

在 CdS 吸收型热光双稳态现象中的空间效应

李 慎

(电子科技大学电子技术系, 成都 610054)

摘要 在 CdS 单晶片(厚度为 $1\sim 3\ \mu\text{m}$)上,用 Ar^+ 激光($\lambda = 514.5\ \text{nm}$)作光源,实现了室温热光光学双稳态(OB),记录了热光光学双稳态下的横向空间效应和开关波。研究了在热光光学双稳态和热击穿状态下晶体的不同性状,估算出相互独立工作的热光 OB 元件之间的最小距离为 $200\ \mu\text{m}$ 。

关键词 光学双稳态, 半导体

Transverse effects in absorption thermo-optic bistability in CdS films

Li Shen

(Department of Opto-electronics, University of Electronic
Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract Thermo-optic bistability at room temperature has been obtained in CdS films (thickness $1\sim 3\ \mu\text{m}$) excited by Ar^+ -laser ($\lambda = 514.5\ \text{nm}$). The transverse effects and on/off waves was recorded in the thermo-optic bistability. Different behaviours of CdS crystals for the thermo-optic bistability and the thermo-optic breakdown was investigated. Minimum distance ($200\ \mu\text{m}$) between the OB elements that works separately has been calculated.

Key words optical bistability, semiconductor

一般来说,作为研究光学双稳态(简称为 OB)的激光束的横向分布都是高斯型的。在混合型 OB 装置中,由于反馈检波器的积分作用,把激光光波均作理想平面波对待,其实验结果与入射光束的横向分布无关。但在纯光学 OB 装置中,与光学双稳态有关的很多性质却与入射光束的横向空间分布密切相关。为了确定 OB 元件阵列中各相互独立的元件之间的最小距离,必须研究激光光束通过 OB 装置前后,横向轮廓的变化。

在非线性干涉滤光片(NLIF)上,对光学双稳态情况下光束的横向特性进行过不少研究^[1~3]。

本文研究半导体 CdS 单晶片(厚度为 $1\sim 3\ \mu\text{m}$)与激光($\lambda = 514.5\ \text{nm}$)发生非线性相互作用(热击穿—thermal breakdown 和热 OB)时,激光光束横向分布随时间的变化,观察到在热 OB 状态下的开关波,并估算出热扰动(对于热击穿情况)和开关波(对于热 OB 情况)的传播速度

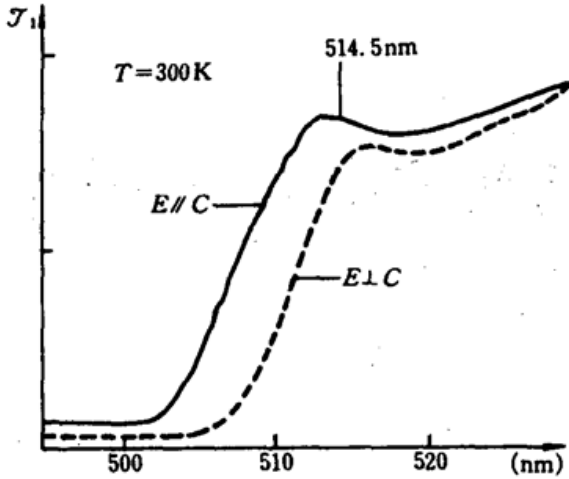


Fig. 1 Transmission spectra of CdS

(1~10 cm/s)。在此基础上,确定了在热 OB 状态下,受热区域的稳定尺寸为 $200 \mu\text{m}$,这可以作为相互独立工作的热 OB 元件之间最小距离。

1 实验装置和结果

样品为 CdS 单晶,沿晶轴方向切成厚度为 $1\sim 3 \mu\text{m}$ 的薄片,其透过率用 OVA284 型光谱测量系统测得(见图 1)。图中, E 为入射光偏振方向, C 为晶体光轴。在显微镜下观察,在光斑范围内($10\sim 30 \mu\text{m}$),未见裂纹、气裂等缺陷。

实验分成单光束装置和双光束装置。

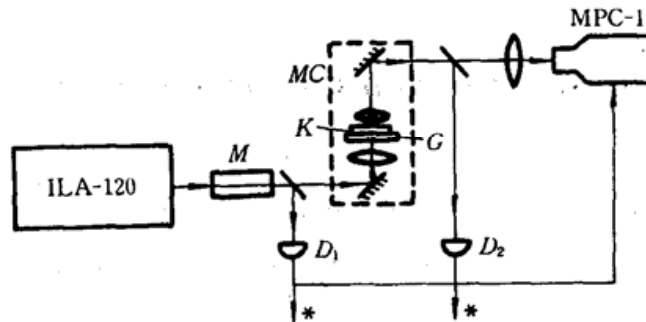


Fig. 2 "Single beam" experimental set-up

ILA-120— Ar^+ -laser; M —electro-optical modulator; G —glass plate; K —CdS film ($d=1 \mu\text{m}$); D_1, D_2 —photodiode; MPC-1—dissector; *—to oscillograph; MC —microscope

1.1 单光束装置

实验装置如图 2 所示。CdS 样品放在玻璃衬底上。由电光调制器(M)调制后的 Ar^+ 激光脉冲经显微镜(MC)的光学系统聚焦(光斑直径达 $10\sim 30 \mu\text{m}$),峰值光强为 4 kW/cm^2 ,照射到 CdS 样品上,使其进入热光非线性状态。开关阈值为 $6.2 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$ 。选择激光偏振面 E 和晶体光轴 C 的相对关系为 $E//C$,这时,激光谱线($\lambda=514.5 \text{ nm}$)正好落在 CdS 吸收带边缘(对应于图 1 透过率曲线的斜坡顶部),由于半导体的热光效应,从而在 CdS 单晶片上获得了室温热 OB。入射脉冲与透射脉冲的波形图及相应 I_T-I 回线如图 3 所示。透射光束在晶体上的光斑经透镜系统变换后,成像到 MPC-1 型多通道记录仪(dissector)的接收屏上,以记录下 Ar^+ 激光脉冲经过 CdS 晶片后,其光强随时间(t)和横向坐标(r)的变化(见图 4)。在纯热 OB 中,由于激光光强呈高斯分布(见图 4(a)),所以热 OB 的“开启”过程首先发生在光轴附近,然后逐步向边缘扩展;而“关闭”过程则相反:先发生在边缘区域(透过率先恢复),然后逐步过渡到中心区域。

1.2 双光束装置

为了研究在热 OB 状态下,热扰动的横向传播特性,使用了图 5 所示的双光束装置。由 Ar^+ 激光器发射出的激光($\lambda=514.5 \text{ nm}$),经分束玻片后,小部分反射光作为“探测”光束,由长焦距透镜聚焦后,投射到样品上,大部分透射光作为“激励光束”由电光调制器(M)调制成

梯形脉冲(其目的是:观察在激励光强已停止增加的情况下,在 CdS 样品中热的横向扩散过程),再由短焦距透镜聚焦后,投射到 CdS 单晶片(厚度为 3 μm,固定在一中无衬底的特殊支架上)上,使其进入非线性状态。探测光斑的直径为 400 μm。激励光斑的直径为 20~150 μm,峰值光强为 3~10 kW/cm²。借助于平行光管和多通道记录仪,使探测光斑中心与激励光斑中心准确重合(见图 5)。探测光由多通道 MPC-1 记录仪记录。

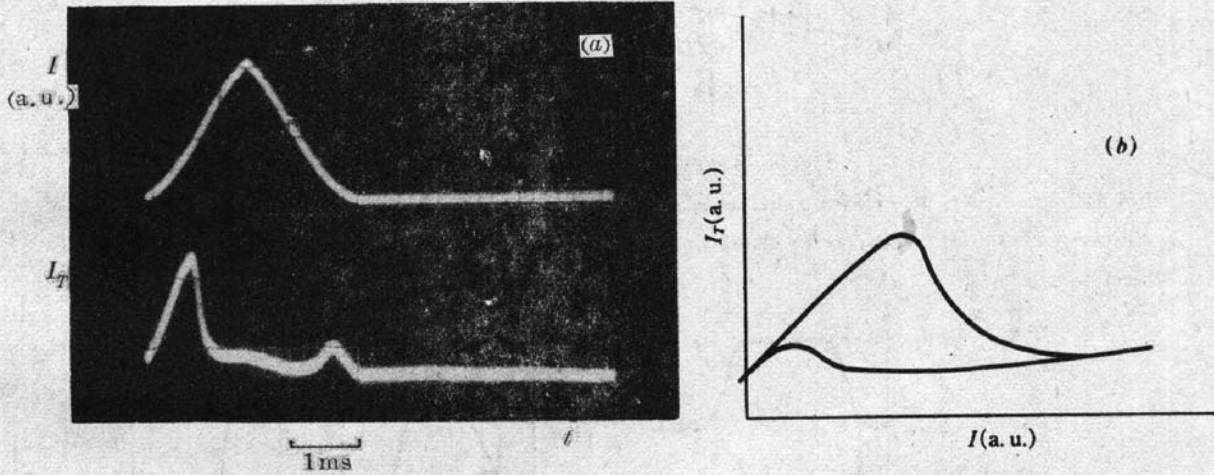


Fig. 3 Oscillograms

(a) input-and output-pulses of Ar⁺-laser (a) and corresponding I_T-I hystereses (b)

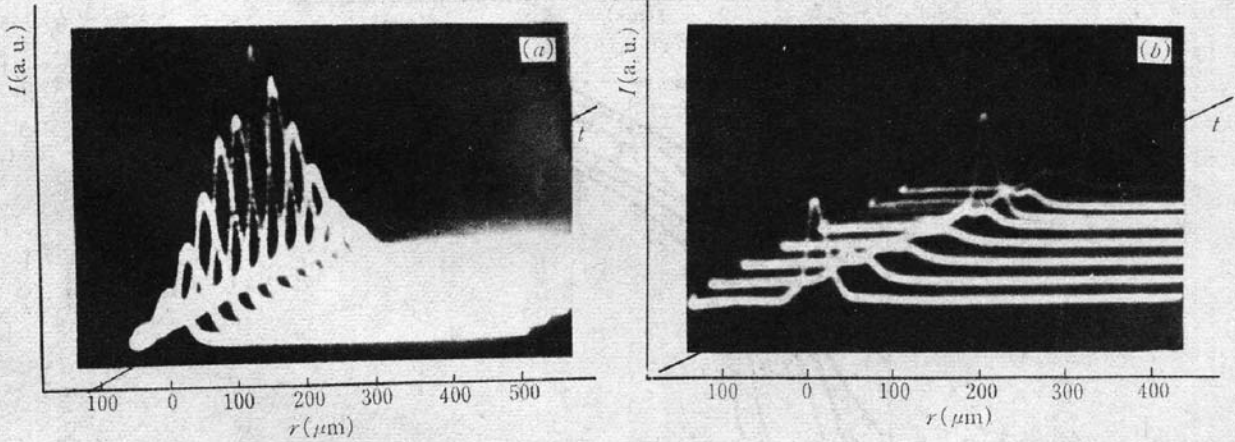


Fig. 4 Change of profiles of Ar⁺-laser beam with time (t) and transverse coordinate (r)

(a) under small intensity (r₀ = 25 μm); (b) in thermo-optical bistability (r₀ = 15 μm)

实验分两种情况进行:

1. 2. 1 E//C

这时初始透射率($T = 300\text{ K}$,对 $\lambda = 514.5\text{ nm}$ 谱线)较大(见图 1),因而获得了热 OB^[4]。由图 6(a) 和 (b) 可以看到完整的“开启/关闭”过程和输出-输入回线(hysteresis loop)。从 dissector MPC-1 记录下来的探测光横向轮廓的变化,可以求出相应的样品透过率随时间、空间的变化(见图 6(c))。由图 6(c) 还可以看到“开关波”的形成。求出的“开关波”传播速度如图 7 所示,其数量级为 1~10 cm/s。由图 7 可以清楚地看到,在激励光强停止增加后,热扰动的传播速度很快降到零,从而形成稳定的热半径,其值约为 50 μm。也就是说,在用 CdS 热 OB 元件阵列平行处理信息时,相互独立工作的元件之间的距离可以选为 200 μm(2×100 μm),此数值与用其它方法得出的结果相一致。

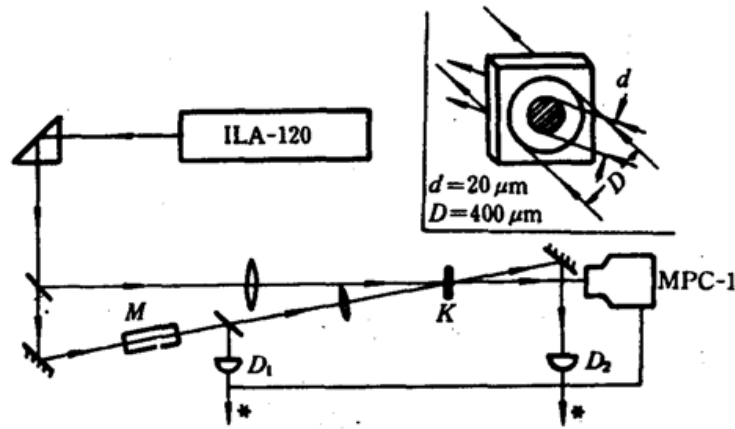


Fig. 5 "Double beams" experimental set-up

ILA-120—Ar⁺-laser; M—electro-optical modulator; K—CdS film ($d = 3 \mu\text{m}$); D_1, D_2 —photodiode; MPC-1—dissector; *—to oscillograph; in the illustration: d —diagonal of the exciting beam; D —diagonal of the probe beam

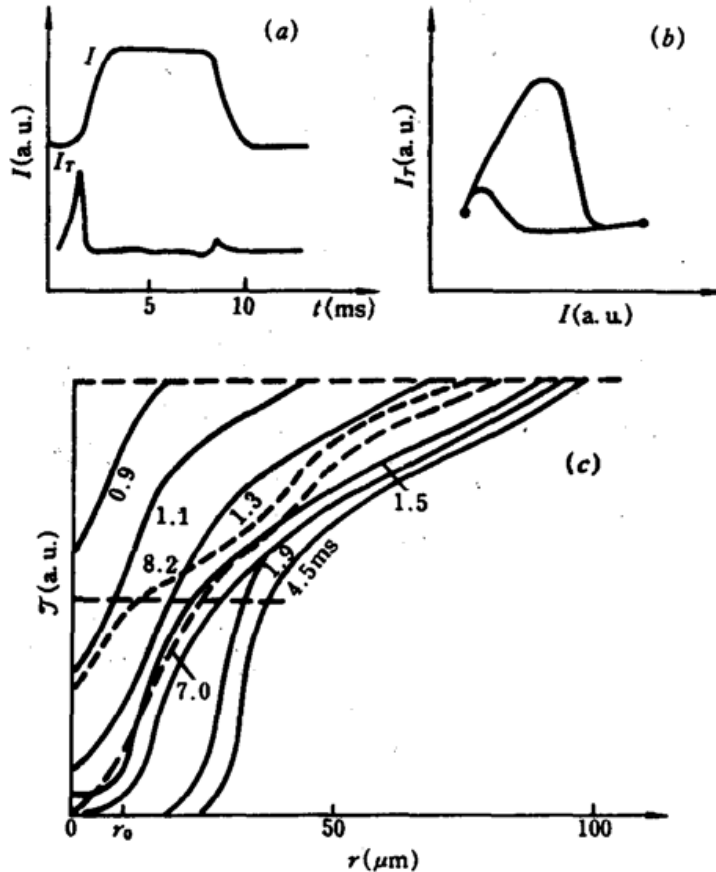


Fig. 6 Oscillograms of input and output pulses of Ar⁺-laser (a) and corresponding I_r-I hysteresis loop (b) and change of transmission of Ar⁺-laser beam (c) with time (t) and transverse coordinator (r) in the thermo-optical bistability. $r_0 = 10 \mu\text{m}$, - - - Radius of the exciting beam

1.2.2 $E \perp C$

当光的偏振方向 E 与晶体光轴 C 相垂直时, 初始透过率(对 $\lambda = 514.5 \text{ nm}$ 谱线)较小(见图 1)。这时只观察到“开启”过程, 而未观察到“关闭”过程。当脉冲宽度增加到 15 ms 时, 也未观察到“关闭”过程(而在 $E // C$ 情况下, 脉冲宽度——以底部计算——为 8 ms)。这种现象称之为热击穿^[4,6]。图 8 为相应的 CdS 样品透过率随时间(t)和横向坐标(r)的变化。可以清楚地看出, 对于不同大小的激励光斑, 均无稳定的热半径形成。与图 8 相应的热扰动速度如图 7 虚

线所示。

2 讨 论

关于 CdS 室温热 OB 现象, 已作过不少研究^[4,5]。在激光作用下, 晶体因吸收激光的能量而温度升高, 由 Eiry 和 Ulrbach 的理论, 晶体吸收率 A 为温度 T 的函数, 在晶体温度升高时, 其吸收带将发生红移, 这又导致晶体对激光的吸收增加。而能量的吸收又引起晶体温度升高, 这就是所谓“光学本征反馈”现象, 由此导致了纯光学热 OB 的产生^[4]。在“集中型”系统(在该系统中, 横向坐标上各点的行为是完全一样的, 即可以用其中任何一点的行为代表整个系统的行为, 理想单色平面波就是这样的系统)中, 只观察到热 OB 回线。但在实际情况下, 激光光强呈高斯分布, 热光 OB 系统属“分散”型系统, 其热光非线性效应随空间坐标的不同而表现出差异。由此, 很容易解释在本文中所观察到的横向空间效应。

由以上的研究, 可以得出如下结论: 对于 CdS 单晶片(厚度为 $1\sim 3\ \mu\text{m}$), 在 $\lambda = 514.5\ \text{nm}$ 的激光作用下(峰值光强为 $3\sim 10\ \text{kW}/\text{cm}^2$), 为产生室温热 OB, 应选 $E//C$, 这时相互独立工作的 CdS 热 OB 元件之间的最小距离为 $200\ \mu\text{m}$ 。

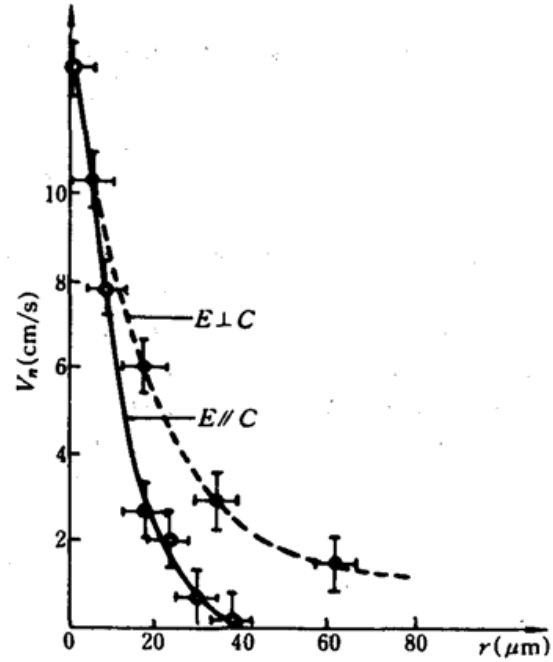


Fig. 7 Velocity of transverse thermal disturbance vs the transverse coordinator (r)

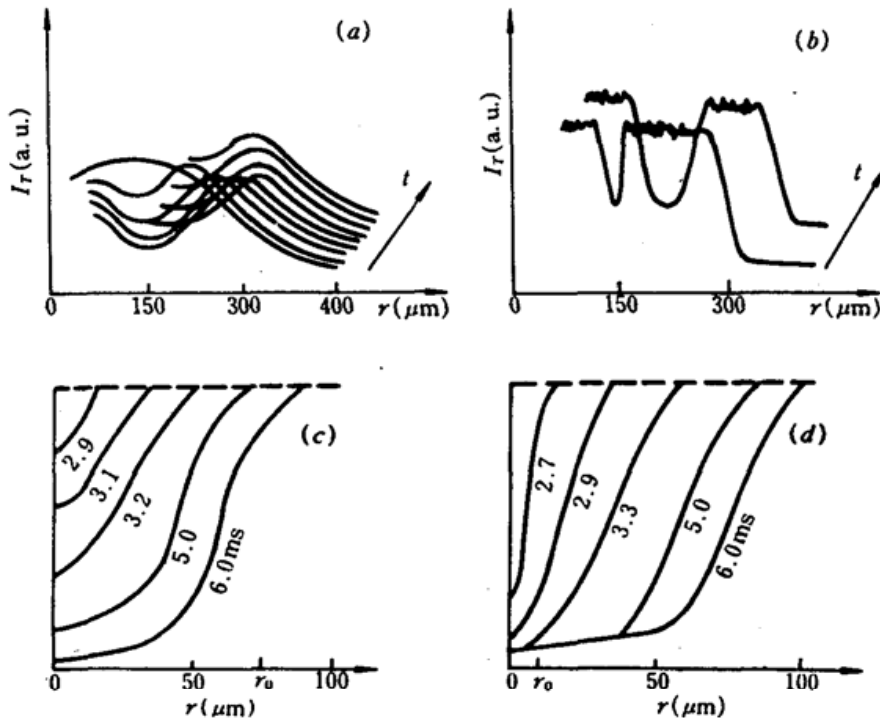


Fig. 8 Oscillograms of transmission intensity of Ar^+ -laser pulses at different focuses: (a) $r_0 = 75\ \mu\text{m}$; (b) $r_0 = 10\ \mu\text{m}$, and corresponding change ((c) and (d)) of transmission of the Ar^+ -laser beams with time (t) and transverse coordinator (r) in thermo-optical breakdown

本论文是在苏联莫斯科大学物理系教授 В. С. Днепровский 和副博士 В. И. Климов 的热

心指导和帮助下,在同事 Д. Окорочков 的大力协助下完成的,在此对他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 Н. Н. Розанов, В. Е. Сменов, Оптик. и. спектр., **48**(1), 108~114(1980)
- 2 С. П. Апанасевич *et al.*, Кван. электр., **12**(2), 387~390(1985)
- 3 M. Wegener *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **52**(9), 685~687(1988)
- 4 З. М. Зпштейн, ЖТФ, **48**(8), 1733~1736(1978)
- 5 M. Lamsdorff *et al.*, *Z. Phys. B*, **64**(4), 409~416(1986)
- 6 I. Haddad *et al.*, *Phys. Stat. Sol. (b)*, **138**(1), 235~243(1986)