

激光核聚变研究中对靶球进行 X 射线针孔照相

中国科学院上海光机所 茅建华

激光核聚变研究中,对靶球进行高空间分辨 X 射线针孔照相,以获得靶球压缩程度、温度、密度分布等参数,以及流体力学状态的直观积分图象,并可对靶球照明多路激光束的时间同步和空间对称性进行检查。

在针孔孔径为 10 微米,线度比为 7 倍,空间分辨率为 11.4 微米时,采用胶片作直接记录,当多路激光束能量为 50 焦耳左右时,对直径为 70~100 微米范围内的靶球,进行 X 射线针孔照相获得满意结果。

当针孔孔径为 30 微米,线度比为 20 倍,空间分辨率为 31.5 微米时,采用增益 50 倍的像增强器,以碘化铯闪烁体将 X 射线转换成可见光,增强后的图像以胶片记录,多路激光束能量为 200 焦耳左右,对直径在 300~400 微米范围内的靶球进行照相,获得初步结果。

介绍焦点直径为 15~20 微米电子束,对厚度为 0.5 毫米的钼片加工微孔,经数千次试打获得直径为 6.5 微米的微孔的加工机制。

提出实现针孔孔径为 6.5 微米,线度比为 15 倍左右,采用增益为 35000 倍的像增强器,以碘化铯膜片作 X 射线-可见光转换,分辨率可达 7 微米的针孔相机结构方案。

六束高功率激光装置 LGJ-II 的开关-隔光系统

中国科学院上海光机所 林礼煌 欧阳斌 陈时胜 康玉英 李安民 殷光裕

在构造激光核聚变研究装置时,必须解决的一个重要问题,是提高主激光脉冲的信噪比和有效地防止反向激光对激光装置中光学部件的破坏。本文描述 1976 年间用于进行激光向心压缩核聚变研究的钨玻璃六束高功率激光装置 LGJ-II 中的开关-隔光系统的概况,其中包括设计考虑,开关和隔光器的结构原理,总体配置和实际工作性能,以及有关的实验结果。

LGJ-II 的六束激光是按直角坐标系三维六个方向同时指向位于坐标原点上的球形聚变靶球的。分析表明, LGJ-II 的每条光路的总隔离比 $\eta_{\text{总}}$ 必须满足: $\eta_{\text{总}} > \frac{(R+T) \prod_{i=1}^n G_i^2}{G_0}$, 才能确保 LGJ-II 的正常稳定的运转。其中: R 为靶和等离子体对入射激光的后向反射率, T 为沿同一坐标迎面一束激光透过靶区耦合到所考虑的一路激光器的透光率, G_i 为第 i 级激光放大器的实际放大倍数, G_0 为单级激光放大器安全放大倍数, n 为放大器的级数。

每条光路的开关和隔光器包含有: 一组净通光孔径为 18 毫米的双普克耳斯盒电光开关, 两个净通光孔径为 48 毫米的大口径普克耳斯盒电光开关和一个菲涅耳菱体隔光器。双普克耳斯盒开关能够以高信噪比从调 Q 振荡器输出脉冲中削取具有小于 1 毫微秒上升时间的单个短脉冲(脉冲半宽度从 1 至 4 毫微秒可调), 同时兼作双向隔光器; 大口径普克耳斯盒开关进一步提高主激光脉冲的信噪比, 抑制放大级间耦合兼隔离反向激光; 菲涅耳菱体配合大口径多层介质薄膜偏振器组成隔光器用于隔离反向激光。

实验测得由双普克耳斯盒开关削出脉冲的信噪比 $> 10^6$, 单个大口径普克耳斯盒开关隔光比 $> 4 \times 10^3$, 菱体隔光器的隔光比 > 20 , 故 $\eta_{\text{总}}$ 达到 3×10^{12} 。

实验还测得六束装置总体运转时, 在每束输出为 50 焦耳时, 由每束到达靶面上的漏光和超辐射能量(指在主激光脉冲之前)约为 1 毫焦耳量级, 故信噪比 $\sim 5 \times 10^4$ 。

实验表明,本系统能可靠稳定地工作,达到设计要求。菱体隔离器的采用简化了激光装置的设计和作。

本系统所采用的元件全是我们设计的,材料均为国产品。

强激光系统的最大可聚焦功率与强激光束的空间滤波

中国科学院上海光机所 曹渭楼 万承国 谢怀家

本文着重介绍了有无强激光空间滤波器时的强激光传输实验情况,推导了强激光可聚焦功率与不可聚焦功率和小尺寸自聚焦的关系,并就空间滤波器的光束软边与反激光隔离的效果进行了讨论。主要内容有:

(一)强激光束有无空间滤波器时的传输特性,

(二)小尺寸自聚焦对强激光束可聚焦功率与不可聚焦功率的影响,

(1)关于强激光束自聚焦与自相调制的物理图象,

(2)关于自聚焦的临界功率,

(3)小尺寸扰动的不稳定增长速率与空间波数的关系,

(4)强激光束分裂的物理图象,扰动增长最快的空间波数与自聚焦临界功率的定量关系,

(5)空间滤波器的空间波数与滤波器单元参数的关系,

(6)选择滤波器空间波数的基本根据,

(7)空间滤波器的透过率与光束分裂积分及光强初始扰动分布的关系,

(8)选择合适的放大器增益、放大器级数或光束分裂积分值,以获得最大的可聚焦功率,

(9)所用空间滤波器的各项参数计算,

(10)不可聚焦功率的增长速度与光束分裂积分、介质的非线性折射率 n_2 及放大器增益系数 β 的关系。

最后,我们得到强激光系统输出功率中不可聚焦功率所占百分数与输入此系统功率中不可聚焦功率所占百分数之比为:

$$e^B = e^{\frac{\kappa\gamma}{n_0\beta} p}$$

式中 B 为光束分裂积分, k 为激光波数, n_0 为介质折射率, β 为介质小信号增益系数, p 为激光系统输出功率, γ 为正比于介质非线性折射率 n_2 的常数。可见,选择低 n_2 、高增益系数 β 的激光工作物质是何等重要。

激光聚爆玻璃球壳靶中硅和氧的 X 射线发射谱 和各离化态粒子数密度的分布

中国科学院上海光机所 吴存恺 楼祺洪

为了提高流体动力学特性,从而在较小的激光功率和能量下获得大的向心压缩,在激光核聚变的近期实验中,都采用充有氘氚热核燃烧气或带有冷冻的固体氘氚衬里的玻璃球壳靶。在一维三温度拉格朗日流体力学热核燃烧的计算机编码中,多半是将电子视为具有费米简并特性的粒子,而离子视为完全离化的理想气体。然而,靶材粒子的离化度对流体力学和热核燃烧过程有显著影响。故在激光辐照下,离子的状态不能认为是完全离化的。另外,在激光核聚变中, X 射线辐射谱是一个很重要的诊断手段。我们通过求解硅和氧的五个高离化态的十三个能级粒子数密度的速率方程,分别求得了硅和氧各离化态的粒子数密度的时间分布。计算了硅的类氢、类氦的八条线状辐射谱,计算了复合辐射谱。对于韧致辐射,我们分成二十个频率