

非线性长程表面波的光学双稳态现象*

胡 纯 曹庄琪 杨傅子 庄志诚 陈英礼

(上海交通大学应用物理系, 上海 200030)

提 要

本文利用衰减全反射技术, 采用棱镜-折射率匹配液-银膜-半导体掺杂玻璃结构, 首次用非线性长程表面波实现了光学双稳态现象。所得到的反射率对入射光功率的曲线具有明显的滞后回线的形式。

关键词: 光学双稳态, 长程表面波。

一、引 言

大多数本征的光学双稳态器件都是由含有非线性介质的法布里-珀罗共振腔组成。这种器件的响应时间主要受与高 Q 值的法布里-珀罗共振腔有关的渡越时间所限制。显然, 为获得更为快速的光学双稳态器件, 设计一种无法布里-珀罗共振腔的装置是必须的。1984年 Martinat 等^[1]人指出, 用衰减全反射技术激励表面等离子激元波的方法, 可实现无法布里-珀罗共振腔的光学双稳态器件, 因而可获得快速开关。然后, 在 1985 年他们利用这种一般表面波在 CS_2 中观察到了光学双稳态现象^[2]。

本文利用衰减全反射技术, 先在棱镜-折射率匹配液-银膜-半导体掺杂玻璃结构中, 用氩离子激光($\lambda = 0.5145 \mu\text{m}$)实现了长程表面等离子激元波^[3]的激发, 然后通过增加和减小入射激光功率, 测量反射率曲线的办法, 首次利用非线性长程表面波观察到了光学双稳态现象。

由于长程表面波的损耗小, 可获得比一般表面波窄约一个数量级的衰减全反射共振峰。这样, 在共振激发状态, 样品表面的光功率密度比一般表面波大为加强。其次, 由于半导体掺杂玻璃的三阶非线性系数较大^[4], 预计获得双稳态开关效应的阈值功率可以很低。在光斑直径约为 0.2 mm 的情况下, 作者只用了不到 20 mW 的激光功率, 便实现了光学双稳态现象, 并得到了明显的光学滞后回线。

二、工作 原 理

激发长程表面等离子激元波的 Sarid 结构如图 1 所示。其中 1 区和 3 区是折射率相同的两类介质, 2 区是一层薄金属膜。当频率为 ω 的 TM 偏振的光进入折射率为 n_p 的棱镜中之后, 在入射角 θ_i 大于棱镜与介质 3 界面处的全反射临界角 $\theta_c = \sin^{-1}(n_3/n_p)$ 情况下, 若该

收稿日期: 1989年3月7日; 收到修改稿日期: 1989年7月10日

* 国家自然科学基金资助的项目。

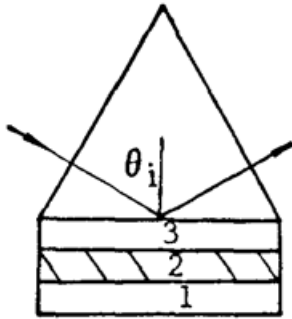


Fig. 1 Excitation of long-range surface plasma wave in the Sarid configuration

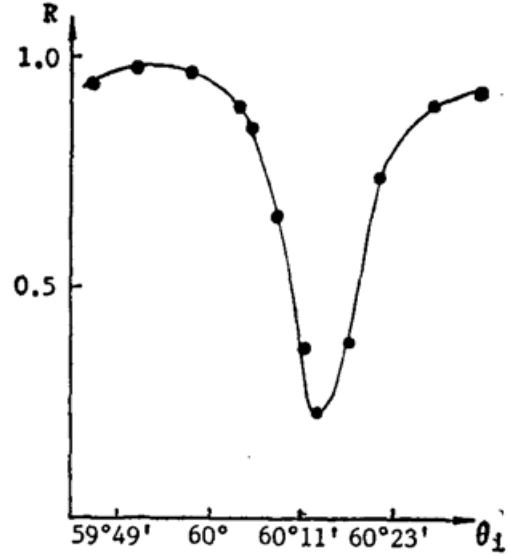


Fig. 2 Reflectance versus incidence angle for a weak light beam power

光束的平行于界面的波矢 $K_x = (\omega/c)n_p \sin \theta_i$ 与该结构长程表面等离子激元波的波矢 $K_p(\omega)$ 相等, 即 $\theta_i = \theta_{ATR}$ 时, 则经棱镜底面反射的光功率将出现一个衰减峰, 表明系统处于长程表面波的共振激发态; 若 θ_i 不等于 θ_{ATR} , 则系统处于全内反射态。角度扫描的衰减全反射共振峰如图 2 所示。

现设 1 区为非线性介质, 按通常的写法, 其折射率随光强 I 的变化关系为

$$n_1(I) = n_0 + n_2 I$$

式中, n_0 为 $I=0$ 时的折射率, n_2 为与材料有关的非线性系数。开始实验时, 使入射角 θ_i 稍微偏离 θ_{ATR} , 则输入光功率 P_i 为零时, 系统处于全内反射态。当逐渐增加入射光功率时, 由于 $n_1(I)$ 的变化, 使系统趋近于长程表面波的共振激发状态, 而系统共振激发状态的接近, 使金属-介质界面的场强更为集中, 从而进一步改变 $n_1(I)$ 。这种正反馈的机制使系统从欠共振状态直接过渡到过共振状态。进一步增加入射光功率, 使系统更加偏离共振状态, 从而使反射率增加。当入射光功率减小时, 由于场在表面的增强效应, 反射率曲线并不沿原路返回, 长程表面波的共振激发状态(ATR 态)存在一段有限的范围。进一步减小输入光功率, 由于 $n_1(I)$ 的变化, 系统将偏离共振激发状态, 由 ATR 态转变为 TIR 态。因此, 反射率随入射光功率的变化将呈一滞后回线的形式, 如图 3 所示。

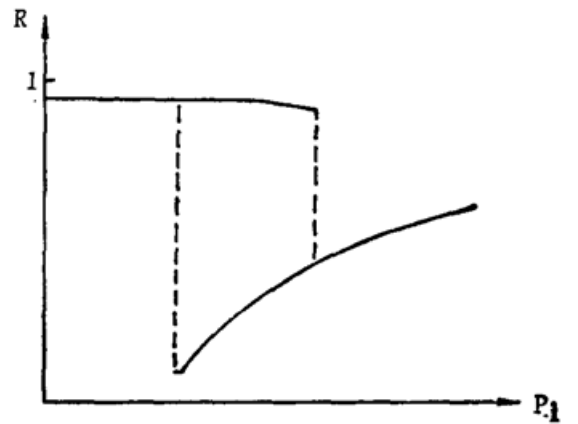
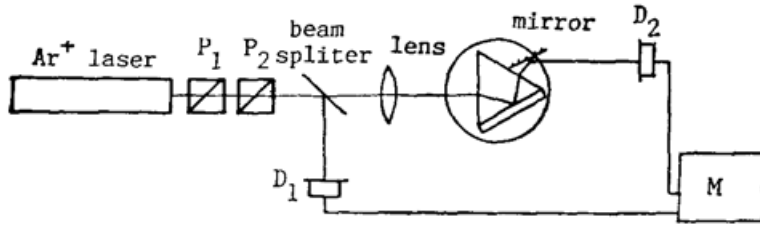


Fig. 3 Reflectance versus incident beam power with long-range surface plasmon extiocitan

三、实验观察

图 4 为实验光路示意图。氩离子激光($\lambda = 0.5145 \mu\text{m}$)通过一透镜聚焦进入高折射率

($n_p=1.768$)玻璃棱镜, 聚焦后的光斑直径约为 0.2 mm。在透镜前插入一反射片, 使 4% 的光功率进入光电探测器 D_1 , 以便进行光功率监控。棱镜和样品固定在由马达传动的精密转盘上, 随着圆盘的转动, 入射角 θ_i 将发生连续的变化。经样品反射的光通过一全反片进入另一光电探测器 D_2 , 由 D_1 和 D_2 输出的电信号输入微机 M 进行数据处理。样品由三层薄膜组成, 其中 1 区为掺有半导体材料 CdS_xBdSe_{1-x} 的有色玻璃基片, 用作非线性介质, 入射光功率为零时, 其折射率 $n_1=1.519(\lambda=0.5145 \mu m)$ 在该基片的表面上, 由真空蒸涂技术制备一层厚度约为 100 \AA 的银膜 2。而 3 区为折射率匹配液层, 匹配液的折射率可调正到 $n_3=n_1$, 该层的厚度可在一定范围内自由调节。



线性情况下(入射光功率 $P_i=1.27 \text{ mW}$), 反射率 $R=P_r/P_i$ 随入射角 θ_i 变化的关系已由图 2 给出。由图 2 可见, 激发长程表面等离子激元波的共振角 $\theta_{ATR}=60^\circ 13'$, 衰减峰的峰值半宽度为 $12'$, 而且曲线极小值两边的梯度基本上是对称的。随着入射光功率的增加, 由于正反馈机制的存在, 曲线左边的梯度将逐渐增加。在反方向角度扫描时, 反射率曲线的峰值将产生一滞后。图 5 表示正向和反向角度扫描的反射率曲线, 其中 (a) 代表入射光功率 $P_i=20 \text{ mW}$; 而 (b) 代表入射光功率 $P_i=30 \text{ mW}$ 。可以看出, 随着入射光功率的增加, 滞后现象将越来越明显。

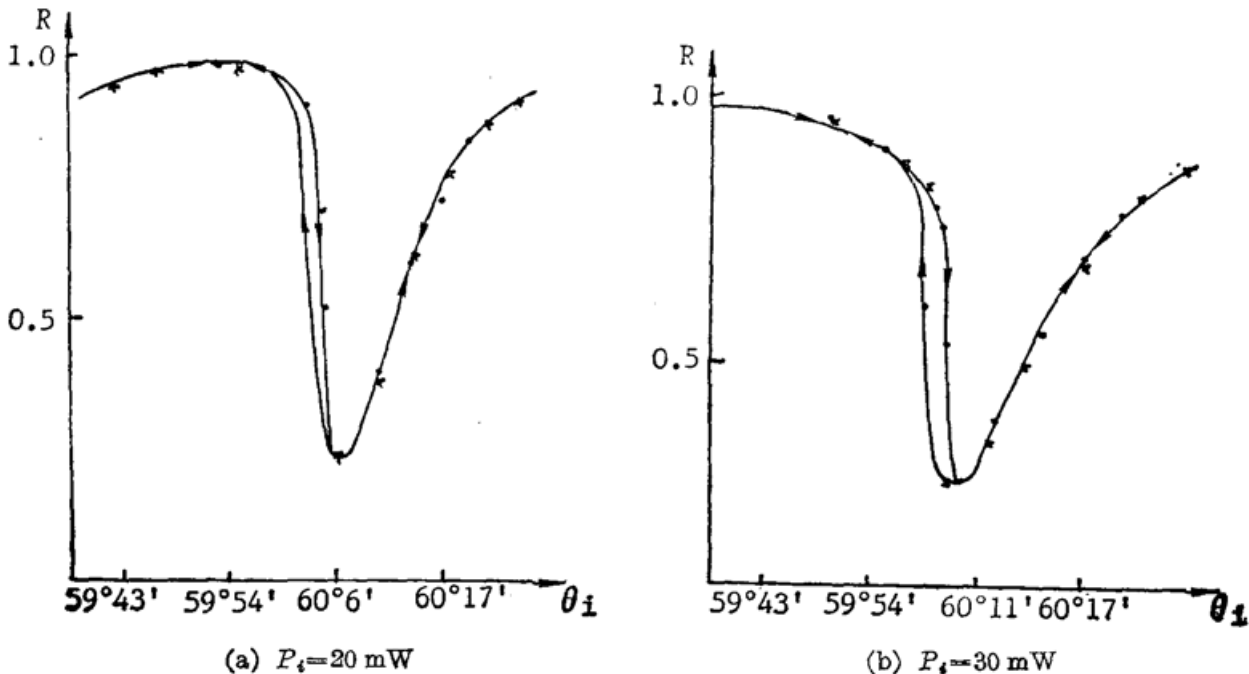


Fig. 5 Angular scans of the reflectance around the long-range surface plasmon excitation angles

入射光功率的变化通过图 4 所示的偏振棱镜 P_1 的调节来完成, 调节的角度经过严格的定标。偏振棱镜 P_2 的作用是保证入射光为 TM 光。对于固定的入射角 θ_i , 反射率 R 对入射光功率 P_i 的关系曲线如图 6 所示。由图 6 可见, 随着偏置角 $\Delta\theta = \theta_{ATR} - \theta_i$ 的增加, 滞后回线的宽度越来越大, 双稳开关的阈值功率也随之变大。

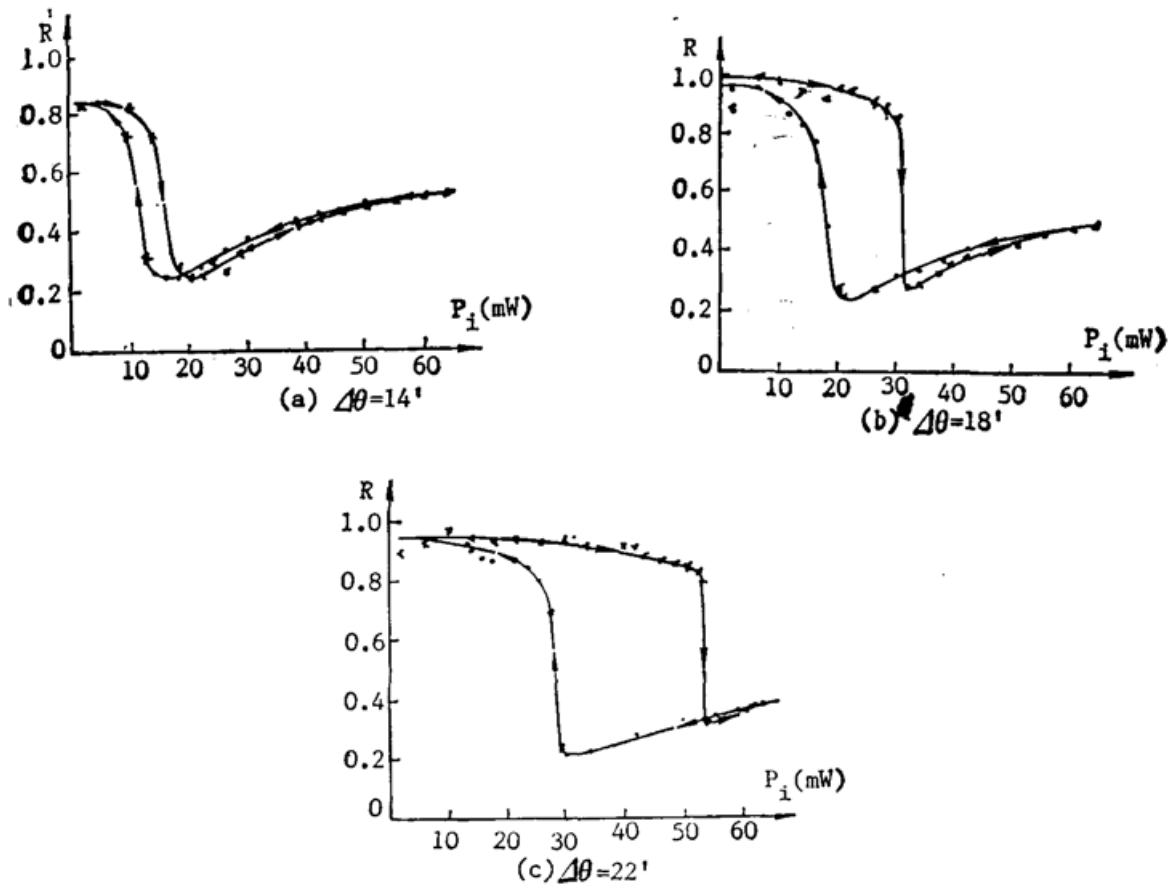


Fig. 6 Reflectance versus incident beam power for different values of the incidence angle

四、结 论

本文在实验上利用非线性长程表面等离子激元波实现了光学双稳态现象。这种光学双稳态由半导体掺杂玻璃的热致折射率变化所引起。其开关时间约为 100 ms 数量级^[2]。但由于半导体掺杂玻璃的载流子复合时间约为 50 ps^[5]，因此可以预料，若用高速脉冲 (~ 100 ps) 进行实验，实现快速的光学双稳开关是可能的。

参 考 文 献

- [1] P. Martinot, S. Laval *et al.*; *J. Phys. (Paris)*, 1984, **45**, No. 3 (Mar), 597~600.
- [2] P. Martinot, A. Koster *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1985, **QE-21**, No. 8 (Aug), 1140~1143.
- [3] D. Sarid; *Phys. Rev. Lett.*, 1981, **47**, No. 26 (Dec), 1927~1930.
- [4] R. K. Jain, R. G. Lind; *J. O. S. A.*, 1983, **73**, No. 5 (May), 647~653.
- [5] N. Peyghambarian; *Opt. News*, 1986, **12**, No. 1 (Jan), 14.

Optical bistability with nonlinear long-range surface plasmons

HU CHUN, CAO ZHUANGQI, YANG FUZI, ZHUANG ZHICHENG AND CHEN YINGLI

(Department of Applied Physics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

(Received 7 March 1989; revised 10 July 1989)

Abstract

Optical bistability has been observed with nonlinear long-range surface plasmons excitation using prism-index matching liquid-silver film-semiconductor-doped glasses configuration by ATR. A typical hysteresis loop has been recorded for the relation between reflectance and incident beam power.

Key words: optical stability, long-path surface wave.