

# 类锂钙和钾离子 X 射线激光的实验研究\*

徐至展 范品忠 林礼煌 李跃林 王晓方 陆培祥 韩申生  
李儒新 孙 岚 钱爱娣 江志明 张正泉 周锦智  
(中国科学院上海光学精密机械研究所激光等离子体物理研究室, 上海 201800)

陈万年 刘凤翹 谢梓铭 范滇元  
(中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理实验室, 上海 201800)

探索进入“水窗”波段以寻求 X 射线激光在近期的科学技术应用, 是当前实验室 X 射线激光研究的一个重要目标. 采用复合泵浦方案, 我们曾用较低的驱动激光功率首次实现了类锂硅离子  $5f-3d(8.884\text{ nm})$ ,  $5d-3p(8.728\text{ nm})$  跃迁软 X 射线激光, 并第一次发现了类锂硅离子的  $6f-3d(7.583\text{ nm})$  和  $6d-3p(7.464\text{ nm})$  新的 X 射线激光跃迁<sup>[1-4]</sup>. 最近, 我们进一步完成了线聚焦激光辐照  $\text{CaF}_2$  和  $\text{KCl}$  平板靶的实验, 探索了沿类锂离子等电子数序, 将软 X 射线激光推进至更短波长的现实可能性, 实现了类锂钙和类锂钾  $4f-3d$  跃迁的软 X 射线激光, 波长分别为  $5.77\text{ nm}$  和  $6.47\text{ nm}$ , 增益系数分别达到  $4.3\text{ cm}^{-1}$  和  $1.6\text{ cm}^{-1}$ . 同时也观察到了类氢氟  $\text{H}\alpha(8.09\text{ nm})$  的增益, 增益系数为  $1.4\text{ cm}^{-1}$ . 实验结果进一步显示了复合泵浦类锂离子方案在实现更短波长 X 射线激光方面的潜力.

类锂钙和钾离子的 X 射线激光的实验是在高功率激光物理实验室的 LF12 高功率激光装置上完成的. 激光输出能量为  $300-600\text{ J}$ , 准高斯型激光脉冲的脉宽约为  $900\text{ ps}$ . 实验布局与以前的实验基本相同<sup>[4]</sup>. 由六单元柱面透镜列阵和  $F/1.7$  非球面透镜组成的线聚焦系统, 在平面靶上生产了宽约为  $120\text{ }\mu\text{m}$ 、长为  $12.5\text{ mm}$  的焦线. 实验所用的靶是长度分别为  $2, 4, 6, 8$  和  $10\text{ mm}$  的表面经过抛光的  $\text{CaF}_2$  晶体和  $\text{KCl}$  晶体, 靶面上激光辐照功率密度分别为  $4\times 10^{13}\text{ W/cm}^2$  和  $2\times 10^{13}\text{ W/cm}^2$ .

实验中作为软 X 射线激光增益的主要诊断仪器是由一台平场谱仪和柱面镜-球面镜前置光学系统组成的消像散掠入射平场光栅谱仪系统<sup>[5]</sup>. 谱仪采用变间距光栅, 对于  $4.4\text{ nm}\sim 30\text{ nm}$  的波长范围都能获得聚焦很好的光谱, 光谱分辨约为  $0.01\text{ nm}$ . 前置光学系统补偿了光栅在掠入射时的像散, 在整个  $4.4\text{ nm}\sim 30\text{ nm}$  的波长范围里都能获得很好的一维空间分辨像.

实验中用了两种探测器, 即软 X 光底片和软 X 光条纹相机, 用前者获得空间分辨的时间积分光谱; 用后者获得空间分辨的时间分辨光谱. 实验所用的 X 光底片是由上海感光胶片厂提供的无保护层医用 5FX 光底片. 在实验中, 采用镀有铝膜的  $\text{C}_3\text{H}_6$  薄膜做成的 5 阶梯膜滤片, 对底片在  $5\sim 8\text{ nm}$  波长范围内进行了相对标定.

用上述获得的底片相对乳剂特性曲线, 用标准的光谱相对强度测量方法获得了五种长

度(2, 4, 6, 8 和 10 mm)等离子体柱的  $\text{Ca}^{17+} 4f-3d$ (5.77 nm) 和  $\text{F}^{8+} \text{H}\alpha$ (8.09 nm) 谱线的相对光谱积分强度, 利用增益关系公式, 作最小二乘法拟合, 得到的  $\text{Ca}^{17+} 4f-3d$  跃迁和  $\text{F}^{8+} \text{H}\alpha$  跃迁的最大激光增益系数分别为  $4.3 \pm 0.9 \text{ cm}^{-1}$  和  $1.4 \pm 0.3 \text{ cm}^{-1}$ , 相应的 GL 值分别为 4.3 和 1.4. 对 KOI 的光谱实验数据仅作了初步的处理. 由两个不同长度等离子体柱轴向光谱相对强度比, 得到  $\text{K}^{16+} 4f-3d$ (6.47 nm) 的激光增益系数是  $1.6 \text{ cm}^{-1}$ , 相应的 GL 值为 1.6. 应该指出, 在本次实验中, 尚未进行激光增益系数随靶面激光辐照功率密度变化的研究.

在实验中, 我们也看到了类锂  $\text{Ca}^{17} 5f-3d$  跃迁 ( $\sim 3.9 \text{ nm}$ ) 谱线. 我们预期利用类锂  $\text{Ca}^{17+} 5f-3d$  跃迁, 在中等规模的激光驱动装置上有可能实现“水窗”波段的 X 射线激光.

### 参 考 文 献

- [1] 徐至展等. 中国科学(A 辑), 1990, (1): 27
- [2] Zhi-zhan Xu *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(24): 2370
- [3] Zhi-zhan Xu *et al.*, *Appl. Phys. B.*, 1990, **50**(4): 147
- [4] 徐至展等. 中国科学(A 辑), 1991(4): 414
- [5] 范品忠, 张正泉等. 光学学报, 1992, **12**(2): 118

## Experimental study of Li-like calcium and potassium ion X-ray lasers

XU ZHIZHAN    FAN PINZHONG    LIN LIHUANG    LI YAOLIN    WANG XIAOFANG  
 LU PEIXIANG    HAN SHENSHENG    LI RUXIN    SUN LAN    QIAN AIDI  
 JIANG ZHIMING    ZHANG ZHENGQUAN    ZHOU JINZHI

(*Laser Plasma Physics Laboratory, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

CHEN WANNIAN    LIU FENGQIAO    XIE ZIMING    FAN DIANYUAN  
 (*High Power Laser Physics Laboratory, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

(Received 11 May, 1992)

### Abstract

Experimental results of Li-like calcium and potassium ion X-ray laser studies are presented. Gain coefficients of  $4.3 \text{ cm}^{-1}$  and  $1.6 \text{ cm}^{-1}$  for wavelengths of 5.77 nm and 6.47 nm, respectively, were observed.