

# 关于用光学方法产生高次谐波的建议

程 亚 徐至展 韩申生

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

## A Proposal for the High-order Harmonics Generation by Using an Optical Method

Cheng Ya Xu Zhizhan Han Shensheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

出于对生命科学、材料科学的研究需要,研制短波长的相干光源成为世界上各国科学家都十分重视的一个课题。目前产生短波长相干光的方法大致有 1) 同步辐射光源; 2) 自由电子激光器; 3) X 射线激光; 4) 高次谐波。这些方法各有长短,但遗憾的是都未能达到水窗波段,且装置都很昂贵。

作为得到 X 波段光的一种方法,高次谐波的主要优点是波长可调谐,短脉宽且脉宽可调以及输出光的良好相干性。目前产生高次谐波的办法很多,其基本原理主要是利用电子对平面电磁波的非线性响应,如相对论非线性等。但是谐波法的一个共同缺点是效率太低。要得到的输出光波长越短,转换效率就越低。目前最好的结果产生的谐波级次约为 70 余次,转换效率为  $10^{-6}$ 。

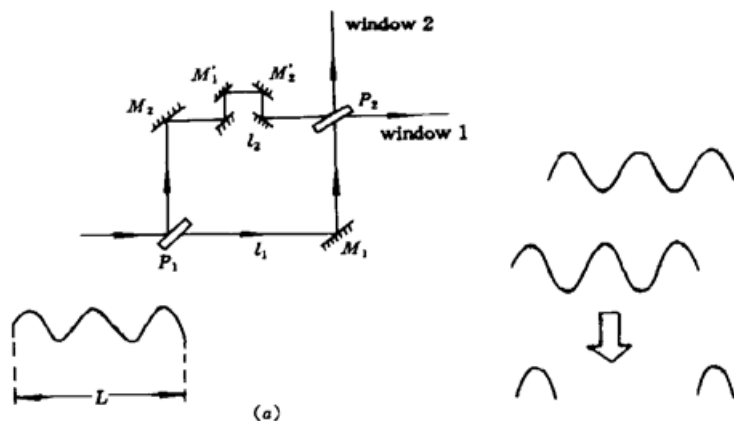


图 1 (a)  $P_1, P_2$  为半透半反镜,  $M_1, M_2, M_1', M_2'$  为全反镜, 调节  $M_1', M_2'$  可使  $l_2 - l_1 = \lambda/2$ ; (b) 经分光板  $P_1$  劈束后的两束光在窗口 1 出射后重叠。由于相差  $\pi$  位相, 最终出射光为两个半周期正弦脉冲

Fig. 1 (a)  $P_1$  and  $P_2$  are half penetrable mirrors, and  $M_1, M_2, M_1'$  and  $M_2'$  are mirrors, where  $l_2 - l_1 = \lambda/2$ ; (b) The beam 3 out of window 1 is composed of two half period sine pulses

这里给出一种利用光学方法产生高次谐波的方案,以期能够提高转换效率及谐波级次。首先考虑一理想的方脉宽的平面波,经过一马赫-陈德尔干涉仪[图 1(a)],适当调节光路可做到从窗口 1 出射的两相干光其光程差为  $l_2 - l_1 = \lambda/2$ ,从而对图示[图 1(b) 方波(脉宽  $L$  为奇数个半波长]而言,最终从窗口 1 出射的光为两个半波长的脉冲。

若将方脉宽光束设法分为  $N = 2L/\lambda$  束,再按图 2(a) 方式迭加,可得到图 2(b) 所示的脉冲系列。设该脉冲列的强度为  $I$ ,则由傅氏变换不难得到其谐波谱。其  $n$  阶( $n$  为偶数,奇数次谐波分量强度为 0) 谐波的强度为  $I/n^2$ 。显然,该法产生的谐波具有非常高的效率。

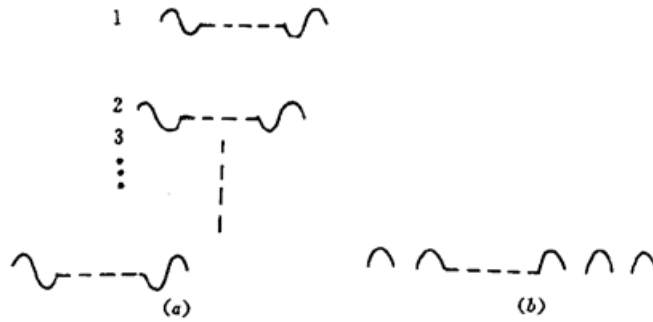


图 2 (a)  $N$  束光束每束相差  $\pi$  位相,然后叠加;(b) 得到的脉冲列,脉冲个数为  $N$   
 Fig. 2 (a) Every beam has a phase delay of  $\pi$  compared with its last one;  
 (b) Schematic of the beam out of window 1

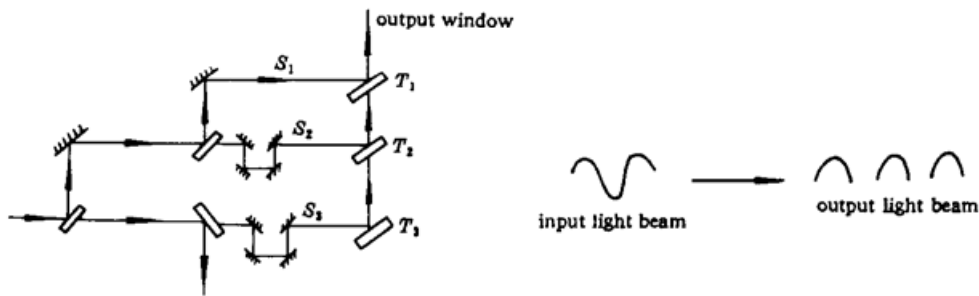


图 3 调整光路,使下列关系成立:  $S_3 - S_2 = S_2 - S_1 = \lambda/2$ 。上图中分光板均为半透半反镜,如使用透射率与反射率不相等的分光板,可减少光耗。但对  $N \gg 1$  的条件,以上光路更为优越

Fig. 3 Schematic of three half period sine pulses output, where  $S_3 - S_2 = S_2 - S_1 = \lambda/2$

图 3 给出了产生 3 脉冲列的原理性装置。更多的脉冲列产生装置可由此类推。由于半透半反镜只允许通过一半光强,因此若原始光的强度为  $I_0$ ,有  $I = I_0/(2N)$  关系存在。因而最终的转换效率可记为  $P = 1/(2Nn^2)$ 。取具体数值,例如  $N = 25, n = 200$ ,则得到的 200 次谐波转换效率约为  $(2 \times 10^6)^{-1}$ ,对  $0.8 \mu\text{m}$  的激光,这一级次已进入水窗。而对 70 阶左右的谐波,转换效率比目前的最好效果可提高一个量级。图 3 装置的一大缺陷是只有  $I_0/(2N)$  的能量被用作谐波转换,限制了效率的进一步提高。可能的解决办法之一是通过改进光路,将从分光板  $T_1, T_2, T_3$  (见图 3) 泄漏的光循环利用,以进一步提高效率。

对实际应用而言,方脉冲并非是必要的。对上升沿、下降沿较短(例如 2 到 3 个脉宽)的脉冲,该方法产生的谐波仍有相当的效率。同时,由于所用激光为短脉冲,激光总能量并不大,因此激光对镜子的冲击力可不予考虑。

最后指出,本文仅给出了一种产生高次谐波的原理性方案。尚有许多具体技术细节须解决,如脉冲的整形、镜子的承受能力等等。这些因素同时影响到上述谐波效率的实现。不过现有技术已经有潜力完成这一方案,从而使水窗波段的相干光源成为可能。在真正进行实验时,合理地设置光路可以减少所用的镜子数,以降低装置的费用。