

ZnSe/ZnS 多量子阱激子光学双稳性

申德振 范希武 范广涵 陈连春

(中国科学院长春物理研究所)

李淳飞 刘玉东

(哈尔滨工业大学 应用物理系)

提 要

用 MOCVD 在 CaF_2 衬底上生长的 ZnSe/ZnS 多量子阱材料, 在 77K 下用 N_2 激光泵浦染料获得的宽带光脉冲进行了非线性光学测量, 首次观察到 ZnSe/ZnS 多量子阱的激子光学双稳性, 据分析这是由激子的能带增宽效应引起的增强吸收光学双稳性。

关键词: 多量子阱; 光学双稳。

一、引 言

近年来人们对 II~VI 族化合物半导体材料的光学非线性和光学双稳性的兴趣日益增长。目前的工作主要集中在晶体薄膜材料的研究上。Fidorra 等人^[1]在 77 K 下以染料激光入射用气相外延生长的 CdS 单晶膜, 观察到由于激子能带的碰撞增宽引起的增强吸收光学双稳性。Gribkovskii 等人^[2]在 88 K 下研究了用 MOCVD 生长的 ZnSe 单晶膜的激子吸收特性, 用脉冲染料激光观察到增强吸收光学双稳性, 他们也认为这来源于激子的带增宽和带隙重正化效应。目前尚未见关于观察到 ZnSe/ZnS 多量子阱光学双稳性的报道。本文首次报道用宽带染料光脉冲透过 ZnSe/ZnS 多量子阱器件获得 ns 开关时间的光学双稳性。同时根据此光学双稳特性、激子的吸收光谱和发射光谱, 认定这主要是由于激子能带的增宽导致的增强吸收光学双稳性。

二、实验装置和实验结果

1. 实验装置

实验中使用的 ZnSe/ZnS 多量子阱器件是用常压 MOCVD 在 CaF_2 衬底上生长而成的。阱宽和阱垒皆为 50 \AA , 周期 110 \AA , 两面未镀膜。器件被浸在液氮杜瓦瓶内, 冷却到 77 K。采用波长为 3371 \AA 的高重复率脉冲氮分子激光器作光源, 单次脉宽约 12 ns 。用它泵浦染料, 经过单次反射获得超辐射光, 半宽度为 40 \AA , 中心波长为 4360 \AA , 最大输出功率约 40 kW 。实验装置见图 1。染料光经透镜 L_1 聚焦后照射器件, 透射光经反射镜 M 反射, 再经透镜 L_2 聚焦于 Spex 1404 双光栅单色仪的狭缝上, 经单色仪分光后用光电倍增管转变为电信号, 输入 4400 型 BOXCA 信号处理系统, 最后打印出多次取样的平均测量结果。

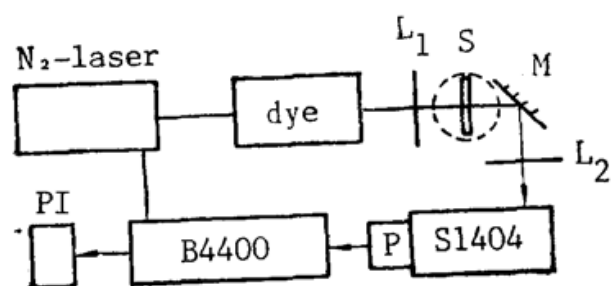


Fig. 1 Experimental apparatus for measuring the optical bistability

S: sample, B4400: 4400 Boxcar, S1404: monochromator, P: photomultiplier, PI: printer

2. 实验结果

图 2 是在 77 K 下波长 4360 Å 的染料脉冲光透过 ZnSe/ZnS 多量子阱器件时测得的入射光强(实线)和透射光强(虚线)曲线。图 2(a) 是入射光较强的情况, 图 2(b) 是入射光较弱

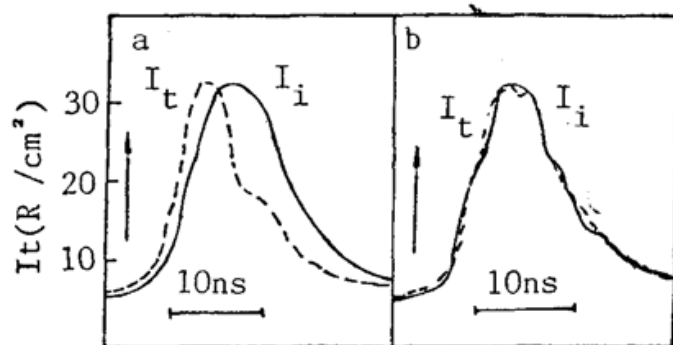


Fig. 2 Time dependence of incident I_i (solid) and transmitted I_t (broken) pulse ($\lambda_i = 4360 \text{ \AA}$)

(a) The high density incident light
(b) The low density incident light

的情况。可见在较强入射光下出现脉冲变窄现象, 具有明显的非线性效应。

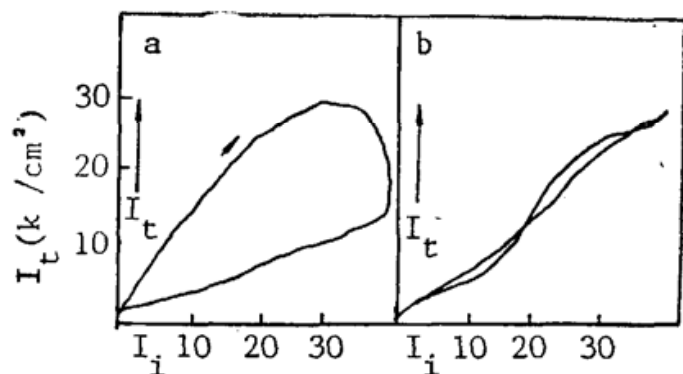


Fig. 3 The relationships between I_t and I_i calculated from Fig. 2

(a) The hysteresis loop shows the increased absorption optical bistability (OB) at high incident density; (b) No OB at low incident density

图 3 是根据图 2 绘制的透射光 I_t 随入射光 I_i 变化的实验曲线。当入射光较弱时(图 3b), I_t 随 I_i 的变化是线性的; 当入射光较强时(图 3a), 出现非线性的滞后回线, 入射光增加到某一阈值, 透射光迅速下降到低态, 这是明显的吸收型光学双稳性。

我们保持入射光强不变, 在 77 K 下检测了在其他光波长下透射光随入射光变化的规律。如图 4 所示, 光波长分别选为

4370 Å、4380 Å、4390 Å。发现偏离 4360 Å 波长越远光学非线性越不明显, 当光波长为

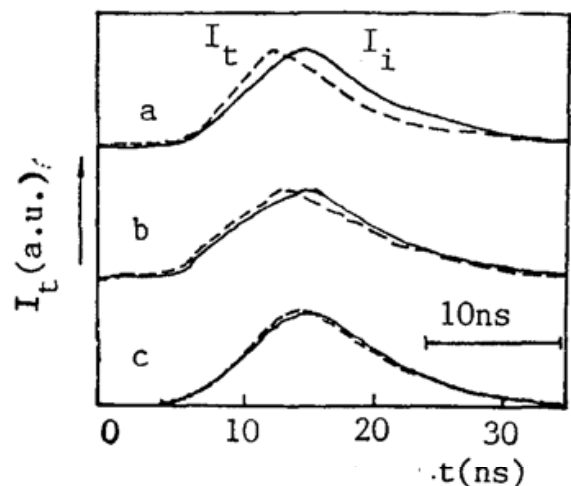


Fig. 4 Time dependence of incident and transmitted pulse on different incident light wavelength at 77K

(a) $\lambda_i = 4370 \text{ \AA}$; (b) $\lambda_i = 4380 \text{ \AA}$; (c) $\lambda_i = 4390 \text{ \AA}$

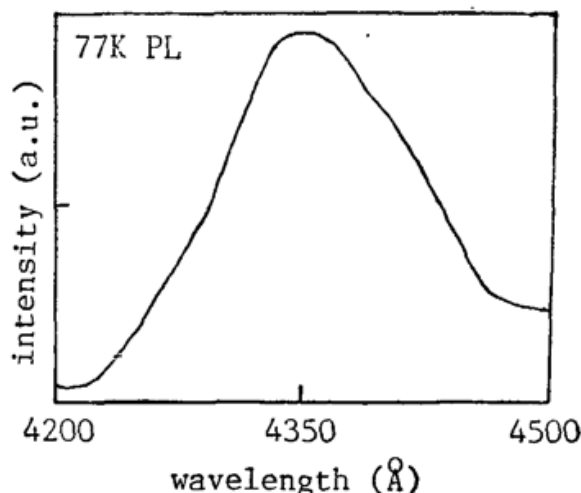


Fig. 5 The PL spectrum in ZnSe/ZnS MQWs at 77K

4390 Å 时, 光学非线性消失。

为了证明 4360 Å 是 ZnSe/ZnS 多量子阱的激子共振波长, 我们观测了为 77 K 下用 3371 Å 波长 N₂ 激光激发 ZnSe/ZnS 多量子阱的发光光谱, 如图 5 所示。可见与激子有关的发光在 4360 Å 附近^[3]。为了进一步证实这一区域存在激子吸收, 我们用染料激光测量了 ZnSe/ZnS 多量子阱的吸收光谱, 观察到明显的激子吸收峰, 在 4360 Å, 如图 6 所示。因此我们认为上述光学双稳性来源于激子吸收机制。

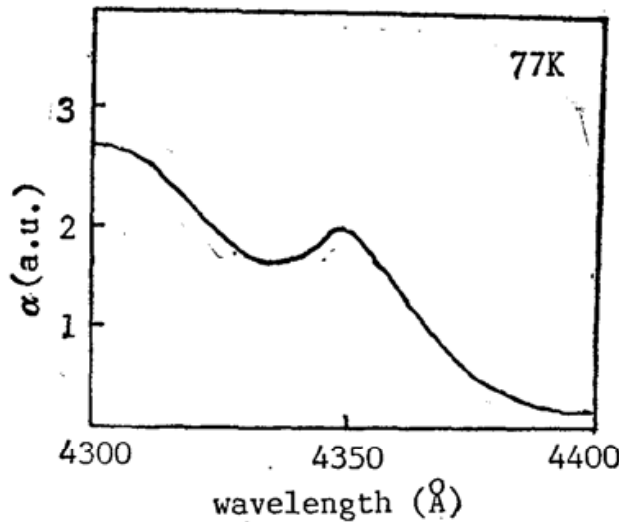


Fig. 6 The absorption spectrum in ZnSe/ZnS MQWs at 77 K

三、分析讨论

根据激子非线性的理论和实验结果, 由激子吸收而产生的光学双稳性主要有四种机制^[2,5]: 带填充效应, 饱和吸收效应, 带隙重正化效应, 和激子带增宽效应。前两种表现为色散光学双稳性, 而带隙重正化效应主要发生在激发精度高且激子完全离化时^[5], 而我们所用的激发密度不很高, 而且 ZnSe/ZnS 多量子阱中的自由激子的束缚能一般比 ZnSe 体材料中的大, 在 77 K 下不容易产生激子离化, 因而不象 GaAs 多量子阱那样易产生带隙重正化^[6], 所以在我们的情况下带隙重正化不可能起主要作用。排除了上述四种机制中的前三种, 可能的机制应归结为激子带增宽效应。Hoang 等人^[7]已经从理论和实验上分析和论证了激子带增宽效应引起的增强吸收光学双稳性, 他们通过求解 Maxwell 方程和激子浓度变化方程, 考虑激子带增宽效应, 对高斯型入射光, 算得透射光相对入射光变化的理论曲线, 如图 7 所示。

我们的实验结果是否可能属于热效应? 回答是否定的。因为激子密度随着入射光强的增加而增加, 引起激子间的碰撞加强。这种碰撞只增加激子系统的有效温度而不改变晶格温度^[4]。我们所用的是低温 77 K, 而且入射激光的

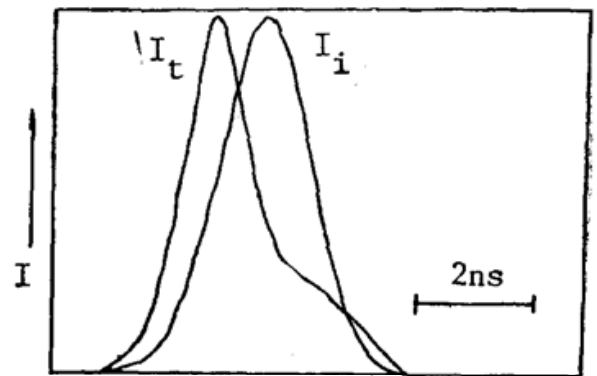


Fig. 7 The theoretical curve of transmitted pulse which shows good agreement with the experimental result in Fig. 2, (a) when the incident light $I_i(t)$ is of a Gaussian shape

强度比较低(约 40 kW/cm^2), 脉冲宽度比较短(约 10 ns), 不大可能引起温升现象。此外, 热效应往往引起吸收带边向低能量或长波长方向移动, 但在我们的实验中并没有发现这种现象(见图 4)。因此热效应不是主要的。

综上所述, 我们用染料脉冲光透过以 CaF_2 为衬底的 ZnSe/ZnS 多量子阱, 首次观察到由于激子能带碰撞增宽而引起的增强吸收光学双稳性, 它比 ZnSe 体材料具有较低的开关能量阈值, 如在器件两面镀膜, 并实现器件设计的最佳化, 有可能提供一种新的实用光开关器件。

感谢国家高技术计划对本工作的经费支持。

参 考 文 献

- [1] F. Fidorra, M. Wegener *et al.*; *J. Lumin.*, 1986, **35**, No. 1 (Apr), 43~56.
- [2] V. P. Gribkovskii, L. G. Zimin *et al.*; *Phys. Stat. Sol. (b)*, 1988, **150**, No. 2(Dec), 761~764.
- [3] Toshiya Yokogawa, Hisanao Sato *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1988, **64**, No. 10 (Nov), 5201~5205.
- [4] R. Baltramiejūnas, E. Kuokštis *et al.*; *Solid State Commun.*, 1982, **44**, No. 6 (Nov), 955~957.
- [5] N. Peyghambarian, S. H. Park *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **52**, No. 3(Jan), 182~184.
- [6] D. S. Chemla, D. B. Miller; *J. O. S. A. (B)*, 1985, **2**, No. 7 (Jul), 1155~1173.
- [7] H. X. Nguyen, R. Zimmermann; *Phys. Stat. Sol. (b)*, 1984, **124**, No. 1 (Jul), 191~200.

Excitonic optical bistability in ZnSe/ZnS multiple quantum wells

SHEN DEZHEN, FAN XIWU, FAN GUANGHAN AND CHEN LIANCHUN

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

LI CHUNFEI AND LIU YUDONG

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology)

(Received 8 November 1989; revised 15 February 1990)

Abstract

Optical bistability in the ZnSe/ZnS multiple quantum wells (MQWs) grown by MOCVD has been observed at 77 K for the first time with ns switching time. On the bases of the shape of hysteresis loop and photoluminescence and absorption spectrum measured, the optical bistability in the ZnSe/ZnS MQWs can be attributed to enhanced absorption effect, which originated from the collision broadening of excitonic resonance.

Key words: multiple quantum wells; optical bistability.