

# 室温 $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$ 多量子阱 光学双稳态的研究\*

栗红玉 申德振 张吉英 林久令 杨宝均 范希武  
(中国科学院激发态物理开放研究实验室, 长春 130021)

**摘 要** 研制了室温  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱法布里-珀罗(F-P)腔光双稳器件, 并在该器件上观察到皮秒量级的室温激子光双稳。研究表明,  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件的光双稳阈值和对比度分别为  $363 \text{ kW}/\text{cm}^2$  和 4.1。根据  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的吸收谱和激子非线性理论, 归结  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳的主要非线性机理为激子的饱和吸收。

**关键词**  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱, 光双稳器件, 激子吸收。

## 1 引 言

II-VI族半导体超晶格与III-V族材料相比, 具有大的激子束缚能和强的室温激子效应等特点, 它是实现室温激子光双稳器件的理想材料。因此, II-VI族半导体超晶格光双稳的研究及器件的研制受到广泛的重视。

1990年, Ding等人<sup>[1]</sup>报道了用分子束外延生长(MBE)的  $\text{CdZnSe}/\text{ZnSe}$  多量子阱的室温激子饱和吸收。1995年作者用金属有机化学汽相沉积(MOCVD)生长的  $\text{CdZnSe}/\text{ZnSe}$  多量子阱制备了具有法布里-珀罗腔的  $\text{CdZnSe}/\text{ZnSe}$  多量子阱光双稳器件<sup>[2]</sup>。1990年, 贝尔实验室的 Lee等人<sup>[3]</sup>观察到由分子束外延生长的  $\text{CdZnTe}/\text{ZnTe}$  多量子阱的室温激子吸收。1991年, Stanley等人<sup>[4]</sup>得到由分子束外延生长的  $\text{CdZnTe}/\text{ZnTe}$  多量子阱的室温激子发光。本文用金属有机化学汽相沉积生长的  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱制备了  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件。在该器件上观察到皮秒响应时间的光学双稳态, 并分析了机理。

## 2 实 验

实验中所用的  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱是常压金属有机化学汽相沉积系统, 由进口的二甲基锌(DMZn)、二甲其碲(DMTe)和国产的二甲基镉(DMCd)作为源, 在  $n\text{-GaAs}(100)$  衬底上生长的。为减小晶格失配, 首先在  $n\text{-GaAs}(100)$  衬底上生长厚度为  $1.5 \mu\text{m}$  的  $\text{ZnTe}$  缓冲层, 接着生长  $0.9 \mu\text{m}$  的  $\text{Zn}_{0.85}\text{Cd}_{0.15}\text{Te}$  缓冲层, 而后交替生长  $7.2 \text{ nm}$  的  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$  阱层和  $14 \text{ nm}$  的  $\text{ZnTe}$  垒层, 生长周期为 30。对于  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的生长情况, 用

\* 国家自然科学基金资助项目。

D/max-RA 型旋转阳极 X 射线衍射仪, 采用宽角衍射方法, 测量了  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱结构的实验衍射曲线并进行鉴别。采用电化学阳极腐蚀 GaAs 衬底的方法<sup>[5]</sup>对  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱进行选择蚀刻获得大面积表面光亮平整的通光窗口。用 DMD-450 型光学双层镀膜机, 在  $1.33 \times 10^{-4}$  Pa 的压强下, 用热蒸发方法交替蒸镀具有高、低折射率的 5 层 ZnS 和 5 层冰晶石 ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), 其中 ZnS 和冰晶石的折射率分别为 2.35 与 1.35。形成的法布里-珀罗腔的前后腔面反射率为 0.8, 从而制备出  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件如图 1 所示。

$\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱及其器件的吸收谱和透射谱是以白炽灯为光源, 经 SPEX1404 双光栅光谱仪分光, 由 RCA-C31034 光电倍增管接收得到。

光双稳的测量是用脉宽为 200 ps 的  $\text{Ar}^+$  激光器泵浦若丹明 6G 染料, 得到 579.9 nm 的脉冲染料激光。由 579.9 nm 的染料脉冲激发  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件, 经 7904 型示波器接收得到随时间变化的透射光脉冲与入射光脉冲。根据实验中得到的透射光强随入射光强的变化关系得到光双稳曲线。

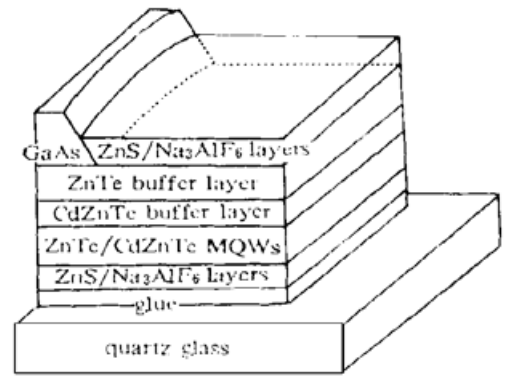


Fig. 1 The structure of the ZnTe/CdZnTe MQW optical bistable device

### 3 实验结果与讨论

$\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件是具有法布里-珀罗腔的  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱。而法布里-珀罗腔内  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的质量直接影响该光双稳器件的质量。

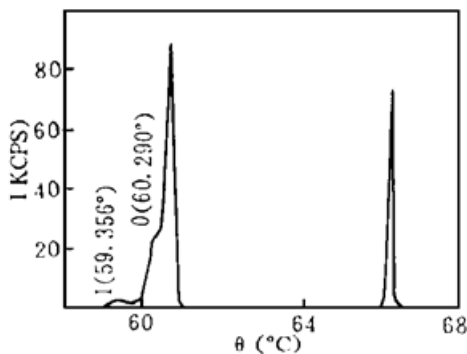


Fig. 2 X-ray wide angle diffraction curves of ZnTe/CdZnTe MQW

根据超晶格的特殊结构和性质, 采用 X 射线衍射的方法<sup>[3]</sup>鉴别了  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的质量。通常 X 射线衍射方法主要是测量双晶回摆曲线, 按照近邻卫星峰之间的角距离, 可以测量出周期  $D$  和组分值  $x$ 。由于 ZnTe 和  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}$  之间的晶格失配较大 ( $\Delta a/a > 10^{-3}$ ), X 射线的双晶衍射很难测量出卫星峰, 只有 X 射线的宽角衍射能够测量出卫星峰, 如图 2 所示。从图中可以发现缓冲层衍射峰附近的 0、1 级卫星峰。卫星峰的出现是超晶格周期生长的直接证据。利用卫星峰之间的角距<sup>[6]</sup>, 计算得到  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的周期和组分值分别为  $D = 22.3$  nm 和  $x = 0.102$ 。

为了证明  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件中法布里-珀罗腔的存在, 测量了该器件的透射光谱如图 3 所示。由图 3 可知, 透射光谱是一条振荡曲线。振荡周期随波长的增加而增长, 振荡产生的透射峰较窄而透射谷平缓, 透射峰上升快, 下降慢。透射光谱的这些特点符合法布里-珀罗腔的振荡特点, 因此  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件形成了一个有效的法布里-珀罗腔。

图 4(a) 为  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件在室温条件下的归一化的入射和透射光强的瞬态变化。由图 4(a) 可知, 入射光脉冲经  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱法布里-珀罗腔

光双稳器件后出现了脉冲宽化现象, 并且有一定的时间延迟, 这表明透射光强随入射光强的变化是非线性的。根据实验中得到的入射和透射光强随时间的变化关系, 绘制了透射光强随入射光强变化曲线, 如图 4(b) 所示。从图 4(b) 中可以观察到明显的光双稳现象。实验结果表明室温  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件在 579.9 nm 脉冲激发下的光双稳阈值和对比度分别为  $363 \text{ kW}/\text{cm}^2$  和 4.1。

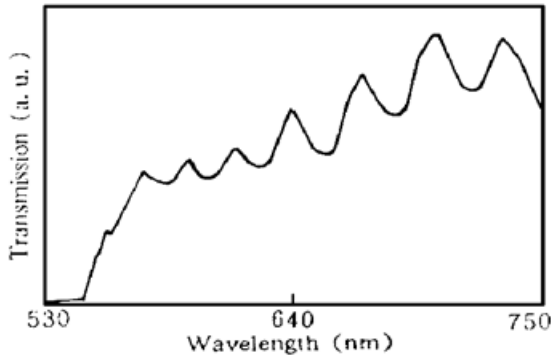


Fig. 3 The transmission spectra of ZnTe/CdZnTe MQW optical bistable device at room temperature

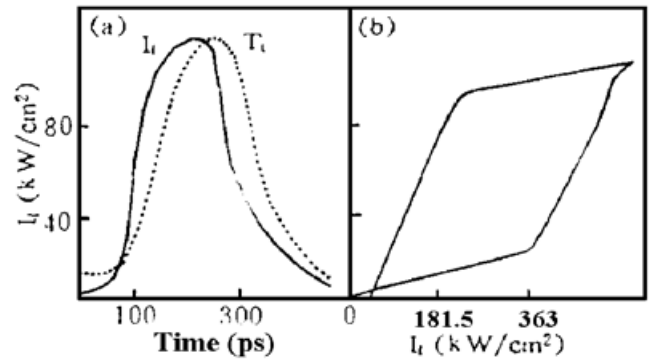


Fig. 4 Time dependence of the temporal shapes of the incident (solid curve)  $I_i$  and transmitted (dashed curve)  $I_t$  pulses in ZnTe/CdZnTe MQWs optical bistable device at room temperature (a). The resulting hysteresis 1

光双稳按入射光与介质相互作用的不同机理分为吸收型和色散型。纯吸收型光双稳的条件为

$$\frac{a_0L}{T + a_bL} \geq 8$$

式中  $a_0L$  和  $a_bL$  分别为线性吸收和非饱和吸收。  $T$  为法布里-珀罗腔单面的透过率。在  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件中,  $a_0L$  和  $T$  约为 0.72 和 0.2, 很显然不满足纯吸收型光双稳条件。因此观察到的光双稳为色散型。

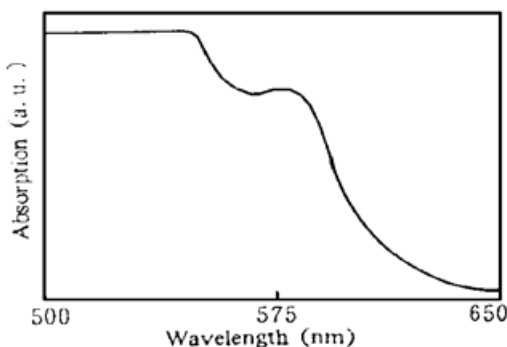


Fig. 5 The absorption spectrum of ZnTe/CdZnTe MQW at room temperature

为研究实验中得到的光双稳起因, 用一个宽带连续光测量了室温  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的吸收谱如图 5 所示。由图 5 可知,  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的室温激子吸收峰的波长位置是 577.9 nm。很明显, 实验中使用的激发光波长正好在  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱的激子吸收区。根据激子的非线性理论, 当入射光强达到或大于激子饱和吸收的入射光强时, 引起激子吸收系数的改变。由 Kramers-Kronig 关系知, 吸收系数的改变能够引起折射率变化。当折射率的变化达到一定的大小, 能够产生光双稳。因此  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件的光双稳的主要非线性机制为激子的饱和吸收。

**结 论** 综上所述, 本文成功地制备出  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双稳器件, 并在该器件上观察到皮秒量级的室温激子光双稳。实验结果表明, 光双稳的阈值和对比度分别为  $363 \text{ kW}/\text{cm}^2$  和 4.1。根据实验中得到的激子吸收谱, 作者认为  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  多量子阱光双

稳器件的光双稳的主要非线性机制为激子的饱和吸收。

### 参 考 文 献

- [1] J. Ding, N. Pelekanos, A. V. Nurmikko *et al.*, Room-temperature exciton absorption in (Zn, Cd) Se/ZnSe quantum wells. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **57**(27) : 2885~ 2887
- [2] Dezhen Shen, Xiwu Fan, Baojun Yang, Picosecond optical bistability of ZnS-ZnTe/GaAs multiple quantum wells on reflection at room temperature. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1995, **34**(1) : 1279~ 1281
- [3] D. Lee, J. E. Zucker, A. M. Johnson *et al.*, Room-temperature excitonic saturation in CdZnTe/ZnTe quantum wells. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **57**(11) : 1132~ 1134
- [4] R. P. Stanley, B. J. Hawdon, J. Hegarty, Room-temperature exciton luminescence in II-VI quantum wells. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(25) : 2972~ 2974
- [5] 孙甲明, 申德振, 范希武等, ZnSe-CdZnSe 多量子阱光双稳器件的研制. 发光学报, 1994, **15**(2) : 172~ 174
- [6] 李 梅, 葛中久, 张志舜,  $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}/\text{Si}$  应变超晶格的质量鉴别. 吉林大学自然科学学报, 1995, **2**(2) : 63~ 65

## $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$ MQW Optical Bistable Device at Room Temperature

Li Hongyu      Shen Dezhen      Zhang Jiying      Lin Jiuling  
Yang Baojun      Fan Xiwu

(Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Physics,  
The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

(Received 16 September 1996; revised 12 May 1997)

**Abstract** A  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  multiple quantum well (MQW) optical bistable device has been fabricated, and its optical bistability is investigated at room temperature. The result indicates that the threshold and contrast ratio for the optical bistability in  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  MQW optical bistable device are about  $363 \text{ kW/cm}^2$  and 4.1, respectively. On the basis of the excitonic nonlinear theories, excitonic absorption spectrum in the  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  MQW, we attribute the major nonlinear mechanism for the optical bistability to the saturating effect of excitonic absorption.

**Key words**  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Te}/\text{ZnTe}$  MQW, optical bistable device, excitonic absorption.