

激光辐照双段靶引起的界面电子密度 极不均匀分布和强 X 射线发射

冯贤平 徐至展 陈时胜 江志明 陆培祥 余玮 李跃林

(中国科学院上海光机所, 201800)

摘要: 由激光辐照双段靶产生的等离子体特性分析, 结果表明, 在段靶间隙区域具有很高的电子密度且分布极不均匀, 并发射极强的 X 射线。

关键词: 电子密度分布, 强 X 射线发射

Inhomogeneous distribution of electron density and strong X-ray emission by laser irradiated segmented planar target

*Feng Xianping, Xu Zhizhan, Chen Shisheng, Jiang Zhiming,
Lu Peixiang, Yu Wei, Li Yaolin*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Characteristics of plasma produced by laser irradiated segmented planar targets show that there are inhomogeneous distribution of high electron density and strong X-ray emission in the gaps of segmented planar targets.

Key words: distribution of electron density, strong X-ray emission

在实现惯性约束激光聚变和以等离子体作为激活介质的 X 射线激光研究中, 等离子体应具有较均匀的分布状态, 以满足聚变的内向压缩和 X 激光的放大要求^[1]。然而, 在实际情况中有许多机制可能会破坏等离子体的均匀性^[2]。为了克服这些不利因素, 研究和了解引起这些等离子体不均匀性的起因和内在机制是极为重要的。

本文报道在高功率钕玻璃激光辐照金属双段靶的实验中, 用可见光探针和 X 光针孔相机研究断(段)靶交界面处的等离子体动力学性质和辐射特征, 结果表明: 1) 在靶交界面区域的等离子体具有很高的电子密度且分布极不均匀; 2) 该域发射的 X 射线比无缝区域强得多。

实验是在上海光机所 6 路钕玻璃激光装置上进行的。采用 2 路激光合并成 1 路, 激光输出的波长 $1.06 \mu\text{m}$, 脉宽 250 ps, 能量在 4~25 J 可变。激光经非球面和柱面的组合镜, 在靶面形成长约 1.6 mm、宽为 0.1 mm (半功率点) 的聚焦区, 靶面功率密度范围为 $(1\sim6) \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ 。

实验中, 靶材为铝、铜、金元素, 其基本结构是由各元素组成的双段靶, 如图 1 所示。在靶

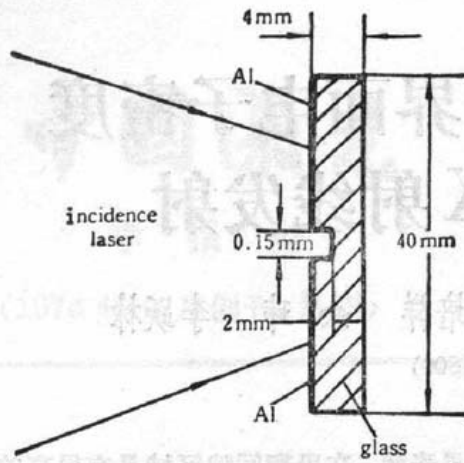


Fig. 1 Schematic of the experimental setup for line-focused laser irradiation segmented planar target



Fig. 2 LXP intensity distribution of line-focused laser irradiation Al-Al segmented planar target

的侧面,安排了5时间分幅的光探针成像诊断系统^[3]和X光针孔相机^[4],用于研究双段靶的冕区等离子体中的不均匀性质及其辐射特征。

图2是用功率密度为 $5 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ 的激光辐照铝的双段平面靶,从X光针孔相机得到的激光等离子体X射线(LPX)光场分布图。从中可见,在靶的交界间隙区域,有明显的X射线光场存在,其横向尺寸为 $100 \mu\text{m}$,纵向尺寸约为 $200 \sim 250 \mu\text{m}$ 。图3是用探针系统同时得到的阴影图,光探针方向垂直于打靶激光焦线,当延迟时间 $\Delta t = 1.7 \text{ ns}$ (探针光脉冲与打靶激光脉冲峰值之间的延迟)时,图3表明,在二个热等离子体的交界处存在较大的等离子体喷流结构,喷流方向与X光场分布方向一致,均垂直于靶表面。但在金双段或铜双段靶等离子体实验中,从诊断系统得到的干涉图(图4)表明在槽域处的等离子体密度很大。



Fig. 3 Shadowgram of plasma produced by laser irradiated Al-Al segmented target. The probing beam is orthogonal to 1.6 mm-long focal line; delay time relative to the peak of laser is 1.7 ns; amplification is 60

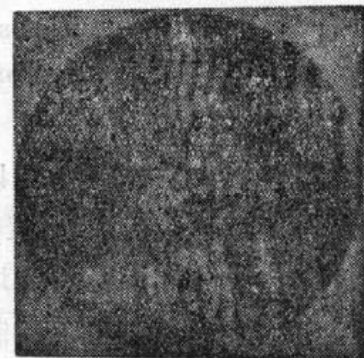


Fig. 4 Interferogram of plasma, corresponding to Fig. 3

在凹槽内侧的黑白条纹变化要比外面无缝域上的条纹复杂得多,即槽域的电子密度大^[3]。这个结果与上述实验现象是一致的,不同的是金双段靶的等离子体喷流结构并不明显,此外在该区域也没有发现有强X射线发射现象。这是由高Z离子质量较大,不易使等离子体内的粒子发生强相互作用所造成的。

在双段靶实验中,我们曾在平行于丝线方向上施加幅值约 5000Gs 的直流磁场,以研究直流磁场对交界面处等离子体特性的影响。但没有明显的奇异现象,这可能是由于磁场幅值太小的原因。

通过上述结果分析,可以得出在双段靶实验中存在着强辐射特性和大喷流结构,主要是由于入射激光无法对这种结构靶进行全面加热所致。在等离子体与等离子体之间交界处,由于靶结构的不完全对称性和加热的不均匀性,等离子体存在很大的温度和密度梯度,导致等离子体出现大的热流,故因热流的出现,激发起等离子体不稳定性^[3,5],从而导致高温电子与离子、等离子体与等离子体间的强相互作用,最终形成这种大尺度等离子体喷流和强 X 射线辐射。

除了上述结果外,本文对低功率激光辐照铝及各种组合段靶也进行了测量,图 5 是以功率面密度为 $2 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ 的激光辐照铝双段靶获得的等离子体阴暗图。从此结果可发现在凹槽域内有类似的小等离子体喷流结构,但没有上述明显,同样在间隙区域也没有发现有较强的 LPX 发射现象,这可能是由于本实验条件下的激光辐照功率密度太小,无法产生足够高温的热等离子体,从而也就限制了等离子体在凹槽内发生强相互作用所致。

本实验曾得到 6 路实验组同志的大力支持,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 P. Jaegle *et al.*, *J. Opt. Soc. Am. B*, **4**(4), 563~574 (1987)
- 2 M. G. Haines *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **47** (3), 917~920 (1981)
- 3 Z. Z. Xu *et al.*, *Phys. Rev. A*, **39** (2), 808~813 (1989)
- 4 冯贤平 *et al.*, 量子电子学, **5** (4), 332~336 (1988)
- 5 江志明 *et al.*, 中国科学 A 辑, (4), 313~318 (1989)



Fig. 5 Shadowgram of plasma, corresponding to Fig. 3 and 4, but its laser intensity is 0.4 times those in Fig. 3 and 4