

激光与薄膜靶相互作用产生准单周期相对论脉冲与高能质子束

超快光学

沈百飞 吉亮亮 张晓梅

(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)

目前等离子体镜及其他技术的发展使得强激光的对比度得到极大提高, 纳米尺度薄膜靶的制作也得以实现, 这为研究强激光与薄膜靶相互作用提供了条件。相对论激光与薄膜靶作用有很多重要的应用, 其中主要的一个方面是激光来加速产生高能离子束, 另一个方面, 激光本身也会受到靶的影响, 本文就是重点研究这种影响的应用^[1]。

当圆偏振激光入射到高密度薄膜靶时, 若参数满足一定条件, 靶的透过率就会受到入射激光的非线性调制, 即激光强度越大, 对应的靶透过率越高, 因此激光强度较大的部分得以透过, 而较小的部分被靶反射或吸收, 最后产生一个脉宽远小于入射激光脉冲的透射脉冲。当入射激光的脉宽减小到一定程度时, 就会产生一个准单周期的透射脉冲, 如图 1 所示。由于此过程仅仅涉及激光与等离子体作用, 不存在光学器件的损伤阈值问题, 因此可以得到极高的、相对论强度的准单周期激光脉冲^[2]。

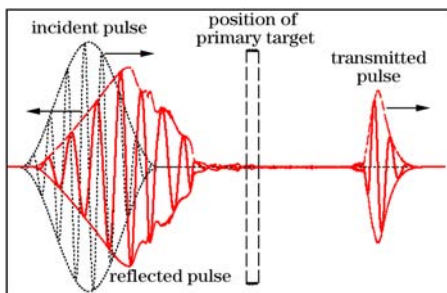


图 1 透射脉冲产生示意图

用理论模型仔细分析了其物理过程, 考虑了靶很厚不存在激光透射的情况。此时, 在入射激光的有质动力作用下, 电子被向内推动, 产生位移, 直至激光最强部分作用到靶上时, 电子层位移达到最大值。此最大位移是一个关键参数, 只有当靶厚大小在其附近时, 激光透过现象才比较显著。

我们在最大位移值的附近取了 3 个不同的靶厚值 d , 通过模型计算出在一定入射脉冲作用下, 薄膜靶对应的激光透过率, 如图 2 所示。三者均体现了同样的趋势, 激光强度大时对应的透过率也大。区别在于, 较薄的靶, 其峰值透过率最大, 对应的透射脉冲强度最高, 不过脉宽也较大; 较厚的靶虽然产生的脉宽很小, 脉冲强度却很低。因此, 综合考虑, 中间靶厚是最合适的。

根据上述分析, 对应某一给定的激光, 通过以下步骤就可以产生超短的透射脉冲: 首先从理论模型中计算出对应

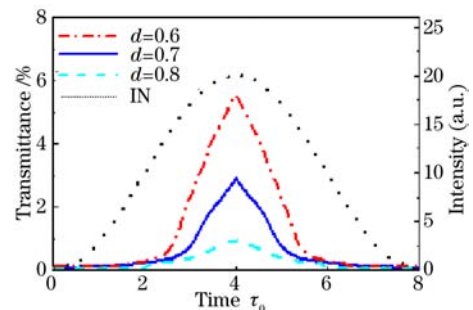


图 2 不同靶厚的透过率变化

的最大位移值, 然后在此值附近取一系列不同厚度的靶, 通过模拟, 给出透射脉冲参数与靶厚的关系, 从而根据实际需要选择最适合自身应用的靶厚。

采用波长为 $1 \mu\text{m}$, 峰值功率为 10^{21} W/cm^2 , 脉宽为 $4T_0$ 的圆偏振激光脉冲, 密度为 $8n_c$ 的薄膜靶 (T_0 为激光周期, n_c 为临界密度), 通过计算与模拟, 得出最佳靶厚 $d=0.7 \mu\text{m}$, 一维粒子模拟显示, 可产生一个 $4.3 \times 10^{20} \text{ W/cm}^2$, $1.1 T_0$ 的准单周期相对论脉冲, 如图 1。为验证其实用性, 进行了二维模拟, 将靶厚增加到 $0.75 \mu\text{m}$ 以补偿钻孔效应, 得到 $3 \times 10^{20} \text{ W/cm}^2$, $1.2 T_0$ 的激光脉冲, 表明此机制仍然很有效。

在激光与薄膜靶作用加速质子方面, 圆偏振激光利用光压整体加速质子是非常有效的手段, 之前的研究表明, 靶必须厚于一个临界靶厚, 这种光压整体加速机制才有效。我们发现, 若激光的上升沿较缓, 只要所有参数满足稳定解的条件, 光压加速就可以实现, 靶厚可以远小于所谓的临界值。而较薄的靶可以得到更大的能量, 加速效率也更高^[3]。

基金项目: 国家 973 计划(2006CB806004)和国家自然科学基金(10675155, 10834008 和 60921004)资助课题。

通信作者: 沈百飞, E-mail: bfshen@mail.shcnc.ac.cn

参考文献

- 1 B. Shen et al., *Phys. Plasmas*, 2001, **8**(3): 1003~1010
- 2 L. Ji et al., *Phys. Rev. Lett.*, 2009, **103**(21): 215005
- 3 L. Ji et al., *Phys. Rev. Lett.*, 2009, **102**(23): 239501