

复合泵浦双靶串接中等离子体的均匀性问题

张令清 韩申生 徐至展 张正泉 王晓方
范品忠 宋向阳 李儒新 陆培祥

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 在大功率激光装置(LF12)上进行的预备性复合泵浦双靶串接实验中, 利用针孔透射光栅谱仪对两路激光辐照靶产生的线状激光等离子体的均匀性进行了监测。分析和比较了单靶与串接靶线状等离子体均匀性的差异。

关键词 复合泵浦, 靶串接, 线状等离子体均匀性。

1 引 言

复合泵浦机制以其泵浦功率密度低、容易定标至短波长等优点一直倍受世界上各大 X 射线激光实验室的青睐^[1-3]。但由于复合泵浦机制对等离子体条件要求很苛刻(如等离子体的均匀性、冷却速度等), 而且目前有关激光等离子体的流体动力学过程和粒子反转动力学过程对复合机制影响的深层机理还不是十分清楚, 因而复合机制对提高 X 光激光增益系数和长度的乘积 (GL) 有些困难^[4]。

作为提高复合泵浦 X 射线激光增益的有效途径之一, 在大功率激光装置(LF12)上进行了复合泵浦双靶串接的预备性实验, 以摸清复合泵浦串接所要求的各种实验条件以及等离子体的物理特性, 为以后正式的串接靶实验作准备。实验中用针孔透射光栅谱仪对两路激光辐照靶产生的线状激光等离子体的均匀性进行了监测和分析, 并和单靶线状等离子体的不均匀性作了比较, 对正式的复合泵浦串接靶实验中的靶串接方式提出建议。

2 实 验

实验是在上海光学精密机械研究所的 LF12 大功率激光装置上进行的, 实验安排如图 1 所示。激光波长为 $1.053 \mu\text{m}$, 脉宽(FWHM)约为 100 ps, 能量约 24 J。两路激光束分别经由六柱面棱镜和 $F/1.7$ 非球面镜组成的聚焦系统形成 $20 \text{ mm} \times 120 \mu\text{m}$ 的均匀焦线, 分别同时辐照在串接的两块 Si 平板靶上。靶长均为 18 mm, 靶端相距 2 mm, 靶面间距为 $400 \mu\text{m} \sim 800 \mu\text{m}$ 不等。参考以前的实验结果并进行理论模拟优化, 实验参数以及靶的安排主要是考虑到下面几个因素: 1) 短脉冲泵浦对复合泵浦 X 射线激光更为有利, 实验中脉宽选为 100 ps; 2) 两路激光无相对延时, 考虑到 X 光在轴向方向时间匹配, 两块靶相距要适中; 3) 类 Li S^{14+}

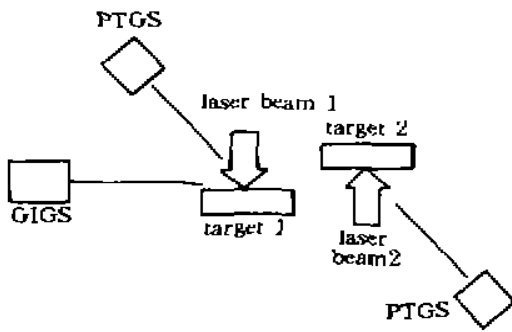


Fig. 1 Experimental setup of target-series-connection

离子的两条激光线 $4f - 3d$ 和 $5f - 3d$ 的增益空间和增益时间不同, 因而实验中要根据不同的激光线来调整两块靶面的间距。实验中所用的针孔透射光栅为无支撑型, 参数为: 针孔直径 ϕ $50 \mu\text{m}$, 1000 1/mm , 光谱响应范围为 $1 \sim 25 \text{ nm}$, 空间分辨约为 $60 \mu\text{m}$ 。针孔透射光栅谱仪 (PTGS) 分别放置在和激光束成 35° 角的侧向, 用来监视两路激光等离子体的均匀性。光谱记录在无保护膜的 X 光底片 5FW 上^[5]。轴向放置平场光栅谱仪。

3 结果与分析

对单靶单路激光、双靶双路激光两种情况下线状 Si 激光等离子体的辐射 (包括零级辐射和 L 带辐射) 均匀性进行了分析, 结果如图 2~图 4 所示, 图中纵坐标表示相对黑度值。图 2 (a) 是激光束 1 辐照靶 1 产生的线状激光等离子体的零级辐射, 可见在靶两端的辐射弱于中间, 等离子体有所谓“鱼肚皮”似的不均匀现象存在。而在双靶双路激光辐照靶时, 线聚焦激光等离子体则呈现出不同的辐射特性, 如图 2 (b) 所示。在靠近两靶的串接端部分辐射增强, 且随着泵浦能量的增加, 这种增强更加明显, 相应地, 线状激光等离子体的不均匀性也更大。双路双靶泵浦时, 将靶 1 和靶 2 的零级辐射示于同一图中 (图 3), 则在靠近两靶串接端的辐射增强现象更加明显, 即整个串接等离子体也更加不均匀。这些结果表明, 单靶和串接靶的线状等离子体具有完全不同的辐射不均匀特性, 在双靶串接中整个线状等离子体的不均匀性是十分明显的。

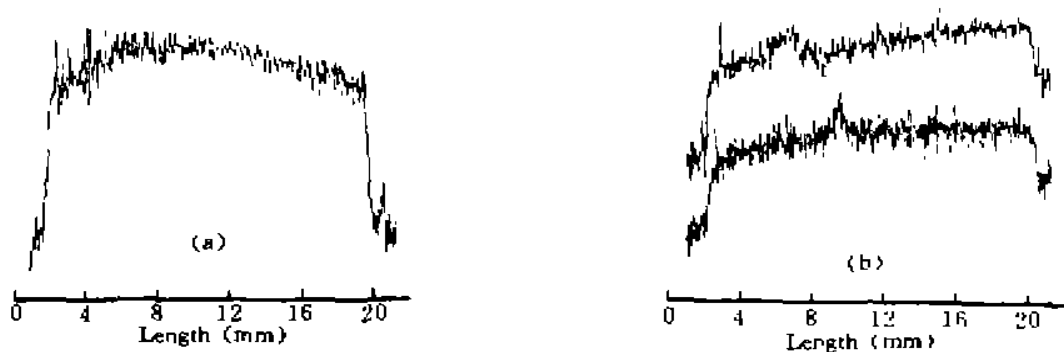


Fig. 2 (a) The nonuniformities of plasma emission under the condition of one-beam-one-target, (b) The two plasmas have similar nonuniformity emissions under similar pumping conditions

图 4 则是比较线状 Si 等离子体的 L 带辐射和零级辐射的不均匀性。很明显, L 带辐射和零级辐射具有相似的等离子体不均匀特性, 这表明对类 Li 复合机制很重要的 L 带辐射的均匀性并没有因激光等离子体的膨胀等时间演化过程而得到改善。

造成这种线状等离子体不均匀性的原因可能有两个方面: 1) 由于光路上的原因, 致使泵浦光在串靶的靠近端反射而产生对相邻靶的二次泵浦; 2) 两块串接靶边缘辐射及轴向辐射的相互影响。

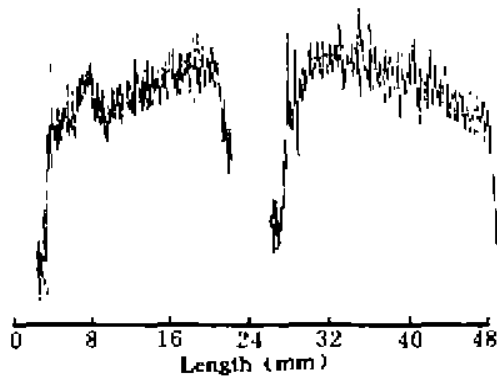


Fig. 3 The plasma emission nonuniformities under the two-target-coupling condition

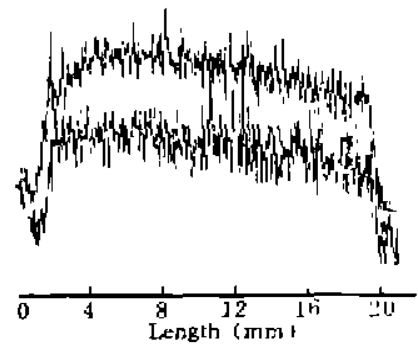


Fig. 4 Comparing of the nonuniformities of the zero order emission and the L band emission of Si plasmas, zero order, upper; L band, lower

理论模拟和实验结果都表明, 线状等离子体的均匀性对复合泵浦 X 射线激光增益系数的影响非常大^[6~8]。为了避免可能由于串接靶端面相距太近而造成的各自靶辐射均匀性的相互影响而带来的线状等离子不均匀性的增大, 需要适当增大间距, 由此造成的靶之间增益时间上的不匹配, 可以相应增加两路激光束之间的时间延迟来补偿。

结 论 在复合泵浦双靶串接的预备性实验中, 通过针孔透射光栅光谱仪对串接的线状等离子体的不均匀性监测, 获得了完全不同于单靶线状等离子体的辐射不均匀性的结果。显然, 这种不均匀性不利于复合泵浦 GL 值的提高。这表明, 要在复合泵浦靶串接实验中获得较大的 GL 值, 除了在加强理论模拟的基础上, 对靶串接中的各参数进一步优化之外, 还需要实时地获取监测数据, 并对数据进行现场分析。这对指导增益实验的成功是十分必要的。

参 考 文 献

- [1] Z. Z. Xu, P. Z. Fan, *et al.*, Short wavelength lithium-like X-ray laser development at Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics (SIOFM), X-Ray Lasers 1992; *Proc. 2nd Internat. Colloquium on X-ray Lasers*, edited by E. E. Fill, Hilger, Bristol, England, 1992: 75
- [2] P. Jaegle, G. Jamelot, *et al.*, Soft-X-ray amplification by lithiumlike ions in recombining hot plasmas, *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1987, 4: 563
- [3] J. C. Moreno, H. R. Griem, *et al.*, Measurements of gain and line broadening in lithium-like aluminum, *Phys. Rev. (A)*, 1989, 39: 6033
- [4] C. J. Keane, Soft X-ray laser source development and applications; Worldwide progress, *Proc. SPIE*, 1991, 1551: 2
- [5] P. X. Lu, P. Z. Fan, Z. Z. Xu *et al.*, A Simple in situ calibration technique for soft x-ray film, *Rev. Sci. Instrum.*, 1993, 64(10): 2879
- [6] G. Jamelot, A. Carillon, *et al.*, X-ray laser using lithium-like recombination scheme; effects of plasma inhomogeneity, X-Ray Lasers 1992; *Proc. 2nd Internat. Colloquium on X-Ray Lasers*, edited by E. E. Fill, Hilger, Bristol, England, 1992: 89
- [7] J. C. Kieffer, M. Chaker, *et al.*, Effects of beam nonuniformities on line focus plasma conditions, X-Ray Lasers 1990; *Proc. 2nd Internat. Colloquium on X-Ray Lasers*, edited by G. J. Tallents, Hilger, Bristol, England, 1991: 347
- [8] M. Nantel, J. C. Kieffer, *et al.*, Inhomogeneity issues in germanium X-ray laser plasmas, X-Ray Lasers 1992; *Proc. 2nd Internat. Colloquium on X-Ray Lasers*, edited by E. E. Fill, Hilger, Bristol, England, 1992: 353

Linear Plasma Nonuniformity in Two-Target-Coupling Experiment for Recombination Pumping Schemes

Zhang Lingqing Han Shensheng Xu Zhizhan Zhang Zhengquan

Wang Xiaofang Fan Pinzhong Song Xiangyang Li Ruxin Lu Peigxiang

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

(Received 12 January 1995)

Abstract This paper presents the measurements and analysis of linear plasma nonuniformities in the preliminary two-target-coupling experiment for the recombination pumping schemes performed on the LF12 laser facility. A pinhole transmission grating spectrograph (PTGS) was used to monitor the linear plasmas. Quite different nonuniformity features were observed between linear plasmas produced by one target and two-target-coupling. The effects of plasma nonuniformity on GL (product of gain and length) value are of great importance.

Key words recombination pumping, two-target-coupling, nonuniformity of line-shaped laser plasma