

文章编号: 1007-4627(2006)01-0059-03

527 nm 激光辐照盘靶背向散射能量测量*

王传珂^{1,2}, 刘慎业¹, 王哲斌^{1,3}, 蒋刚², 况龙钰¹, 李文洪¹, 蒋小华¹, 刘永刚¹, 汤小青¹

(1 中国工程物理研究院激光聚变研究中心高温高密度等离子体国家实验室, 四川 绵阳 621900;

2 四川大学原子与分子物理研究所, 四川 成都 610065;

3 中国科学技术大学近代物理系, 安徽 合肥 230027)

摘要: 在星光 II 激光装置上, 测量了脉宽 1 ns、能量 40—110 J 的 527 nm 激光在不同条件下辐照 Au 盘靶、Al 盘靶的背向散射能量。结果表明: 激光辐照 Au 盘靶时, 在聚焦条件下背向散射能量约占打靶激光能量的 7.8%; 在束匀滑条件下背向散射能量份额下降到 6.2% 左右, 证明了束匀滑可有效抑制背向散射。对比 Au 盘靶、Al 盘靶背反能量与打靶激光能量关系曲线, 可以看出背向散射能量与打靶激光能量基本上成线性关系。

关键词: 激光等离子体; 激光散射; 背向散射; 圆盘靶

中图分类号: O536 **文献标识码:** A

1 引言

短波长激光与靶耦合具有较高的吸收效率、高的 X 光转换效率、弱的散射和低水平的不稳定性。近 10 年来, 国内外开展了大量的 351 nm 作为驱动源与靶耦合的实验, 获得了丰富的实验数据。随着惯性约束聚变(ICF)研究的深入, 研究人员发现当激光达到很高的通量后, 351 nm 紫外光会很容易严重损坏伺服反射镜、聚焦靶镜等光学器件。因此美国国家点火装置(简称 NIF)正考虑用 527 nm 激光替代 351 nm 激光打靶, 以避免在器件运行过程中对光学元件的损坏。

近年来, 美国 LLNL 实验室、英国 AWE 实验室相继开展了多项 527 nm 打靶相关实验^[1-4], 获得了许多有价值的实验数据, 发现了许多新的物理现象。使用 527 nm 光作为打靶激光在 NIF 装置上进行了实验研究, 结果显示在达到点火这一目的方面存在许多潜在的优势。所设计的靶丸能够吸收较强的能量、有较大的燃料聚集, 从而可能获得较高的增益达到点火。不幸的是, 强 $I\lambda^2$ 值和长尺度会带来破坏性的参量不稳定性、成丝效应、受激喇曼散射(以下简称 SRS)、受激布里渊散射(以下简称 SBS), 背向散射会降低腔靶转化效率及对称性。

SRS 所产生的超热电子会灾难性地预热靶丸。解决这个问题必须获得可靠的 527 nm 光在长尺度、低密度等离子体中的传输及背向散射数据。

国内在星光 II 和神光 I、神光 II 装置上开展了大量 1 053 和 351 nm 激光辐照盘靶和腔靶实验^[5-7], 获得了大量的实验数据。使用 527 nm 激光进行激光靶耦合实验只在神光 I 装置上进行过一轮实验^[8,9], 数据较少, 特别是对不稳定性研究很少, 所有的理论推断都基于有限的一些旧数据。本工作研究了 527 nm 激光与盘靶的耦合规律, 测量了 527 nm 激光在不同条件下辐照 Au 盘靶、Al 盘靶的背向散射能量。

2 实验条件和布局

实验是在中国工程物理研究院星光 II 装置上进行的。激光波长为 527 nm(钕玻璃激光), 脉宽为 1 ns, 信噪比 $\geq 10^6$ 。实验靶型有 Au 盘靶和 Al 盘靶, 其中对于 Au 盘靶, 以正入射聚焦、正入射匀滑聚焦两种方式打靶, 靶放在激光焦点处, 相应激光焦斑直径分别为 $\phi 250 \mu\text{m}$ 和 $\phi 300 \mu\text{m}$; 激光以正入射匀滑聚焦方式辐照 Al 靶, 靶放在主束焦点后 250 μm 处。实验中用针孔相机测量激光焦斑, 典型的

收稿日期: 2005-08-02; 修改日期: 2005-09-12

* 基金项目: 国家 863 计划资助项目(863-804-3)

作者简介: 王传珂(1981-), 男(汉族), 山东兖州人, 硕士生, 从事激光靶耦合实验诊断研究; E-mail: chuanke_w@sina.com

测量结果如图 1 所示。

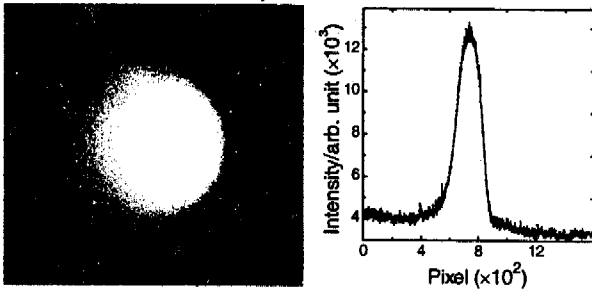


图 1 针孔相机监测的激光焦斑

实验测量主要采用在主光路搭建背向散射收光系统，配激光能量卡计测量背向散射激光。实验布局如图 2 所示：高功率激光脉冲聚焦在固体靶材料上，产生高温高密度等离子体。等离子体的背向散射光经打靶透镜(束匀滑时还要经过阵列透镜)打在取样镜上，被取样镜反射后由凹面镜进行收集，激光能量卡计放在凹面镜的焦点上进行测量。背向散射收光系统测量透镜立体角范围内的散射激光。

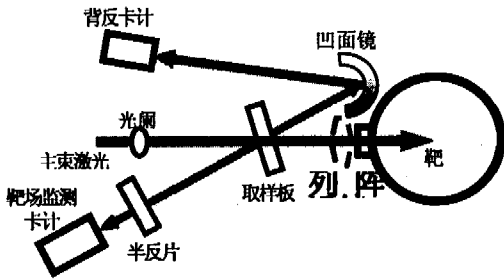


图 2 背向散射光测量实验布局图

3 实验结果和分析

实际实验中背反卡计收集的散射光来自两部分，除背向散射光外，还有一部分为主激光打在打靶透镜(束匀滑时还有阵列透镜)上镜面反射的光。打靶透镜收集到的散射光的能量测量精度取决于卡计和光路系统传输系数的标定。为此，实验前先用模拟光标定背反测量光路比例系数 k_1 和靶场损耗系数 k_2 ，背向散射光能量 E_{back} 为

$$E_{back} = (E_{cal} - E_{laser} \times k_2) \times k_1, \quad (1)$$

其中， E_{cal} 为实验中激光能量卡计测量所得值； E_{laser} 为打靶激光能量，由靶场测量给出。根据式(1)可计算出背向散射光能量。为提高测量精度，背反能量卡计在实验前经过精密标定。

现有的理论和实验均表明短波长、长脉冲和高 Z 靶材料的激光吸收主要是逆切致吸收。产生散射的机制很多，如 SBS, SRS 和镜向散射等。这些机制中包含了离子声波和朗缪尔波的激励与产生，这些波会将入射激光能量的很大一部分散射掉，从而降低了激光的吸收效率。图 3 左边给出了激光以正入射聚焦和正入射匀滑聚焦两种形式辐照 Au 盘靶背向散射能量规律图。激光辐照 Au 盘靶时，在聚焦条件下背向散射能量约占打靶激光能量的 7.8%；在束匀滑条件下背向散射能量份额下降到 6.2% 左右。实验结果表明，束匀滑技术可有效抑制背向散射等参量的不稳定性。束匀滑的方法国外报道的有很多种，本实验中采用阵列透镜(The Lens Array)对激光光束进行匀滑。由于激光束的不均匀，较高强度的局部区域是可能出现的，而高强度更容易驱动 SBS，所以无束匀滑时 SBS 较大，背向散射光较强。束匀滑时，激光通过阵列透镜后不同位置的激光具有不同的相位差，将不能形成一致的空间干涉

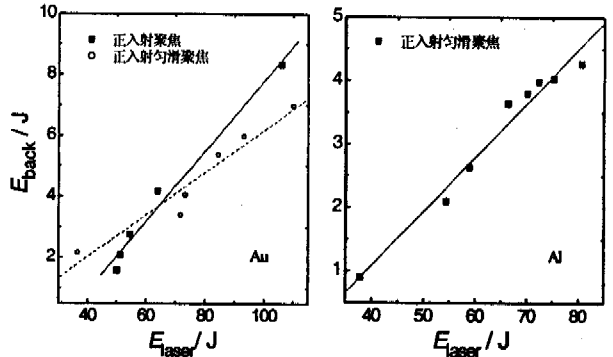


图 3 激光辐照 Au 靶(a)和 Al 靶(b)背向散射规律

图样，这就可以在一定程度上抑制空间相干性导致的大尺度不均匀性，从而减小高于平均强度的相互作用区域。束匀滑改善了光束质量，使得入射激光强度分布变得均匀，较高强度的局部区域变小，SBS 随之减小，背向散射光较弱。

研究表明，低 Z 物质具有较强的散射和较高的不稳定性。即在相同条件激光辐照固体靶时，Al 靶产生的散射光要比 Au 靶产生的散射光强一些。值得注意的是，在激光正入射匀滑聚焦辐照 Al 靶情况下，本实验中测量得到的背向散射能量约占打靶激光能量的 4.9%，比同条件下 Au 靶背向散射还要弱(如图 3 右边所示)。根据实验中针孔相机监测的焦斑，可以看出激光正入射匀滑聚焦辐照 Al 靶时(Al 靶放在主束焦点后 250 μm)，焦斑约 $\phi 350$

μm , 大于同条件辐照 Au 靶时的焦斑 $\phi 300 \mu\text{m}$ (Au 靶放在主束焦点位置)。焦斑变大, 导致激光功率密度变小, 从而导致散射光较弱。离焦打靶的方式可以降低非线性效应, 这一点可解释上面的结果。由图 3 的拟合曲线可看出, 无论是 Au 靶还是 Al 靶, 背向散射能量和打靶激光能量基本呈线性关系。

4 结论

本文报道了在星光 II 激光装置上完成的脉宽约

1 ns、能量 40—110 J 的 527 nm 激光在不同条件下辐照 Au 盘靶、Al 盘靶的背向散射能量的测量结果。结果表明: 激光辐照 Au 盘靶时, 在聚焦条件下背向散射能量约占打靶激光能量的 7.8%; 在束匀滑条件下背向散射能量份额下降到 6.2% 左右, 证明了束匀滑可有效抑制背向散射。对比 Au 盘靶、Al 盘靶背反能量与打靶激光能量关系曲线, 可以看出背向散射能量与打靶激光能量基本上成线性关系。

参 考 文 献:

- [1] Stevenson R M, Suter L J, Oades K, *et al.* Phys Plasmas, 2004, 11, 2 709.
- [2] Suter L J, Glenzer S, Haan S, *et al.* Phys Plasmas, 2004, 11, 2 738.
- [3] Meezan N B, Divol L, Marinak M M, *et al.* Phys Plasmas, 2004, 11, 5 573.
- [4] Stevenson R M, Oades K, Thomas B R, *et al.* Phys Rev Lett, 2005, 94: 055006.
- [5] 祁兰英, 梅启塘, 赵雪薇等. 强激光与离子束, 1996, 8(2): 303.
- [6] 刘慎业, 滕 浩, 丁永坤等. 物理学报, 1997, 46(10): 1 917.
- [7] 祁兰英, 蒋小华, 赵雪薇等. 物理学报, 2000, 49(3): 492.
- [8] 丁永坤, 郑志坚, 唐道源等. 强激光与离子束, 1996, 8, 215.
- [9] 刘慎业, 陈涵德, 唐道源等. 光学学报, 1997, 17(4), 94.
- [10] 张家泰. 激光等离子体相互作用物理与模拟. 河南: 河南科技出版社, 1999.

Backscattered Light from Interaction of 527 nm Laser with Au and Al Disk Targets*

WANG Chuan-ke^{1,2}, LIU Shen-ye¹, WANG Zhe-bin^{1,3}, JIANG Gang², KUANG Long-yu¹, LI Wen-hong¹,
JIANG Xiao-hua¹, LIU Yong-gang¹, TANG Xiao-qing¹

(1 National Key Laboratory of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics,
Mianyang 621900, Sichuan, China;

2 Atom and Molecule Physics Institute, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

3 Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: Au and Al disk target were irradiated with ~ 1 ns, 40—110 J, 527 nm laser at Xingguang-II facility. The backscattered lights by laser-produced plasma were studied experimentally. The results are introduced in this paper. Backscattered light energy is 7.8% of laser energy when laser is focused on Au disk target; when laser beam is smoothed, it is 6.2%. The comparison shows that laser smoothing can restrain backscattered light efficiency. The experimental results also show that there is a linear relation between backscattered light energy and the laser energy.

Key words: laser-produced plasma; laser scattering; backscattered light; disk target