

# ZnSe-ZnS 多量子阱光学吸收非线性 时间特性及其机制\*

赵福潭 苏锡安 王淑梅 陈进军

(中国科学院激发态物理开放研究实验室, 长春 130021)

(中国科学院长春物理研究所, 长春 130021)

**摘要** 利用飞秒泵浦-探测技术, 在 77K 温度下测量了 ZnSe-ZnS 多量子阱材料的光学吸收非线性时间特性, 其上升时间为 10ps, 恢复时间为 14ps. 讨论了其产生机制为带填充.

**关键词** 量子阱, 非线性, 时间特性, 带填充

## 1 引 言

半导体材料光学吸收非线性是当前较为活跃的课题之一, 因为它很有可能成为光双稳、光开关、光调制器或其它非线性光学元件而用于光计算, 光通讯等领域. 为此, 人们对禁带宽度在近红外的  $\Gamma$ -族半导体已进行了比较充分的研究. 随着近年来理论和实验技术的发展<sup>[1,2]</sup>, 对禁带宽度在可见区的  $\Gamma$ -族半导体材料的研究逐渐形成了高潮, 特别是蓝色发光二极管和蓝绿色激光器<sup>[3,4]</sup>的研制成功, 引起了人们对此类半导体研究的更大兴趣. 而 ZnSe、ZnSe-ZnS、ZnSe-ZnSe<sub>x</sub>Si<sub>1-x</sub> 是其中令人瞩目的材料. 这些材料的激子束缚能大(40~60meV), 在室温下就可表现出较强的激子效应. 利用激子效应而设计的光学、光电、电光等元件都可用于光计算和光通讯. 本文报道了用金属有机化学气相沉积(MOCVD)方法生长的 ZnSe-ZnS 多量子阱材料在 77K 温度下激子光学吸收非线性的时间特性.

## 2 实 验

### 2.1 样 品

本实验所采用的样品是用常压金属有机化学气相沉积(MOCVD)方法在 CaF<sub>2</sub> 衬底上首先生长 0.5  $\mu$ m ZnSe 过渡层, 然后按设计要求交替生长垒层 ZnS 和阱层 ZnSe. 详细生长过程文献<sup>[5,6]</sup>有所报道. 本实验样品的参数为: 垒层 ZnS 的厚度  $L_B = 10$ nm, 阱层 ZnSe 的厚度  $L_W = 8$ nm, 周期  $C = 100$ .

### 2.2 吸收光谱和发射光谱

我们用透射谱来观察吸收特性. 图 1 为透射光谱. 由图可见随着入射光强增加, 吸收减少并且吸收峰向高能移动.

图 2 为光致荧光光谱. 为了进行比较, 光谱强度经过归一化处理. 从图中可以看到发射峰值随着激发密度的增加移向高能侧.

\* 国家自然科学基金重点课题

1997年4月21日收到

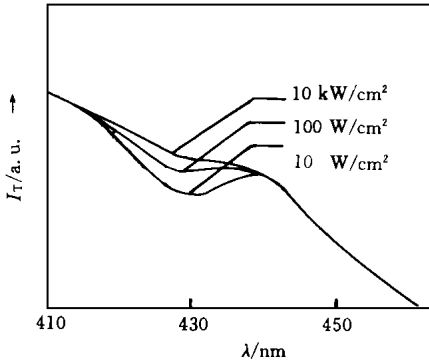


图 1 ZnSe-ZnS MQWs 在 77K 下透射谱

Fig. 1 The transmission spectra of

ZnSe-ZnS MQWs at 77K.

### 2. 3 光学吸收非线性时间特性的测量

实验装置: 为了测量样品光学吸收非线性的时间特性, 我们采用了飞秒泵浦-探测技术. 测量系统示意图如图 3.

碰撞锁模(CPM)环形染料激光器产生半宽度为  $80\text{fs}$ , 波长为  $620\text{nm}$ , 重复频率为  $82\text{MHz}$  的光脉冲. 此光脉冲经铜蒸气激光器放大后产生每个脉冲能量为  $0.5\text{J}$ 、重复频率  $82\text{MHz}$ 、波长  $620\text{nm}$ 、脉冲宽度为  $80\text{fs}$  的光脉冲, 然后经 KDP 晶体产生  $310\text{nm}$  倍频光. 用一个分束片进行分束, 将  $310\text{nm}$  反射,  $620\text{nm}$  透射. 反射的  $310\text{nm}$  光再经  $M_3$ 、 $M_5$  反射, 由  $L_4$  会聚到样品上组成泵浦光路; 透射的  $620\text{nm}$  光经可变延迟器, 再经消色差透镜  $L_2$ 、 $L_3$  将光聚焦照射到亚乙基乙二醇的喷流柱上, 产生  $400 \sim 880\text{nm}$  光谱连续的“白光”光脉冲, 脉冲宽度仍保持为  $80\text{fs}$ . 此“白光”经透镜  $L_5$  会聚到样品上, 组成探测光路. 延迟线是为了改变泵浦光脉冲

与探测光脉冲之间到达样品的时间差. 延迟线改变  $0.5\text{mm}$  相当两光程差改变  $1\text{mm}$ , 相应的时间差为  $3.3\text{ps}$ . 延迟线放在“白光”前和“白光”后是等效的. 泵浦光和探测光的光斑中心要落在样品同一点上, 为使探测光斑区被泵浦光全部、均匀照射, 泵浦光斑直径要大于探测光斑直径. 实验采用泵浦光斑直径为  $120\ \mu\text{m}$ , 探测光斑直径为  $80\ \mu\text{m}$ . 透过样品的透射光经  $L_6$  会聚到单色仪的狭缝上, 经单色仪分光后由光学多道分析仪(OMA)接收透过光谱.

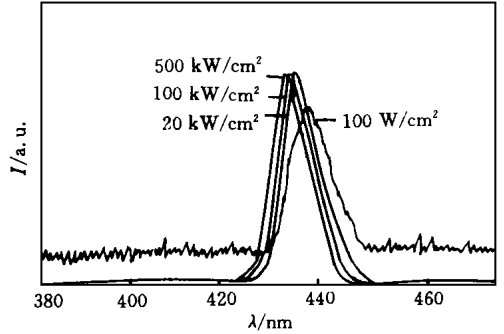
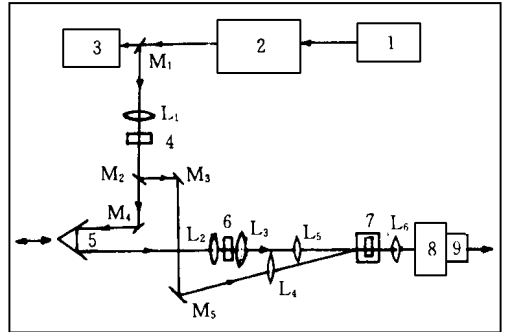


图 2 ZnSe-ZnS MQWs 光致荧光谱(77K)

Fig. 2 The luminescence spectra of

ZnSe-ZnS MQWs at 77K.



1. 碰撞锁模环形染料激光器; 2. 铜蒸气激光器; 3. 监测系统; 4. KDP 倍频晶体; 5. 延迟线; 6. 亚乙基乙二醇液柱; 7. 样品室; 8. 单色仪; 9. 光学多道分析仪;  $M_2$  为反射  $310\text{nm}$ , 透射  $620\text{nm}$  的镜片;  $M_4$  为反射  $620\text{nm}$  的镜片;  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_5$ 、 $L_6$  为会聚透镜

图 3 测量系统示意图

Fig. 3 Schematic diagram of pump-probe measurement of the optical nonlinear absorption change.

实验步骤: 首先在组成泵浦光路和探测光路时要使两光路光程基本相等, 然后再把自相关器放到样品位置上, 用延迟器精细调节两光路光程完全相等, 这时泵浦光和探测光落到样品上的时差为零. 把样品放入样品室中, 将样品室代替自相关器位置, 并校准两光束使两光束交点刚好落在样品面上. 然后降温至 70K 停留一个小时, 再将温度升到 77K, 再停留一小时后开始做实验. 为了消除光源波动带来的影响, 我们建立一个监测系统, 以保证每次所取数据都是在相等光强下取得 (泵浦光强和探测光强都相等). OMA 采集数据直接送入计算机中. 首先测泵浦光和探测光同时存在的透射光谱  $T_1$ ; 然后测仅有泵浦光而无探测光的透射光谱  $T_2$ ; 最后测仅有探测光而无泵浦光时的透射光谱  $T_3$ . 我们取  $r = (T_1 - T_2) / T_3$  来表示透射光谱的特性. 改变延迟线即改变泵浦光和探测光到达样品的时间差, 测出每个时间差的  $r$ , 就测得透射 (吸收) 光与泵浦光和探测光到达样品的时间差的关系, 如图 4 所示. 从图中可以看出“漂白”过程的上升建立时间为 10ps, 下降恢复时间为 14ps.

### 3 讨 论

引起光学吸收非线性 (漂白) 产生的机制有三种: 自由载流子屏蔽; 带间重整化; 带填充. (1) 由载流子引起的库仑屏蔽效应应该是即时效应, 因为泵浦光一照射到样品上, 在样品内就产生自由载流子, 马上就会产生库仑屏蔽效应. 而我们这里从实验观察到“漂白”有一个上升建立过程, 这个过程不能和库仑屏蔽作用相对应. (2) 带间重整化吸收光谱应产生红移, 并且需要更高的自由载流子密度. (3) 在我们所做的吸收光谱和发射光谱的实验中观察到随着入射密度和激发密度的增加, 吸收峰和发射峰都移向高能侧, 这是带填充的主要特征. 由此我们认为, ZnSe-ZnS 多量子阱材料在 77K 下光学吸收非线性 (漂白) 产生的机制为带填充. 这个结论和 Ando T. 等人从理论上指出的在二维体系中库仑屏蔽作用是较弱的, 甚至是可以忽略不计的结论<sup>[7]</sup>一致.

由吸收峰, 荧光峰位置可知, 这一光学吸收非线性是自由激子产生的光学吸收非线性. 由于其激子束缚能大, 在室温下就有很强的激子效应. 从本文所报道的 ZnSe-ZnS MQWs 能产生较大的光学吸收非线性, 并且响应速度和恢复速度都非常之快, 在 ps 量级, 故 ZnSe-ZnS MQWs 是应用于光计算和光通讯领域很有前途的材料.

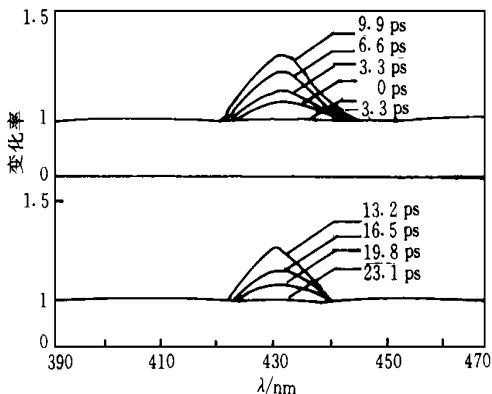


图 4 透射光谱变化率  $((T_1 - T_2) / T_3)$  与泵浦光和探测光不同时间差的关系 (77K)

Fig. 4 The change rate of transmission spectra  $((T_1 - T_2) / T_3)$  for various delay time between the pump and probe beams.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Euiyasu H. J. Appl. Phys., 1985, **57**: 2962.  
[ 2 ] Akira T. J. J. Appl. Phys., 1987, **26**: 989.  
[ 3 ] Haase M. A, Qiu J, Depuydt J. M *et al*, Appl. Phys. lett., 1991, **59**(11): 1272.  
[ 4 ] Nakayama N, Iton S, Ohata T *et al*, Electronics Lett., 1993, **29**(16): 1488.  
[ 5 ] 范广涵, 关郑平, 江凤益等. 人工晶体, 1990, **19**: 10.  
[ 6 ] 关郑平, 范广涵, 范希武. 发光学报, 1992, **13**: 4.  
[ 7 ] Ando T, Fowler A B, Stern F, Rev. Mod. Phys., 1982, **54**: 437.

## TIME-DEPENDENCE OF NONLINEAR OPTICAL ABSORPTION AND MECHANISM IN ZnSe-ZnS MULTIPLE QUANTUM WELL STRUCTURES

Zhao Futan Su Xi an Wang Shumei Chen Jinjun

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

(Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

### Abstract

The time-dependence of nonlinear optical absorption in ZnSe-ZnS MQW s has been measured by using pump-probe technique at femtosecond scale at 77K. It appears that the nonlinear response in ZnSe-ZnS MQW s is about 10ps and the turn off time is about 14ps at 77K. The mechanism of nonlinear optical absorption is due to band filling of excitonic states.

**Key words** quantum well, nonlinear time-dependence, band filling