

宽带激光辐照平面薄膜靶的近前向散射^{*}龙欣宇 王佩佩 安红海 熊俊 谢志勇 方智恒 孙今人[†] 王琛[‡]

(中国工程物理研究院上海激光等离子体研究所, 上海 201800)

(2023 年 10 月 7 日收到; 2024 年 3 月 27 日收到修改稿)

激光等离子体相互作用 (LPI) 过程一直以来是惯性约束聚变 (ICF) 点火中重要的研究内容, 宽带激光在理论上一直以来被认为具有抑制 LPI 的潜力. 宽带二倍频激光装置——“昆吾”, 为实验研究宽带激光 LPI 效果提供了可靠的实验研究平台. 针对大尺度低密度等离子体的 LPI 过程中强烈的受激布里渊散射和受激拉曼散射信号, 开展了相同条件下宽带和窄带激光驱动 C_6H_6 平面薄膜靶的透过激光、前向散射和大角度近前向散射的实验研究. 主要针对宽带和窄带激光前向透过信号的组分和近前向散射的光谱及份额信息进行对比研究, 发现宽带和窄带激光驱动的 LPI 过程具有显著差异. 同时, 初步结果显示宽带激光相比于窄带激光体现出更强的穿透能力, 烧蚀靶并穿过等离子体的时间提前了近 1 ns, 透过能量提升了近 10 倍, 穿透等离子体后有更小的空间发散角. 这些结果对于更好地理解宽带激光对于 LPI 的作用效果具有很好的参考价值.

关键词: 激光等离子体相互作用, 宽带激光, 受激布里渊散射, 受激拉曼散射**PACS:** 52.38.-r, 52.35.Mw, 52.38.Bv**DOI:** 10.7498/aps.73.20231613

1 引言

美国国家点火装置 (NIF) 点火成功标志着惯性约束聚变 (ICF) 研究进入了新的阶段. 尽管点火成功了, 但进一步的高增益点火研究依然任重道远, 其中的一些关键问题, 如激光等离子体相互作用 (LPI) 仍然需要深入研究^[1-3]. 在 ICF 的间接驱动方法^[4]中, 黑腔内部充满了不同成分的等离子体, 强光束必须通过这些大尺度的等离子体才能将能量沉积在所需的位置^[5], 被腔壁的高 Z 材料吸收并将能量转化为软 X 射线, 辐照在靶丸上, 通过烧蚀压驱动聚变靶丸内爆^[6]. 其中, 激光穿过的大尺度等离子体长度约为数毫米, 密度为钨玻璃三倍频激光的 10% 临界密度面附近. 在此过程中会产生多种 LPI 过程, 如背向的受激布里渊散射 (SBS)^[7,8]、受激拉曼散射 (SRS)^[9,10] 等过程会造成入射激光能量的直接损失; 而前向^[11]和侧向^[12]散射, 会引起

腔内等离子体分布混乱、超热电子预热靶丸等现象, 影响靶丸压缩不对称和内爆效果. 因此, 如何降低 SBS, SRS 等 LPI 相关过程的份额, 一直是重要的研究课题.

为了抑制 SBS, SRS 等 LPI 过程, 数十年来国内外多家研究机构, 从调整驱动激光状态和优化等离子体状态两个方向出发, 进行了大量的理论和实验研究工作^[13]. 在调整驱动激光状态^[14,15]方面, 发展了诸如时间上的光谱色散束匀滑 (SSD)、诱导空间非相干 (ISI), 空间上的连续相位板 (CPP)、随机相位板 (RPP), 以及偏振束匀滑 (PS) 等多种束匀滑手段; 而在优化等离子体^[16]方面, 发展了多种腔靶构型、多种充气方案等方式, 来共同抑制 LPI 的相关过程.

多年来, 激光技术的发展使得宽带激光由理论到实验再次进入人们的视野. 通过增加驱动激光的带宽, 可以减低驱动激光的相干性和等离子体感受到的有效光强度, 甚至可能破坏参量不稳定性的相

^{*} 国家自然科学基金 (批准号: 12074353, 12075227) 资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: sunjinren@263.net

[‡] 通信作者. E-mail: wangch@mail.shcnc.ac.cn

位匹配条件, 因此有望抑制相关过程的发展. 通常认为当激光带宽远大于参量不稳定的增长率时, 参量不稳定的增长能够得到有效抑制, 为此, 研究者们进行了大量的计算模拟工作. 赵耀等^[17–19]利用宽带解耦激光模型研究了宽带激光对于SBS, SRS和TPD的影响; 周泓宇等^[20]发现宽带激光可有效地抑制非线性时间以前的SRS不稳定性; Bates等^[21]模拟发现宽带激光需要1.5%的带宽来降低绝对TPD和SRS; 刘庆康等^[22]使用强度调制宽带激光模型证实了其抑制高频不稳定性的可行性. 这些研究结果表明, 驱动激光带宽的增加确实可能大幅度抑制LPI相关过程的发展, 但这些研究均为理论和数值模拟研究, 并没有具体的实验数据支撑.

基于超辐射发光二极管(SLD)技术, 上海激光等离子体研究所近年已建成输出能量达到数百焦耳的宽带二倍频激光装置——“昆吾”^[23], 为宽带激光抑制LPI过程的实验验证提供了可靠的研究平台. 在此激光平台上, Wang等^[24]发现宽带激光器对背向SBS和背向SRS均有明显的抑制作用, 同时发现了超热电子的异常现象; Lei等^[25]针对宽带激光对于背向SBS和背向SRS的抑制作用做了初步的解释. 本文基于“昆吾”激光装置, 开展了宽带与窄带激光分别驱动 C_8H_8 平面薄膜靶的透过激光、前向散射、近前向散射的对比实验研究^[26–28], 通过对前向、近前向的SBS和SRS信号进行分析, 对宽带激光产生的LPI相关过程进行了初步探索.

2 研究方法与实验方案

实验在上海激光等离子体研究所的“昆吾”宽带二倍频激光装置上开展. “昆吾”装置种子源采用SLD技术, 具有数百焦耳量级的宽带二倍频

激光输出能力, 可以输出波长约530 nm、带宽约3 nm的瞬时宽带激光(即在激光脉冲持续的每一时刻, 激光始终具有约3 nm的带宽, 对应的相干时间小于300 fs). 可提供激光脉冲宽度为3–3.5 ns, 输出能量约700 J的宽带二倍频激光用于物理实验研究. 为了进行对比实验, “昆吾”装置还具备传统的高相干窄带激光输出能力. 通过切换不同的种子源, 在保证脉冲宽度、输出能量和光束波面等参数基本一致的情况下, 可输出波长约526.5 nm、带宽小于0.3 nm的高相干窄带激光.

实验方案如图1所示, 单束窄带或宽带二倍频激光经过最后一块伺服反射镜反射后进入靶室, 聚焦后正入射辐照平面薄靶. 驱动的宽带和窄带激光实验条件一致, 均为方波, 脉冲的半高全宽约3.5 ns, 能量600–700 J. 为保证聚焦条件的一致性, 实验中采用混合型分布相位板(CPP), 设计的焦斑直径为 $\Phi 150\ \mu\text{m}$, 对应靶面功率密度约 $1 \times 10^{15}\ \text{W}/\text{cm}^2$. 实验采用的平面薄靶材料为 C_8H_8 , 厚度约10 μm . 对于这个厚度的 C_8H_8 靶, 只需要驱动激光前数百皮秒的脉冲即可烧穿, 并逐步膨胀形成较大尺度的等离子体, 脉冲后沿的激光继续与这些等离子体相互作用, 引发多种LPI相关过程的发展. 本文主要关注宽带激光的穿透能力, 以及相关LPI过程中的前向和近前向散射.

对于前向光信号的测量主要采用了两种手段, 一是能量卡计, 二是基于漫反射板的散射光测量系统. 经过靶等离子体后, 入射激光的前向光信号是有所发散的, 在其后放置适当位置放置焦距合适的收集透镜, 使得能够收集到全部的前向光, 并进行适当地聚焦. 在聚焦透镜后45°放置未镀膜的平板玻璃, 少部分光穿透平板玻璃进入能量卡计, 用于测量总能量; 大部分平板玻璃的反射光再次经过另

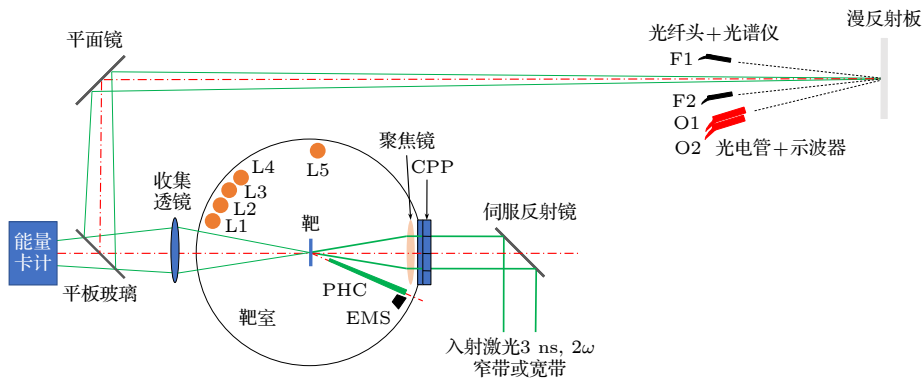


图1 实验方案示意图

Fig. 1. Sketch of the experimental setup.

一块平面镜反射后, 照射在漫反射板上, 通过调整光路可使得散射光在漫反射板上的光斑投影尺寸足够小, 以适应多种诊断设备的测量. 漫反射板的表面经过特殊处理, 光束照射在表面上会发生漫反射, 漫反射光的波谱不变, 强度按照特定的规律分布. 因此通过在特定的方向上记录漫反射的信号, 经过标定和后期处理, 就可以得到入射光束的波谱、能量等信息. 具体实验中, 采用 2 组 4 套探测器测量漫反射板上的散射光信号: 第 1 组探测器为光纤头和光谱仪的组合, 收集漫反射板上信号并经过适当衰减后进入光栅光谱仪. 光谱仪选用 150 线对光栅, 中心波长选择 750 nm 之间时, 对应的光谱测量范围可以涵盖 500—1000 nm 的波段, 可以同时测量到 SBS 信号和 SRS 信号. 第 2 组探测器为光电管和示波器的组合, 光电管收集漫反射板上的光斑信号, 经过适当衰减后在示波器上分别采集到 SBS 与 SRS 信号.

对于光锥外的大角度近前向光信号, 则主要使用了靶室内多点光信号的测量系统. 如图 1 所示, 在靶室内不同角度放置了 4 个探测器 L1—L4, 与激光前进方向的角度依次为 10° , 20° , 30° , 40° ; 作为比较, 在侧向 95° 方向也放置了一个同样的探测器 L5. 探测器的结构如图 2 所示, 金属圆筒一端开口, 另一端放置漫反射板, 待测源发光的光经过在漫反射板上形成固定尺寸的光斑, 光纤头放置于入射口附近, 正对光斑, 调整合适的位置, 使得光纤头的信号接收区域大于光斑的尺寸, 进而可以实现对于待测源发光信号的准确测量.

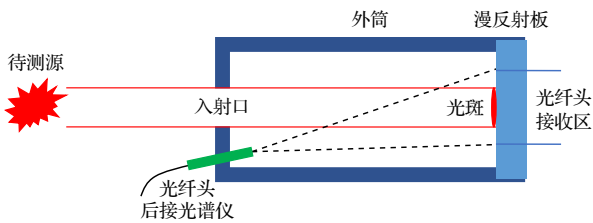


图 2 靶室内探测器结构示意图

Fig. 2. Schematic diagram of the detector inside target chamber.

除此之外, 靶室内靶前还放置了一套针孔相机 (PHC) 用于监测激光辐照靶的焦斑情况; 针孔相机基本正对靶面法线, 针孔尺寸在 10—15 μm , 距离靶点约 80 mm, 放大倍数约为 5 倍. 在靶前还放置了电子磁谱仪 (EMS), 用来诊断靶前射出的超热电子. EMS 位于靶前, 与靶面法线成约 15° 角,

距离靶位约 575 mm. EMS 的磁感应强度约 300 G ($1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$), 入射准直小孔尺寸约 3 mm, 测量的电子能量范围为 10—500 keV.

3 实验结果及初步分析

3.1 透过激光和前向散射

首先, 经过若干发次的实验, 得到了放置于靶室外前向的能量卡计的测量结果 (表 1), 对应的实验条件均为使用功率密度为 $1 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ 的 3.5 ns 激光正面辐照 10 μm 厚度的 C_8H_8 平面薄膜靶. 同时还在表 1 中列出了标定后的能量, 即考虑了靶前向窗口玻璃、收集透镜和平板玻璃等衰减的影响之后, 靶前向的光信号能量. 由于前向散射光和入射光的波矢在同一方向, 相差较小, 因此散射过程中离子声波的增益较低, 前向 SBS 相比于背向 SBS 更难以发展, 能量卡计测量得到的能量绝大部分应为激光透过的能量. 结果显示宽带激光透过的能量占比约为窄带的 10 倍, 在穿透效率方面存在明显的差异, 这个结果暗示着宽带激光与窄带激光在前向、近前向的散射也会存在巨大的差异.

表 1 驱动 10 μm 厚 C_8H_8 靶的透过激光能量

Table 1. Transmitted laser energy driving a 10 μm thick C_8H_8 target.

序号	带宽	激光能量/J	卡计能量/J	标定后能量/J	透过能量百分比/%
1	宽带	680	172.8	138.6	20.4
2	宽带	685	152.0	121.9	17.8
3	窄带	694	16.9	13.3	1.9
4	窄带	694	13.7	10.8	1.6
5	窄带	608	13.1	10.3	1.7

利用基于漫反射板的前向光信号测量系统进行了前向光信号的光谱和时间特性的测量. 图 3 分别给出了窄带和宽带驱动条件下前向光信号积分光谱的测量结果, 并以其中最高的峰值为基准做了归一化处理. 由图 3 可以明显地看出: 无论宽带还是窄带激光条件, 主要信号是在 520—540 nm 区间的一个峰, 属于激光波长和 SBS 散射的波长区域, 由于测量区域包括了整个激光出射的区域且前向 SBS 难以发展, 因此测量得到的信号绝大部分应为透过的激光; 而在 600—900 nm 较宽的波长范围内存在强度低 3 个数量级的微弱宽谱信号, 应当是前向 SRS 的光谱. 从图 3 可以发现, 在 520—

540 nm 波长区间, 宽带激光对应的总信号强度约为窄带激光 10 倍, 可以进一步证实宽带激光具有更强的透过能力; 在 600—900 nm 的波长范围, 宽带激光对应的信号强度约为窄带激光的 1/2, 表明宽带激光能有效抑制略大于激光出射角内的小角度前向 SRS.

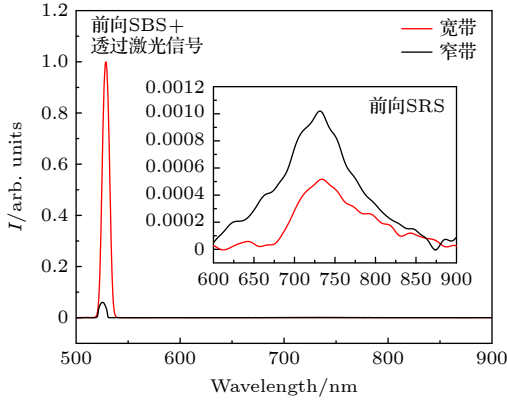


图 3 通过漫反射板系统测量的前向光信号积分光谱
Fig. 3. Integrated spectrum of forward light measured by diffuse reflector system.

图 4 则分别给出了基于漫反射板的前向光信号测量系统测量得到的 520—540 nm 波段时间分辨信号, 分别以各自的峰值为基准做了归一化处理. 如前文所述, 其主要部分是透过的激光能量. 显然, 宽带条件下透过能量的脉冲持续时间比窄带条件要宽得多. 为了进行更清晰的对比, 图 4 同时给出了入射激光波形的示意图, 在时间轴上把三者的后沿对齐, 可以明显看出, 宽带和窄带条件下透过信号在时间上的差异. 相比之下, 宽带激光条件下 10 μm 的 CH 靶率先被烧蚀完全, 脉冲后沿的激光可以在更早的时间透过等离子体, 透过等离子体的脉冲约比窄带条件下长 1 ns 左右. 前向 SRS 散射光能量比透过能量低了近 3 个数量级, 因此宽带对于前向 SRS 的抑制不是增强激光透过率的主要因素. 为了进一步理解宽带激光和窄带激光在烧蚀、透过能力上的差异, 后续的实验针对相同实验设置下的背向散射光份额进行了测量. 发现宽带激光和窄带激光条件下的背向散射率分别约 0.8% 和 2.6%, 宽带激光对背向散射的抑制一定程度上提升了能量的透过率, 但是由于份额足够低难以认定为影响激光透过率的主要因素. 初步推测非临界等离子体对宽带激光具有更高的吸收效率可能是其中一个重要的原因, 宽带激光透过能力增强的主要原因仍有待进一步的理论和实验研究.

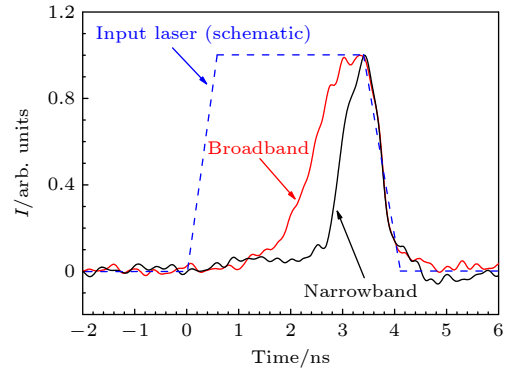


图 4 前向透过激光能量的时间特性
Fig. 4. Temporal characteristics of transmitted light.

3.2 光锥外的大角度近前向散射

与前向透过信号中大部分是透过激光不同, 透射光锥外的大角度近前向信号主要是 LPI 散射光. 图 5 给出了一个典型的大角度近前向散射信号光谱, 即在 20°位置的 L2 光纤头测量得到的光谱, 并以其中最高的峰值做了归一化处理. 从图 5 可以明显地看出, 无论宽带还是窄带激光条件, 主要信号是 520—540 nm 区间的一个峰, 是透射光锥外的大角度近前向 SRS 信号, 而在 600—900 nm 的较宽波长范围的微弱宽谱是大角度近前向 SRS 的信号. 宽带激光驱动的 SRS 光谱为双峰结构, 而窄带激光对应光谱为单峰结构, 说明两种条件下的近前向 SRS 主要发生在不同的等离子体区域. 宽带激光条件下, 在波长更短的地方存在一个更强的 SRS 峰, 表明在等离子体密度更低的区域更容易产生近前向的对流 SRS.

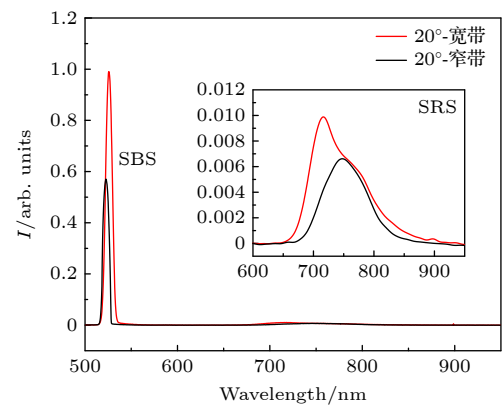


图 5 位于 20°位置的 L2 探测器测量得到的大角度近前向散射积分光谱

Fig. 5. Integrated spectrum of large-angle near-forward scattering light measured by L2 detector located at 20°.

经过能量标定, 可以给出大角度近前向各个角度的探头测量得到的光信号具体能量, 除以驱动激光到靶能量可以得到散射光的能量百分比, 结果如图 6 所示. 随着探头角度 (即探头位置与驱动激光入射方向的夹角) 的增大, 宽带与窄带激光驱动产生的大角度近前向散射的能量百分比均呈现出明显的下降趋势, SBS 下降更快. 对于 SBS 来说, 宽带激光条件下大角度近前向散射的能量百分比均高于窄带条件; 而对于 SRS 来说, 除了 10° 位置外, 其他几个位置宽带激光条件下近前向散射的能量百分比均高于窄带条件. 10° 位置数据的反转, 可能与近前向大角度散射和小角度散射的特征有关, 接近透射光光锥范围的小角度近前向 LPI 散射更容易受到等离子体密度不均匀性的影响 [29]. 同时在 95° 位置, 探头测量的侧向散射与窄带激光驱动条件相比, 宽带驱动条件下 SBS 更弱而 SRS 更强, 与近前向散射的结果存在显著的差异, 针对侧向 LPI 散射的研究将是团队的下一个重点课题.

由前文分析可知, 大角度近前向散射份额与前向散射份额之间存在显著差异, 具体体现在相同激

光驱动条件下产生的 SBS 和 SRS 强度. 宽带激光条件下前向 SRS 部分更弱; 而在大角度近前向散射光谱中, 无论 SBS 还是 SRS, 宽带激光驱动条件下明显要强得多. 为了研究这种现象, 后续的实验针对相同实验条件下的背向 SBS 和 SRS 散射光份额进行了测量, 发现宽带激光与窄带激光驱动的 SRS 背向反射率分别在 0.5% 和 0.8% 附近, SBS 背向反射率分别在 0.3% 和 1.8% 左右, 实验条件下的宽带激光能有效抑制驱动非临界靶时的背向 SBS 和 SRS. 从实验数据上来看宽带激光在抑制背向 SBS、背向 SRS、前向 SRS 的同时增强了大角度近前向的 SRS 和 SBS, 但从目前的实验结果来看无法判断大角度近前向 SRS 和 SBS 的增强是否与前向和背向散射受到了抑制有关, 如何合理解释这一现象有待进一步的研究.

3.3 前向和近前向光信号的弥散

考虑到窄带和宽带驱动时在透过能量方面具有的巨大差异, 利用光锥外的大角度近前向散射光能量除以透过的能量进行归一化, 一定程度上可以反映出透过信号的能量弥散情况, 结果如图 7 所示.

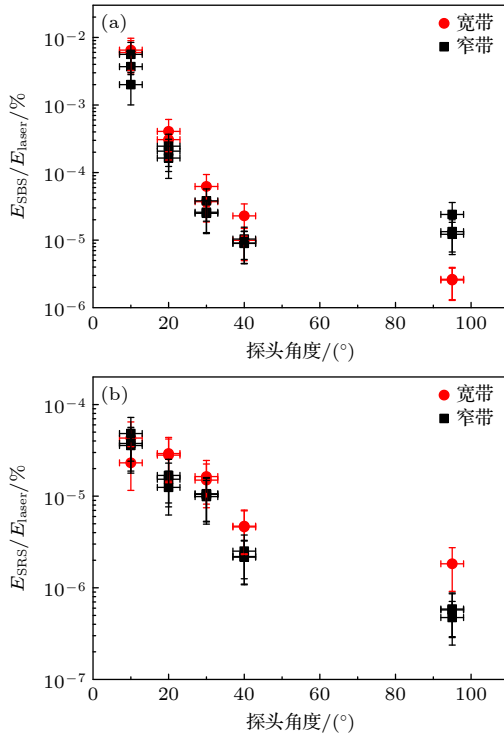


图 6 窄带与宽带激光驱动条件下不同角度的大角度近前向散射能量份额 (a) SBS; (b) SRS

Fig. 6. Share of large-angle near-forward scattering light at different angles driven by boardband and narrowband laser: (a) SBS signals; (b) SRS signals.

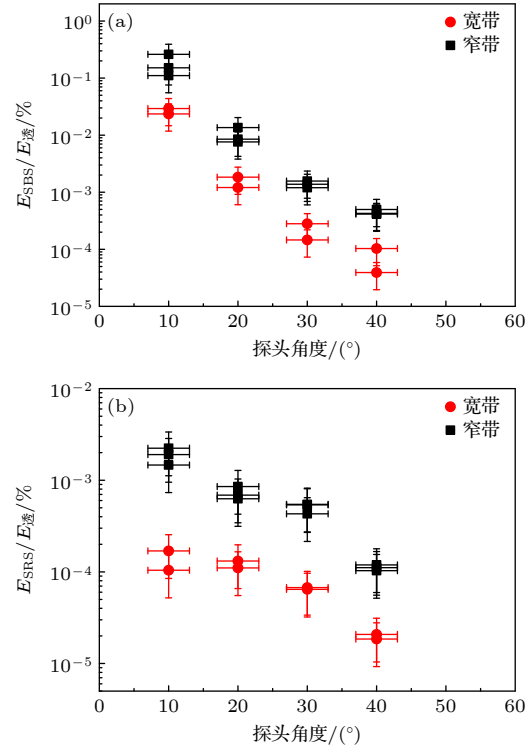


图 7 近前向散射能量与透过激光能量的比值 (a) SBS; (b) SRS

Fig. 7. Ratio of near-forward scattering energy to transmitted laser energy: (a) SBS signals; (b) SRS signals.

从图 7 可以明显地发现, 宽带激光产生的 SBS 和 SRS 能量弥散百分比均远低于窄带激光, 幅度相差接近一个数量级. 图 8 中计算了每个位置的大角度近前向 SBS 和 SRS 的散射光的总能量, 并以窄带和宽带激光的前向透过能量为峰值归一化, 给出了前向和大角度近前向光信号的能量分布示意图. 相比于窄带激光, 宽带激光驱动条件下能量的弥散更小, 也就是说宽带激光驱动平面靶时近前向的光信号在空间分布上更为集中. 总的来说, 宽带激光驱动靶后产生的近前向光信号在整体强度远高于窄带激光的同时, 发散角要远小于窄带激光. 此特点表明宽带激光具有作为间接驱动点火中驱动激光的潜力, 对于相同强度的宽带和窄带驱动激光, 宽带激光可以在黑腔内壁上获得能量更大、发散角更小的光斑.

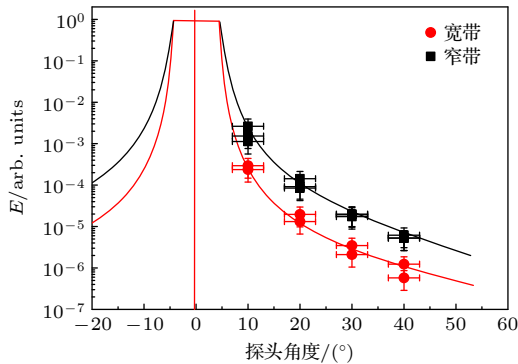


图 8 透过激光的能量弥散示意图

Fig. 8. Schematic diagram of transmitted beam spray.

4 结 论

为了研究宽带激光与大尺度低密度等离子体的相互作用过程, 基于“昆吾”宽带二倍频激光平台开展了宽带与窄带激光分别驱动 C_8H_8 平面薄膜靶的透过激光、前向散射、大角度近前向散射的对比实验研究. 实验结果分析表明, 宽带和窄带激光驱动薄膜靶的过程存在巨大的差异, 具体体现在 SBS 及 SRS 信号的光谱、能量份额和弥散程度等方面. 同时发现宽带激光表现出更强的穿透能力, 相比于窄带激光, 宽带激光烧蚀靶并穿过等离子体的时间提前了近 1 ns, 透过能量提升了近 10 倍, 穿过等离子体后的光束发散角更小. 一系列对比实验结果作为宽带激光驱动 LPI 过程的初步探索, 具有重要的参考价值.

感谢“昆吾”宽带二倍频激光装置全体运行人员的大力协助.

参考文献

- [1] Wu Charles F, Zhao Y, Weng S M, Chen M, Sheng Z M 2019 *Acta Phys. Sin.* **68** 195202 (in Chinese) [吴钟书, 赵耀, 翁苏明, 陈民, 盛政明 2019 物理学报 **68** 195202]
- [2] Seaton A, Arber T 2020 *Phys. Plasmas* **27** 082704
- [3] Myatt J, Zhang J, Short R, Maximov A, Seka W, Froula D, Edgell D, Michel D, Igumenshchev I, Hinkel D 2014 *Phys. Plasmas* **21** 055501
- [4] Pak A, Divol L, Kritcher A, Ma T, Ralph J, Bachmann B, Benedetti L, Casey D, Celliers P, Dewald E 2017 *Phys. Plasmas* **24** 056306
- [5] Lushnikov P M, Rose H A 2006 *Plasma Phys. Controlled Fusion* **48** 1501
- [6] Edwards M, Patel P, Lindl J, Atherton L, Glenzer S, Haan S, Kilkenny J, Landen O, Moses E, Nikroo A 2013 *Phys. Plasmas* **20** 070501
- [7] Turnbull D, Michel P, Ralph J, Divol L, Ross J, Hopkins L B, Kritcher A, Hinkel D, Moody J 2015 *Phys. Rev. Lett.* **114** 125001
- [8] Li C, Dong L, Feng J, Huang Y, Sun H 2020 *Rev. Sci. Instrum.* **91** 026105
- [9] Froula D, Divol L, London R, Berger R, Döppner T, Meezan N, Ross J, Suter L, Sorce C, Glenzer S 2009 *Phys. Rev. Lett.* **103** 045006
- [10] Niemann C, Berger R, Divol L, Kirkwood R, Moody J, Sorce C, Glenzer S 2011 *J. Instrum.* **6** P10008
- [11] Ruyter C, Debayle A, Loiseau P, Masson-Laborde P, Fuchs J, Casanova M, Marquès J, Romagnani L, Antici P, Bourgeois N 2021 *Phys. Plasmas* **28** 052701
- [12] Michel P, Rosenberg M, Seka W, Solodov A, Short R, Chapman T, Goyon C, Lemos N, Hohenberger M, Moody J 2019 *Phys. Rev. E* **99** 033203
- [13] Yu S H, Li X F, Weng S M, Zhao Y, Ma H H, Chen M, Sheng Z M 2021 *High Power Laser Part. Beams* **33** 012006 (in Chinese) [余诗瀚, 李晓峰, 翁苏明, 赵耀, 马行行, 陈民, 盛政明 2021 强激光与粒子束 **33** 012006]
- [14] Duluc M, Penninckx D, Loiseau P, Riazuelo G, Bourgeade A, Chatagnier A, d'Humières E 2019 *Phys. Plasmas* **26** 42707
- [15] Sarri G, Cecchetti C, Jung R, Hobbs P, James S, Lockyear J, Stevenson R, Doria D, Hoarty D, Willi O 2011 *Phys. Rev. Lett.* **106** 095001
- [16] Yang D, Li Z C, Li S W, Hao L, Li X, Guo L, Zou S Y, Jiang X H, Peng X S, Xu T, Li Y L, Zheng C Y, Cai H B, Liu Z J, Zheng J, Long T, Wang Z B, Li H, Kuang Y L, Li Q, Wang F, Liu S Y, Yang J M, Jiang S E, Zhang B H, Ding Y K 2018 *Sci. Sin-Phys. Mech. Astron.* **48** 065203 (in Chinese) [杨冬, 李志超, 李三伟, 郝亮, 李欣, 郭亮, 邹士阳, 蒋小华, 彭晓世, 徐涛, 理玉龙, 郑春阳, 蔡洪波, 刘占军, 郑坚, 龙韬, 王哲斌, 黎航, 况龙钰, 李琦, 王峰, 刘慎业, 杨家敏, 江少恩, 张保汉, 丁永坤 2018 中国科学: 物理学, 力学, 天文学 **48** 065203]
- [17] Zhao Y, Zheng J, Yu L Q, Chen M, Weng S M, Sheng Z M 2015 *Sci. Sin-Phys. Mech. Astron.* **45** 035201 (in Chinese) [赵耀, 郑君, 於陆勒, 陈民, 翁苏明, 盛政明 2015 中国科学: 物理学, 力学, 天文学 **45** 035201]
- [18] Zhao Y, Weng S, Chen M, Zheng J, Zhuo H, Ren C, Sheng Z, Zhang J 2017 *Phys. Plasmas* **24** 112102
- [19] Zhao Y, Weng S, Sheng Z, Zhu J 2019 *Plasma Phys. Controlled Fusion* **61** 115008
- [20] Zhou H, Xiao C, Zou D, Li X, Yin Y, Shao F, Zhuo H 2018 *Phys. Plasmas* **25** 062703

- [21] Bates J, Follett R, Shaw J, Obenschain S, Myatt J, Weaver J, Wolford M, Kehne D, Myers M, Kessler T 2023 *Phys. Plasmas* **30** 052703
- [22] Liu Q K, Zhang X, Cai H B, Zhang E H, Gao Y Q, Zhu S P 2024 *Acta Phys. Sin.* **73** 055202 (in Chinese) [刘庆康, 张旭, 蔡洪波, 张恩浩, 高妍琦, 朱少平 2024 *物理学报* **73** 055202]
- [23] Gao Y, Cui Y, Ji L, Rao D, Zhao X, Li F, Liu D, Feng W, Xia L, Liu J 2020 *Matter Radiat. Extremes* **5** 065201
- [24] Wang P P, An H H, Fang Z H, Xiong J, Xie Z Y, Wang C, He Z Y, Jia G, Wang R R, Zheng S, Xia L, Feng W, Shi H T, Wang W, Sun J R, Gao Y Q, Fu S Z 2024 *Matter Radiat. Extremes* **9** 015602
- [25] Lei A, Kang N, Zhao Y, Liu H, An H, Xiong J, Wang R, Xie Z, Tu Y, Xu G, Zhou X, Fang Z, Wang W, Xia L, Feng W, Zhao X, Ji L, Cui Y, Zhou S, Liu Z, Zheng C, Wang L, Gao Y, Huang X, Fu S 2024 *Phys. Rev. Lett.* **132** 035102
- [26] Rosenberg M, Hernandez J, Butler N, Filkins T, Bahr R, Jungquist R, Bedzyk M, Swadling G, Ross J, Michel P 2021 *Rev. Sci. Instrum.* **92** 033511
- [27] Moody J, Williams E, Glenzer S, Young P, Hawreliak J, Gouveia A, Wark J 2003 *Phys. Rev. Lett.* **90** 245001
- [28] Froula D, Divol L, Meezan N, Dixit S, Neumayer P, Moody J, Pollock B, Ross J, Suter L, Glenzer S 2007 *Phys. Plasmas* **14** 055705
- [29] Moody J, MacGowan B, Glenzer S, Kirkwood R, Krueer W, Montgomery D, Schmitt A, Williams E, Stone G 2000 *Phys. Plasmas* **7** 2114

Near forward scattering light of planar film target driven by broadband laser^{*}

Long Xin-Yu Wang Pei-Pei An Hong-Hai Xiong Jun Xie Zhi-Yong
Fang Zhi-Heng Sun Jin-Ren[†] Wang Chen[‡]

(Shanghai Institute of Laser Plasma, China Academy of Engineering Physics, Shanghai 201800, China)

(Received 7 October 2023; revised manuscript received 27 March 2024)

Abstract

Laser plasma interaction (LPI) has always been an important research topic in the ignition phase of inertial confinement fusion (ICF). Over the years, researchers have attempted to use various laser beam smoothing schemes and optimized light source solutions to suppress the development of LPI. Among them, low-coherence laser drivers have attracted widespread attention in the fields of laser-plasma physics and laser technology in recent years. Recently, a broadband second harmonic laser facility named “Kunwu” has provided a reliable experimental research platform for the LPI process driven by broadband lasers. Aiming at the strong stimulated Brillouin scattering (SBS) and stimulated Raman scattering (SRS) in the LPI process of large-scale low-density plasma, forward scattering experiment and near-forward scattering experiment on C₈H₈ planar film targets driven by broadband laser and narrowband laser under the same conditions are carried out. Based on the “Kunwu” laser facility, two sets of measurement systems are designed, one is centered around fiber-heads and spectrometer, and the other around phototubes and oscilloscope. These systems enable multi-directional precise measurements of scattered light and a comprehensive analysis of LPI. The main focus is on the comparison of the components and spectral information of the scattering beams between broadband laser and narrowband laser, and it is found that the LPI processes driven by broadband laser and narrowband laser are greatly different. Additionally, preliminary results indicate that broadband laser exhibits a stronger penetration capability than narrowband laser. The time to ablation the target and penetrate the plasma are both nearly 1 ns ahead, with the transmitted energy increased by nearly an order of magnitude. And after penetrating the plasma, there is a smaller spatial divergence angle. These results provide good reference value for better understanding the effect of broadband laser on LPI.

Keywords: laser plasma interaction, broadband laser, stimulated Brillouin scattering, stimulated Raman scattering

PACS: 52.38.-r, 52.35.Mw, 52.38.Bv

DOI: 10.7498/aps.73.20231613

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 12074353, 12075227).

[†] Corresponding author. E-mail: sunjinren@263.net

[‡] Corresponding author. E-mail: wangch@mail.shcnc.ac.cn

宽带激光辐照平面薄膜靶的近前向散射

龙欣宇 王佩佩 安红海 熊俊 谢志勇 方智恒 孙今人 王琛

Near forward scattering light of planar film target driven by broadband laser

Long Xin-Yu Wang Pei-Pei An Hong-Hai Xiong Jun Xie Zhi-Yong Fang Zhi-Heng Sun Jin-Ren Wang Chen

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 73, 125202 (2024) DOI: 10.7498/aps.73.20231613

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.73.20231613>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

强度调制宽带激光对受激拉曼散射动力学爆发的抑制

Suppression of stimulated Raman scattering kinetic bursts by intensity-modulated broadband laser

物理学报. 2024, 73(5): 055202 <https://doi.org/10.7498/aps.73.20231679>

皮秒激光驱动下的背向受激布里渊散射的光谱结构

Spectral structures of backward stimulated Brillouin scattering driven by a picosecond laser

物理学报. 2021, 70(19): 195202 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210568>

强激光与亚临界密度等离子体相互作用中的近前向散射驱动光子加速机制

Mechanism of near-forward scattering driven photon acceleration in the interaction between an intense laser and under-dense plasmas

物理学报. 2023, 72(12): 125201 <https://doi.org/10.7498/aps.72.20222014>

超强激光在均匀等离子体中的背向拉曼散射放大机制

Amplification mechanism in stimulated Raman backward scattering of ultraintense laser in uniform plasma

物理学报. 2022, 71(5): 055202 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20211270>

水体参数对受激布里渊散射阈值及增益的影响

Influence of water parameters on threshold value and gain coefficient of stimulated Brillouin scattering

物理学报. 2021, 70(15): 154205 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210326>

面向激光等离子体尾波加速的毛细管放电实验研究

Experimental study on capillary discharge for laser plasma wake acceleration

物理学报. 2022, 71(9): 095202 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20212435>