

# 阿秒啁啾的动态补偿

超快光学

郑颖辉 曾志男 邹璞 张丽 李小芳 刘鹏 李儒新 徐至展

(中国科学院上海光学精密机械研究所强场激光物理国家重点实验室, 上海 201800)

**强**场高次谐波(HHG)与阿秒脉冲的产生是重要的前沿科学研究领域。阿秒脉冲以前所未有的精度探测超快电子动力学以及可以实现精密测量的极紫外(XUV)波段频率梳技术引起了人们巨大的关注。目前最重要的研究目标之一就是获得尽可能短的高次谐波阿秒脉冲, 但获得变换极限阿秒脉冲受高次谐波辐射固有啁啾的根本限制, 因而对阿秒脉冲进行相位控制和啁啾补偿从而产生变换极限阿秒脉冲就变得至关重要。

至今已报道的控制阿秒脉冲啁啾的方法主要有两种, 分别为采用 X 射线波段啁啾反射镜<sup>[1]</sup>和具有负群速度色散(GDD)的透射介质, 如金属薄膜<sup>[2]</sup>和气体介质<sup>[3]</sup>。前者由于 X 射线波段啁啾镜制作工艺高而难以实现, 后者依赖于透射介质的色散特性, 难以避免的是介质在提供了色散补偿的同时也对谐波辐射存在吸收损耗, 这就需要在介质可提供的负 GDD 和吸收损耗之间寻求一个平衡, 因此限制了可实现啁啾补偿的光谱范围。除此以外, 以上所述的方法均基于材料的色散特性, 在 XUV 波段绝大多数材料具备的都是负色散特性, 因此至今实验上实现的仅仅是对正啁啾的补偿, 对阿秒脉冲进行负啁啾的补偿极其困难。

我们提出了利用驱动激光场控制的色散特性来补偿阿秒脉冲固有啁啾, 将这种不同于以往利用介质静态色散特性的方法称之为啁啾的动态补偿方法。为了补偿阿秒脉冲的固有啁啾, 在 HHG 的驱动基频激光场上叠加一个弱的倍频场, 通过调节双色场之间的相对延迟可使啁啾补偿从负到正连续变化。图 1(a)分别给出了单色场 S 和相互平行偏振的双色场在 4 个不同相对延迟 A, B, C, D 情况下 19~29 次谐波相邻级次之间的谱相位差, 其中延迟 B, C, D 表示相对于 A, 延迟改变量分别为 0.0535, 0.2176, 0.4691 fs<sup>[4]</sup>。从图 1(a)可以看出, 在延迟 B 情况下, 二阶谱相位即谐波的啁啾最小, 为  $5 \times 10^{-3}$  fs<sup>2</sup>, 而 A, C, D 的分别为  $1.5 \times 10^{-2}$ ,  $2.4 \times 10^{-2}$  和  $2.6 \times 10^{-2}$  fs<sup>2</sup>, 单色场的为  $1.3 \times 10^{-2}$  fs<sup>2</sup>。图 1(b)为反演得到的阿秒脉冲时域图, 在优化延迟 B 时阿秒脉冲宽度为 231 as, 而变换极限脉冲宽度为 220 as。由此可见, 采用这种新方法, 我们第一次从实验上实现了对阿秒脉冲负啁啾的补偿并获得了近变换极限的阿秒脉冲。

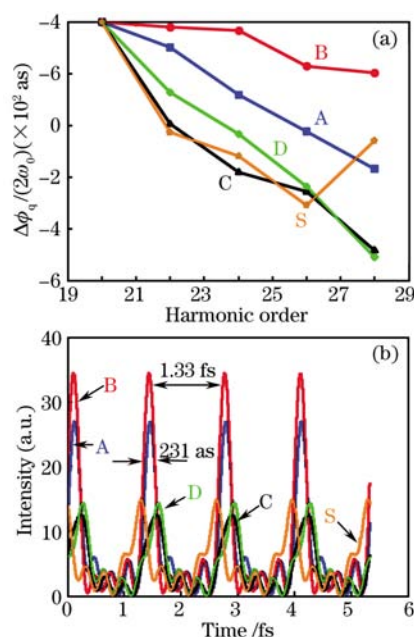


图 1 (a)测量所得 19~29 次谐波相邻级次之间的谱相位差; (b)反演得到的阿秒脉冲链时域波形

这种新方法的优点在于, 通过改变基频和倍频光场之间的相对延迟和强度比, 阿秒脉冲的啁啾补偿可以简单地连续改变, 以至能迅速适应 HHG 过程中各种不同的条件, 这为阿秒相干控制创造了新机遇, 对变换极限阿秒脉冲的产生、超快电子动力学的研究等都具有极其重要的意义。

基金项目: 国家自然科学基金(10734080, 60578049, 0523003), 973 项目(2006CB806000)资助课题。

通信作者: 曾志男, E-mail: zhinan\_zeng@mail.siom.ac.cn

## 参考文献

- 1 A. Morlens *et al.* *Opt. Lett.*, 2005, **30**(12): 1554~1556
- 2 R. López-Martens *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 2005, **94**(3): 033001
- 3 K. T. Kim *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 2007, **99**(22): 223904
- 4 Y. Zheng *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 2009, **103**(4): 043904