

钾钠铌酸锶钡晶体作为自泵浦相位 共轭镜器件的设计

岳学锋 邵宗书 宋永远 陈焕鑫
(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

提 要

本文给出了钾钠铌酸锶钡晶体作为自泵浦相位共轭镜器件的设计原理及基本考虑, 设计了相应的器件并研究了其基本特性。

关键词: 自泵浦相位共轭镜, 钾钠铌酸锶钡。

一、引 言

掺铈钾钠铌酸锶钡(KNSBN)晶体已被用于多种波长实现自泵浦相位共轭^[1~3]。这些器件均被设计成正方或长方体, 利用光散射效应及晶体棱角的全反射, 形成有两个作用区的四波混频, 产生相位共轭光^[4]。这类自泵浦相位共轭镜被简称为CAT PPCM, 它很容易在BaTiO₃晶体中实现, 但在其他光折变晶体中(如SBN)却并非如此^[5]。我们在KNSBN晶体中的实验表明, 并不是每一块晶体均可作为理想的CAT PPCM器件, 而且这种器件响应较慢^[1~3], 限制了其应用。另一种自泵浦相位共轭镜是利用了入射光束在晶体棱角全反射形成环形回路的单区作用, 被称为RING PPCM^[5], 这种器件的特点是阈值低, 响应快, 但共轭光质量不及CAT PPCM。我们利用KNSBN晶体设计了这种器件, 给出了设计原理及基本要求, 并对共轭特性进行了一些实验研究。基本要点适宜于在各类光折变晶体中设计RING PPCM器件。

二、基本原理和设计要求

1. RING PPCM 的基本原理

图1(a)是利用外加反射镜形成RING PPCM的原理图。入射光束1经晶体后被 M_1 、 M_2 反射重新入射到晶体中并与光束1相交形成泵浦光束2。与泵浦光束1、2相向传播的光束3、4起源于散射光, 当它们互为共轭光时, 其形成的光栅叠加得到最强的耦合作用, 产生相位共轭光输出。同理, 我们可以将晶体加工成一定棱角, 利用晶体内表面的全反射, 形成上面所提及的环形回路, 实现自泵浦相位共轭, 如图1(b)。这种器件结构紧凑, 可以最大限度地利用入射光能, 对周围环境如振动等要求也低。

2. 设计要求

(1) 控制合理的光栅周期。光束在光折变晶体中的耦合作用与其所形成的光栅周期有

关,其基本关系式如下:

$$\gamma_0 = \frac{(2\omega/c)n^3 r_{\text{eff}}}{\cos[(\alpha_1 - \alpha_2)/2]} \cdot \frac{k_B T}{q} \cdot \frac{K}{1 + (K/k_0)^2} \quad (1)$$

其中 γ_0 为耦合系数, K 为光栅矢量的大小, k_0 为晶体参数:

$$k_0 = (Nq^2/\epsilon\epsilon_0 k_B T)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

N 为晶体对特定波长的有效光折电荷密度。从(1)式知,对于给定的晶体,耦合系数在 $K = k_0$ 时取得最大值。光栅矢量的大小为

$$K = (2n\omega/c)\sin\alpha,$$

其中 α 是两光束间的夹角,通过改变 α 值得到 γ_0 的最大值。

一般情况下,光束在晶体中的夹角 α 与晶体顶角有确定的关系。如图 1(b) 所示的器件中,无论入射角如何改变,共顶角 α_0 与光束夹角的关系总为

$$\alpha_0 = 90^\circ - \alpha/2. \quad (3)$$

就是说可以利用二波耦合实验^[6]确定理想的 α , 进而确定合理的 α_0 , 而一旦 α_0 确定之后,无论入射角如何改变,总可以保证其所形成的光栅周期对应于最大的耦合系数。

(2) 利用大的有效电光系数。(1)式中 r_{eff} 是沿光栅矢量方向的有效电光系数,对 4 mm 对称点群的晶体如 KNSBN, SBN, BaTiO₃ 等, e 光入射时有:

$$r_{\text{eff}} = \{n_0^4 r_{13} \sin\alpha_1 \sin\alpha_2 + 2n_0^2 n_e^2 r_{42} \sin^2[(\alpha_1 + \alpha_2)/2] + n_e^4 r_{33} \cos\alpha_1 \cos\alpha_2\} \cos[(\alpha_1 + \alpha_2)/2] / n^4. \quad (4)$$

利用上面的式子,我们计算了 KNSBN 晶体中 γ_0 与 α_1, α_2 (定义见图 1(b) 的关系,见图 2)。从图中可得到 $\alpha_1 \approx 20^\circ$ 时有最大的耦合系数,这时

α_2 的最佳值在 44° 左右,对应的入射角度 $\theta = 52^\circ$ 。这说明光线可从空气中直接入射,且晶体的入射面无需斜切,从而使该种器件的加工比较简单,使用方便。

另外还要考虑晶体内表面的全反射以及反射光可以在晶体内与入射光相交形成回路。由于 KNSBN 晶体有较大的折射率 ($n > 2.2$), 实验表明只要保持一定的尺寸以及选择适当的入射角度及入射点位置,这两项要求均不难满足。

三、实验结果及讨论

1. 实验结果

从多块样品中选出两块质量较好的成份均为 $(K_{0.5}Na_{0.5})_{2y}(Sr_{0.61}Ba_{0.39})_{1-y}Nb_2O_6$ ($y =$

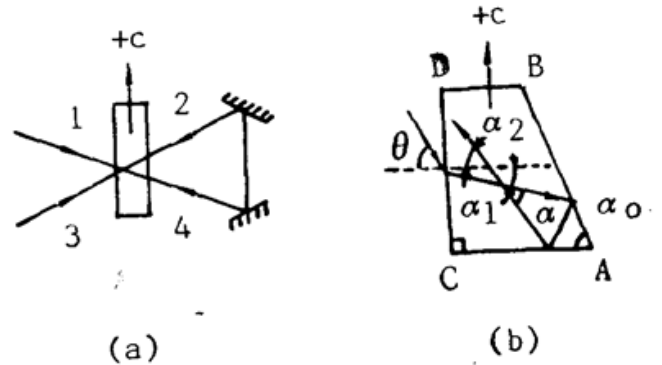


Fig. 1 RING PPCM using one interaction region

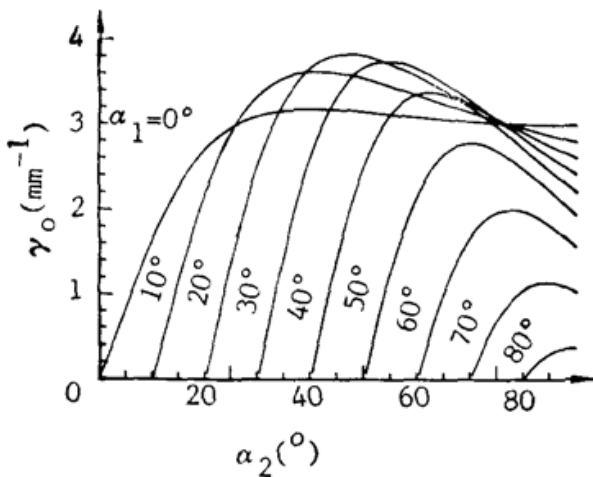


Fig. 2 Plot of the coupling constant γ_0 versus α_2 for various α_1

$n_o = 2.292, n_e = 2.263, N = 2.45 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$
 $r_{13} = 50 \times 10^{-12} \text{ m/V}, r_{42} = 400 \times 10^{-12} \text{ m/V}$
 $r_{33} = 270 \times 10^{-12} \text{ m/V}, \epsilon_{11} = 780, \epsilon_{33} = 270$

0.1)分别记为 KNSBN-I 及 KNSBN-II, CeO_2 的含量分别为 0.03 wt% 及 0.07 wt%。样品均加工成长方体, 尺寸分别为 $3.8 \times 4.4 \times 6.9 \text{ mm}^3$ 和 $5.5 \times 5.5 \times 6.8 \text{ mm}^3$ 。作为 CAT PPCM, KNSBN-I 可得到高达 40% 的共轭光反射率^[3], 而 KNSBN-II 的效应却非常弱。

用 He-Ne 激光测定了 KNSBN-II 的有效光折电荷密度 $N = 4.68 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 以此为基础求得两光束耦合作用的最大的夹角 $\alpha = 24^\circ$, 从而有 $\alpha_0 = 78^\circ$, 加工后晶体形状如图 1(b), 其中 $AC = 5.5 \text{ mm}$, $CD = 6.8 \text{ mm}$, $\angle ACD = \angle CDB = 90^\circ$ 。未经聚焦的功率为 20 mW 的 He-Ne 激光以入射角 $\theta = 50^\circ$ 左右入射, 我们测得其共轭光反射率高达 50%。定义响应时间为共轭光达到其稳态值的 $(1 - e^{-1})$ 时的时间, 测得其响应时间 $T = 45\%$, 与 KNSBN-I 作为 CAT PPCM 的响应时间^[3] $T > 2$ 分钟相比较已大大缩短。

改变入射角度, 发现只要 $\theta > 35^\circ$ 就可在该 RING PPCM 中实现自泵浦相位共轭, 以透镜将光束聚焦之后入射同样可实现这种效应, 说明可用于图象处理等应用。将共轭光扩束之后观察光斑的光强分布, 可发现其共轭光的质量不及 CAT PPCM。

2. 讨论

不同掺杂的 KNSBN 晶体, 对不同波长及入射角度的响应不尽一致, 设计 RING PPCM 时应先以实验及理论计算求得顶角 α_0 , 加工要求与 CAT PPCM 器件基本相同, 应注意各面平行度, 否则会使作用品减小, 效率降低, 且共轭光质量下降。

从上面结果看, 两种 PPCM 器件各有优缺点, 应根据不同实验要求选用。我们还可以考虑一块晶体同时作为 RING 及 CAT PPCM, 其方法是将作为 CAT PPCM 器件的晶体一直角顶角加工成 α_0 的顶角, 这样只要将晶体旋转 90° , 即可作为 RING PPCM 器件, 这将大大提高晶体的利用率, 并且可以在晶体组分、掺杂等条件完全一致的情况下研究比较两种器件的特性, 这些研究有待于进一步的工作。

参 考 文 献

- [1] Steven R. Montgomery *et al.*; *J. O. S. A.*, 1988, **B5**, No. 8 (Aug), 1775~1780.
- [2] Juan Rodriguez *et al.*; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 9 (May), 1732~1736.
- [3] Yue Xuefeng *et al.*; *Chinese Phys. Lett.*, 1990, **7**, No. 7 (Jul), 304~307.
- [4] J. Feinberg; *Opt. Lett.*, 1982, **7**, No. 10 (Oct), 486~488.
- [5] M. Cronin-Golomb, C. D. Brandle; *Opt. Lett.*, 1989, **14**, No. 9 (May), 462~464.
- [6] K. Sayano, A. Yariy; *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **55**, No. 4 (Jul), 328~330.

The design of KNSBN self-pumped conjugators

YUE XUEFENG, SHAO ZONGSHU, SONG YONGYUAN AND CHEN HUANCHU

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan, 250100)

(Received 3 September 1990)

Abstract

The principle and basic considerations of the design of barium strontium potassium sodium niobate (KNSBN) self-pumped phase conjugators are given in this paper. The corresponding device was designed and its characteristics were studied.

Key words: self-pumped phase conjugator.