

图3 不同衬底折射率 n_3 下,总功率 P 和芯层功率 P_2 的关系

和自陷,但存在另一种形式的反馈和自陷:当总光强增大时,介质1中的光强也随之增加,因而引起介质1的有效折射率 N_1 增大,光能量趋向于集中到介质1,这又进一步引起折射率 N_1 的增大,光能量进一步集中到介质1,达到A点时(图4),状态突然跳到B点,这时,光强的峰值点移到介质1,形成所谓的表面波。当总光强从状态C逐渐减小时,由于介质1对光强的自陷作用,状态并不会从B跳变到A,而是继续向D点方向移动,直至D点,自陷作用再也抗衡不了光强减小的趋势,状态便从D点跳到E点。从图2及图3可以看到在弱光强下,介质1中光强占总

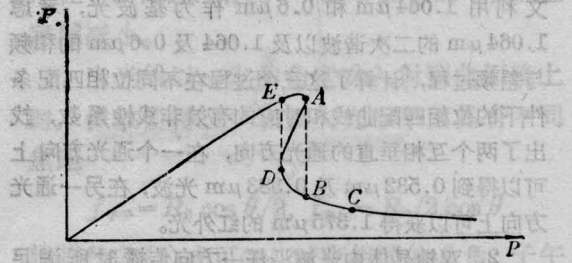


图4 典型波导双稳态曲线

光强的比例较小的那些情况(如介质2较厚或介质3的折射率 n_3 较大),双稳态不大容易产生,但产生的双稳态,效应明显(即回线的横向宽度大);反之,双稳态较易产生,但效应较弱。本文讨论的双稳态不需要F-P腔,因而和集成光路工艺兼容。

感谢本所严方、陈振宜、武时勉同志在使用计算机时给与的合作以及何之健同志在编写程序时给与的帮助。

参 考 文 献

1 Seaton C T et al. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1985; QE-21(7): 774

(收稿日期: 1987年1月16日)

双轴晶体 KTiOPO_4 的多频率变换

孙德才 姚建铨

(天津大学精密仪器工程系)

Multi-frequency conversion by means of biaxial crystal KTiOPO_4

Sun Decai, Yao Jianquan

(Dept. of Precision Instrument Engineering, Tianjin University, Tianjin)

Abstract: With calculation of phase match parameters and effective nonlinear coefficients, several different nonlinear optical processes using one biaxial crystal KTiOPO_4 are considered. The nonlinear optical processes include (1) SHG (type II) of $1.064 \sim 0.532 \mu\text{m}$, (2) SFG of $1.064 + 0.6 \sim 0.383 \mu\text{m}$, (3) DFG of $1.064 \sim 0.6 \sim 1.375 \mu\text{m}$.

1. 双轴晶体 KTiOPO_4 (KTP) 由于其优良的非线性光学性能而受到普遍重视,但一般仅限于在一个通光方向上获得一种非线性光学过程。考虑到双

轴晶体具有低对称性,通过理论计算,可以找到两个或三个互相垂直的通光方向,在每个方向上分别实现一个或两个非线性过程,从而实现多频率变换。本

文利用 $1.064\ \mu\text{m}$ 和 $0.6\ \mu\text{m}$ 作为基波光, 考虑 $1.064\ \mu\text{m}$ 的二次谐波以及 1.064 及 $0.6\ \mu\text{m}$ 的和频与差频过程, 计算了这三个过程在不同位相匹配条件下的位相匹配曲线和对应的有效非线性系数, 找出了两个互相垂直的通光方向, 在一个通光方向上可以得到 $0.532\ \mu\text{m}$ 及 $0.383\ \mu\text{m}$ 光波, 在另一通光方向上可以获得 $1.375\ \mu\text{m}$ 的红外光。

2. 双轴晶体中光波沿任一方向传播时所满足的折射率曲面方程为:

$$\frac{k_x^2}{n_{\omega}^{-2} - n_{x,\omega}^{-2}} + \frac{k_y^2}{n_{\omega}^{-2} - n_{y,\omega}^{-2}} + \frac{k_z^2}{n_{\omega}^{-2} - n_{z,\omega}^{-2}} = 0 \quad (1)$$

其中 $k_x = \sin\theta \cos\phi$, $k_y = \sin\theta \sin\phi$, $k_z = \cos\theta$, 对于频率为 ω_1 、 ω_2 及 ω_3 的三波互作用有九个折射率为:

$$n_{\omega_1,\omega_1}, n_{\omega_1,\omega_2}, n_{\omega_1,\omega_3}; n_{\omega_2,\omega_1}, n_{\omega_2,\omega_2}, n_{\omega_2,\omega_3}; n_{\omega_3,\omega_1}, n_{\omega_3,\omega_2}, n_{\omega_3,\omega_3}$$

代入(1)式并化简可得:

$$\begin{aligned} x_1^2 + B_1 x_1 + C_1 &= 0 \\ x_2^2 + B_2 x_2 + C_2 &= 0 \\ x_3^2 + B_3 x_3 + C_3 &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $x_i = n_{\omega_i}^{-2}$,

$$a_i = n_{x,\omega_i}^{-2}$$

$$b_i = n_{y,\omega_i}^{-2}$$

$$c_i = n_{z,\omega_i}^{-2}$$

$$B_i = -k_x^2(b_i + c_i) - k_y^2(a_i + c_i) - k_z^2(a_i + b_i),$$

$$C_i = (k_x^2 b_i c_i + k_y^2 a_i c_i + k_z^2 a_i b_i),$$

$$i = 1, 2, 3.$$

解方程组(2)可得:

$$n_{\omega_1,q} = \sqrt{2} / \sqrt{-B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4C_1}} \quad (3)$$

$$n_{\omega_2,q} = \sqrt{2} / \sqrt{-B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4C_2}} \quad (4)$$

$$n_{\omega_3,q} = \sqrt{2} / \sqrt{-B_3 \pm \sqrt{B_3^2 - 4C_3}} \quad (5)$$

q 取 1、2 时, 根号里符号分别取正或取负。显然 $n_{\omega_1,1} < n_{\omega_1,2}$, 即 $n_{\omega_1,1}$ 对应光波传播速度大, 称为快光, 记为 e_1 光, $n_{\omega_1,2}$ 对应光波传播速度小, 称为慢光, 记为 e_2 光。

对于共线三波互作用, 需满足条件 $\mathbf{K}_1 \parallel \mathbf{K}_2 \parallel \mathbf{K}_3$ 及 $\mathbf{K}_3 = \mathbf{K}_1 + \mathbf{K}_2$, 有 $n_{\omega_3} \cdot \omega_3 = n_{\omega_1} \cdot \omega_1 + n_{\omega_2} \cdot \omega_2$ 。又由 $\hbar\omega_3 = \hbar\omega_1 + \hbar\omega_2$, 可得 $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ 。下面考虑三个非线性光学过程。

① 以 $1.064\ \mu\text{m}$ 为基波的二次谐波 (SHG) 过程 (0.532)

第 I 类位相匹配, 两个基波光为慢光 e_2 , 二次谐波为快光 e_1 , $e_2^2 + e_2^2 \rightarrow e_1^2\omega$, 这样才能满足方程

$$n_{\omega_3} \cdot \omega_3 = n_{\omega_1} \cdot \omega_1 + n_{\omega_2} \cdot \omega_2$$

由 $\omega_1 = \omega_2 = \omega$, $\omega_3 = 2\omega$, 可得

$$n_{\omega_1}^{e_2} = n_{2\omega}^{e_1} \quad (6)$$

第 II 类位相匹配, 两个基波光一个慢光 e_2 , 一个为快光 e_1 , 产生二次谐波为快光 e_1 , 方能满足方程

$$n_{\omega_3} \cdot \omega_3 = n_{\omega_1} \cdot \omega_1 + n_{\omega_2} \cdot \omega_2,$$

化简有

$$n_{\omega_3}^{e_1} = \frac{1}{2} (n_{\omega_1}^{e_2} + n_{\omega_2}^{e_2}) \quad (7)$$

由公式(3)~(7), 利用计算机求解可得数值解, 求出满足相位匹配条件的 θ - ϕ 曲线, 图中曲线 ① 及 ② 分别对应 I 类及 II 类位相匹配。

② 1.064 及 $0.6\ \mu\text{m}$ 的和频 (SFG) 过程 (0.383)

第 I 类相位匹配应满足

$$n_{\omega_1}^{e_1} \cdot \omega_1 + n_{\omega_2}^{e_1} \cdot \omega_2 = n_{\omega_3}^{e_1} \cdot \omega_3$$

即

$$n_{\omega_1,2} \cdot \omega_1 + n_{\omega_2,2} \cdot \omega_2 = n_{\omega_3,1} \cdot \omega_3 \quad (8)$$

ω_1 、 ω_2 为慢光 e_2 光, 偏振方向平行, 产生的 ω_3 为快光 e_1 光。

II 类位相匹配, ω_1 和 ω_2 的偏振方向正交。一个为快光, 一个为慢光, 产生的 ω_3 为快光, 分别有:

$$n_{\omega_1,2} \cdot \omega_1 + n_{\omega_2,1} \cdot \omega_2 = n_{\omega_3,1} \cdot \omega_3 \quad (9)$$

$$n_{\omega_1,1} \cdot \omega_1 + n_{\omega_2,2} \cdot \omega_2 = n_{\omega_3,1} \cdot \omega_3 \quad (10)$$

两种情况。这样 1.064 和 $0.6\ \mu\text{m}$ 的和频过程, 理论上可以得到三条位相匹配曲线, 但计算结果表明, 只有 I 类位相匹配有解(见图 1 中曲线 (3))。

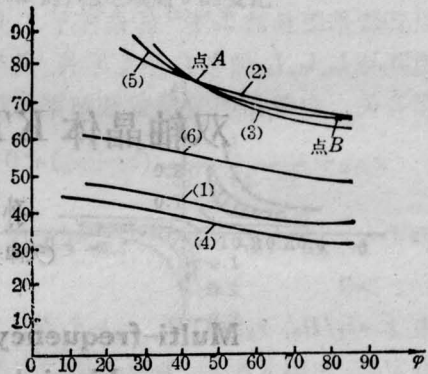


图 1 相位匹配角曲线

③ 1.064 与 $0.6\ \mu\text{m}$ 的差频 (DFG) 过程 (1.375)

此非线性光学过程与 1.064 、 $1.375\ \mu\text{m}$ 和频产生 $0.6\ \mu\text{m}$ 的和频过程等效。利用公式(8)~(10)就可以计算出 DFG 过程的三条相位匹配曲线(图 1 中曲线 (4)、(5)、(6))。

为了选择最佳的相位匹配方向, 必须计算以上六条曲线上各点对应的有效非线性系数。

由文献 [1, 2] 可求得相应的六条有效非线性系数 d_{eff} 曲线。见图 2(a) 中 (1)、(2)、(3) 及 (4) 中 (4)、(5)、(6) 曲线。

3. 从计算结果知, 同一非线性过程中 II 类匹

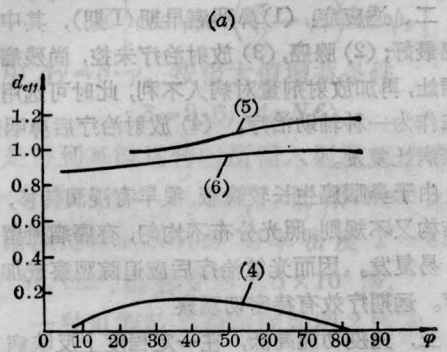
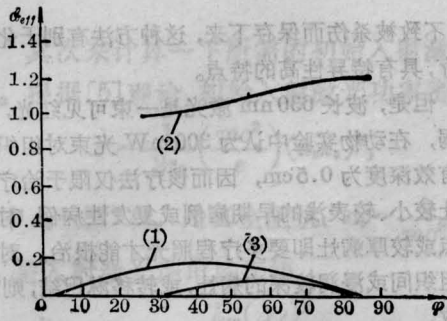


图2 有效非线性系数曲线

配对应的 d_{eff} 值较大。从图1发现 $1.064 \mu\text{m}$ 的倍频及 1.064 与 $0.6 \mu\text{m}$ 的和频曲线有公共的匹配, 即两曲线有交叉点(图1中A点), $\theta=76.79^\circ$ $\phi=43.09^\circ$, 对应空间矢量 A 。利用双轴晶体的空间对称性, 根据空间两矢量相互垂直应满足的解析式

$$A \cdot B = 0,$$

通过计算机扫描, 可以在 $1.064 \mu\text{m}$ 与 $0.6 \mu\text{m}$ 差频的三条相位匹配曲线中找出与空间矢量 A 在空间方向上相互垂直的点来, 结果在图1曲线(5)上找到了B点($\theta=67.15^\circ$ $\phi=82.59^\circ$), 对应于空间矢 B 。这样便可以加工一块 KTP 晶体, 两个通光表面的法线轴分别为 A 、 B 。在一个通光面上实现 $1.064 \mu\text{m}$ 的 SHG(II) 及 1.064 与 $0.6 \mu\text{m}$ 的和频(SFG)过程。在另一通光面上实现 1.064 与 $0.6 \mu\text{m}$ 的差频过程。

当在所求得通光 A 方向上只输入 $1.064 \mu\text{m}$ 的激光时, 可以得到 $0.532 \mu\text{m}$ 光波输出。如果同时输入 1.064 及 $0.6 \mu\text{m}$ 的激光, 就可以同时得到 $0.532 \mu\text{m}$ 及 $0.383 \mu\text{m}$ 的输出。由于这两个过程既在同一方向上, 又有公共的基波 $1.064 \mu\text{m}$, 所以两个过程相互影响很大, 需要考虑基波能量的分配, 定量的理论分析将在另一文章中报道。在两个垂直的通光方向上同时进行非线性相互作用时, 由于夹角很大, 而且两个通光方向分别对应特定的位相匹配角度, 所以各非线性过程之间的相互影响很小, 可以忽略, 不会出现其它的非线性作用。

以上分析及计算方法可以推广至其它晶体及其它波长, 特别是对于具有低对称性的双轴晶体很容易实现这种多频率变换。

参 考 文 献

- 1 Yao Jianquan, Fanlen T S.J. *Appl. Phys.*, 1984; 55(1): 65
 - 2 谢绳武等。上海交通大学学报, 1982; (1): 37
- (收稿日期: 1987年2月9日)

简 讯

光 敏 治 疗 鼻 咽 癌

鼻咽癌在我国南方发病率很高, 特别是广东省年发病率达 31.56/10 万人口。目前治疗方法以放射治疗为主, 但是, 五年生存率仅为 49.5%, 尚有半数病例治疗失败, 如何提高五年生存率? 正是医务工作者深入探讨的课题。

近年来, 国内外许多学者都在进行光敏治癌的研究, 并取得了一定疗效, 我院亦于 1984 年 12 月开始, 试治鼻咽癌 57 例, 其中男性 36 例, 女性 21 例。

每一病例在治疗前后均作血象、肝功能、肾功能、血清学 VCA-IgA 以及 IgA、IgG、IgM、EA、ET 等检查。

注药前先用光叶啉(YHPD)原液作前臂内侧皮肤划痕试验, 阳性者按每公斤体重 5mg 剂量加入 5% 葡萄糖液 250ml 稀释作静脉滴注, 每分钟 40~60 滴。

注药后 48 小时和 72 小时各照光一次, 每次 1