

CdS 在室温热光非线性状态下的 动态光谱研究

李 慎

(电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

提 要

提供了一种研究半导体在光学非线性状态下的动态光谱方法。将此方法应用到半导体 CdS 上, 观察到在热光非线性状态下, 其透过光谱(在吸收带边缘附近)随时间的变化(在 ms 数量级上)。计算机模拟结果与实验相符, 并得出了在 CdS 上获得室温光学双稳态的条件。

关键词 半导体, 热光光学双稳态, 光谱。

1 引 言

近年来, 半导体 CdS 单晶片在激光作用下的非线性透过现象和光学双稳态 (OB) 引起人们极大的兴趣^[1~3]。在室温条件下, 当光子的能量略小于半导体禁带宽度时(例如, 用 Ar⁺ 激光在下列条件下激发 CdS 单晶片: $T=300\text{K}$, 禁带宽度 $E_g=2.51\text{eV}$, 光量子能量 $\hbar\omega=2.409\text{eV}$), 会产生吸收增加型光学非线性和双稳态。其产生的机理为: 晶体在激光作用下, 温度升高, 吸收带边缘红移, 在有反馈的条件下, 有可能产生光学双稳态^[4,5]。本文使用“激励-探测”和“同步检波”技术记录到半导体 CdS 单晶片(厚度小于 $10\mu\text{m}$) 在热光非线性状态下(记录到典型的输出-输入回线), 透过光谱的动态变化。

计算机模拟实验结果表明, 所观察到的输出-输入回线(I_T-I hysteresis loop)并非稳定的热光光学双稳态。为获得稳定的热光光学双稳态, CdS 单晶片的厚度应小于 $3\mu\text{m}$ 。

2 实 验 装 置

利用图 1 所示的实验装置可以记录到在强脉冲激光通过半导体时不同时刻的透过光谱, 从而研究在光学双稳态或相应的光学非线性状态下, 透过光谱的动态变化。

由 Ar⁺ 激光器 ILA-120(10) 所发出的连续激光($\lambda=514.5\text{nm}$) 经电光调制器 M (9) 调制后, 变为三角形脉冲激光, 其脉冲宽度(以脉冲底部为准)为 25 ms, 峰值功率为 $71\text{W}/\text{cm}^2$ 。经透镜系统聚焦后, 照射到 CdS 单晶片(3)上(光斑直径为 $300\mu\text{m}$, 样品厚度为 $8\mu\text{m}$), 使其进入非线性透过状态。激光的偏振面 E 与光轴 c 平行, 激光谱线正好落在吸收带边缘的顶部(见图 4), 以便于产生热光双稳态。

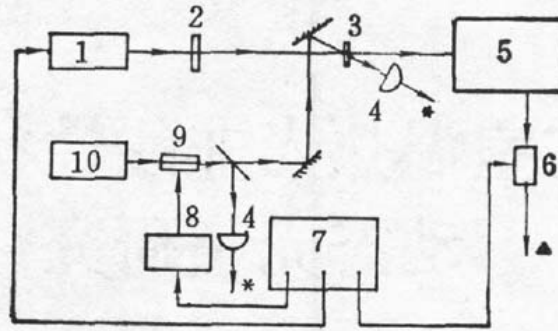


Fig. 1 Experimental set-up

1— N_2 -Laser, 2—Dye-cuvette, 3—CdS plate ($d=8\ \mu\text{m}$), 4—optoelectrical diode, 5—grating spectrograph, *—to oscillograph, 6—synchronous detector, 7—wave form generator, 8—wave form generator, 9—electrooptical modulator, 10— Ar^+ laser ($\lambda=514.5\ \text{nm}$), Δ —to function writer

激发区的中心部分(直径约 $200\ \mu\text{m}$)由从染料盒 k (2)发出的宽频带,短脉冲(脉冲宽度为 $7\ \text{ns}$)荧光所探测.染料由与 Ar^+ 激光脉冲同步的 N_2 激光器 ЛН-505 (1)所发出的脉冲激光($\lambda=337\ \text{nm}$)所激发.探测光光谱由光谱仪 ДФС-24 (5)所记录.改变 N_2 激光脉冲对 Ar^+ 激光脉冲的延迟时间,就可探测到不同时刻的样品透过光谱.光谱仪 ДФС-24 的波长分辨率为 $0.5\ \text{nm}$,透过率的相对误差为 8% .由于在 ДФС-24 上记录光谱的时间长,记录一次 $500\sim 550\ \text{nm}$ 的光谱要 3 分钟左右,而样品很薄,长时间在强激光作用下,它的性能逐渐变化,所以积累误差较大.

在 Ar^+ 激光的激发作用下, CdS 晶体的荧光很强(图 3(a)、(b)中的脉冲 2),其积分能量超过探测光(图 3(a)、(b)中的脉冲 3)的积分能量.在激励光斑与探测光斑的中心重合时,它们同时进入光谱仪,荧光能量掩盖住了探测光能量,无法记录.为了从混合信号中分离出探测光信号,使用了“同步检波”技术.同步检波器 CD (6)接在光谱仪和函数记录仪之间(见图 1),在触发脉冲时,它呈闭合状态.当触发脉冲(宽度为 $1\ \mu\text{s}$,它与 N_2 激光脉冲同步)从脉冲发生器 Г5-66 (7)来到时,它立即开启,但开启时间仅 $100\ \mu\text{s}$.在这段时间内只好让以探测光为主(占 99.6%)的光谱信号通过,这样就把探测光信号从混合信号中分离出来了,从而记录到在 CdS 单晶片产生室温热光非线性的过程中,不同时刻的透过光谱,即“动态光谱”.

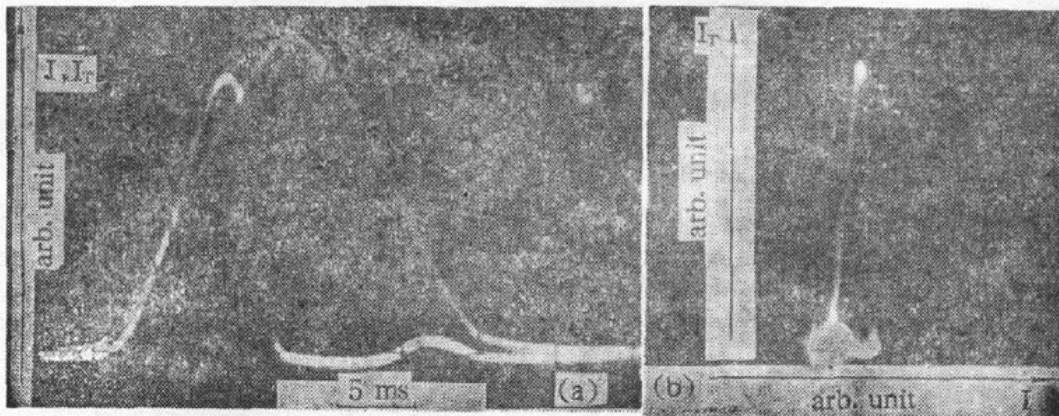


Fig. 2 Oscillograms (a) of in- and out-pulse of Ar^+ -laser & corresponding I_T - I hysteresis loop (b)

3 实验结果和讨论

3.1 实验结果

图 2 给出了 Ar^+ 激光脉冲通过晶体前和通过晶体后的脉冲波型及相应的输出-输入回线. 图 3 为 Ar^+ 透过脉冲与相应的晶体荧光, 探测光脉冲的波形图. 其中的脉冲 1 为 Ar^+ 透射脉冲, 脉冲 2 为 CdS 样品在 Ar^+ 激光作用下产生的荧光, 脉冲 3 为探测光脉冲(因该脉冲很窄, 仅 7 ns, 所以在照片上只能看见脉冲下部). 可以看出, 晶体荧光的积分能量远远大于探测光的积分能量. 图 4 为经归一化处理后的不同时刻的晶体透过光谱. 可以看

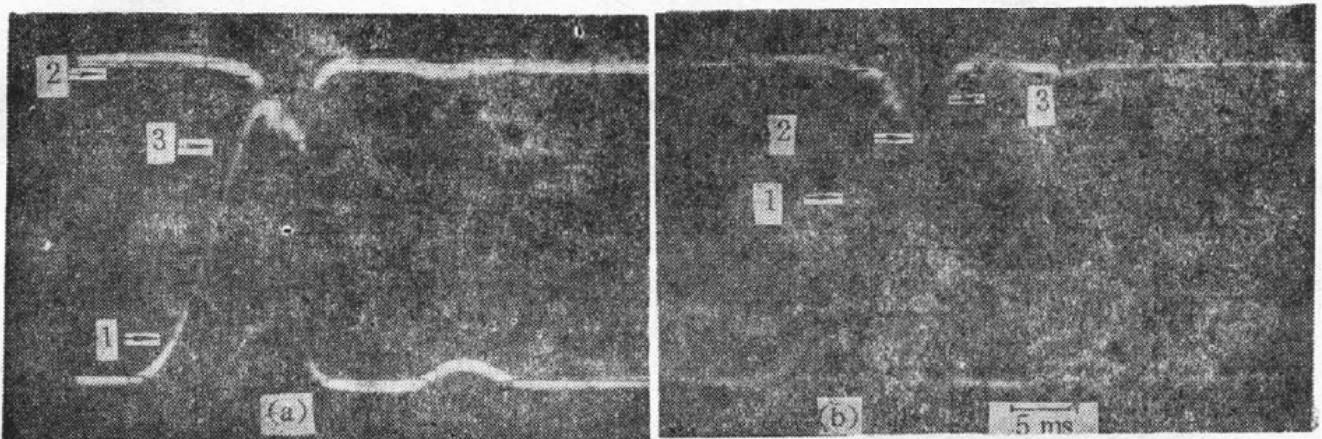


Fig. 3 Dye-pulse with the liminescence of CdS at different time [(a) & (b)] of Ar^+ -laser pulse

1. Ar^+ -laser pulse (25 ms); 2. liminescence of CdS; 3. Dye-pulse (7 ns)

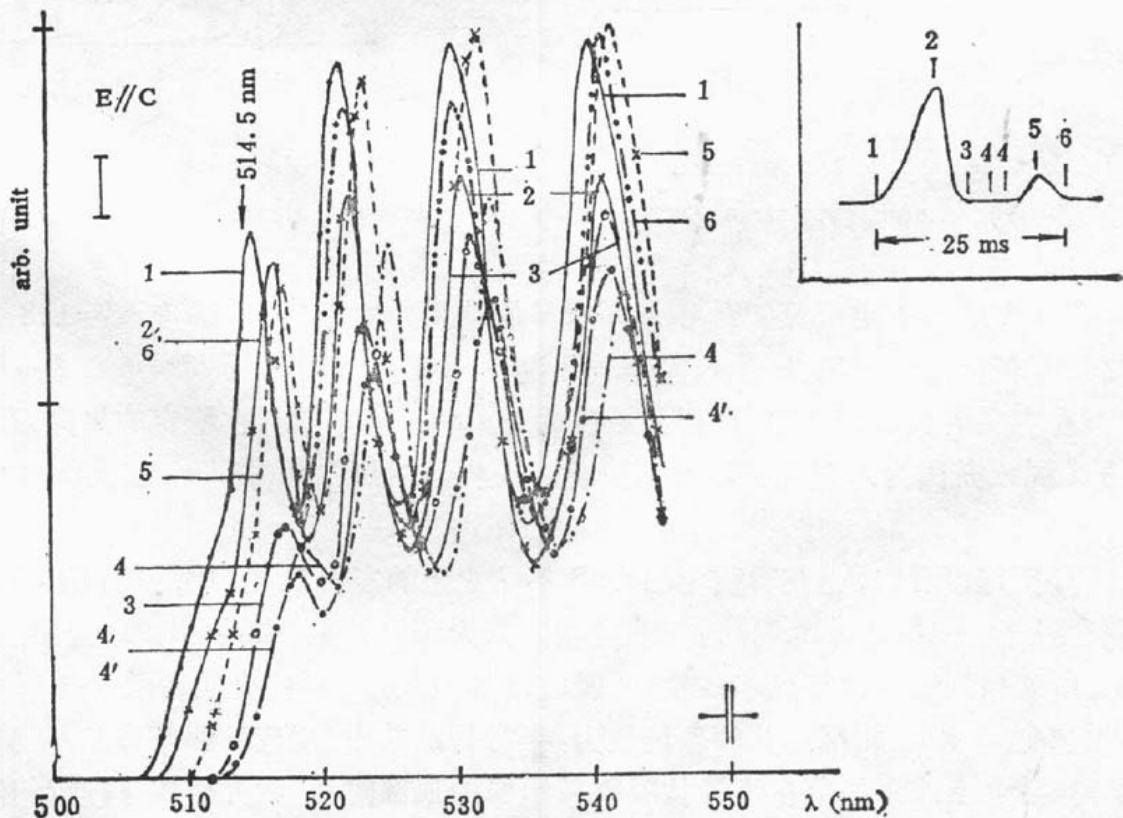


Fig. 4 Transmitted spectra of CdS

Numbers 1~6 show different time of pulse of Ar^+ -laser & corresponding transmitted spectra.

出, 在 CdS 晶体发生“开”(透过率变为 0, 对应图 4 插图中的时刻 3)“关”(透过率恢复, 对应图 4 插图中的时刻 5)状态的转换过程中, 其吸收带边缘作了往返移动. 按文献 [6, 7] 所给的公式及曲线, 可以得出: 在此过程中, 晶体温度变化的极大值为 55K.

3.2 讨论

为描述实验结果, 采用了适用于带吸收介质的 F-P 标准具有的 Eiry 公式^[7], 用计算机求解了非稳定状态($dT/dt \neq 0$)和稳定状态($dT/dt = 0$)下的热传导方程^[4, 7]

$$\frac{dT}{dt} = \frac{A(T)I}{Cd} - \frac{T - T_0}{\tau_T}$$

式中 T 为晶片温度, $A(T)$ 为晶片的吸收系数, 它是温度的函数, I 为入射光强, C 为单位体积晶体的热容量, d 为晶片厚度, T_0 为环境温度, τ_T 为晶片的热弛豫时间. 得出了如下结论*:

1) 图 5 为理论计算所得的非稳定情况($dT/dt \neq 0$)下的输出光强(I_T)——输入光强(I)回线与相应的实验回线(它是放大了横坐标 I 的图 2 中的回线(b)). 因为理论曲线是在“晶体在激光作用下变热, 其吸收带边缘红移, 又有反馈存在”的理论解释下得出的, 所以观察到的现象确系热光非线性性.

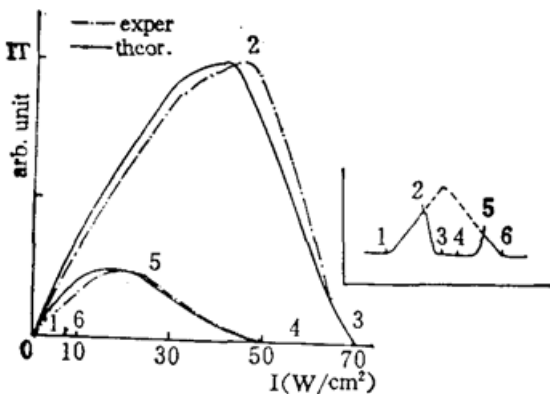


Fig. 5 Theoretical & experimental curves in nonsteady state

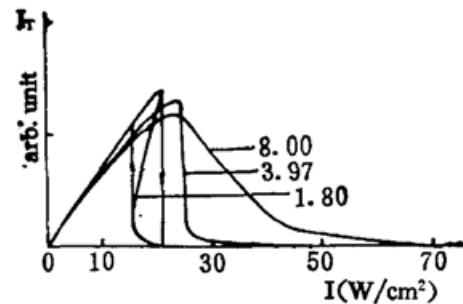


Fig. 6 Theoretic curves in steady state
●—Numbers indicate thickness of crystal CdS (unit μm)

2) 图 6 为求解稳定情况($dT/dt = 0$)所得的结果. 对于不同厚度($d = 1.8 \sim 8 \mu\text{m}$)的 CdS 单晶片, 在稳定情况下(即输入光强 I 不随时间变化, 从而 $dT/dt = 0$), $I_T - I$ 曲线是有差异的. 在本文的实验条件下(即样品厚度为 $8 \mu\text{m}$), 不可能存在稳定的热光 OB, 所观察到的 $I_T - I$ 回线是因为入射光强随时间变化, 而样品的热弛豫时间 τ_T 较大(ms 数量级)所引起的.

由图 6 还可以看出, 为获得稳定的 CdS 单晶片上的室温热光 OB, 样品的厚度应小于 $3 \mu\text{m}$ ** . 图上当 $d = 3.97 \mu\text{m}$ 时, 对应临界状态. 为可靠起见, 取 $d = 3 \mu\text{m}$ 为佳.

本文所观察到的室温热光非线性是“吸收增加型”, 这与某些介质在激光作用下, 出现“漂白”(吸收减少)的现象相反. 其物理机制为: 半导体的禁带(对应其吸收带边缘)宽度是温度的函数. 当激光谱线正好落在半导体吸收带边缘的顶部时, 在激光作用下, 半导体温度升高

* 详细理论计算及讨论见另一篇文章(待发表).

** 此结论已在本文作者的另一部分工作“CdS 热光双稳态中的空间效应”得到应用.

或降低,从而导致吸收带的移动,当存在反馈时,就会产生吸收增加型热光双稳态.关于这种双稳态已作过不少研究^[4,6,7],但直接观察在此热光双稳态情况下,半导体吸收带的动态变化(即“动态光谱”),则尚未见报道.本文的实验解决了这一问题.

容易看出,本文的测量方法也可用于其它类似的研究.若选择适当波长的激光器和适当荧光波长的染料,使用高速度、高灵敏度的光谱分析系统(如 OVA284),用电光同步检波器代替电子同步检波器,则可研究其它材料(如 ZnS、CdS_xSe_{1-x}),其它结构(如非线性干涉滤光片)的光学双稳态元件在不同的条件(如 $T = 80$ K, 时间间隔为 μ s 数量级,物理机制为电子型或电子-空穴对(exton-exton)型)下的光学双稳态中的动态光谱以及其它动态特性.

本工作得到苏联莫斯科大学物理系教授 В. С. Днепроvский 和副博士 В. И. Климов 的指导和帮助,在此表示深深的谢意.

参 考 文 献

- [1] Dagenais, M., Sharfin W. F., Cavityless optical bistability due to light-induced absorption in cadmium sulfide. *Applied Physical Letter*, 1984, **45** (3): 210~212
- [2] Henneberger, F., Puls, J., Spiegelberg, F., Optical nonlinearity and bistability of CdS. *Journal of Luminescence*, 1985, **30** (1~4): 204~216
- [3] Koeperke Cz., Cavityless optical bistability in thin sprayed CdS films. *Physik status solid (b)*, 1987, **141** (2): K139~142
- [4] Hajto J., Janossy, I., OB observed in amorphous semiconductor films. *Philosophical Magazine B*, 1983, **47** (4): 347~366
- [5] Henneberger, F., Optical bistability at the absorption edge of semiconductor. *Physik status solid(b)*, 1986, **137** (2): 371~432
- [6] Панков, Л. Ж., *Оптические процессы в полупроводниках*, Москва, Мир, 1973: 36
- [7] Lamb dorff, M., Dornfeld, C., Klingshirn, C., Optical bistability in semiconductors induced by thermal effects. *Zeitschrift für Physik B*, 1986, **64** (4): 409~416
- [8] Haddad, I., Kretschmar, M., Rossmann, H., Henneberger, F., Increasing absorption bistability of CdS at room-temperature. *physik status solid (b)*, 1986, **138** (1): 235~243

Dynamic spectral study of CdS of the room temperature thermo-optical nonlinearity

LI SHEN

(University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

(Received 31 December 1991; revised 26 February 1992)

Abstract

This article introduces a new method for dynamic spectral study of a semiconductor under its optical nonlinearity condition. With this method, a semiconductor CdS in the optical nonlinearity is investigated, it can be observed that the CdS's transmitting spectra (at the edge of the absorbing band) are varying with time (at the ms degree).

The computer imitating calculation consists with the experimental result. The conditions have been found for realizing the room temperature optical bistability on CdS.

Key words semiconductor, thermo-optical bistability, spectra.

第二届全国有机非线性光学材料学术讨论会在北京举行

中国化学会有机固体专业委员会委托北京理工大学化工与材料学院承办的第二届全国有机非线性光学材料学术讨论会于1992年9月7日至9日在北京理工大学化工与材料学院举行,来自国内18个高等院校和科研单位的70余位代表参加了讨论会。

会上中国科学院物理所叶佩弦研究员和哈尔滨工业大学李淳飞教授应邀作了特邀报告。来自全国各地的化学、物理、集成光学、晶体和器件等方面的专家作了学术报告,就大家感兴趣的问题进行了广泛的学术交流。有机非线性光学材料的研究是近年来在国际上备受重视的新兴交叉学科研究领域,自1990年在上海有机所举行的第一届学术讨论会以来,研究工作的广度和深度在短短的两年已经取得了明显的进展,从学术交流的内容可以看出,C₆₀、蓝光波段有机晶体、有机聚合物和金属有机化合物的分子设计、理论、合成、新表征方法、性能、光波导等的工作与国际先进水平的差距明显缩小,还出现了一些具有我国特色的工作,会上,对有机非线性光学与集成光学、有机及聚合物光折变效应等新课题作了介绍。

与会代表还就有机非线性光学研究中的若干热点问题进行了热烈的讨论。认为,有机非线性光学是一个具有诱人应用前景的高科技项目,国外在实验室原型光电子器件方面已取得一些突破性进展,科学家们预言将会在本世纪末实现产业化。本次会议的学术交流充分表明,我国已有了较好的基础,应抓住当前深入改革开放的大好时机,群策群力,努力奋发,加快研究工作的进展。与会代表一致呼吁科技界有关领导部门能对本研究领域给予更大的重视,从财力和条件方面给予更大的扶植与支持。

与会代表应该继续办下去。经过议论,下届将于1994年夏秋举行,具体时间、地点将在经进一步协商决定。

会议组委会供稿