

文章编号: 1001-3806(2003)03-0262-03

振幅调制和位相扰动条件下三倍频器参数的优化*

李 强 张 彬 蔡邦维

(四川大学电子信息学院, 成都, 610064)

摘要: 采用 II/II 类偏振失配的 KDP 晶体倍频方案, 讨论了振幅调制和位相扰动对倍频系统转换效率和动态范围的影响, 提出了在高功率条件下提高倍频系统转换效率和增大动态范围的方法。在振幅调制和位相扰动条件下对倍频器参数进行了优化设计。

关键词: II/II 类偏振失配; 振幅调制; 位相扰动; 参数优化; 谐波转换

中图分类号: O437.1 文献标识码: A

Optimum parameters for tripler under amplitude modulation and phase perturbation

Li Qiang, Zhang Bin, Cai Bangwei

(College of Electronic Information, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Abstract: Using type II/II polarizati on mismatch KDP crystal schemes for third harmonic generation, the effects of amplitude modulation and phase perturbation of incident fundamental field on the tripling efficiency and dynamic range have been discussed. The method which can improve the tripling efficiency and dynamic range has been proposed. The parameters of tripler under amplitude modulation and phase perturbation have been optimized.

Key words: type II/II polarizati on mismatch; amplitude modulation; phase perturbation; optimizing parameters; harmonics generation

引 言

为了实现在高强度和较大动态范围情况下的高效三倍频转换, 对倍频器参数的优化是十分重要的。以往的工作均是在基频光无畸变的理想情况下分别对二、三倍频器的晶体厚度、失谐角度等参数进行了优化^[1-3]。然而, 在 ICF 驱动器中, 由于增益介质的增益饱和效应、增益非均匀性、光泵产生的动态热畸变、光学材料的不均匀性、光学元件表面加工误差引起的面形畸变以及非线性光学效应等因素的影响, 入射基频光总是存在一定的随机振幅调制和位相扰动。文中详细讨论了入射基频光的随机振幅调制和位相扰动对三倍频转换效率和动态范围的影响, 在此基础上, 提出了提高三倍频转换效率和增大动态范围的方法, 并以 II/II 类偏振失配 KDP 晶体三倍频方案为例, 对倍频晶体的参数进行了优化设

计, 其结果对高功率倍频系统的工程设计有一定的参考价值。

1 物理模型

采用 II/II 类偏振失配的 KDP 晶体进行 2, 3 次谐波转换, 对具有随机振幅调制和位相扰动的超高速光束作数值模拟计算。

1.1 谐波转换方程组的数值求解

对于 II 类匹配二倍频, 耦合波方程组为^[4]:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + 2in_o(\omega) \frac{\omega}{c} \frac{\partial F}{\partial z} = - \frac{\omega^2}{c^2} xH^* G \times \exp(i\Delta kz) - i \frac{n_o(\omega) \omega}{c} a_{1o} F \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + 2in_e(\omega) \frac{\omega}{c} \left[\frac{\partial H}{\partial z} + \rho_\omega(\theta) \frac{\partial H}{\partial y} \right] = - \frac{\omega^2}{c^2} xF^* G \exp(i\Delta kz) - i \frac{n_e(\omega) \omega}{c} a_{1e} H \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} + 2in_e(2\omega) \frac{2\omega}{c} \left[\frac{\partial G}{\partial z} + \rho_{2\omega}(\theta) \frac{\partial G}{\partial y} \right] = - \frac{(2\omega)^2}{c^2} xFH \exp(-i\Delta kz) - i \frac{2n_e(2\omega) \omega}{c} a_{2G} G \quad (3)$$

* 国家高技术八六三资助项目。

作者简介: 李 强, 男, 1978 年 9 月出生。硕士研究生。从事激光技术与激光物理方面的研究工作。

收稿日期: 2002-05-10; 收到修改稿日期: 2002-07-03

式中, F, H, G 分别是基频 o 光、 e 光和二倍频光的复振幅, $\rho_{\omega}(\theta) = \frac{1}{n_e(\omega, \theta)} \frac{\partial n_e(\omega, \theta)}{\partial \theta}$, $\rho_{2\omega}(\theta) = \frac{1}{n_e(2\omega, \theta)} \frac{\partial n_e(2\omega, \theta)}{\partial \theta}$ 是离散因子, θ 是光传播方向 z 与光轴的夹角, $\bar{x} = -x \sin 2\theta \cos 2\Phi$ 是非线性系数, $\Phi = 0^\circ$ 是方位角, $\Delta k = (\omega/c) [2n_e(2\omega, \theta) - n_e(\omega) - n_o(\omega)]$ 是位相失配量, $n_e(2\omega)$ 是二倍频 e 光的折射率, $n_e(\omega)$ 是基频 e 光的折射率, $n_o(\omega)$ 是基频 o 光的折射率, $\alpha_{1o}, \alpha_{1e}, \alpha_2$ 分别是基频 o 光、 e 光和二倍频光的吸收系数, c 为真空中的光速。

对于 II 类匹配三倍频, 耦合波方程组为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + 2in_e(\omega) \frac{\omega}{c} \left[\frac{\partial F}{\partial z} + \rho_{\omega}(\theta) \frac{\partial F}{\partial y} \right] = \\ - \frac{(\omega)^2}{c^2} x H^* G \exp(i\Delta kz) - i \frac{n_e(\omega)\omega}{c} \alpha_1 F \quad (4) \\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + 2in_o(2\omega) \frac{2\omega}{c} \frac{\partial H}{\partial z} = \\ - \frac{(2\omega)^2}{c^2} x F^* G \exp(i\Delta kz) - i \frac{2n_o(2\omega)\omega}{c} \alpha_2 H \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} + 2in_e(3\omega) \frac{3\omega}{c} \left[\frac{\partial G}{\partial z} + \rho_{3\omega}(\theta) \frac{\partial G}{\partial y} \right] = \\ - \frac{(3\omega)^2}{c^2} x F H \exp(-i\Delta kz) - i \frac{3n_e(3\omega)\omega}{c} \alpha_3 G \quad (6) \end{aligned}$$

式中, F, H, G 分别是基频光、二倍频光和三倍频光的复振幅, $\rho_{\omega}(\theta) = \frac{1}{n_e(\omega, \theta)} \frac{\partial n_e(\omega, \theta)}{\partial \theta}$ 和 $\rho_{3\omega}(\theta) = \frac{1}{n_e(3\omega, \theta)} \frac{\partial n_e(3\omega, \theta)}{\partial \theta}$ 是离散因子, $\bar{x} = -x \sin 2\theta \cos 2\Phi$ 是非线性系数, $\Delta k = (\omega/c) [3n_e(3\omega, \theta) - n_e(\omega) - 2n_o(2\omega)]$ 是位相失配量, θ 是光传播方向 z 与光轴的夹角, $\Phi = 0^\circ$ 是方位角, $n_e(\omega)$ 和 $n_e(3\omega)$ 是基频 e 光的和三倍频 e 光的折射率, $n_o(2\omega)$ 是二倍频 o 光的折射率, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别是基频光、二倍频光和三倍频光的吸收系数。

方程 (1) ~ (6) 的初始条件为: $F_0 = (2I_0/\epsilon_0 c)^{1/2} \cos(\theta_p)$, $H_0 = 2(I_0/\epsilon_0 c)^{1/2} \sin(\theta_p)$, $G_0 = 0$, $\theta_p = 35.3^\circ$, 式中, θ_p 为入射基频光线偏振方向与二倍频晶体 O 轴夹角, ϵ_0 为介电常数, I_0 为入射基频光强度。

1.2 振幅调制和位相扰动

在计算中, 假设入射基频光为具有振幅调制和位相扰动的光束, 即:

$$A_1(x, y, 0) = A_{10}(x, y, 0) [1 + \Phi_a(x, y)] \times \exp[i\Phi_p(x, y)] \quad (7)$$

式中, $A_1(x, y, 0)$ 为入射基频光复振幅, $A_{10}(x, y, 0)$ 为无振幅调制和位相扰动理想光束的光场分布, $\Phi_a(x, y)$ 为振幅调制, $\Phi_p(x, y)$ 为位相扰动。

1.3 振幅调制和位相扰动条件下倍频器参数的优化方法

在 3 次谐波转换中, 为了获得较高的转换效率, 必须将进入三倍频器的基频光子能量与二倍频光子能量之比调节到 1:2 (光子数之比为 1:1), 此时, 二倍频的内转换效率约为 66.7%, 从而使三倍频转换效率最高。在 II/II 偏振失配方案中, 使入射基频光线偏振方向与二倍频晶体 O 轴夹角 θ_p 为 35.3° , 调整二倍频晶体厚度使二倍频内转换效率约为 66.7%。

倍频器中比较重要的参数主要包括晶体匹配方式、倍频晶体类型、倍频晶体厚度和失谐角。笔者根据入射基频光的发散角选定失谐角, 通过数值计算模拟给出二倍频内转换效率随基频光功率密度和晶体厚度变化的等高线图, 从图中可得到二倍频内转换效率约为 66.7%, 且有较大动态范围的二倍频晶体厚度。通过同样的方法, 可以得到具有高转换效率和较大动态范围的三倍频晶体厚度。

2 数值计算和结果分析

数值计算利用上述物理模型和优化方法进行, 计算中假设入射基频光为有振幅调制和位相扰动的 6 阶超高斯光束。计算所用参数为: 假设二倍频晶体失谐角 $\Delta\theta_d = 300\mu\text{rad}$, 三倍频晶体失谐角 $\Delta\theta_d = 0\mu\text{rad}$, 基频光、二倍频光和三倍频光的吸收系数分别为 $\alpha_1 = 0.043\text{cm}^{-1}$, $\alpha_2 = 0.005\text{cm}^{-1}$, $\alpha_3 = 0.005\text{cm}^{-1}$, 其它参数见文献[5]。

2.1 振幅调制和位相扰动对倍频器转换效率和动态范围的影响

假设入射基频光的振幅调制和位相扰动分别为:

$$\Phi_a(x, y) = 2\pi\sigma_a \text{Random}(0, 1) \quad (8)$$

$$\Phi_p(x, y) = 2\pi\sigma_p \text{Random}(0, 1) \quad (9)$$

式中, σ_a, σ_p 为调制深度, $\text{Random}(0, 1)$ 为随机函数。

图 1, 图 2 分别给出在无振幅调制和位相扰动的理想情况下, II/II 偏振失配方案二倍频和三倍频转换效率随晶体厚度和入射光功率密度变化的等高线。由图中可以看出, 在 $(2 \sim 8) \text{GW/cm}^2$ 大动态范围内实现较高三倍频转换效率的最佳晶体厚度为

0.72cm(二倍频晶体厚度)/0.78cm(三倍频晶体厚度)。图3给出了有振幅调制和位相扰动时三倍频转换效率随入射光功率密度变化的曲线。为比较方便,图中还给出了无振幅调制和位相扰动时的曲线。

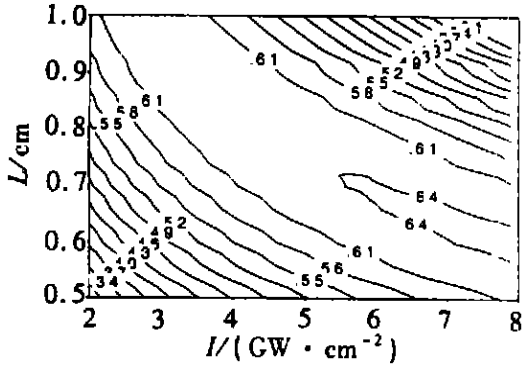


Fig.1 Contours of SHG efficiency as a function of incident intensity and crystal thickness

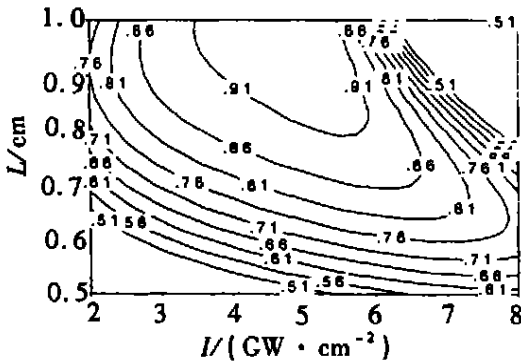


Fig.2 Contours of THG efficiency as a function of incident intensity and crystal thickness

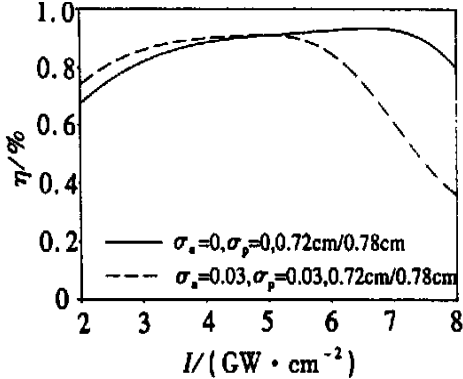


Fig.3 THG efficiency as a function of incident intensity with and without amplitude modulation and phase perturbation

分析图3可知,由于振幅调制和位相扰动的影响,三倍频转换效率在入射光功率密度较大时明显下降,导致倍频系统的动态范围大大减小,因此,需要对倍频晶体厚度进行修正。

2.2 振幅调制和位相扰动条件下倍频晶体厚度的修正

图4,图5分别给出振幅调制和位相扰动条件

下($\sigma_a=0.03, \sigma_p=0.03$) II//II偏振失配方案二倍频和三倍频转换效率随晶体厚度和入射光功率密度变化的等高线。根据等高线图可以确定修正后的二倍频晶体厚度和三倍频晶体厚度分别为0.68cm/0.70cm。图6给出了修正前后三倍频转换效率随入射基频光功率密度变化的曲线。由图6可以看出,在振幅调制和位相扰动条件下,通过适当减小倍频晶体厚度,可使三倍频转换效率在入射光功率密度较大时有明显提高,而且动态范围也明显增大。

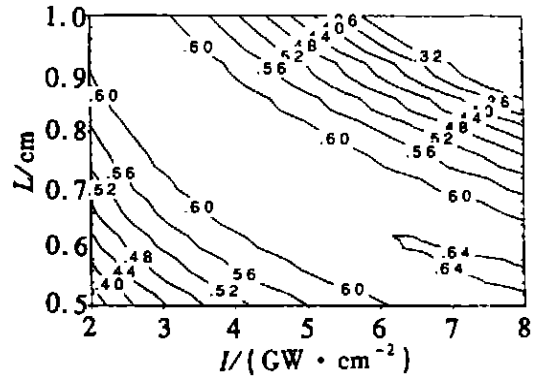


Fig.4 Contours of SHG efficiency as a function of incident intensity and crystal thickness

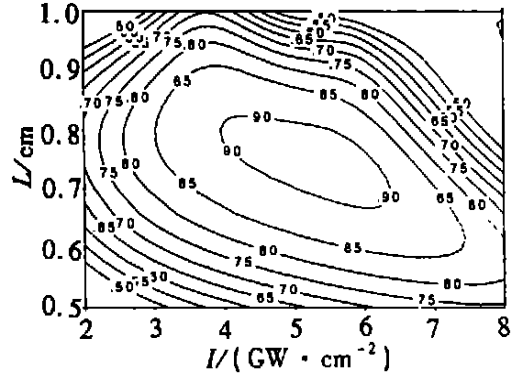


Fig.5 Contours of THG efficiency as a function of incident intensity and crystal thickness

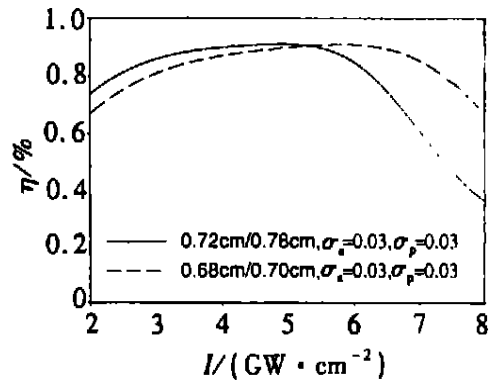


Fig.6 THG efficiency as a function of incident intensity after and before modifying crystal thickness

(下转第267页)

列的控制功能。仲裁机构用于控制 4:1 复用器,它提取出源模块输出的 F-field 信号和目标模块接收的 4 路 F-field 信号,并根据 F-field 信号的定义,产生相应的控制信号送入 4:1 复用器。4:1 复用器根据仲裁机构的控制信号,进行相应的通道选择,在通信结束前,仲裁机构对输入信号不响应。串/并转换部分将接收的 12 路信号转换为原始发送信号,送入 HIPPI 目标模块,从而完成计算机间的通信。该模块的串/并、并/串、4:1 选路控制功能均由 Altera 公司的可编程器件实现。

2.3 光总线模块

光总线互连模块主要完成光信号的广播、传输等功能,是一个 4×4 光学广播网络。采用分光的方法,由分布式的 1×12 VCSEL 光发射列阵和 4 块 1×48 MSM 探测列阵组成,把每台计算机出来的电信号由 VCSEL 器件转换为光信号,利用分束器分为 4 路,再分别送回 4 台计算机,实现计算机之间的互连,完成信息交换。

垂直腔表面发射激光器(VCSEL)与边发射半导体激光器相比,具有较小的远场发散角、发射光束既窄又圆、阈值电流低、功耗低、调制频率高、在很宽的温度和电流范围内都以单纵模工作,而且不必解理,就能完成工艺制作和检测,制造成本低廉。根据 Dennard 提出的器件尺寸按比例缩小原理,随着器件尺寸的缩小,集成密度呈平方关系提高,速度和功耗大幅度改善,易于实现大规模激光阵列及光电集成等优点。利用 VCSEL 阵列和光纤带耦合形成的并行数据传输链路,在并行光处理中得到了较为广泛的应用。

(上接第 264 页)

3 结 论

在详细讨论入射基频光的振幅调制和位相扰动对三倍频转换效率和动态范围影响的基础上,并采用 II/II 类偏振失配的 KDP 晶体三倍频方案,对倍频晶体的参数进行了优化设计。

研究表明,由于振幅调制和位相扰动的存在,致使三倍频转换效率明显下降和倍频系统的动态范围大大减小。在入射基频光功率密度较大的情况下,振幅调制和位相扰动对倍频器转换效率和动态范围的影响尤为明显。通过适当减小倍频晶体的

2 维光纤列阵收发接口器件(见图 4)用于实现 VCSEL/MSM-CMOS 光电集成器件的耦合输入输出,并提供光互连网络模块和计算机之间的光互连并行信号通道。笔者研制了 4 层、每层光纤数为 48 的 4×48 的高密度多层 2 维光纤列阵收发接口器件,用于计算机的光信号收发接口耦合输入输出。每层光纤列阵内相邻光纤的间距为 $125\mu\text{m}$,相邻层光纤列阵间光纤的间距为 $250\mu\text{m}$ 。

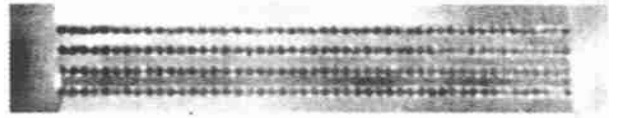


Fig. 4 4×48 high density multilayer 2D fiber array transceiver interface

3 结 论

比较了已有的光互连系统方案,并在此基础上利用 HIPPI 协议、VCSEL 集成器件提出了一种新的基于 VCSEL/MSM-CMOS 技术的光互连并行处理方案。同时设计了与之相对应的接口卡和接口器件,实现了 4 台计算机、每台接口 12bit 位宽的并行连接。在利用现有资源的基础上,实现了并行处理环境。

参 考 文 献

- [1] Cangellaris A C. MPPOF 98, Proceeding of the fifth international conference on (MPPOF 98). Las Vegas: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1998: 96.
- [2] Szymanski T H, Au A, Lafreniere Roula M. Appl Opt, 1998, 37 (2): 264~ 275.
- [3] 井文才,田劲东,刘 卫 *et al.* 光电子·激光, 2000, 11(1): 7~ 10.

厚度使三倍频转换效率有一定程度的提高,且在振幅调制和位相扰动情况下倍频系统还获得了较大的动态范围。

参 考 文 献

- [1] Wegner P J, Hensian M A, Speck D R *et al.* Appl Opt, 1992, 3 (30), 6414~ 6426.
- [2] Craxton R S. IEEE J Q E, 1981, QE17(9): 1771~ 1782.
- [3] 秘国江,魏晓峰,袁晓东 *et al.* 强激光与粒子束, 1999, 11(3): 313~ 316.
- [4] Eimerl D, Auerbach J M. J Modern Opt, 1995, 42(5): 1037~ 1067.
- [5] Craxton R S, Jaccobs S D, Rizzo J E *et al.* IEEE J Q E, 1981, QE17(9): 1782~ 1786.