

# 宽频带激光的啁啾匹配型三次谐波转换\*

钱列加

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

**摘 要** 提出并研究了新颖的啁啾匹配型谐波转换方式, 它适用于线性扫频宽带高功率激光的高效三次谐波转换。并给出啁啾参数匹配的选取和激光频带宽的适用范围。

**关键词** 波矢失配, 啁啾脉冲, 谐波转换。

## 1 引 言

为进一步改善高功率钕玻璃激光聚变驱动器的光束近场和远场聚焦均匀性, 需要发展带宽至少为 0.3~0.5 nm 的宽频带激光<sup>[1,2]</sup>。这类装置的主要技术困难是如何实现其高效谐波转换, 并保持一定的谐波频带宽。传统的三次谐波方式<sup>[3,4]</sup>, 受 KDP 晶体色散影响。高效转换限于带宽 < 0.1 nm。近年来, 国内外先后发展了不少实现高功率宽带激光高效谐波转换的技术<sup>[1]</sup>, 相对而言, 光谱角色散(Angular Spectral Dispersion)<sup>[5]</sup>方法则可能较为实用, 原理上适用于带宽为 0.5 nm 的线性扫频高功率啁啾脉冲, 但这一方案要求研制大口径高破坏负载的高效光栅, 并可能受限于激光系统的角度接收范围及靶场聚焦系统的要求。本文提出一种更为可靠实用的啁啾匹配型三次谐波转换新方式(简称为啁啾匹配方式), 它不同于光谱角色散方法利用光栅提供的光谱角色散补偿 KDP 晶体色散, 而是利用两束共线入射的线性扫频啁啾脉冲的光学和频转换, 调整其啁啾参数满足一定的匹配关系, 使得所有相应频率成份都能满足波矢匹配或波矢失配量最小, 从而实现其高效三次谐波转换。对此, 作者将在理论上分析这一方式的可行性, 并研究其啁啾匹配关系和谐波转换的光谱接收范围。

## 2 理论分析

对啁啾匹配方式谐波转换的研究分析, 二倍频和三倍频 KDP 晶体的排布将采用通常的 II 类- II 类角度匹配的偏振失配方式, 如图 1 所示。 $\omega_1(t)$ ,  $\omega_1'(t)$  为两束共线入射线性扫频啁啾脉冲的瞬时频率,  $\omega_2(t)$ ,  $\omega_3(t)$  分别为所产生的二次和三次谐波光的瞬时频率, 图中同时注明了 KDP 晶体的  $o$ 、 $e$  轴。假定入射基波激光的瞬时频率分别为:

$$\omega_1(t) = \omega_0 + at, \quad \omega_1'(t) = \omega_0 - bt \quad (1)$$

式中  $a$ 、 $b$  分别为两束入射基波光的啁啾参数(扫频速率), 相应的频谱宽为  $\Delta\lambda_1 = \lambda_0^2 at_e / 2\pi c$  和

\* 本研究受到上海市科委启明星计划和国家 863-416 主题的共同支持。

收稿日期: 1995年2月20日

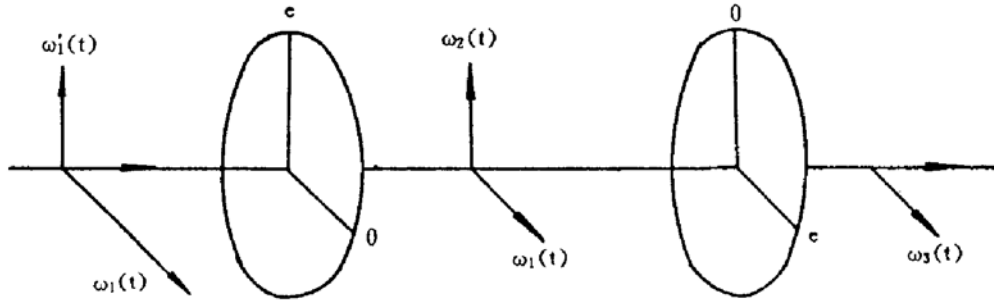


Fig. 1 The polarization-mismatch scheme for frequency tripling

$\Delta\lambda_1 = \lambda_0^2 b t / 2\pi c$  (假定脉冲波型为高斯型, 脉宽为  $t$ , 并假定脉冲本身的带宽远小于扫频对带宽的贡献)。谐波激光的瞬时频率为:

$$\left. \begin{aligned} \omega_2(t) &= \omega_1(t) + \omega'_1(t) = 2\omega_0 + (a - b)t \\ \omega_3(t) &= \omega_2(t) + \omega_1(t) = 3\omega_0 + (2a - b)t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

在(2)式中忽略了晶体色散和双折射率效应对啁啾脉冲的影响, 考虑到聚变激光为纳秒量级的长脉冲, 它们的影响并不重要, 这一假定具有合理性<sup>[5]</sup>。高效谐波转换要求在每一瞬时  $t$  都能满足波矢匹配或波矢失配量  $\Delta K$  是够小 ( $\psi = \Delta K L / 2 \ll 1.39$ ,  $L$  为晶体厚度), 对应  $\psi = 1.39$  的频带宽  $\Delta\lambda$  被定义为谐波转换的小信号光谱接收范围<sup>[4]</sup>。二次和三次谐波转换的波矢失配  $\Delta K_2$ 、 $\Delta K_3$  可表示为:

$$\left. \begin{aligned} \Delta K_2(t) &= \frac{1}{c} [\omega_2(t) n_e(\theta, \omega_2) - \omega'_1(t) n_e(\theta, \omega'_1) - \omega_1(t) n_o(\omega_1)], \\ \Delta K_3(t) &= \frac{1}{c} [\omega_3(t) n_e(\theta, \omega_3) - \omega_2(t) n_o(\omega_2) - \omega_1(t) n_e(\theta, \omega_1)]. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

对方程(3)式作泰勒展开, 并保留  $t^2$  项, 可以得到:

$$\left. \begin{aligned} \Delta K_2(t) &= \frac{\omega_0}{c} [2n_e(\theta, 2\omega_0) - n_e(\theta, \omega_0) - n_o(\omega_0)] + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2, \\ \Delta K_3(t) &= \frac{\omega_0}{c} [3n_e(\theta, 3\omega_0) - 2n_o(2\omega_0) - n_e(\theta, \omega_0)] + \beta_1 t + \beta_2 t^2. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其中:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{\omega_0}{c} \left[ 2(a - b) \frac{\partial n_e(\theta, \omega_2)}{\partial \omega_2} + b \frac{\partial n_e(\theta, \omega_1)}{\partial \omega_1} - a \frac{\partial n_o(\omega_1)}{\partial \omega_1} \right], \\ \alpha_2 &= \frac{1}{c} \left[ (a - b)^2 \frac{\partial n_e(\theta, \omega_2)}{\partial \omega_2} - b^2 \frac{\partial n_e(\theta, \omega_1)}{\partial \omega_1} - a^2 \frac{\partial n_o(\omega_1)}{\partial \omega_1} \right], \\ \beta_1 &= \frac{\omega_0}{c} \left[ 3(2a - b) \frac{\partial n_e(\theta, \omega_3)}{\partial \omega_3} - 2(a - b) \frac{\partial n_o(\omega_2)}{\partial \omega_2} - a \frac{\partial n_e(\theta, \omega_1)}{\partial \omega_1} \right], \\ \beta_2 &= \frac{1}{c} \left[ (2a - b)^2 \frac{\partial n_e(\theta, \omega_3)}{\partial \omega_3} - (a - b)^2 \frac{\partial n_o(\omega_2)}{\partial \omega_2} - a^2 \frac{\partial n_e(\theta, \omega_1)}{\partial \omega_1} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

方程(4)式中的第一项对应单色激光谐波转换的波矢失配, 对钕玻璃激光 ( $\lambda_0 = 1.054 \mu\text{m}$ ), 波矢匹配要求的晶体切割角  $\theta$  分别为  $59^\circ 13'$  和  $59^\circ$ 。分析表明, 不可能使与时间有关的波矢失配量  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\beta_1$  和  $\beta_2$  中任意两项或更多项同时为零, 只能调整啁啾参数  $a$ 、 $b$  使得其中的任意一项被补偿(啁啾匹配)。考虑到三次谐波转换主要受限于  $\omega_1$  与  $\omega_2$  的混频过程, 即波矢失配量  $\Delta K_3$ ; 同时  $\beta_2 t^2$  是更高阶小量, 最合理的啁啾匹配方式为  $\beta_1 = 0$ , 即:

$$b/a = \left[ 6 \frac{\partial n_e(\theta, \omega_3)}{\partial \omega_3} - 2 \frac{\partial n_o(\omega_2)}{\partial \omega_2} - \frac{\partial n_e(\theta, \omega_1)}{\partial \omega_1} \right] \left[ 3 \frac{\partial n_2(\theta, \omega_3)}{\partial \omega_3} - 2 \frac{\partial n_o(\omega_2)}{\partial \omega_2} \right]^{-1} \quad (6)$$

利用 Zernicke<sup>[6]</sup> 给出的 KDP 晶体参数, 啁啾匹配量  $b/a$  的计算值为 2.83。结合方程(4)式, 可以计算得相应的小信号光谱接收范围分别为  $\Delta\lambda_1 L = 8.9 \text{ nm} \cdot \text{cm}$  和  $\Delta\lambda_1 \sqrt{L} = 6.8 \text{ nm} \sqrt{\text{cm}}$ , 相对传统谐波转换方式的三倍频接收范围有大幅度的改善( $\Delta\lambda L$  为  $0.93 \text{ nm cm}$ )<sup>[4]</sup>。这一新的谐波转换方式将可能适用于带宽约 0.5 nm 的高功率宽带激光的高效谐波转换。

**总 结** 提出并分析了新颖的啁啾匹配型宽带激光谐波转换方式, 它补偿了频带宽对三次谐波转换波矢失配的线性项(与  $\Delta\lambda_1$  成正比), 在这种意义上讲, 它与非临界位相匹配等效, 并有与光谱角色方法相当的补偿功效, 但不需要应用任何附加的光学元件, 更为可靠实用。啁啾匹配型谐波转换方式适用于带宽约 0.5 nm 的线性扫频宽带高功率长脉冲激光, 且三次谐波输出乃为宽频带线性扫频激光脉冲。受 KDP 晶体色散和双折射性对啁啾脉冲的影响, 它不适用于数皮秒(ps)或更短的激光脉冲。

### 参 考 文 献

- [1] 钱列加, 朱宝强, 范滇元等 高功率宽频带激光的高效谐波转换及其新进展. 强激光与粒子束, 1995, 7 (2)
- [2] 钱列加, 张筑虹, 范滇元等, 激光聚变驱动器的光束质量研究新进展. 强激光与粒子束, 1995
- [3] R. S. Craxton, High efficiency frequency tripling schemes for high power Nd:glass lasers. *IEEE. J. Quant. Electron.*, 1981, QE-17(9): 1771~1782
- [4] R. S. Craxton, S. D. Jacobs, et al., Basic properties of KDP related to the frequency conversion of 1  $\mu\text{m}$  laser radiation. *IEEE. J. Quant. Electron.*, 1981, QE-17(9): 1782~1786
- [5] R. W. Short, S. Skupsky, Frequency conversion of broad-bandwidth laser light. *IEEE. J. Quant. Electron.*, 1990, QE-26(3): 580~588
- [6] F. Zernicke, Refractive indices of ADP and KDP between 2000  $\text{\AA}$  and 1.5  $\mu\text{m}$ . *J. Opt. Soc. Am.*, 1964, 54 (10): 1215~1220; Erratum, *J. Opt. Soc. Am.*, 1965, 55(2): 210~211

## Chirp Matched Third Harmonic Conversion for Broad-Band Lasers

Qiang Liejia

(National Laboratory on High Power Laser and Physics,  
Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 20 February 1995)

**Abstract** We have proposed and investigated a new frequency conversion scheme, called chirp matched harmonic generation, which could be used for efficient frequency tripling of linear frequency swept broad-band high power lasers. It also gave out the chirp matched parameter and acceptable bandwidth for this new scheme in the paper.

**Key words** wave vector mismatching, chirped pulse, harmonic conversion.