

激光加热微管靶得到很高的粒子数反转

利用三体复合机制已相继实现了 Al^{+11} 、 Mg^{+10} 离子类氢能级 $1s3p$ 与 $1s4p$ 间的粒子数反转^[1~3]。采用的办法是高功率激光脉冲打 Al 或 Mg 的平面靶,使之加温并达到完全离化,然后自由膨胀或在自由膨胀的同时加冷阱使电子温度迅速下降,以增加三体复合几率^[4]。在自由膨胀的等离子体冕区,电子温度 $T_e \approx 10 \sim 100$ eV, 电子密度 $N_e \approx 10^{18} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 。三体复合占主导地位,而辐射复合在其次。离靶面约 $60 \sim 200 \mu\text{m}$ 处观察到粒子数反转,但反转粒子数密度不高,相应的增益系数也低。这主要是由于自由膨胀使得等离子体密度下降造成的。一般的数据为, N_3 与 N_4 的密度约在 $10^{12} \sim 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ^[1~3]。增益 $0.2 \sim 1 \text{ cm}^{-1}$ 。当激光功率密度较高时,粒子密度可达 10^{15} cm^{-3} , 增益达 10 cm^{-1} ^[5]。还有,这些反转粒子还很难做到分布在同一轴向,起不到对自发辐射的行波放大作用。

为了得到高的反转粒子密度,并基本上沿同一方向分布,我们从研究激光与等离子体细丝的相互作用的过程中,产生了利用激光打微管靶的设想。通过 X 光晶体谱仪测定 Mg^{+10} 的类氢谱,从空间积分谱与空间分辨谱均判明:不仅在 $1s3p$ 与 $1s4p$ 之间有很高的粒子数反转与增益,在 $1s3p$ 与 $1s5p$ 之间也发现了很高的反转粒子密度和增益。

将激光聚焦于微形管靶,在管口及管壁产生的高温等离子体将向管内喷射,管壁本身又起了约束并冷却等离子体的作用。使得等离子体一直维持在高密度并沿微管轴方向分布,温度也降低了,这对实现管轴方向的受激辐射将是有利的。实验是在上海光机所六路激光装置上进行的,采用六路中的一路,能量 $4 \sim 10 \text{ J}$, 脉宽 $80 \sim 250 \text{ ps}$ 。靶面功率密度 $0.6 \sim 5 \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$, 激光频带宽度为 0.02 nm 。在沿激光前进的 z 方向,即靶的后向放置 TlAp 晶体谱仪 1,在靶的侧向,即 y 轴方向放置 TlAp 晶体谱仪 2,在靶的顶部,即 x 轴方向,放置针孔相机,在反激光方向取出二次谐波在条纹相机上扫描。靶是在厚

$180 \mu\text{m}$ 的镁箔上用激光打出 $\phi 40 \sim \phi 80 \mu\text{m}$ 的孔而作成的。靶的置放位置是在 xy 面上。

我们得到了镁的类氢类氦的时间空间积分谱的黑密度描述。比较这些描述可以看出,侧向与后向的 Mg^{+10} 离子的类氢谱线轮廓是不一样的。由透过率 T , 根据文献[3]的方法可以求出粒子数反转密度 ΔN 和相应的增益系数 g , 结果表明:在 $1s3p$ 与 $1s4p$, $1s5p$ 之间均有粒子数反转最高增益 $g = 17.2 \text{ cm}^{-1}$ 。与用同一功率水平的器件打铜作冷阱的镁靶^[2]的结果相比,反转粒子密度和增益系数增加了约 $20 \sim 30$ 倍。

为了判明反转粒子密度的空间分布,我们将微形管做成侧面有开口的微形管,微管内 X 光信息由开口进入晶体谱仪 2 进行测量,实验结果表明,粒子数反转密度的峰值在管内距管口 $120 \mu\text{m}$ 处。

这些结果已清楚地表明,高功率激光加热微管靶,使得管口附近产生了大量完全离化的等离子体,然后这些等离子体有一部分往外自由膨胀,另一部分向管内喷流,温度下降但密度较高,这样有利于得到管轴方向分布的粒子数反转。

本课题得到中国科学院自然科学基金资助。

参 考 文 献

- [1] 卢仁祥,毛楚生;《中国科学A辑》,1984, No.6, 573.
- [2] V. A. Bhagavatula; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1980, **QE-16**, 603.
- [3] V. A. Bhagavatula, B. Yaakobi; *Opt. Commun.*, 1978, **24**, 331.
- [4] V. A. Boiko et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1984, **QE-20**, 206.
- [5] D. L. Matthews et al.; *Phys. Rev. Lett.*, 1985, **54**, 110.

(中国科学院上海光机所 谭维翰 林尊琪

余文炎 顾敏 陈文华 郑玉霞

王关志 崔季秀 程瑞华 邓锡铭

1987年5月20日收稿)