

光折变晶体内的光振荡和光学限幅器*

岳学锋 邵宗书 牟晓东 宋强
张杰 宋永远 陈焕鑫

(山东大学晶体材料国家实验室, 山东, 济南, 250100)

摘要: 提出了一种利用光折变晶体光振荡的光学限幅器, 在 SBN 晶体中得到了口字型和 8 字型光振荡通路, 给出了光振荡的阈值条件以及作为光学限幅器的透射率与耦合系数的关系, 并讨论了控制光振荡形式以改变限幅器性能的途径.

关键词: 光振荡, 光折变晶体, 光学限幅器.

引言

光折变晶体在毫瓦级激光作用下即可表现出很强的非线性光学效应, 使之在非线性光学等领域得到了广泛的应用^[1], 如利用光折变非线性做成光学限幅器^[2]是实例之一. 这种器件包括了扇形散射、利用外加反馈光振荡以及各种相位共轭限幅器. 其中扇形散射和相位共轭限幅器响应速度慢, 利用外加反馈的光振荡限幅器结构不紧凑, 这些都有待于进一步改进. 利用激光在晶体内的散射光经内表面全反射后形成闭合振荡回路, 可使光能迅速转移, 从而提高响应速度, 并可以通过控制光振荡通道的形式来改变器件的工作特性. 本文报道了我们对这项工作的研究结果.

1 基本原理

1.1 光折变晶体内光振荡通道

如图 1 所示, 一束异常偏振光以入射角 θ 射入 SBN 晶体, 其扇形散射光^[3]沿 $-c$ 方向增强. 对一定尺寸的晶体, 只有沿特定方向的散射光才能在晶体内形成闭合回路并得以共振增强^[1]. 图 1(a)、(b) 是我们对多块 SBN 晶体进行实验获得的两种典型光路示意图, 以下分别称为口字型和 8 字型光振荡回路. 其形成条件分别为 $\alpha_0 = 90^\circ - \arctan(L_y/L_x)$ 和 $\alpha_0 = 90^\circ - \arctan(L_y/2L_x)$, 这里, 各物理量如图所示. 另外两种光振荡

本文 1991 年 11 月 26 日收到, 最后修改稿 1992 年 9 月 3 日收到.

* 国家自然科学基金资助课题.

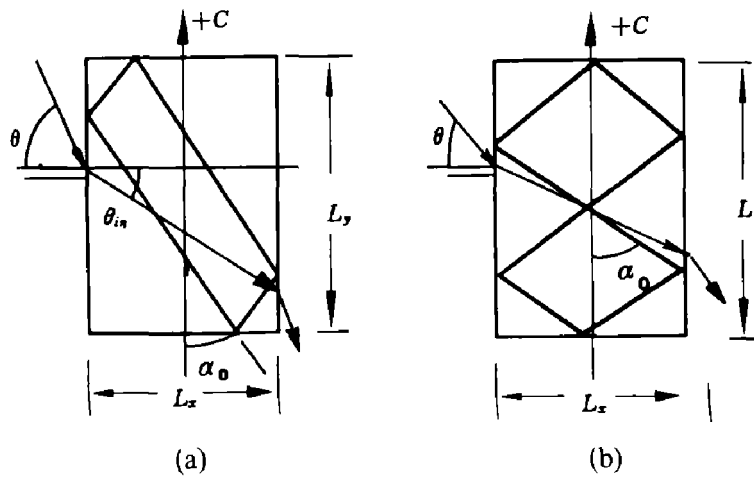


图 1 SBN 光折变晶体中的光振荡回路简图

Fig. 1 Sketch of oscillation loops inside the SBN photorefractive crystal

通道的总长度分别为常数 $L_0 = 2\sqrt{L_x^2 + L_y^2}$ 和 $L_0 = 2\sqrt{4L_x^2 + L_y^2}$. 一旦形成了上述光束通道, 入射光能会迅速转移过来, 从而使透射光衰减, 起到了光学限幅的作用. 在有的情况下, 这些光束通道还会慢慢转变为非闭合式的自泵浦相位共轭的光束通道, 但这一转化过程比上述闭合通道的形成要慢得多.

1.2 阈值条件及透射率与耦合强度的关系

形成光振荡后晶体内的光场可表示为

$$E = \hat{e}_1 A_1(r) \exp [i(\omega_1 t - \vec{k}_1 \cdot \vec{r})] + \hat{e}_2 A_2(r) \exp [i(\omega_2 t - \vec{k}_2 \cdot \vec{r})], \quad (1)$$

其中 \hat{e}_1 、 \hat{e}_2 为入射光和振荡光的偏振态, $A_1(r)$ 和 $A_2(r)$ 及 ω_1 和 ω_2 分别为其振幅和圆频率. 腔的失谐会导致 $\omega_1 \neq \omega_2$. 两光在交叠区域内相干作用使晶体的折射率发生调制, 即

$$n = n_0 + n_1 (A_1 A_2^* / I_0) \exp(\Omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} - \Phi) + c.c. \quad (2)$$

式中 $\Omega = \omega_1 - \omega_2$ 为腔的失谐量, $\vec{k} = \vec{k}_1 - \vec{k}_2$, Φ 为折射率光栅与光场的相位差 (SBN 晶体的 $\Phi = \pi/2$), n_0 为晶体的平均折射率, n_1 为非线性折射率.

光束耦合作用方程可参见文献 [5], 其耦合系数 γ 是反映作用强弱的重要参数, 由于腔的失谐量很小, 以下讨论中忽略它的影响. 光振荡的边界条件为 $I_2(0) = M \exp(-\alpha L) I_2(l)$, 其中 $I_2(0)$ 、 $I_2(l)$ 分别为振荡光作用前后的光强, l 为作用区长度, $L = L_0 - l$, L_0 即前面给出的振荡光通道的总长度, M 为多次反射的有效反射率, α 为晶体的吸收系数. 由二波作用耦合波方程可求得入射光束的透射率为:

$$T = \frac{(1 + m) \exp(-\alpha L_x)}{1 + m \exp(\gamma l)}, \quad (3)$$

其中 $m = \frac{M - \exp(\alpha L_0 - \gamma l)}{\exp(\alpha L_0) - M}$. 光振荡的阈值条件为

$$(\gamma l)_t = \alpha L_0 - \ln M. \quad (4)$$

给定 $L_x = 5 \text{ mm}$, $L_y = 5.2 \text{ mm}$, $\alpha = 0.063 \text{ mm}^{-1}$, 并假定 $M = 1$ (全内反射), 我们模拟计算出两种光振荡对应的阈值条件以及透射率与耦合强度 (γl) 的关系, 参见图 2. 图中曲线的起点对应于阈值条件, 分别为 0.91 和 1.42, 显然要比自泵浦相位共轭的阈值 2.34 小得多^[4], 这正是光束入射到光折变晶体中总是先形成闭合振荡回路的原因.

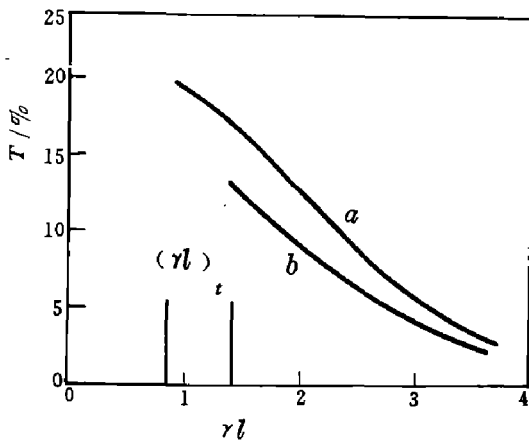


图 2 透射率与耦合系数的关系 (曲线 *a* 和 *b* 分别对应于图 1 中的振荡回路 (a) 和 (b))

Fig. 2 The plot of relation of transmissivities to coupling constant. Curves *a* and *b* correspond to oscillation loops (a) and (b) in Fig. 1, respectively

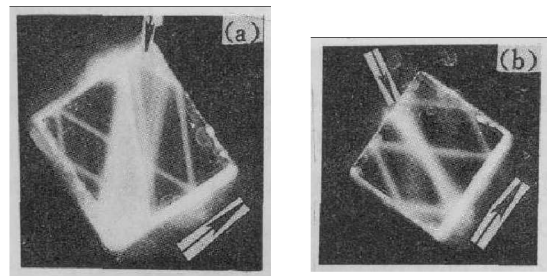


图 3 图 1 所示 SBN 晶体中光振荡回路照片 (细箭头表示 $+c$ 方向, 粗箭头表示光入射方向)

Fig. 3 The photographs of oscillation loops inside the SBN crystal corresponding to Fig. 1 (the thin arrows indicate the $+c$ axis while the thick ones indicate the beam incident directions)

2 实验结果

本实验所用光折变晶体为 $\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$, 其中 CeO_2 的掺杂量为 0.05 wt.%, 尺寸 ($a \times b \times c$) 为 $5.6 \times 5.3 \times 5.03 \text{ mm}^3$. 样品经极化处理, 633 nm 处的吸收系数为 0.063 mm^{-1} , 其它基本参数为: $n_0 = 2.31$, $n_e = 2.27$, $r_{33} = 224 \text{ pm/V}$, $r_{13} = 55 \text{ pm/V}$. 实验采用 20 mW 的 He-Ne 激光器为光源, 光路中加半波片使入射光为异常光, 而透镜则使入射到晶体上的光功率密度为 5 W/cm^2 .

实验发现光振荡的形式与入射角度有关, 当 $0^\circ < \theta < 30^\circ$ 时, 光路为 8 字型; $\theta > 30^\circ$ 时, 两种形式的通道共存; 随着 θ 的继续增加, 会变为口字型振荡光路. 图 3(a) 对应 $\theta = 60^\circ$, 图 3(b) 对应于 $\theta = 35^\circ$. 我们改变入射角 θ , 测量了对应于口字型光振荡的透射率随 θ 变化的关系, 发现当 θ 从 50° 增加到 80° 时, 透射率 T 略有下降, 由 $\sim 30\%$ 降到 $\sim 20\%$. 另外, 这种限幅器有快的响应速度. 以 $\theta = 65^\circ$ 为例, 一块同成分的晶体加工时使其反射面略有倾斜而不能形成闭合振荡通道, 测量比较光束透过两块样品的衰减时间可发现光振荡限幅器的响应速度比后者高出约一个数量级, 参见图 4, 图 4 中曲线 *a* 对应光振荡限幅器, 曲线 *b* 对应光散射限幅器.

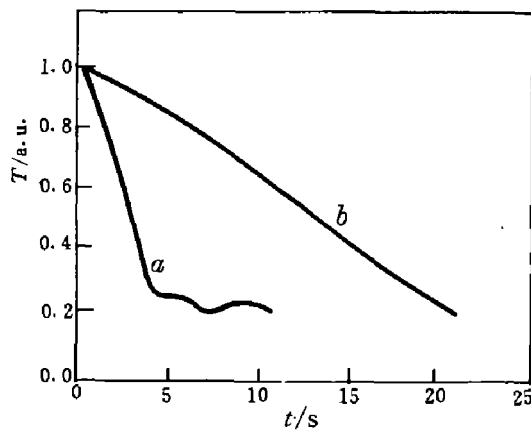


图 4 透射率随时间的变化
Fig. 4 The variations with time of transmissivities

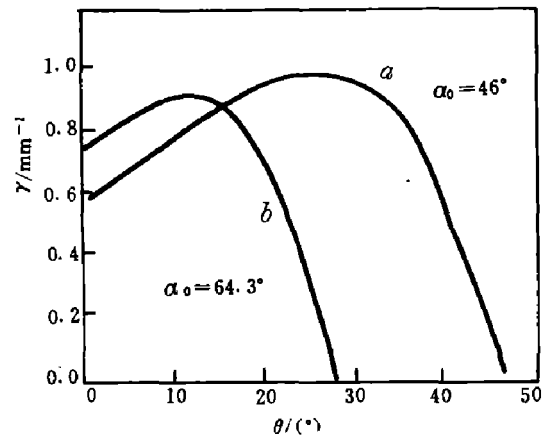


图 5 耦合系数与入射角度 (晶体内) θ_{in} 的关系
Fig. 5 The relation of coupling constant to incident angle θ_{in}

3 讨论

SBN 晶体属 4 mm 对称点群, 其耦合系数表达式可参见文献 [4]. 我们利用二波耦合实验测得该晶体中的有效光折电荷密度 $N \approx 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. 代入其基本参数, 计算得到耦合系数随入射角的关系参见图 5 (图中 θ_{in} 为晶体内的折射角). 图中 a, b 分别对应于图 1(a)、(b) 两种振荡通道. 由图 5 我们可以概括出以下几点: (1) $\theta > 20^\circ$ (对应 $\theta > 50^\circ$) 时, 光振荡通道 (b) 对应的耦合系数小于 (a) 的情形, 这时振荡形式主要为口字形; (2) $\theta_{in} \approx 20^\circ$ 时, 两种形式光振荡对应的耦合系数相近; (3) θ_{in} 继续减小时, 通道 (a) 对应的耦合系数继续减小, 结合图 1 可知它的耦合作用区也在减小, 所以有可能导致耦合强度低于其振荡阈值, 从而使光振荡形式为图 1(b) 的形式.

对于口字型光振荡, 从图 5 中曲线 a 可知, 随着入射角的增加 (θ_{in} 总小于 26°), 其耦合系数增加, 结合图 2 可知其透射率也将随之衰减. 由上述几点可解释实验结果.

这种光振荡光学限幅器加工精度要求较高, 应使晶体四边成规则矩形, 表面光洁度要好, 以减小光束的反射损耗. 另外, 从图 5 可看到, 耦合系数与 α_0 及 θ_{in} 有关, 光振荡的通道应尽量沿着耦合系数最大的方向形成. 除了在实验中改变入射方向外, 在设计加工器件时应考虑 α_0 的控制. 总之, 利用晶体内表面全反射形成光振荡的光学限幅器, 其响应要比扇形光散射限幅器快一个数量级, 其基本特性与性能的研究对基础研究和实际应用均有重要意义.

参考文献

- 1 Gunter P, Huignard J P. *Photorefractive Materials and Their Applications II*, Berlin: Springer-Verlag, 1989
- 2 Cronin-Golomb M, Yariv A. *J. Appl. Phys.*, 1985;57:4906
- 3 Feinberg J. *J. Opt. Soc. Am.* 1982;72:46
- 4 MacDonald K R, Feinberg J. *J. Opt. Soc. Am.* 1983;73:548

5 Yeh P. *IEEE J. Quant. Electr.* 1989;QE-25:485

6 Duchaine S *et al.* *J. Opt. Soc. Am.* 1986;A3:25

OPTICAL OSCILLATION INSIDE PHOTOREFRACTIVE CRYSTAL AND OPTICAL LIMITER*

YUE XUEFENG, SHAO ZONGSHU, MU XIAODONG, SONG QIANG,
ZHANG JIE, SONG YONGYUAN, CHEN HUANCHU

(*National Laboratory of Crystal Materials, Shandong University,
Jinan, Shandong 250100, China*)

Abstract: A new kind of optical limiter by using the energy transfer of incident beam to oscillation is proposed. The oscillation loops in the shapes of parallelogram and figure-eight were observed simultaneously and separately in the experiment for SBN crystals. The threshold conditions of different kinds of oscillation and the relation of transmissivity to the coupling constant are given. The way to control the oscillation and thus the behaviors of optical limiter are also discussed.

Key words: optical oscillation, photorefractive crystal, optical limiter.

*The project supported by the National Natural Science Foundation of China.