

利用超快强光场产生的高次谐波 获得相干软 X 射线辐射

徐至展 张正泉 李学信 翟 侃 杨晓东

(中国科学院上海光学精密机械研究所强光光学开放研究实验室, 上海 201800)

摘 要 报道了在本实验室建立的 45 fs-2 TW 级超短超强钛宝石激光装置上, 以 Ar 气为非线性工作介质进行的高次谐波实验的初步结果。研究了激光能量和气体密度对高次谐波的影响, 目前得到的最高次谐波为 25 次, 相应波长为 31.4 nm。深入的实验研究正在进行之中。

关键词 高次谐波辐射, 强激光场, X 射线源。

近年来, 由于超短超强激光技术的迅速发展, 在远较传统装置小型化的台式激光系统上, 已经产生了高重复率的超短、超强脉冲(通常脉宽为 100 fs 量级甚至更短, 强度为 TW 甚至更高)。激光经聚焦可达到的功率密度即激光光强接近甚至超过 10^{18} W/cm² 量级。相应电场场强已达到甚至远超过了氢原子内部的库仑电场场强, 从而为强场物理领域进一步的深入研究与开拓发展提供了强有力的技术手段。在如此强的光场条件下, 激光与物质的相互作用将产生一系列前所未有的高阶非线性效应, 高次谐波辐射正是利用超短超强激光脉冲与原子相互作用的典型的高阶非线性效应之一, 是强场物理研究中最重要的前沿课题之一。实验上已观察到高次谐波辐射现象^[1, 2], 理论上用非微扰方法解释和模拟了高次谐波辐射过程^[3], 实验和理论都证明高次谐波辐射是产生相干软 X 射线的有效途径之一。作者在中国科学院上海光学精密机械研究所强光光学开放研究实验室的 45 fs-2 TW 级超短超强钛宝石激光装置上, 以 Ar 气为非线性工作介质, 初步研究了激光脉冲能量和气体密度对高次谐波的影响。

高次谐波实验装置由激光器、与激光器同步的脉冲气体阀、光谱仪、通道电子倍增管以及 Boxcar 门积分器等部分组成。从激光器输出的光束直径约为 50 mm, 脉冲宽度为 45 fs, 重复频率为 10 Hz, 中心波长为 785 nm, 线宽为 18 nm, 最大脉冲能量为 120 mJ。在实验中最大仅用到 50 mJ。激光经焦距为 50 cm 的复合透镜聚焦后, 焦斑直径约为 100 μ m(在谐波实验中多采用大焦斑长焦深即弱聚焦方式, 目的是得到较好的相位匹配, 提高转换效率), 焦点位于脉冲气体喷嘴下方约 1 mm 处(脉冲气体由压电陶瓷气体阀提供), 利用时间延迟电路实现激光脉冲和脉冲气体同步, 气体喷嘴直径为 1.5 mm, 气体密度约为 10^{17} /cm²。产生的谐波信号由一米掠入射光栅单色仪分光, 经通道电子倍增管接收并放大, 放大后的电信号

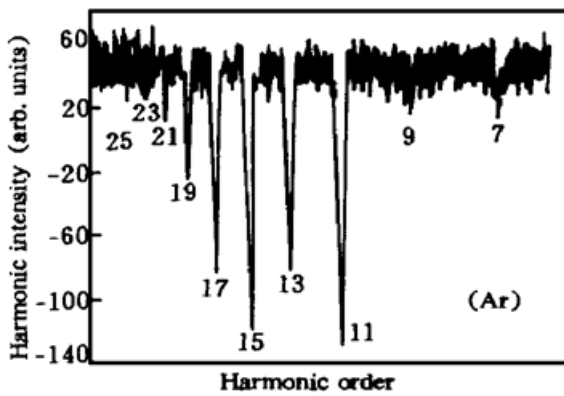


Fig. 1 Example of high-order harmonic spectrum observed in Ar

由Boxcar 门积分器处理后,用示波器或记录仪记录。由示波器记录得到的典型谐波信号如图 1 所示。

目前得到的最高次谐波为 25 次,相应的波长为 31.4 nm,得到的第 11 次谐波信号非常强,可能是由多光子与 Ar 的第一电离能近共振引起的。图中的信号强度为相对值,对单色仪光栅的衍射效率和通道电子倍增管的增益尚未定标。当气体密度不变时,分别用 50 mJ、40 mJ 和 30 mJ 的脉冲能量进行实验,发现 50 mJ 时的信号最强,谐波次数最高,其次为 40 mJ 和 30 mJ。当保持激光脉冲能量(50 mJ)不变而增加气体密度时,谐波次数升高,信号明显增强。初步的

实验结果表明,高次谐波辐射是一相干辐射过程,谐波信号强度和谐波次数与参与的粒子数和激光强度都有明显的依赖关系。进一步的系统研究正在进行中。

参 考 文 献

- [1] J. J. Macklin, J. D. Kmetec, C. L. Gordon III., High-order harmonic generation using intense femtosecond pulses. *Phys. Rev. Lett.*, 1993, **70**(6) : 766~ 769
- [2] J. Zhou, J. Peatross, M. M. Murnane *et al.*, Enhanced high-harmonic generation using 25 fs laser pulses. *Phys. Rev. Lett.*, 1996, **76**(5) : 752~ 755
- [3] J. L. Krause, K. J. Schafer, K. C. Kulander, High order harmonic generation from atoms and ions in the high intensity regime. *Phys. Rev. Lett.*, 1992, **68**(24) : 3535~ 3538

Coherent Soft X-Ray Radiation Obtained by High-Order Harmonic Generation

Xu Zhizhan Zhang Zhengquan Li Xuexin Zhai Kan Yan Xiaodong
(Laboratory for High Intensity Optics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 22 May 1997)

Abstract With 45 fs-2 TW Ti:sapphire laser system, the effects of laser intensity and gas density on the high-order harmonic generation were studied. The highest order harmonic up to the 25th(31.4 nm) in argon was observed.

Key words high-order harmonic generation, strong laser field, X-ray source.