

(BaSr)TiO₃ 晶体光诱导自泵浦位相共轲的实验研究

邱怡申 吕团孙

(福建师范大学物理系, 福州 350007)

庄 健 高宪成

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州 350002)

摘 要 对(BaSr)TiO₃ 晶体中光诱导自泵浦位相共轲现象进行了实验研究。发现诱导自泵浦的输出特性取决于诱导光束强度和信号光的入射条件, 并在一定条件下呈现双稳性。作者认为, 这是由于诱导光束改变晶体中信号光束 Fanning 散射强度分布的结果。

关键词 光折变晶体, 光诱导自泵浦, 光学双稳。

1 引 言

1992 年, Hon-Fai Yau^[1]和 Qiu^[2]分别在 BaTiO₃ 和 (BaSr)TiO₃ (以下简称 BST) 晶体中观察到光诱导自泵浦位相共轲(ISPPC)现象, 即利用非相干的辅助光束进行激发, 可以使原来处于非自泵浦状态下的信号光产生位相共轲输出。更令人感兴趣的是当诱导光束撤去后, 光诱导自泵浦位相共轲过程可以是可逆的(恢复没有共轲光输出), 也可以是不可逆的(仍然维持稳定的共轲光输出)。显然, 利用这种新的光诱导非线性现象实现一种新型光学开关装置在理论上是可行的^[3], 它在光学信息处理和光计算领域有着潜在的应用前景。

本文进一步对 BST 晶体中产生光诱导自泵浦位相共轲的条件, 包括可逆和不可逆诱导过程相互转换的条件进行了比较仔细的实验研究。发现自泵浦位相共轲的输出特性与诱导光束强度有关, 且在可逆诱导的条件下具有双稳性。并对实验结果做了定性的理论解释。

2 实验结果

实验装置如图 1 所示。由 Ar⁺ 激光器输出波长为 514.5 nm 的激光束经 $\lambda/2$ 波片和格兰棱镜 GP 后成为振动方向平行于入射面的偏振光束。光束经分束器 BS 后, 其中一束经光阑 A_s 作为信号光 I_s 以入射角 θ 和入射位置 x 进入 BST 晶体; 另一束经可调分束器 VBS、中性衰减片 NDF 和光阑 A_i 后作为诱导光束 I_i 从晶体 - C 面并沿 + C 方向进入晶体。诱导自泵浦

* 福建省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1995 年 11 月 28 日

输出由连接激光功率计或记录仪的探测器接收。实验中, 信号光束的直径约为 1 mm, 诱导光束的直径约为 2 mm。两光束的光程差大于激光器相干长度的 20 倍, 以排除它们在晶体中发生耦合的可能性, 且每次测量时, 在引入诱导光束前都小心地调整 x 和 θ , 使得信号光处于非自泵浦状态。所采用晶体的尺寸为 8.4 mm × 6.8 mm × 3.4 mm (由中科院福建物构所生长)。实验结果可归结如下:

1) 在信号光的入射角 $\theta = 68 \sim 75^\circ$, 入射位置 $x = 4 \sim 8$ mm 范围内, 均可产生光诱导自泵浦位相共轲输出, 光诱导自泵浦位相共轲的输出特性取决于信号光和诱导光的入射条件。为了观察到最佳的诱导效应, 必须仔细调整诱导光束在晶体 - C 面的入射位置, 使得光束照射在 Fanning 散射光道的弯曲部分即散射的耦合区(见图 1)。

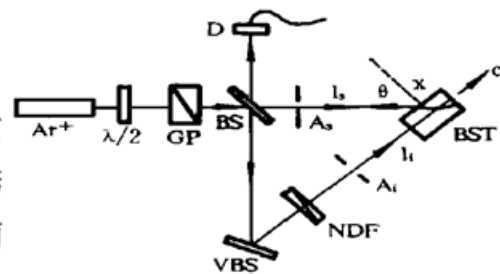


Fig. 1 Experimental configuration for ISPPC in photorefractive BST crystal

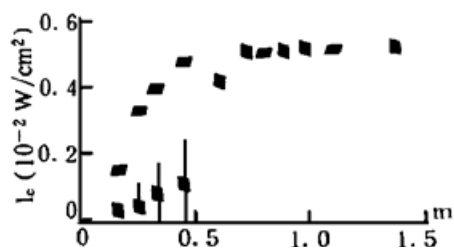


Fig. 2 Bistability of ISPPC output for reversible process $I_s = 0.26 \text{ W/cm}^2$, $x = 7.5 \text{ mm}$, $\theta = 70^\circ$, $m = I_i/I_s$. The bars in figure mean the range of oscillation of ISPPC output]

2) 光诱导自泵浦位相共轲输出明显依赖于诱导光强。图 2 给出了在信号光强度不变时, 光诱导自泵浦位相共轲输出光强随诱导光强变化的一个典型的实验结果。从图中可见: 当改变诱导光束的光强, 使其逐渐增大, 光诱导自泵浦位相共轲输出亦随之增强, 并最终达到饱和; 这时若逐渐减小诱导光强, 发现光诱导自泵浦位相共轲输出并不沿原路返回, 而是呈现光学双稳性。另外, 发现当诱导光强较小时, (包括增大过程和减小过程) 光诱导自泵浦位相共轲输出是不稳定的, 且与信号光不严格共轲。图 2 中的竖条线表示其不稳定值的范围。图 3 记录了当 $I_s = 0.26 \text{ W/cm}^2$, $I_i/I_s = 1/3$ 时光诱导自泵浦位相共轲输出的时间特性。当诱导光强较大时, 光诱导自泵浦位相共轲输出是稳定的且与信号光严格位相共轲。图 4 是具有稳定位相共轲输出时的时间特性, 其中 $I_s = 0.26$

W/cm^2 , $I_i/I_s = 2$ 。

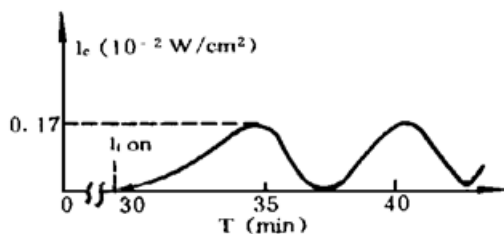


Fig. 3 Oscillation of time for the stable ISPPC output. $I_s = 0.26 \text{ W/cm}^2$, $I_i/I_s = 1/3$, $x = 7.5 \text{ mm}$, $\theta = 70^\circ$

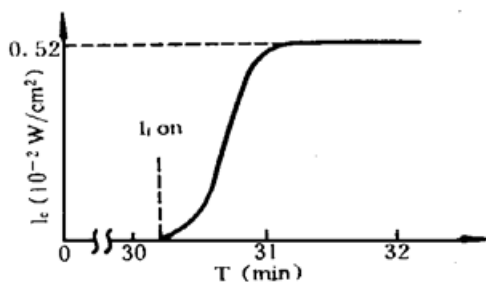


Fig. 4 Behavior of time for stable ISPPC output. $I_s = 0.26 \text{ W/cm}^2$, $I_i/I_s = 2$, $x = 7.5 \text{ mm}$, $\theta = 70^\circ$

3) 光诱导自泵浦位相共轲输出与信号光强有关。改变信号光强, 仍保持图 2 的入射方式, 重复以上实验过程可发现类似图 2 的输出双稳性, 所不同的只是饱和输出随信号光强的增强而增大, 如图 5 所示。

4) 光诱导自泵浦位相共轲输出还取决于信号光的入射方式。在 x 大于 7.5 mm 和 θ 大于 70° 的范围内, 达到饱和输出的光诱导自泵浦位相共轲, 在撤去诱导光束后会逐渐减到零(可

逆诱导)。约在 $x = 4 \sim 5 \text{ mm}$ 和 θ 大于 60° 的范围内, 达到饱和输出的光诱导自泵浦位相共轲, 在撤去诱导光束后仍能保持稳定的输出(不可逆诱导), 如图 6 所示。从图 2 和图 6 的结果可见, 不可逆诱导的光诱导自泵浦位相共轲输出强度远大于可逆诱导的光诱导自泵浦位相共轲输出强度。

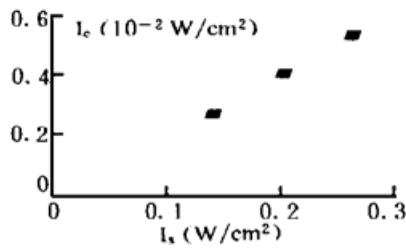


Fig. 5 Saturated ISPPC output versus signal beam intensity for $x = 7.5 \text{ mm}$, $\theta = 70^\circ$

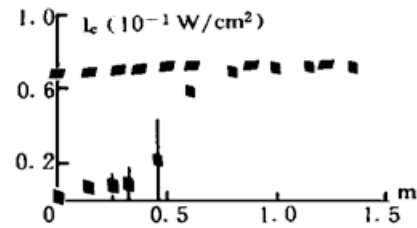


Fig. 6 ISPPC output versus induced beam intensity for irreversible process, $I_s = 0.26 \text{ W/cm}^2$, $x = 4.5 \text{ mm}$, $\theta = 65^\circ$. $m = I_i/I_s$

3 现象的解释和讨论

由于在本文的实验中所观察的光诱导自泵浦位相共轲总是伴随着 Fanning 散射的端角反射, 故采用二个耦合区模型^[4]解释自泵浦的产生较为合理。

在非自泵浦状态下, 散射光强烈地弯向晶体 + C 方向, 信号光的大部分能量经散射从 + C 面出射而没有进入端角。当向散射耦合区引入非相干的诱导光束后, 该光束即对晶体中信号光与弯向 + C 面的散射光所形成的耦合光栅起擦除作用, 使得该方向的散射光强度减小, 而到达晶体端角的散射光增强, 以致形成光诱导自泵浦位相共轲输出。

当诱导光强还不太强时, 晶体中同时存在着弯向 + C 面和端角两部分散射, 且实验中可观察到这两组散射光道强度交替变化。由于这两部分散射光的剧烈竞争而导致光诱导自泵浦位相共轲随时间振荡, 且不具有位相共轲特性。随着诱导光强增大, 到达端角的散射光增强, 自泵浦输出也随之增强。当诱导光强增大到一定值时, 向 + C 面的散射趋于零, 晶体中只能观察到端角散射的光道, 这时光诱导自泵浦位相共轲输出是稳定的, 且与信号光具有严格的位相共轲关系。此后, 如果继续增大诱导光强, 光诱导自泵浦位相共轲输出将随之增大并最终达到饱和。此时, 如果逐渐减小诱导光强, 由于位相共轲输出本身也起了抑制向 + C 面散射的作用, 故仍能维持稳定的光诱导自泵浦位相共轲输出而呈现双稳性。只有当诱导光强减弱到较小时, 向 + C 面的散射增强到足以抽空端角散射光的能量时, 才使得光诱导自泵浦相位共轲输出减弱为零。

在一定条件下, 如果位相共轲输出强到足以抑制 + C 面散射的生成, 以致在晶体中维持稳定的端角散射, 那么即使撤去诱导光束也能保持稳定的光诱导自泵浦位相共轲输出, 即实现不可逆的光诱导自泵浦位相共轲。

参 考 文 献

- [1] Hon-Fai Yau *et al.*, Induced self-pumping phase-conjugation with BaTiO₃. *Opt. Commun.*, 1992, **89** (5, 6): 457~462
- [2] Y. S. Qiu *et al.*, Self-pumped phase conjugation induced by an incoherent beam. *Opt. Lett.*, 1993, **18**

(2): 1~ 3

- [3] Y. S. Qiu *et al.*, Optical logic operations with self-pumped phase-conjugation output in photorefractive materials. *Opt. Commun.*, 1993, **98**(1, 2, 3): 29~ 32
- [4] K. R. McDonald, J. Feinberg, Theory of a self-pumped phase conjugator with two coupled interaction regions. *J. Opt. Soc. Am.*, 1983, **73**(5): 548~ 553

Studies of Induced Self-Pumped Phase-Conjugation by an Incoherent Beam in (BaSr)TiO₃ Crystal

Qiu Yishen Lu Tuansun

(*Department of Physics, Fujian Normal University, Fuzhou 350007*)

Zhuang Jian Gau Xiancheng

n Institute of Research on the Structure of Matter, The Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 3500

(Received 28 November 1995)

Abstract Experimental results of induced self-pumped phase-conjugation (ISP-PC) by an incoherent beam in photorefractive (BaSr)TiO₃ crystal are reported. It is found that the features of ISPPC output depend not only on the parameters of signal beam but also the intensity of induced beam. Optical bistability of ISP-PC output is observed under certain conditions. The effects observed are attributed to the local modification of the Fanning geometry of the signal beam by induced beam.

Key words photorefractive crystal, induced self-pumping, optical bistability.