

类氦锗 X 射线激光光学特性研究*

何绍堂 何 安 淳于书泰 张启仁 顾元元

西南核物理与化学研究所,成都, 610003

倪元龙 余松玉 周正良

中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理开放研究实验室,上海, 201800

1991 年 4 月 11 日收到

本工作测量了类氦锗 3s-3p X 射线激光的 23.2nm 和 23.6nm 两条强激光跃迁线水平方向和垂直方向的空间分布. 当靶长 20mm 时, X 射线激光水平方向束发散角约为 12mrad, 主束指向偏离线状等离子体轴线约 8mrad; 垂直方向束发散角约为 22mrad. 本工作还采用钼/硅多层膜平面反射镜, 对 X 射线激光进行正反射, 获得了 X 射线激光双程放大的光学特性.

PACC: 4220; 4225V

一、引 言

随着 X 射线激光实验研究工作不断取得进展^[1-4], 研制 X 射线激光谐振腔的任务已提到了日程上^[5]. 因为当前获得的 X 射线激光光束都不很强, 一般只有 10kW 数量级^[6], 要达到应用 X 射线激光于光刻或全息照相等方面, 必须采用 X 射线激光谐振腔, 使 X 射线激光进行多次放大, 获得高亮度的 X 射线激光光束. 为了研制 X 射线激光谐振腔, 除了要研制高反射率的正反射 X 射线激光反射镜以外, 还要了解 X 射线激光的光学特性. London^[7]就 X 射线激光光学进行了理论研究. O'Neill 等人^[8]和 Keane 等人^[9]进行了实验研究. 我们在过去实验^[9]的基础上, 就 X 射线激光的光学特性进行了更详细的研究, 并且采用钼/硅多层膜反射镜对 X 射线激光进行反射, 研究了双程放大的 X 射线激光的光学特性.

二、实验方法

实验是在本所的神光装置上完成的. 神光装置运行在单束状态, 波长为 1.05 μm , 脉冲宽度约为 1ns, 每发能量约为 550J, 线聚焦宽为 120 μm , 长为 25mm. 泵浦激光脉冲辐照厚 2mm, 长 20mm 的块状条形纯 (99.99%) 锗靶, 靶面功率密度约为 1.2×10^{19} W/cm². 在泵浦激光作用下, 产生类氦锗 3s-3p X 射线激光.

* 国家“863”高技术项目资助的课题.

实验装置见图 1。靶的一端放置掠入射光栅谱仪^[10]，测量垂直方向的 X 射线激光强度及其空间分布，谱仪狭缝的长度方向

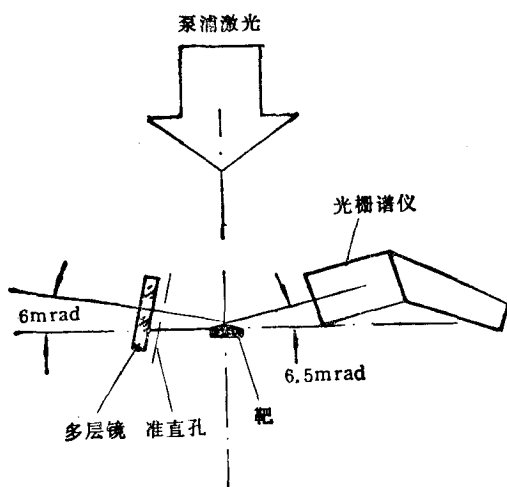


图 1 实验装置

垂直于泵浦激光光束，与线状等离子体的轴线偏角为 6.5mrad 。此偏角是考虑了水平方向折射偏转而决定的。测量水平方向的 X 射线激光强度分布时，用平场光栅谱仪^[11]，谱仪狭缝的长度方向平行于泵浦激光光束。两台谱仪都用 Kodak 101-07 胶片进行摄谱。测量双程放大的 X 射线激光光学特性时，在靶的另一端与光栅谱仪相对应的位置上放置多层膜平面镜，对 X 射线激光进行正反射。平面镜由钼和硅组成，每层钼和硅的总厚度为 12.6nm ，共 15 层对，底衬为玻璃。多层膜反射镜对 23.2nm 的 X 射线的反射率约为 15%。

的 X 射线的反射率约为 15%。

三、实验结果

1. 单程放大的 X 射线激光光学特性

不加多层膜反射镜，光栅谱仪测量的 X 射线激光强度的空间分布，反映了单程放大的光学特性。

1) 水平方向的空间分布 图 2 示出一发打靶用平场光栅谱仪测量的 X 射线激光 (23.2nm 和 23.6nm) 线强度在水平方向的空间分布。由此分布得到束发散角约为 12mrad ，再根据线强度分布的峰值位置和谱仪的几何条件，得到束折射偏转角约为 8mrad 。

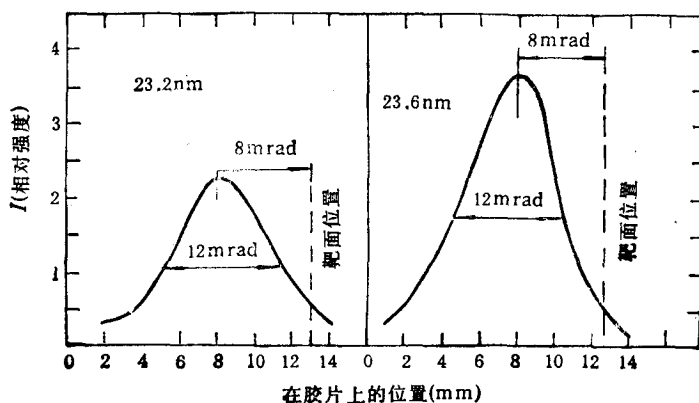


图 2 X 射线激光在水平方向的强度分布

以上结果,与 O'Neill 等人^[6]的结果基本一致,也与我们过去的结果^[10]相符合。

2) 垂直方向的空间分布 图 3 示出一发打靶用掠入射光栅谱仪测量的 X 射线激光强度在垂直方向的空间分布。由此分布得到束发散角约为 22mrad。从图 3 看出,垂直方向的分布图形基本上是对称的,而且不发生水平方向那样的折射偏转。

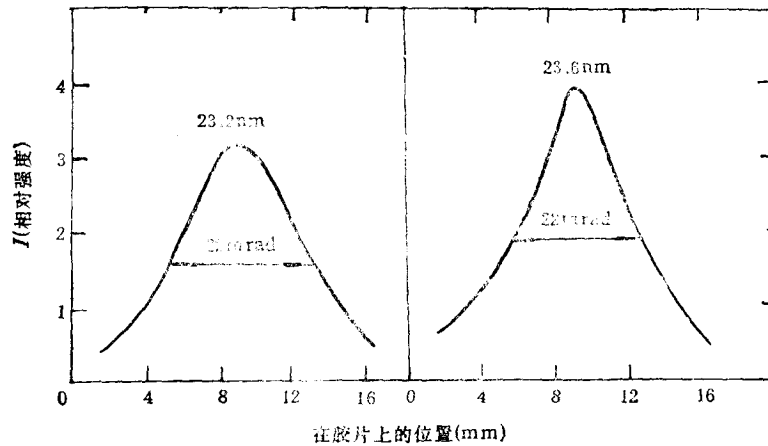


图 3 X 射线激光在垂直方向的强度分布

一般认为,水平方向存在着等离子体密度的不均匀性。泵浦激光加热靶物质,形成高温高密度等离子体,此等离子体迅速向外膨胀。靠近固态靶面,等离子体密度比较高,离开靶面,等离子体密度较低,这就形成了等离子体的密度梯度。X 射线激光在放大过程中,从一端向另一端传播,由于受密度梯度的影响,使 X 射线激光的主束指向产生折射。折射使得 X 射线激光总是向着偏离高密度区域的方向行进。这就形成了水平方向的折射偏转角。而在垂直方向,高斯型强度分布的入射激光与靶物质相互作用,在此方向上形成比较均匀的等离子体。密度比较均匀的等离子体不会引起可观的折射,所以,垂直方向的 X 射线激光强度分布基本上以线状等离子体的轴线为对称。

以上的实验数据为 X 射线激光光学特性的理论模拟提供了证据,通过理论模拟可以得到等离子体密度分布图象。由于受实验技术的限制,目前还没有办法对密度分布的图象作出可靠的诊断。

2. 双程放大的 X 射线激光光学特性

在与光栅谱仪相对的位置上,即在靶的另一端放置钼/硅多层膜平面镜,经镜反射的 X 射线激光再一次通过线状等离子体。此时,光栅谱仪测量的 X 射线激光强度分布,为双程放大后的信号。保持多层膜平面镜到靶端的距离 20mm,改变镜面法线与线状等离子体的轴线夹角(以下称镜偏角),测量了双程放大的 X 射线激光水平方向的强度分布。获得的结果示于图 4 中。

从图 4 的结果,得到如下两点:第一,当镜偏角在 6—8mrad 内变化时,双程放大信号峰值强度没有多大差异。当镜角为 10mrad 时,双程放大信号强度峰值明显下降。第二,镜偏角从小到大变化,双程放大信号峰值位置逐渐向靶面方向靠拢。当镜偏角为 10

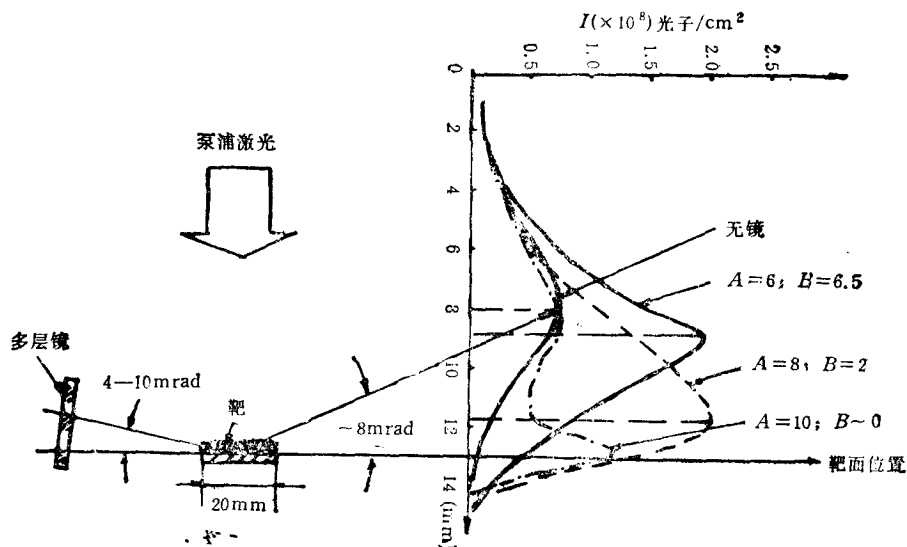


图4 双程放大X射线激光光学特性
A为镜偏角(mrad); B为峰位偏角(mrad)

mrad时,双程放大信号峰值位置基本上与靶面位置相重合。这些结果说明,适当选择镜偏角,能做到在不牺牲X射线激光输出强度情况下,改变X射线激光主光束的方向。另外,由镜偏角的改变引起X射线激光输出强度的变化情况,也给X射线激光的增益介质的状态提供了某些信息。例如,当镜偏角达10mrad时,经镜反射的X射线激光以靠近靶面的方向进入增益介质。此时,介质的电子密度较高,电子温度较低,不利于X射线激光的放大,所以双程放大信号强度降低。而当镜偏角在6—8mrad时,经镜反射的X射线激光以稍偏离靶面的方向进入增益介质。此时双程放大信号强度是高的,说明X射线激光最好的增益区在离开靶面的某一区域内。这同理论模拟结果是一致的。

四、结 论

在本工作中,测量了一些X射线激光在线状等离子体中传播的光学特性数据,也测量了在固定反射镜距离的条件下的双程放大信号的光学特性。这是我们研制X射线激光谐振腔的首轮实验。实验中获得的数据,对谐振腔的几何安排和X射线激光的理论分析都是很有用的。我们正在继续进行实验研究和理论分析,争取在较短的时间内研制成X射线激光谐振腔,获得高亮度,相干性好,并具有应用价值的X射线激光光束。

感谢本实验室实验人员的密切合作。感谢神光装置运行人员的大力协助。

- [1] D. Mathews *et al.*, *J. Opt. Soc. Am.*, **B4**(1987), 575.
- [2] T. N. Lee, E. A. McLea and R. C. Elton, *Phys. Rev. Lett.*, **59**(1987), 1195.
- [3] 淳于书泰等,强激光与粒子束,2(1990),280.
- [4] 王世绩等,强激光与粒子束,2(1990),273.
- [5] N. M. Ceglio *et al.*, *Appl. Opt.*, **27**(1988), 5022.

- [6] D. M. O'Neill *et al.*, *Opt. Comm.* 75(1990), 406.
[7] R. A. London, *Phys. Fluids*, 31(1988), 184.
[8] C. J. Keane *et al.*, *J. Phys. B.* 22(1989), 3343.
[9] 何绍堂等, 物理学报, 39(1990), 1751.
[10] 何绍堂等, 强激光与粒子束, 2(1990), 455.
[11] 倪元龙等, 强激光与粒子束, 2(1990), 封底.

MEASUREMENTS OF BEAM OPTICAL CHARACTERISTICS OF NEON-LIKE GERMANIUM X-RAY LASER

HE SHAO-TANG HE AN CHUNYU SHUTAI ZHANG QI-REN, GU YUAN-YUAN

Southwest Institute of Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu, 610003

NI YUAN-LONG YU SONG-YU ZHOU ZHENG-LIANG

*Laboratory of High Power Laser and Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica,
Shanghai, 201800*

(Received 11 April 1991)

ABSTRACT

The spatial profiles in the horizontal and vertical direction of lasing line intensity of neon-like germanium were measured. For a 20mm long plasma of 120 μ m lateral dimension, the main beam in the horizontal direction is found to exhibit an angular divergence of 12 mrad with a offset displaced 8 mrad from the plasma axis and the beam angular divergence in vertical direction is about 22 mrad. In addition, the characteristic of beam optics of the double-pass amplification was diagnosed using a Mo/Si multilayer mirror.

PACC: 4220; 4225V