter K. Solid State Laser Engineering(5) [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 564—595.

ps laser probe for laser plasma diagnosis

QIN Xingwu, YUAN Xiaodong, HUANG Jin, XU Bin, DENG Wu, LI Wenzhong, JIA Huaiqing
(Research Center of Laser Fusion, CAEP, P. O. Box 9192988, Mianyang 621900, China)

Abstract: The ps laser probe is a 308nm diagnostic light source for laser plasma diagnosis. It converts a pulse of 1ns 1 054nm into a pulse of 263nm by double times frequency conversion, then it compresses 1ns to 30ps(FWHM) and the wavelength is shifted to 308nm by stimulated Raman scattering, at last the output laser is a pulse of output energy over 1mJ and 30ps. The experimental result is that the ps laser probe is output pulse of over 1mJ energy and 30ps(FWHM), and it runs over 90% stable rate, it accords with anticipated aim.

Key words: Frequency conversion; Stimulated Raman scatter; Laser plasma; Laser probe