

酞菁铜 LB 薄膜复合光波导 的高速双稳特性*

范俊清 李亚君 吕安德 范 翊 朴志圣 汪贤秀 史 克

(中国科学院长春物理研究所, 长春 130021)

提 要

对以有机材料酞菁铜的 LB 薄膜作覆盖层的 K^+ 离子交换玻璃光波导, 进行了高速光学双稳特性研究。利用比较波导的输入和输出光脉冲形状法, 在 532 nm 光波长得到开关时间为 24 ps 的高速光学双稳特性。
关键词: 光学双稳, 光波导, LB 膜, 非线性光学。

在有机材料中, 已发现酞菁衍生物是具备光化学稳定且有较大三阶非线性极化率 χ^3 的重要材料^[1]。其非线性极化率 χ^3 为 $\sim 10^{-10}$ esu, 它的值与低位电子的跃迁数目有关^[2]。因而采用这种材料制作非线性光学双稳器件可望有非常快的响应速度。

本文报道以四-4-(2,4-二特戊基苯氧基)酞菁铜(记为 tap Cu Pc, 以下简称酞菁铜) LB 薄膜作光波导覆盖层的玻璃平面波导的光学双稳特性研究的若干新结果, 内容包括响应时间快达 24 ps 的光学双稳实验结果及对其工作原理的初步探讨。

样品是在 K^+ 离子交换玻璃光波导上利用 LB 膜制备技术制备 34 层酞菁铜 LB 膜形成的^[3]。样品尺寸为 25 mm × 10 mm × 1 mm, 表面有 8 mm × 10 mm 区域没有覆盖 LB 薄膜。以 LB 薄作覆盖层的区域是一四层介质的复合平面光波导^[4], 其中厚度为 $\sim 0.05 \mu\text{m}$ 的 LB 薄膜层为非线性介质。玻璃波导芯层厚度为 $\sim 4.1 \mu\text{m}$, 折射率 n_f 为 1.517^{*}。玻璃波导是用一般玻璃经 K^+ 离子交换工艺制成的, 没有光学非线性^[6]。

图 1 是光线在四层介质波导中传播时的锯齿光线路径示意图。玻璃棱镜耦合器是压在设有 LB 薄膜层的区域, 光耦合 λ 波导, 然后通过有 LB 薄膜覆盖层的区域。图中 n_p, n_f, n_b, n_L 和 n_0 分别是棱镜、波导芯、衬底、LB 薄膜和空气的折射率, $n_p > n_f > n_b > n_0$ 。酞菁衍生物折射率 n_L 大于波导芯的 n_f ($n_L > n_f$)。因此, 图中示出了光线直接与 LB 薄膜相互作用。下面将要看到正是这种相互作用及 LB 薄膜的非线性光学性质产生某种光学双稳现象。

测量光双稳特性的光路示于图 2。其中光源是波长为 1.064 μm 的锁模 YAG 激光器(型号: JKLASER SYSTEM 2000), 1.064 μm 的光束经倍频(SHG)成 $\lambda = 532 \text{ nm}$ 的光。此光束一部分由探测器 PIN 接收变成电信号触发条纹摄像机(型号: Japan HAMAMAT-SUC 1370); 另一部分延时后分成两路: 一路由条纹摄像机接收用作入射波形, 另一路经 ZF₆ 玻璃棱镜耦合入光波导, 经过样品后从波导端面出射进入到条纹摄像机狭缝另一端。

收稿日期: 1991年5月20日; 收到修改稿日期: 1991年11月12日

* 本实验获中科院长春物理研究所激发态物理开放实验室的部分资助。

** 在 0.6328 μm 波长用棱镜耦合技术测模等效折射率, 然后用平板波导模型估算的^[5]。

*** 如文献[7]在 0.6328 μm 波长测得一种酞菁衍生物折射率为 1.53, 大于 $n_f = 1.517$ 。

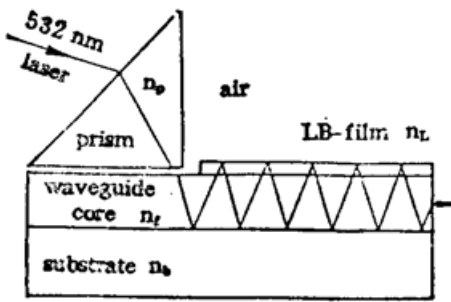


Fig. 1 Zigzag wave of the light beam in four-layer dielectric waveguide

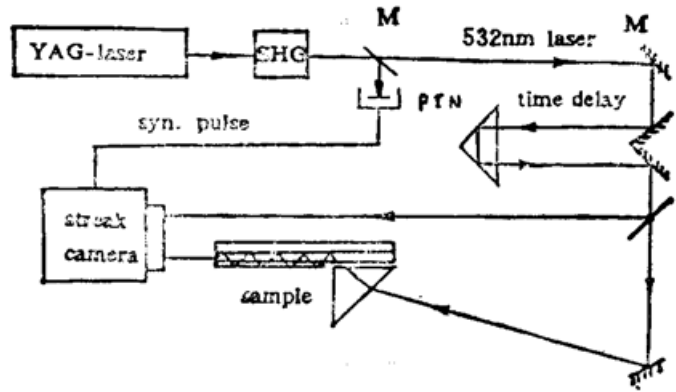


Fig. 2 Experimental setup for measuring optical bistability

进行的是单脉冲实验，实验中 YAG 激光器产生 250 ps 宽的单脉冲，样品的输入输出光脉冲波形用条纹摄像机同时探测记录。即条纹摄像机是在单脉冲模式下工作的，记录脉冲的波形分别是输入的宽为 250 ps 的单脉冲及其通过样品后的波形。

实验结果如图 3 所示，其中图 3(a)和图 3(b) 分别是条纹摄像机记录的入射光脉冲和该脉冲通过样品后畸变的光脉冲波形。根据这两个图形用计算机拟合出的双稳迴线如图 3(c)所示。图 3(a)和(b)的横坐标是时间，图中的读数乘以 6 是实际时间(单位为 ps)。图中“.”之间的距离表示 6 ps。在图 3(b)~(c)中其他坐标轴旁标出的 I_i 和 I_{out} 分别是输入和输出光强(任意单位)。由图 3(a)看到，输入光脉冲宽度(半功率点宽度)为 250 ps。由图 3(b)和图 3(c)看到输出光脉冲波形存在三次跃变和三个稳态，每次跃变开关时间都是 24 ps。实验中在耦合棱镜底部入射光斑直径约 1 mm，耦合入波导的光峰值功率为 ~ 2 kW。据此及波导参数计算的样品中峰值功率密度为 ~ 50 MW/cm²，图 3(c)中从左到右各级双稳的开关阈值功率密度分别 20、32 和 40 MW/cm²。

同时，进行了让耦合入波导中的光仅通过不覆盖 LB 薄膜的光波导实验(用同一波导，除掉光路上的 LB 薄膜)，这时观察到的输入和输出光脉冲波形相同，即观察不到上述双稳特性。这表明上述光学双稳是由 LB 薄膜的光学非线性引起的。

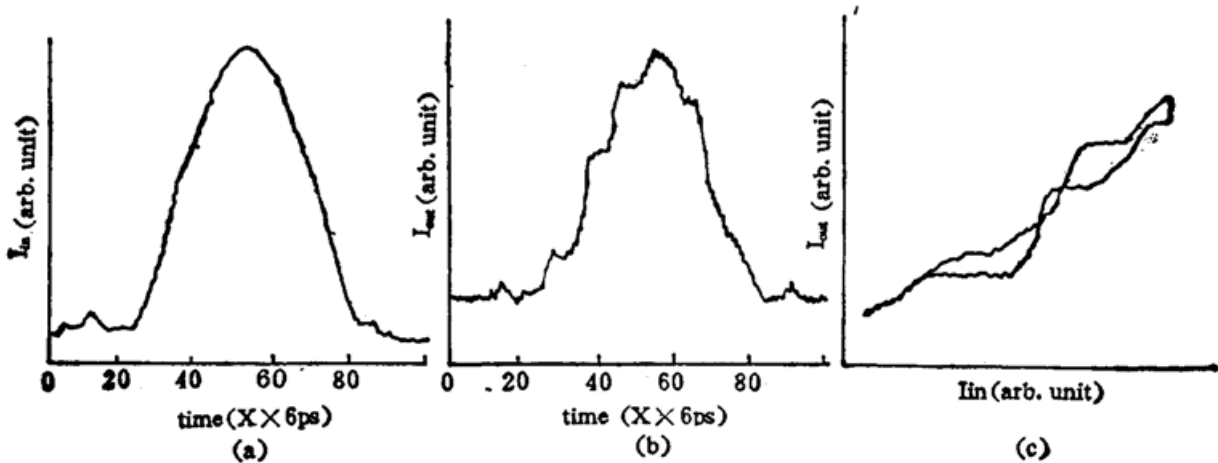


Fig. 3 Pulse shapes of input-output and bistable loops

(a) pulse shape of input; (b) pulse shape of output; (c) input-output power of bistable loops

上述实验结果可初步解释如下，四层介质光波导的模方程为^[4]

$$kd(v_j^2 - N_m^2)^{1/2} = m\pi + \tan^{-1}(q/h) + \Phi, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \tan^{-1}\{(r/h)\tan[\tan^{-1}(p/r) - rt]\}, \\ h &= k(n_f^2 - N_m^2)^{1/2}, \quad q = k(N_m^2 - n_b^2)^{1/2}, \\ p &= k(N_m^2 - 1)^{1/2}, \quad r = k(n_L^2 - N_m^2)^{1/2}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

在(1)式和(2)式中, k 为真空波数, d 为波导芯厚度, t 为 LB 膜厚度, N_m 为模有效折射率。如果(2)式中 $t=0$, 则 Φ 变成 $\phi = \tan^{-1}(p/h)$, 即这时(1)式变成三层介质波导的模方程。容易看出, 当 r 接近 0 时, 因 $t \ll 1$, Φ 近似等于 ϕ , 此时从三层到四层介质波导的光耦合效率接近最大。对一般的 $rt > 0$, 耦合效率是小的, 四层介质波导中的光强与三层介质波导中的成正比增加。当光功率达到一定值后, 由于 LB 膜的非线性, r 将随入射光强而变化。对一定的 N_m , 当 rt 随入射光强增大而变小时, Φ 与 ϕ 之差异变小, 耦合效率变大, 从而使耦合入四层介质波导的光强又进一步变大。而这又会使 rt 进一步减小。如此循环, 形成一正反馈过程。在 r 接近于 0 附近, 这一正反馈过程变化十分激烈, 以致使四层介质波导中的光强迅速上升至最大, 形成图 3(b)、(c)中的波形上升沿及光学双稳的开启部分。由于实验波导存在三个导模, 对每一模式的 N_m , 都能产生一次上述跃变, 所以图 3 中出现了三级双稳。

总之, 这种器件结构简单, 用平面工艺能制成复杂图案, 因而在非线性光学、光计算和光信息处理方面会有较好的应用前景。本文的研究仅是初步的, 许多问题值得进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Z. Z. Ho, C. Y. Ju *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1987, **62**, No. 2, 716~718.
- [2] J. S. Shirk, J. R. Lindle *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **55**, No. 13, 1287~1288.
- [3] 李亚君, 庞小敏等; 《应用化学》, 1991, **8**, No. 2, 52~55.
- [4] R. Shubert, J. H. Harris; *J. O. S. A.*, 1971, **61**, No. 2, 154~161.
- [5] R. Urich, R. Torge; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 12, 2901~2908.
- [6] J. E. Gortych, D. G. Hall; *IEEE J. Q. E.*, 1986, **QE-22**, No. 6, 892~895.
- [7] Li Yajun, Wang Xianxiu *et al.*; *Thin Solid Film*, 1989, **178**, 525~528.

Fast optical bistability in multiple waveguide coated with copper phthalocyanine LB films

FAN JUNQING, LI YAJUN, LU ANDE, FAN YI, PIAO ZHISHENG WANG, XIANXIU AND SHI KE
(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica, Changchun, 130021)

(Received 20 May 1991; revised 12 November 1991)

Abstract

The 34 layers tapCuPc , the copper tera-4-(2,4-ditert-ampylphenoxy) phthalocyanine, were deposited by the LB technique on the optical glass waveguide of K^+ ion-exchange, and a four-layer dielectric waveguide with LB films cladding is formed. The 532 nm line from a YAG laser is used as a light source. The input light with pulse width of 250 ps is coupled into the optical waveguide by a glass prism, and then is passed through the region coated with the LB films. In the experiment, a fast optical bistability with the switching off time to 24 ps has been demonstrated.

Key words: optical bistability, optical waveguide, LB films, nonlinear optics.