

光擦除双光束耦合的阈值开关特性

刘劲松* 杨雪玲 石顺祥 郭占国

(西安电子科技大学技术物理系, 西安 710071)

孙大亮 陈焕鑫

(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

提 要

基于光擦除折射率光栅和双光束耦合构成了一种新型的非线性光学器件。用带导模型^[1]和耦合波方程建立了理论公式。用KNSBN单晶和Ar⁺激光进行了实验演示。理论和实验都表明该器件具有明显的阈值开关特性。

关键词: 光折变非线性光学, 光开关, 阈值开关特性。

一、引 言

在光学数字计算中, 逻辑门和开关器件可由具有阈值开关特性的非线性光学器件来构成。这方面已有了大量的工作, 如法布里-珀罗器件^[2], 半导体器件^[3]等。本文报道基于光擦除折射率光栅和双光束耦合这两个物理过程而构成的另一种新型的非线性光学器件。

二、原理与理论

如图1所示, c_1 和 c_2 为两块光折变晶体。 I_{20} 与 I_{10} 和 I_s 与 I_p 分别为入射到 c_1 和

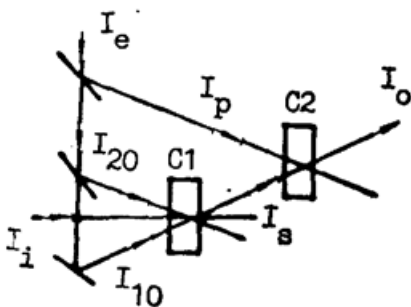


Fig. 1 Geometry and notation used for analysis of the optically erased two-beam coupling

c_2 上的信号光与泵浦光。 I_{10} , I_{20} , I_p 来自同一光束 I_e , I_s 为 I_{10} 通过 c_1 后的光, I_o 为 I_s 通过 c_2 后的光。适当安排光路使 I_{10} 和 I_{20} 以及 I_s 和 I_p 分别在 c_1 以及 c_2 处相干, 则在 c_1 与 c_2 中便会发生双光束耦合作用。另有一束光 I_i 入射到 c_1 上, 它和 I_{10} 以及 I_{20} 都是不相干的。因此, I_i 将对 I_{10} 和 I_{20} 在 c_1 中建立起的折射率光栅起擦除作用, 即通常所说的光擦除^[4,5]。其结果是减弱了 c_1 中两束相干光的相互耦合。 I_i 越大, 光擦除越强烈, c_1 中泵浦光向信号光耦合的能量就越少, 从而 I_s 越大。

若使光擦除得以有效地进行, 通常需要 $I_i \geq I_{10} + I_{20}$, 这一点可由下面的理论分析和实验演示加以证明。为了使这一系统具有增益特性, 用 I_p 在 c_2 中对 I_s 进行一次放大得到 I_o 。从形式上看, 输入信号 I_i 入射到由 c_1 、 c_2 等组成的系统后, 得到一个放大的输出信号 I_o 。 I_i

收稿日期: 1991年4月30日; 收到修改稿日期: 1991年6月24日

* 得到霍英东教育基金的资助。

和 I_0 以及系统内的光都是不相干的。在该系统中, $c1$ 完成光信号的控制过程, $c2$ 完成增益过程。

设 Γ 、 α 和 d 分别代表晶体的双光束耦合增益系数, 衰减系数和通光方向厚度, 下标 1 和 2 分别代表 $c1$ 和 $c2$ 的量。则有^[6]

$$I_0 = \frac{I_s + I_p}{I_s + I_p \exp(-\Gamma_2 d_2)} I_s \exp(-\alpha_2 d_2), \quad (1)$$

$$I_s = \frac{\exp(-\alpha_1 d_1)}{1 + m \exp(\Gamma_1 d_1)}, \quad (2)$$

式中 $I = I_{10} + I_{20}$, $m = (I_{20}/I_{10})$ 。为导出存在擦除光时 Γ_1 的表达式, 设 $c1$ 中三个光波的电场为

$$E_j(z) = A_j \exp[i(\omega t - \mathbf{k}_j \cdot \mathbf{r})], \quad j=1, 2, 3 \quad (3)$$

且 $I_j(z) = |E_j(z)|^2$, $I_{10} = I_1(0)$, $I_{20} = I_2(0)$, $I_i = I_3(0)$, $I_s = I_1(d_1)$ 。由于 I_i 和 I_{10} 以及 I_{20} 不相干, 故在 $c1$ 中总的光强为

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3 + A_1 A_2^* \exp(i\Delta \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) + A_1^* A_2 \exp(-i\Delta \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}). \quad (4)$$

基于光折变晶体的带导模型^[7], 类似于文献 [7] 中用一阶微扰法推导空间电荷场的方法, 所不同的是此时 $c1$ 中的总光强由 (4) 式给出, 同时考虑到一般情况下擦除光 I_1 的光电离截面 s_i 不同于写入光 I_{10} 和 I_{20} 的光电离截面 s_0 , 可推得存在擦除光时的空间电荷场。再由此场同双光束耦合增益系数的关系, 最终推得 Γ_1 为

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_1 &= \beta \Gamma_0, \\ \beta &= s_0 I (\delta + s_0 I + s_i I_i)^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 δ 为晶体的热激发速率, 通常可以略去。 Γ_0 为无擦除光且 $\delta=0$ 时 $c1$ 的双光束耦合增益系数。可见, I_i 增加使 β 减小从而导致 I_s 增加。就 $s_i = s_0$ 及 $\delta=0$ 的情况而论, 当 $I_i \ll I$ 时, $\beta \approx 1$ 擦除效果不明显; 当 $I_i \geq I$ 时, $\beta \ll 1$, 擦除效果显著。当 $I_i \rightarrow \infty$ 时, $\beta \rightarrow 0$, $I_s = I_{10} \exp(-\alpha_1 d_1)$, 此时达到了完全擦除。

图 2 给出了利用以上公式得到的 I_0 和 I_i 关系的数值结果。其中 $\Gamma_0 d_1 = \Gamma_2 d_2 = \Gamma d$, I_0 、 I_i 、 I_p 和 I 的单位都是 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。可见, I_0 和 I_i 的关系具有明显的阈值开关特性。 Γd 越大, 所需开关能量越小。 I_p 、 Γd 以及 m 越大, 增益特性越显著。

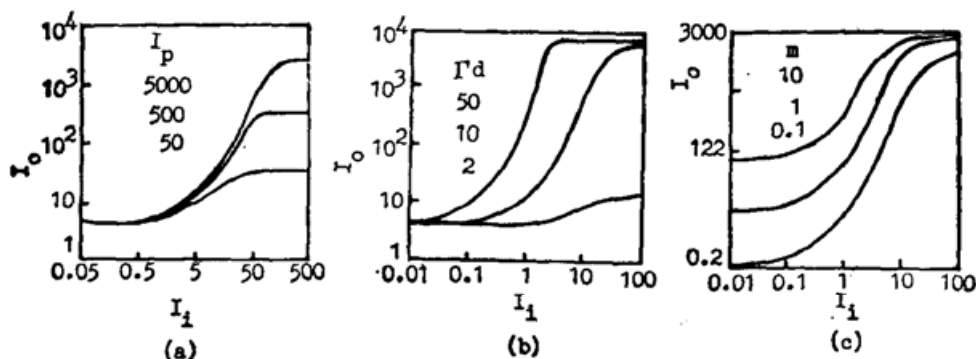


Fig. 2 The theoretical curve of the relation between I_0 and I_i . $\delta=0$, $\alpha d=0.7$, $s_i=s_0$

(a) $I=10$, $m=1$, $\Gamma d=10$; (b) $I=10$, $m=1$, $I_p=10^4$; (c) $I=4$, $\Gamma d=10$, $I=5000$

三、实验演示

实验装置如图 3 所示。 s 为波长 488 nm、功率 100 mW 氩离子激光器(基横模)。 BS 为分束器、 M 为全反镜, D 为功率计, P 为 $\lambda/2$ 波片。 ND 为中性密度滤波器, 用以控制 I_i 的大小。光路的安排保证 I_{10} 和 I_{20} 以及 I_s 和 I_p 分别在 $c1$ 以及 $c2$ 处相干, 而 I_i 和 I_{10} 与 I_{20} 不相干。 $c1$ 和 $c2$ 为 KNSBN 单晶, $d_1=d_2=5$ mm。在 488 nm 波段上, 测得 $\Gamma_0=3.6$ cm^{-1} , $\alpha_1=1$ cm^{-1} , $\Gamma_2=3.2$ cm^{-1} , $\alpha_2=0.7$ cm^{-1} 。显然 $s_i=s_0$ 。

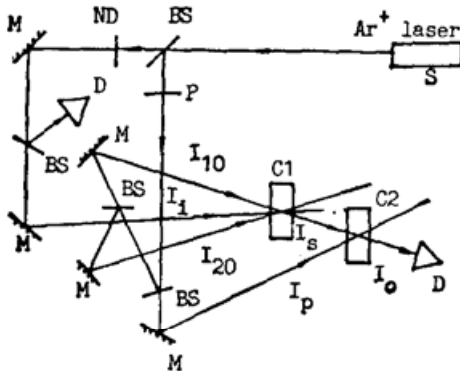


Fig. 3 Experimental arrangement

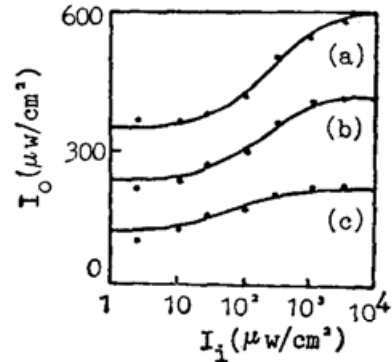


Fig. 4 Experimental data of the relation between I_0 and I_i . $I_p=10$, $m=4$, $\delta=0$.
(a) $I=240$; (b) $I=160$; (c) $I=80$

实验结果如图 4 所示。图中实线为理论值, 与实验值“·”相一致。实验演示表明, 本文所提的光擦除双光束耦合用以实现阈值开关特性的方法是可行的。不过, 由于所用两块 KNSBN 单晶的双光束耦合增益系数不高, 使得所得实验结果的增益很小。

四、结 论

本文基于光擦除折射率光栅和双光束耦合这两个物理过程, 提出了一种实现阈值开关特性的新方法。用波耦合理论建立了相应的理论公式并作了数值分析。用 KNSBN 单晶和 Ar^+ 激光器进行了实验演示。结果表明所提方法从原理上看是可行的。

我们所构成的器件是一种全光学型的, 具有同一信息载体的无源非线性器件, 它将具有转换效率高, 能耗低的潜在优点。由于该器件的入射光同其内部的光是不相干的, 本工作为不相干光之间的相互控制以及光对光的非线性调制提供了一种可行的方式。它比文献 [2] 提出的交叉法布里-珀罗共振腔的方法, 具有易于实现的显著优点。由于非相干光源发出的非相干光亦可作为擦除光来使用, 故利用该器件还可以实现非相干光对相干光的控制与调制。这使得相干非线性光学向着非相干领域迈进了一步。

该器件具有许多潜在的应用前景。如果作为光开关或应用于时域信息处理, 则需拥有响应与衰减速度非常快的光折变晶体。这点有待于现有材料的改进和新材料的开发。就目前而言, 光折变半导体是较为理想的材料^[6], 它的响应时间最短, 在 $1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的光强下可达 10^{-5} s 量级, 这比同等光强下氧化物光折变晶体的响应时间短了 3~5 个量级^[6]。

参 考 文 献

- [1] N. V. Kukhtarev *et al.*; *Ferroelectrics*, 1978, **22**, 949~960.
- [2] D. A. Holm *et al.*; *Opt. Lett.*, 1989, **14**, No. 12 (Jun), 601~603.
- [3] H. Kawaguchi *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1985, **QE-21**, No. 9 (Sep), 1314~1317.
- [4] G. J. Dunning *et al.*; *Opt. Lett.*, 1990, **15**, No. 2 (Jan), 99~101.
- [5] K. G. Belabaev *et al.*; *Ferroelectrics*, 1978, **18**, 137~139.
- [6] Pochi Yeh; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1989, **QE-25**, No. 3 (Mar), 484~519.
- [7] Ph. Refregiev *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1985, **58**, No. 1 (Jul), 45~57.
- [8] J. Strait *et al.*; *J. O. S. A. (B)*, 1986, **B3**, No. 2 (Feb), 342~344.

The threshold switching characteristic in optically erased two-beam coupling

LIU JINSONG, YANG XUELING, SHI SHUOXIANG AND GUO ZHANGUO

(*Department of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071*)

SUN DALIANG AND CHEN HUANCHU

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

(Received 30 April 1991; revised 24 June 1991)

Abstract

A novel nonlinear optical device has been constructed based on an optical beam erasing refractive index grating and two-beam coupling. The theoretical formula about the device has been built by using the coupling wave equation and band-transport model. An experimental demonstration has been done by using KNSBN single crystals and Ar ion laser. It is obviously shown experimentally and theoretically that the device possesses a threshold switching characteristic.

Key words: photorefractive nonlinear optics, optical switch, threshold switching characteristic.