

新型针孔点背光发光模型与实验研究*

晏骥 韦敏习 蒲昱东 刘慎业 詹夏雨 林稚伟 郑建华 江少恩†

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

(2011年12月28日收到; 2012年6月4日收到修改稿)

纳秒级强激光 ($\sim 10^{14} \text{ W/cm}^2$) 与固体靶相互作用可以获得高亮度的 Multi-keV 能段 X 射线. 在当前的高能量密度物理研究中利用这样的 X 射线背光源照相方式可以获得高质量的物理图像, 具有重要的应用价值. 以模拟计算与神光 II 激光装置实验结果相结合的方式研究了激光等离子体发光模型. 在该模型的基础上改进了针孔点背光成像技术, 独立发展了针对低 Z 靶材料 K 线的准单能背向针孔点背光和针对中 Z 靶材料 L 带的高亮度侧向针孔点背光. 在神光 II 激光装置上通过新型针孔点背光对惯性约束聚变靶丸样品成像获得了高质量的静态靶丸流线图像, 空间分辨优于 $10 \mu\text{m}$. 实验结果表明新型的针孔点背光具备高亮度, 高空间分辨, 高图像衬度等优点可以广泛应用于高能量密度物理和惯性约束聚变的研究中.

关键词: 高能量密度物理, 惯性约束聚变, 激光等离子体, 针孔点背光

PACS: 52.57.-z, 52.50.Jm, 52.38.-r, 52.38.Ph

DOI: 10.7498/aps.62.015204

1 引言

在当前的高能量密度物理和惯性约束聚变研究中, 由于受到驱动器强度等原因的限制, 利用样品材料自发光的被动成像方式很难获取可靠的物理图像; 另一方面纳秒级强激光 (功率密度 $\sim 10^{14} \text{ W/cm}^2$) 与固体靶相互作用可以获得高亮度的 Multi-keV 能段 X 射线, 将这样的 X 射线作为背光源对样品成像能够得到高质量的物理图像. 目前 X 射线背光技术具备亮度高、光源能点可控等优点, 已经广泛应用于内爆物理、流体力学不稳定性、不透明度等高能量密度物理与惯性约束聚变的重要课题研究 [1-3].

早期的背光成像技术主要采用点背光成像与面背光成像的方式, 这样的成像方式存在着能量利用效率低、背光均匀性差、成像视场受限等缺陷. 在当前快速发展的惯性约束聚变研究中已经无法满足诊断的需求, 迫切需要发展新型的背光成像技术. 国外研究人员从 20 世纪 80 年代开展高温激光等离子体发射 Multi-keV 能段 X 光源的相关研究 [4,5], 并于 2001 年开始在 OMEGA 激光装置

上着手进行针孔点背光成像技术的实验研究, 直到 2008 年较为全面地掌握了该项技术, 为精密化的物理研究提供了支持 [6-8]; 国内从 2005 年开展高温激光等离子体发射 Multi-keV 能段 X 光源的相关研究, 并于 2008 年在神光 II 激光装置上进行了初步的针孔点背光成像技术的实验研究, 获得了良好的实验结果. 但是由于惯性约束聚变研究的物理需求以及驱动器驱动条件的限制, 进一步的研究不能重复国外相关的工作, 需要开展新型针孔点背光源的研究.

本文以模拟计算与早期神光 II 激光装置实验结果相结合的方式研究了激光等离子体发光模型. 在该模型的基础上改进了传统的针孔点背光成像方式, 独立发展了针对低 Z 靶材料 K 线的准单能背向针孔点背光和针对中 Z 靶材料 L 带的高亮度侧向针孔点背光. 在神光 II 激光装置上通过新型针孔点背光对惯性约束聚变靶丸样品成像获得的高质量静态靶丸流线图像, 空间分辨优于 $10 \mu\text{m}$. 实验结果表明, 新型的针孔点背光具备高亮度、高空间分辨、高图像衬度等优点, 可以广泛应用于高能量密度物理和惯性约束聚变的研究中.

* 国家自然科学基金 (批准号: 10775120) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: jiangshn@vip.sina.com

2 激光驱动平面背光靶发光模型

强激光与靶物质相互作用过程中将会产生高温靶物质等离子体, 该等离子体在自身温度达到几千万摄氏度时将会发出 X 射线. 显然功率密度越高的激光作用于靶物质将会产生温度越高的等离子体从而激发出更高能的 X 射线. 当前纳秒级强激光 (功率密度 $\sim 10^{14}$ W/cm²) 与固体靶物质相互作用产生 X 射线的能段在 Multi-keV 范围. 这个能段区间内常用的靶材料及其特征谱线主要有 Mo (~ 2.5 keV), Ag (~ 3.2 keV), Ti (~ 4.75 keV), Fe (~ 6.7 keV). 其中中 Z 元素 Mo, Ag 主要是发射 L 壳层特征谱线, 由于 L 带光源具有能谱范围宽的特点所以其光源亮度较高; 另一方面低 Z 元素 Ti, Fe 主要是发射 K 壳层特征谱线, 由于 K 线光源具有谱线结构简单的特点所以其光源单色性较好. 为了能更好地理解激光作用于平面背光靶发光的过程, 本文选择了 Mo 和 Ti 作为对象, 针对这两类特点不同的靶材料进行了细致的研究. 本节主要内容包括: 首先基于数值模拟工作研究了激光与平面靶物质相互作用过程; 其次结合早期神光 II 激光装置相关实验结果分析得到了激光驱动平面背光靶发光模型.

图 1 是利用一维流体力学程序模拟的激光与平面靶相互作用产生的等离子体温度分布示意图, 其中固定驱动激光功率密度为 1×10^{14} W/cm², 脉宽为 1 ns, 波长为 351 nm; 靶材料选择厚度为 10 μ m 的 Ti 和 5 μ m 的 Mo. 图 1 表明 Ti 在当前激光条件下可以产生 1600 eV 的高温等离子体, 而 Mo 只能产生 300 eV 的高温等离子体; 且从等离子体辐射面积来看, Ti 等离子体的分布要远远大于 Mo. 这主要是 Ti 的原子序数较低, 在相同的激光驱动条件下更容易产生温度更高的等离子体, 同时温度越高的等离子体越容易使得 Ti 达到高离化态, 从而发射 K 壳层的 X 射线; 相应地, 原子序数较高的 Mo 则只能产生 L 带的 X 射线. 另一方面, 由于辐射出的等离子体只分布于靶前 (即激光注入面), 说明了当前的激光条件下并不能完全烧蚀厚度在几个微米的平面靶. 进一步的数值模拟结果表明 Ti 靶只有约 2 μ m (Mo 靶约 1 μ m) 厚度被烧穿, 达到高温状态, 剩下的大部分靶材料均处于冷状态. 早期的神光 II 装置实验结果表明, 在与数值模拟相似的激光条件下 (功率密度为 2×10^{14} W/cm², 脉宽为 1 ns, 焦斑 400 μ m), Ti 背光靶厚度小于 2 μ m 则会被烧穿, 而厚度达到 2.8 μ m 则可以保证背光靶不被烧穿. 实验结果

与数值模拟结果相近, 表明了数值模拟结果具备可靠性 (激光烧蚀在数值模拟中比实验中稍快, 这是因为一维程序没有考虑二维扩散等因素所导致的).

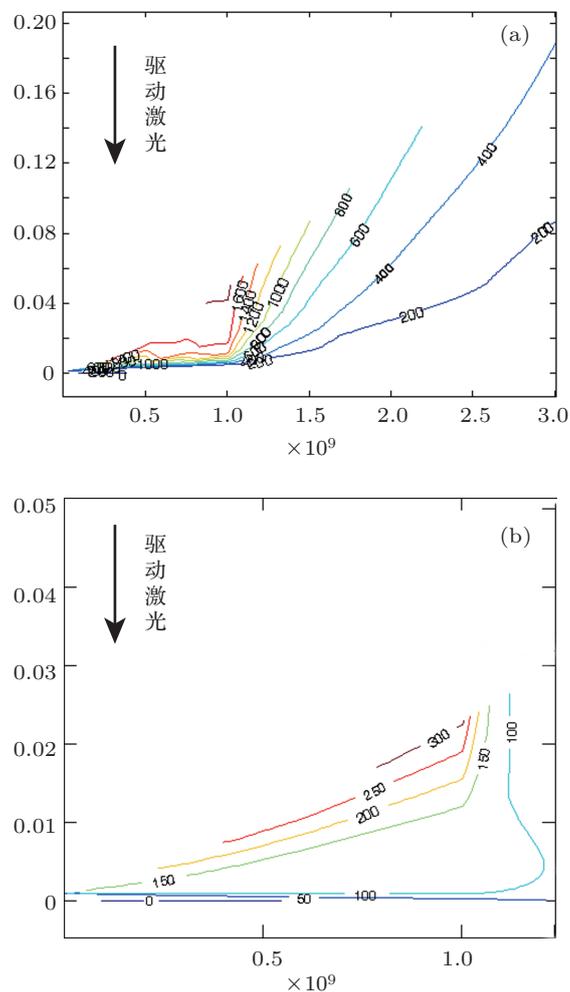


图 1 一维流体力学程序数值模拟激光与平面靶相互作用等离子体温度分布 (a) 10 μ m Ti 靶等离子体温度分布; (b) 5 μ m Mo 靶等离子体温度分布; 其中横坐标表示时间 (单位: s), 纵坐标表示空间位置 (单位: cm), 等号线表示等离子体温度 (单位: eV), 粗黑线表示平面靶初始位置 (纵坐标为 0)

通过一维流体力学程序数值模拟结果可以得到激光驱动平面背光靶发光模型, 如图 2 所示. 强激光与靶物质相互作用产生的等离子体主要分布于靶前 (即激光作用面, 当然若激光足够强或者靶足够薄在靶后也将出现等离子体. 但是这样会大大降低激光的能量利用效率, 反而减少了 X 射线的发射), 通过高温等离子体发出 X 射线, 其发光具有近似各向同性的分布. 但是靶后方向的 X 光由于受到靶烧蚀剩余部分的自吸收影响强度将会降低, 对于低 Z 靶材料 K 线 X 光其靶自吸收较弱, 靶后 X 射线强度不会相差太多; 对于中 Z 靶材料 L 带 X 光其靶自吸收较强, 靶后 X 射线强度将大大降低. 这

样的模型在早期神光 II 激光装置相关实验研究中得到了证实, 实验结果表明对厚度 $6\ \mu\text{m}$ 的 Ti 平面靶, 靶前 180° 范围内大于 $4\ \text{keV}$ 的 X 射线强度几乎相同, 而靶后的 X 射线强度则衰减了一倍; 对厚度 $2\ \mu\text{m}$ 的 Mo 平面靶, 靶前 180° 范围内大于 $2\ \text{keV}$ 的 X 射线强度几乎相同, 而靶后的 X 射线强度则衰减了一个量级 [9,10].

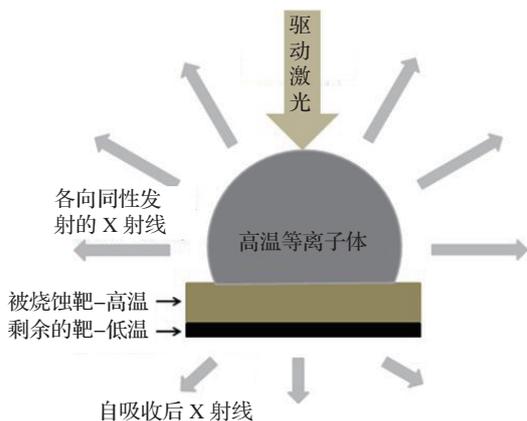


图2 激光等离子体发光模型

3 新型针孔点背光设计

3.1 传统针孔点背光特点分析

点背光与面背光成像技术存在着激光能量利

用效率低, 背光均匀性差, 成像视场小等致命的缺陷; 而针孔点背光在面背光的基础上将成像用的 $10\ \mu\text{m}$ 针孔放置于背光靶与成像样品之间, 形成了次级点光源对样品投影成像 (几种背光成像技术结构见图 3). 从图 3(c) 针孔点背光排布图可以看到该背光源具有背光均匀性好, 成像视场随意设置的优点, 突破了面背光成像的瓶颈; 另一方面, 针孔点背光也带来了不利的因素: 首先为了不影响激光的注入, 针孔板尺寸受到限制使得噪声的影响大大增加 (针孔板并非足够大不能完全阻挡发光等离子体喷射); 其次由于记录设备与靶点之间没有任何的防护措施, 烧蚀碎片对记录设备的破坏效果将加大. 为此需要在传统的针孔点背光基础上进行改进.

3.2 新型针孔点背光设计

通过图 3(c) 与 3.1 节的分析可以看到, 为了减少针孔点背光成像中发光等离子体产生的噪声, 需要屏蔽用针孔板足够大, 所以在新型针孔点背光设计中注入激光方向与样品 - 探测器连线方向不能处于同一平面内; 另一方面, 通过图 2 与第 2 节的分析可以看到, 激光驱动平面靶后未被烧蚀的靶的自吸收效果对于 K 线靶材料影响较弱, 对于 L 带靶材料影响较强. 本文根据以上两点设计了新型的针孔点背光, 如图 4 所示.

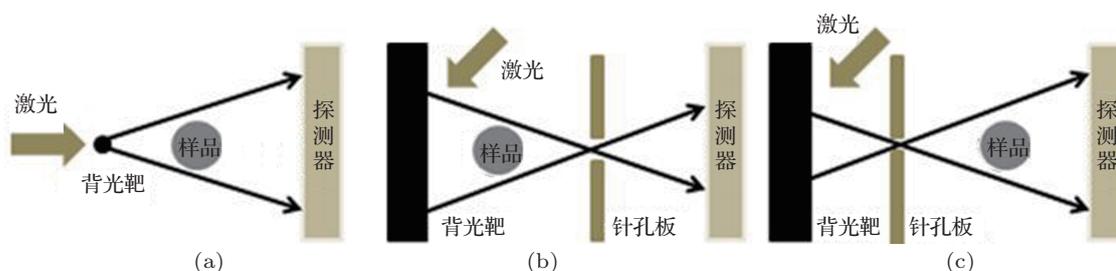


图3 三种背光排布 (a) 点背光成像; (b) 面背光成像; (c) 针孔点背光成像

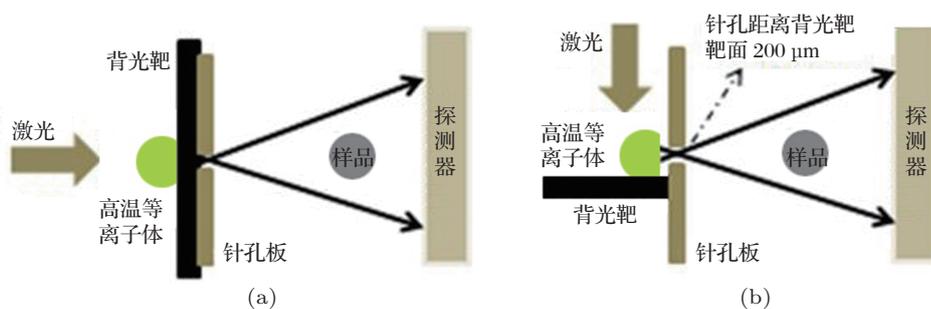


图4 新型针孔点背光排布 (a) 背向针孔点背光; (b) 侧向针孔点背光

图 4(a) 为背向针孔点背光排布图, 该结构特点是从靶后收光, 可以将针孔板尺寸放大至能够完全屏蔽靶前高温等离子体, 仅允许从靶后的针孔处收光, 从而形成了性能良好的次级点光源. 在这里应当看到背向点背光的光源强度会受到靶自吸收的影响, 所以背向针孔点背光仅适用于低 Z 靶材料 K 线光源 (例如 Ti, Fe 等). 图 4(b) 为侧向针孔点背光排布图, 该结构特点是从靶侧面收光. 利用高温等离子体发出 Multi-keV 能段 X 射线最强区域在激光等离子体冕区附近的特点, 将针孔板与背光靶垂直放置, 针孔距离背光靶高度约为 $200\ \mu\text{m}$ (文献 [10] 结果表明当前激光条件下高温等离子体冕区距离靶面约 $200\ \mu\text{m}$). 在这里应当看到侧向点背光回避了靶自吸收的问题, 所以侧向针孔点背光适用于中 Z 靶材料 L 带光源 (例如 Mo, Ag 等).

通过对图 4 的分析可以看到, 侧向针孔点背光在物理设计上能够回避靶自吸收的问题, 光源亮度优于背向针孔点背光; 但是在实际的实验中侧向针孔点背光相对于背向针孔点背光存在着对靶装配精度要求高、激光装置瞄准精度要求高等缺点. 总之, 两种新型的针孔点背光设计存在各自的优缺点, 应当根据具体的物理需求来选择.

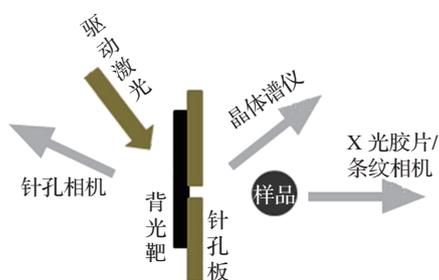


图 5 新型针孔点背光实验排布

4 实验结果与分析

新型针孔点背光相关实验基于神光 II 激光装置开展, 激光条件为神光 II 第九路装置 $1000\ \text{J}/1\ \text{ns}/351\ \text{nm}$, 其实验排布如图 5 所示. 晶体谱仪记录靶后针孔处光源的能谱信息; 针孔相机记录靶前激光等离子体发光状态; X 光胶片和条纹相机记录成像的信息. 背光靶设计参数如图 6 所示. 背光靶选择 $3\ \mu\text{m}$ Ti 和 $2\ \mu\text{m}$ Mo (相关文献表明薄背光靶能获得更高的激光转换效率, 从而提高光源亮度); 针孔大小 $10\ \mu\text{m}$; 为了能够回避烧蚀碎片的影响, 将针孔板倾斜靶架 15° 放置 (图中未画出), 预计

成像系统空间分辨优于 $10\ \mu\text{m}$; 针孔板前贴一层厚度 $10\ \mu\text{m}$ 的碳氢材料用于预防等离子体堵孔现象; 采用尺寸为 $8\ \text{mm} \times 8\ \text{mm}$ 的高 Z 钼片作为屏蔽片, 阻止高温等离子体喷射, 降低图像噪声 (实验结果表明, 尺寸为 $5\ \text{mm} \times 5\ \text{mm}$ 的屏蔽片并不能起到完全屏蔽噪声的效果).

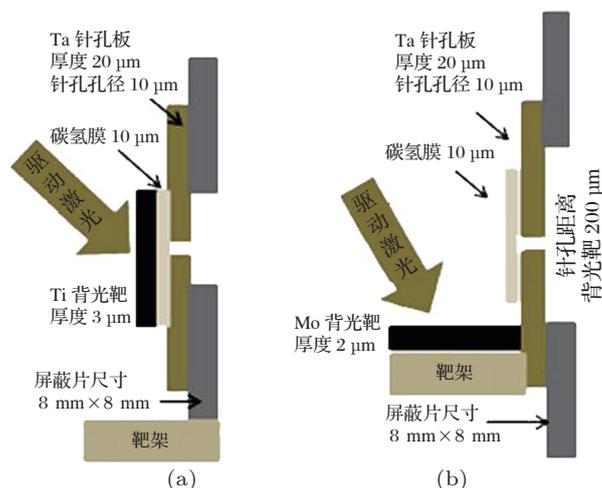


图 6 新型针孔点背光设计图 (a) 背向针孔点背光; (b) 侧向针孔点背光

4.1 背光源能谱分析

能谱信息是 X 射线背光源重要的参数之一. 为此安装晶体谱仪用于监测靶后针孔处的能谱信息, 图 7 为 Ti 背光靶材料获得的晶体谱仪信号. 从图 7(a) 可以看到较为明显的 Ti 发射谱信息, 谱分辨良好; 图 7(b) 是解谱之后的分析图, 利用谱线强度之比的方法可以粗略分析出激光条件下 Ti 等离子体温度约为 $1000\ \text{eV}$, 与模拟结果 (图 1) 相近 [11,12]. 通过晶体谱仪的分析可以看到确实存在高亮度的 Ti 类 He α 线 ($\sim 4.75\ \text{keV}$) 从背光靶后发射出来, 并通过针孔约束形成了高空间分辨的点光源. 在这里由于 Mo 的 L 带谱线信息较为复杂, 所以省略.

4.2 背光源亮度分析

亮度是 X 射线背光源重要的参数. 一般而言提高光源亮度的方法是提高激光转换效率 [13,14], 该问题过于复杂, 在这里不详细讨论, 本节重点关注在针孔点背光条件下激光注入方式对于光源亮度的影响. 图 8 为针孔相机测量到神光 II 第九路激光与 Ti 背光靶作用产生的光斑强度分布图像, 分别采用了蝇眼束匀滑 (激光焦斑约 $\phi 450\ \mu\text{m}$) 和聚焦 (激

光焦斑约 $\phi 130 \mu\text{m}$) 两种不同方式. 可以看到由于聚焦注入的方式提高了激光功率密度从而背光源亮度提高了约 3 倍, 同时对于针孔点背光而言, 真

正起作用的仅仅是激光焦斑中心几十微米区域的光源, 所以在针孔点背光技术中采用聚焦的激光注入方式能获得亮度更高的光源.

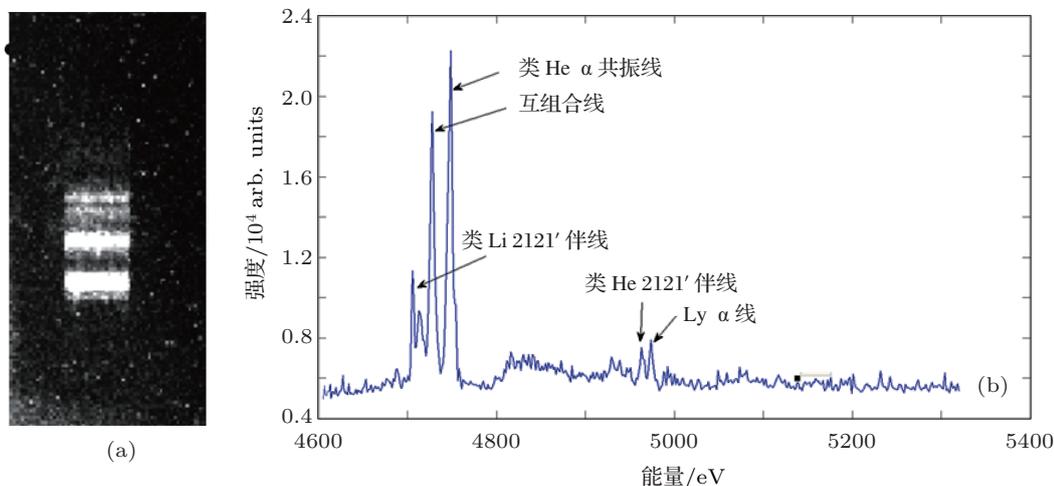


图 7 晶体谱仪测量 Ti 背光靶靶后针孔处谱线信息 (a) 晶体谱仪结果; (b) 谱线分析图

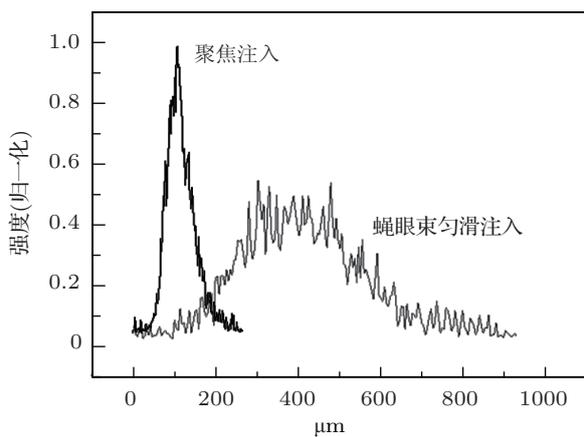


图 8 不同激光注入条件下背光源亮度变化

4.3 新旧针孔点背光结果对比

噪声屏蔽是成像实验中最关键的问题. 新型针孔点背光 (图 4) 与传统的针孔点背光 (图 3(c)) 相比, 最大的改进就在于噪声的屏蔽. 在神光 II 激光装置上利用第九路激光进行了相关对比实验. 同一发次中对相同的网格样品 (网格周期 $500 \mu\text{m}$, 线宽 $200 \mu\text{m}$) 分别通过传统针孔点背光和新型针孔点背光成像, 结果如图 9 所示. 传统的针孔点背光只能得到模糊的网格图像 (图 9(a)), 而新型的针孔点背光则能获得清晰的网格图像 (图 9(b), 同时图 9(a) 中网格的轮廓是清晰的, 说明其成像系统的空间分辨足够好, 但是因为噪声太强的缘故导致成像模糊.

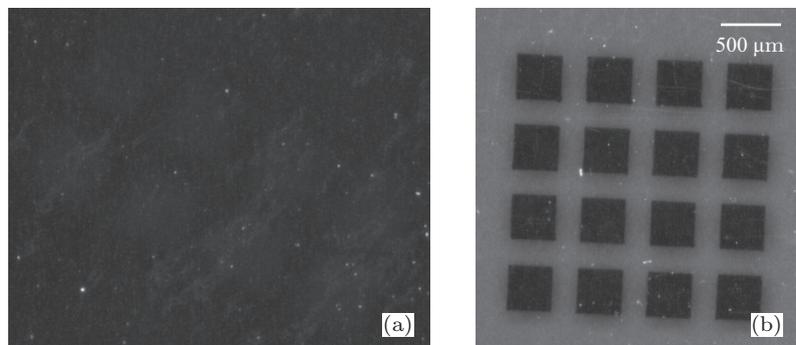


图 9 激光 $1000 \text{ J/1 ns/351 nm}$ 驱动条件下新旧针孔点背光成像结果 (a) 传统针孔点背光; (b) 新型针孔点背光: 样品为周期 $500 \mu\text{m}$, 线宽 $200 \mu\text{m}$ 的网格

对比性实验结果表明新型针孔点背光在噪声屏蔽上具有明显的改进。

4.4 成像系统空间分辨考核

空间分辨能力是成像系统好坏的重要参数. 实验中采用多周期网格样品对新型针孔点背光成像空间分辨能力进行了研究. 网格样品分为四个部分, 其网格周期由大到小依次为 50, 30, 20, 15 μm ; 线宽为周期的一半. 成像系统中放大倍数为 10 倍, 实验结果如图 10 所示. 由图 10(a) 可以清晰地看到四个周期不同的网格图像; 由图 10(b) 可以看到各个周期网格的强度分布图. 通过各个周期网格强度分布图做出其调制传递函数 (MTF) 函数, 结果见图 11. 采用一般判据认为 MTF 函数值为 0.05 时, 即为其成像系统的空间分辨率; 从图 11 可以看到, 对于各个周期处理结果其空间分辨率分别为 7 μm (周期 50 μm), 7 μm (周期 30 μm), 8 μm (周期 20 μm), 12 μm (周期 15 μm). 其中 15 μm 周期的网格空间分辨率较差, 主要是因为其周期太小, 导致原始数据像素点太少, 在数据处理过程中产生的误差较大, 所以综合认为其成像系统空间分辨率优于 10 μm .

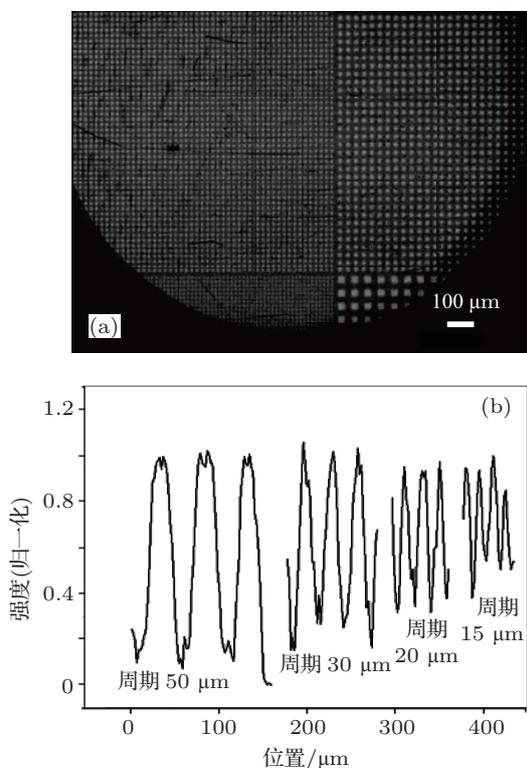


图 10 空间分辨能力研究实验结果 (a) 多周期网格图像 (网格周期由大到小分别为 50, 30, 20, 15 μm); (b) 各周期网格强度分布图

另一方面, 成像系统的空间分辨能力主要由光源焦

斑决定, 其空间分辨极限不会优于焦斑大小; 但是实验中 10 μm 孔径的针孔可以获得空间分辨优于 10 μm 的图像, 可能的原因主要包括几个方面: 首先是针孔板倾斜 15° 放置从而使得实际的光源尺寸变小; 其次是针孔加工过程中产生的误差.

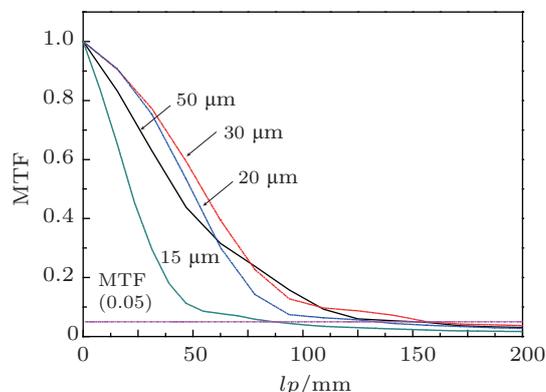


图 11 多周期网格 MTF 函数图 (网格周期分别为 50 μm (黑色), 30 μm (红色), 20 μm (蓝色), 15 μm (绿色))

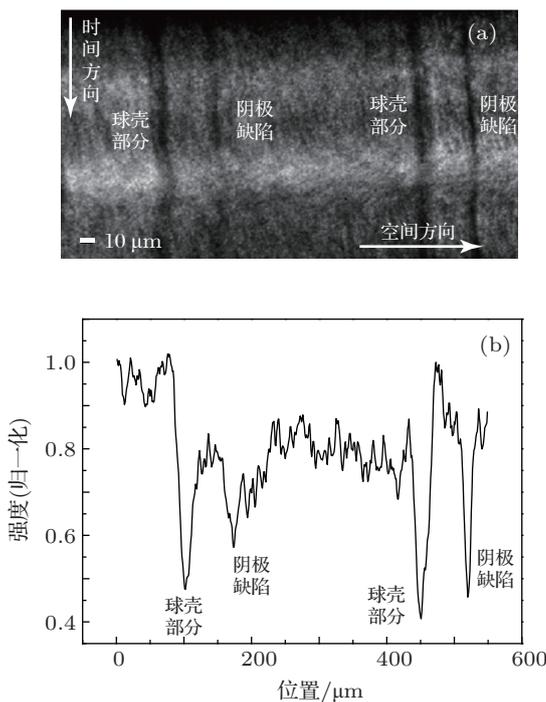


图 12 静态靶丸流线测量图 (a) 静态靶丸流线; (b) 静态靶丸流线强度分布图

4.5 条纹扫描静态流线

靶丸是存储氘氚燃料的小球, 其主要结构为氘氚气体以及碳氢等低 Z 材料组成的球壳. 在惯性约束聚变研究中, 通过测量靶丸球壳在内爆压缩过程中的运动轨迹 (即流线) 可以获得燃料面密度、内爆速度、剩余质量等物理量, 具有非常重要的意义.

以往的实验研究中通过面背光成像方式获得的流线数据存在着背光均匀性等问题, 很难获得高精度的物理量. 本实验通过神光 II 第九路激光装置以及新型针孔点背光技术, 获取高质量的点背光源对静态靶丸样品成像, 通过条纹相机动态记录, 获得静态流线图像. 其中, 靶丸样品直径为 330 μm , 球壳厚度为 25 μm . 考虑到靶丸球壳为低 Z 材料, 对于能点较高的 X 射线 ($> 4 \text{ keV}$) 吸收弱, 很难获得高对比度的图像, 选择了以 Mo 材料 ($\sim 2.5 \text{ keV}$) 作为背光靶, 并利用侧向针孔点背光技术 (图 6(b)) 解决 Mo 的靶自吸收问题. 实验结果如图 12 所示, 得到了高质量的靶丸球壳图像, 并在驱动激光注入完成之后 (1 ns 后) 并没有出现等离子体堵孔的效应. 特别地, 图中出现了两条不应当出现的暗条纹. 通过

多次实验结果对比, 确认是条纹相机自身阴极缺陷所造成的; 同时在时间方向上存在着强度分布不均匀的现象, 是由于条纹相机扫速不均匀造成的.

5 结论

本文将数值模拟与神光 II 实验相结合, 针对面背光成像和传统的针孔点背光成像技术的缺点, 发展了低 Z 靶材料 K 线的准单能背向针孔点背光和中 Z 靶材料 L 带的高亮度侧向针孔点背光. 实验结果表明, 新型的针孔点背光技术在光源亮度、背光均匀性、噪声屏蔽、空间分辨能力等重要参数上均优于传统的背光成像技术, 能够广泛地应用于高能量密度物理和惯性约束聚变研究.

- [1] Zhang J Y, Yang J M, Xu Y, Yang G H, Yan J, Meng G W, Ding Y N, Wang Y 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 985 (in Chinese) [张继彦, 杨家敏, 许琰, 杨国洪, 颜君, 孟广为, 丁耀南, 汪艳 2008 物理学报 **57** 985]
- [2] Kirkwood R K, Milovich J, Bradley D K, Schmitt M, Goldman S R, Kalantar D H, Meeker D, Jones O S, Pollaine S M, Amendt P A, Dewald E, Edwards J, Landen O L, Nikroo A 2009 *Phys. Plasmas* **16** 012702
- [3] Landen O L, Boehly T R, Bradley D K, Braun D G, Callahan D A, Celliers P M, Collins G W, Dewald E L, Divol L, Glenzer S H, Hamza A, Hicks D G, Hoffman N, Izumi N, Jones O S, Kirkwood R K, Kyrala G A, Michel P, Milovich J, Munro D H, Nikroo A, Olson R E, Robey H F, Spears B K, Thomas C A, Weber S V, Wilson D C, Marinak M M, Suter L J, Hammel B A, Meyerhofer D D, Atherton J, Edwards J, Haan S W, Lindl J D, MacGowan B J, Moses E I 2010 *Phys. Plasmas* **17** 056301
- [4] Matthews D L, Campbell E M, Ceglio N M, Hermes G, Kauffman R, Koppel L, Lee R, Manes K, Rupert V, Slivinsky W, Turner R, Ze F 1983 *J. Appl. Phys.* **54** 4260
- [5] Kodama R, Mochizuki T, Tanaka K A, Yamanaka C 1983 *Appl. Phys. Lett.* **50** 720
- [6] Bullock A B, Landen O L, Bradley D K 2001 *Rev. Sci. Instrum.* **72** 690
- [7] Blue B E, Hansen J F, Tobin M T, Eder D C, Robey H F 2004 *Rev. Sci. Instrum.* **75** 4775
- [8] Kuranz C C, Blue B E, Drake R P, Robey H F, Hansen J F, Knauer J P, Grosskopf M J, Krauland C, Marion D C 2006 *Rev. Sci. Instrum.* **77** 10E327
- [9] Hu G Y, Zhang J Y, Zheng J, Shen B F, Liu S Y, Yang J M, Ding Y K, Hu X, Huang Y X, Du H B, Yi R Q, Lei A L, Xu Z Z 2008 *Laser and Particle Beams* **26** 661
- [10] Hu G Y, Zheng J, Shen B F, Lei A L, Liu S Y, Zhang J Y, Yang J M, Ding Y K, Hu X, Huang Y X, Du H B, Yi R Q, Xu Z Z 2008 *Phys. Plasmas* **15** 023103
- [11] Pu Y D, Zhang J Y, Yang J M, Huang T X, Ding Y K 2011 *Chin. Phys. B* **20** 015202
- [12] Pu Y D, Chen B L, Zhang L, Yang J M, Huang T X, Ding Y K 2011 *Chin. Phys. B* **20** 095203
- [13] Babonneau D, Primout M, Girard F, Jadaud J P, Naudy M, Villette B, Depierreux S, Blancard C, Faussurier G, Fournier K B, Suter L, Kauffman R, Glenzer S, Mille M C, Grün J, Davis J 2008 *Phys. Plasmas* **15** 092702
- [14] Girard F, Primout M, Villette B, Stemmler P, Jacquet L, Babonneau D, Fournier K B 2009 *Phys. Plasmas* **16** 052704

Radiation model and experimental research on novel pinhole-assisted point-projection backlight*

Yan Ji Wei Min-Xi Pu Yu-Dong Liu Shen-Ye Zhan Xia-Yu Lin Zhi-Wei
Zheng Jian-Hua Jiang Shao-En[†]

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physicists, Mianyang 621900, China)

(Received 28 December 2011; revised manuscript received 4 June 2012)

Abstract

High flux, Multi-keV X-rays, can be efficiently produced from nano-second laser interaction with metal target. Multi-keV backlight X-ray source is very important in inertial confinement fusion and high-energy density physics research. The one-dimensional numerical simulation results propose a laser plasmas radiation model, and the model is compared well with Shenguang II experimental results. The pinhole-assisted point-projection (PAPP) backlight is improved by the model; the rear-on PAPP backlight for low-Z metal target and the side-on PAPP backlight for middle-Z metal target are developed. The experiment is performed on Shenguang II 9th laser facility. The static stream line obtained with novel PAPP backlight provides high-quality capsule image, and the spatial resolution is better than 10 μm . Results show that novel PAPP backlight has advantages of traditional PAPP in source brightness, spatial resolution and image contrast.

Keywords: high-energy density physics, inertial confinement fusion, laser plasmas, pinhole-assisted point-projection backlight

PACS: 52.57.-z, 52.50.Jm, 52.38.-r, 52.38.Ph

DOI: 10.7498/aps.62.015204

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10775120)

[†] Corresponding author. E-mail: jiangshn@vip.sina.com