

激光辐照凹形靶提高激发态离子的丰度

冯贤平 徐至展 林礼煌 李跃林
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文通过分析比较激光辐照平面和凹形结构靶实验产生的等离子体辐射特性,发现在凹形靶的凹域中存在着丰富的高激发态离子并发射强的激光等离子体 X 射线。

关键词: 凹形靶, 激发态离子, 激光等离子体。

在以激光产生的等离子体作为 X 射线激光增益介质的研究中,人们发现大尺寸的等离子体介质及其内高丰度的高激发态离子的存在已经成为形成激光介质的二个最基本因素。提高等离子体内高激发态离子的丰度有利于提高 X 射线激光的增益系数^[1],而提高介质的长度有利于增加 X 射线激光强度输出^[2]。但在一定的激光条件或实验装置上,要同时满足上述二个条件有很大困难,原因在于当激光辐照功率一定时,为产生更大的等离子体介质源,就必须牺牲入射激光的功率面密度,从而也就限制了在等离子体中高丰度的高激发态离子的产生。为了改进这一相互制约的条件,本文采用激光辐照凹形靶的方式,目的是使等离子体除外界激光对其作用外,内部粒子间也发生强相互碰撞,从而在较低的入射激光条件下,在等离子体内获得更为丰富的高激发态离子。

实验是在中国科学院上海光学精密机械研究所六路钕玻璃激光等离子体装置上进行的。为提高靶面辐照功率,采用二路激光合并成一路单面辐照靶的方式^[3], $1.06\ \mu\text{m}$ 、 $250\ \text{ps}$ 的激光经非球面透镜($f/2$)和柱面透镜组合后,在靶面形成长约 $1.6\ \text{mm}$,宽 $100\ \mu\text{m}$ (半功率点)的矩形焦区,激光器的输出能量控制在 $4\sim 25\ \text{J}$ 之间,靶面功率密度在 $(1\sim 6)\times 10^{13}\ \text{W}/\text{cm}^2$ 之间,诊断系统处于 $10^{-2}\ \text{Torr}$ 的真空中。

实验采用铝、铜元素作为靶材;靶的基本结构为二种,一种是在厚为 $100\ \mu\text{m}$ 的铝(或铜)箔上压制直径为 $300\ \mu\text{m}$ 的半圆弧凹形靶;另一种是一般的平面靶。在与靶面法线成 37° 角方向上放置一具有空间分辨的透射光栅光谱仪以获得软 X 波段的光谱结构。

从实验结果分析,我们发现激光辐照铝靶产生的等离子体 X 射线主要是由铝离子的 K 带和 L 带的激光等离子体 X 射线谱组成的。随着入射激光功率的增大,铝的激光等离子体 X 射线谱强度也相应加强,但对应不同结构靶,铝各个谱带的激光等离子体 X 射线强度与入射激光关系是极为不同的。在图 1 中,分别列出了激光辐照二种结构的靶时所获得的激光等离子体 X 射线强度随入射激光强度变化的曲线。等离子体中铝离子 L 带的激光等离子体 X 射线谱强度基本上是随辐照激光功率增强而呈逐渐上升趋势。而对于铝离子 K 带激光等离子体 X 射线光谱强度,则与 L 带谱有明显的不同,当激光辐照平面靶时,它所产生的

的铝 K 带激光等离子体 X 射线强度变化与铝 L 带有相似的发展趋势和量值; 而在激光辐照

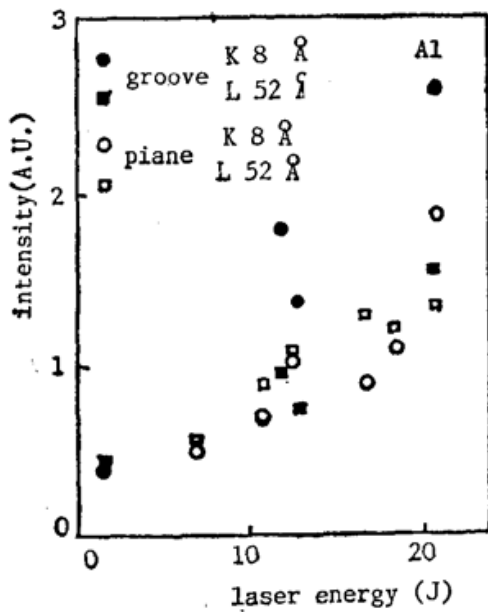


Fig. 1 The K -line ($1s^2-1s2p$) and the L -line ($2p-3d$) emission intensity from aluminum plasma versus laser energy

关系上也很容易来说明上面所产生的物理现象^[4]。

除了对上述对铝的激光等离子体 X 射线谱分析外, 作者还曾对铜的二种结构靶进行了类似的分析。实验结果表明, 铜的激光等离子体 X 射线强度主要是铜的 L 带谱和 M 带谱组成。图 2 列出了经实验数据处理后得到的各种实验条件下, 铜的 L 带激光等离子体 X 射线及 M 带激光等离子体 X 射线强度与入射激光强度间的变化曲线。

从图 2 可看出, 靶的结构对铜的 M 带激光等离子体 X 射线谱强度几乎没有什么变化, 且它们的强度随激光强度变化也不明显, 但铜的 L 带激光等离子体 X 射线强度要比 M 带强许多。此外, 实验结果还表明, 激光辐照凹形靶产生的处于高激发态离子比起打平面靶要丰富许多。这个结果与上面的铝离子反映出的现象是一致的, 不同之处是它们随入射激光变化趋势不同。在图 2 中, 铜的 L 带激光等离子体 X 射线强度随激光功率增大呈饱和趋势, 此外, 铜的激光等离子体 X 射线总强度要比铝的激光等离子体 X 射线强度大得多, 这可能由于高 z 元素与低 z 元素靶对入射激光的不同吸收效率所致。

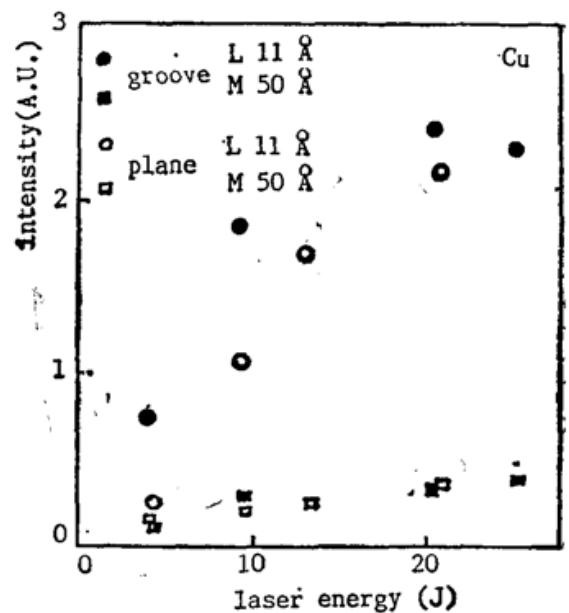


Fig. 2 One L -line (Cu^{19+} , 11\AA) and one M -line (Cu^{18+} , 50\AA) emission intensity from copper plasma vs. laser energy

最后, 总结上述实验结果, 不难发现凹形靶能提高铝的 K 带和铜的 L 带激光等离子体 X 射线强度, 但不能提高铝的 L 带和铜的 M 带的激光等离子体 X 射线强度。作者认为, 引起这种现象的主要原因是, 在本实验条件下产生的等离子体中, 基本上不存在(或者说存在

很少的) M 带对应的铜离子和 L 带对应的铝离子, 即强激光已将这一类离子电离到更高电离级上, 而在凹形靶情况下所形成的等离子体中, 电子、离子相互作用更为激烈, 在这种情况下, 是不能提高铝的 L 带和铜的 M 带的激光等离子体 X 射线强度。

参 考 文 献

- [1] 冯贤平等;《物理学进展》,1988, **8**, No. 3 (Jul-Sep), 311~327.
- [2] P. Jaegle *et al.*; *J. O. S. A. (B)*, 1987, **4**, No. 4 (Apr), 563~574.
- [3] 冯贤平等;《物理学报》,1988, **37**, No. 7 (Jul), 1183~1190.
- [4] 江志明等;《中国科学 A 辑》,1989, No. 4, 313~318.

High abundance excited state ions produced from laser irradiated groove targets

FENG XIANPING, XU ZHIZHAN, LIN LIHUANG, LI YAOLIN
(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 17 May 1989; revised 13 October 1989)

Abstract

By comparing the emission characteristics of plasma laser radiated from plane target with that of groove target, high abundance excited state ions and enhancement of laser-plasma X-ray are found.

Key words: groove target, excited state ion, plasma.