

ZnSe/ZnCdSe 多量子阱 激子光学非线性*

栗红玉 申德振 张吉英 杨宝均 范希武

(中国科学院长春物理研究所激发态物理开放实验室 长春 130021)

摘要 本文采用泵浦-探测技术研究了 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱室温激子饱和吸收, 并根据 K-K 关系计算得到 521.6nm 至 544nm 的光学非线性折射率的变化. 观测到由折射率变化引起的 ZnSe/CdZnSe 多量子阱光双稳器件的室温激子光双稳. 根据 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱的激子吸收谱及激子的非线性理论, 归结其主要非线性机制为激子态的相空间填充和激子带展宽.

PACC: 4265, 6865, 7320, 7340L, 7865

1 引言

宽带 II-VI 族半导体超晶格具有较大的激子束缚能和较强的激子光学非线性, 有望成为未来光计算机某些基础元件的理想候选材料, 因此对 II-VI 族材料的激子光学非线性及光双稳的研究日益受到人们的广泛重视. 1990 年 Ding 等人^[1]报道了 (Zn, Cd)Se-ZnSe 多量子阱的室温激子吸收; 1995 年 Lowisch 等人^[2]研究了 MBE (分子束外延) 生长的 CdZnSe/ZnSe 三个量子阱的低温激子光学非线性. 本文报道了由 MOCVD (金属有机化学气相沉积) 生长的 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱激子光学非线性, 计算得到非线性折射率变化, 并研究了由折射率变化而引起的光学双稳态.

2 实验

实验中使用的 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱样品是用 MOCVD 方法生长在 n 型 GaAs 衬底上, ZnCdSe 阱层和 ZnSe 垒层分别为 5nm 和 10nm, 并重复 50 个周期. 采用电化学阳极腐蚀 GaAs 衬底的方法^[3], 对 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱层进行选择性的腐蚀以获得通光窗口; 在 1.33×10^{-4} Pa 的压强下, 用热蒸发方法在样品表面蒸镀 F-P 腔, 制备成光双稳器件.

样品的非线性吸收测量采用泵浦-探测技术. 泵浦光为氮分子激光器的 337.1nm 脉冲

* 中国科学院院长基金特别支持项目

栗红玉 女, 1969 年出生, 研究生. 从事宽带半导体器件与物理的研究.
申德振 男, 1959 年出生, 研究员. 从事宽带半导体器件与物理的研究.
1996-10-13 收到, 1997-02-02 定稿.

激光线, 脉冲持续时间为 10ns, 重复频率为 10Hz; 探测光为氮分子激光器泵浦香豆素 480 获得的同步脉冲输出, 经减光后进行探测 接收装置为 C31034 型光电倍增管和 4400 型 Box-car 取样积分器, 测量过程中, 保持泵浦光与探测光在时间和空间上同步, 测量装置如图 1 所示

光双稳特性是通过测量随时间变化的瞬时透射光强与入射光强的变化关系得到 激发源是 Nd: YAG 激光器, 其脉冲激光输出波长为 532nm, 脉冲宽度为 200ps, 重复频率为 1Hz 入射和透射光强的瞬态变化由 M 176 高速条纹相机接收

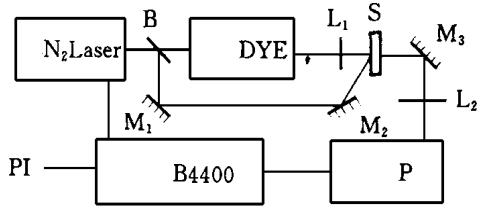


图 1 ZnSe/CdZnSe 多量子阱的激子光学非线性测量装置图

B: 分束板, S: 样品, L₁, L₂: 透镜, DYE: M₁, M₂, M₃: 反射镜, P: 光电倍增管, B4400: 4400 型积分系统, PI 打印机, N₂ Laser: 氮分子激光器, 可调谐染料激光器

3 实验结果与讨论

3.1 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱的光学非线性

图 2 是在不同泵浦光强下测得的激子吸收谱 从图 2 中我们可以观察到, 没有泵浦光时样品有明显的激子吸收; 随着泵浦光光强的增加激子吸收逐渐减少, 在激子吸收两侧出现吸收增强并且吸收峰出现蓝移, 没有观察到吸收边的移动 当泵浦光强为 210kW/cm² 时, 激子吸收带几乎退化为一个吸收肩胛, 这说明在强光作用下出现激子饱和吸收现象

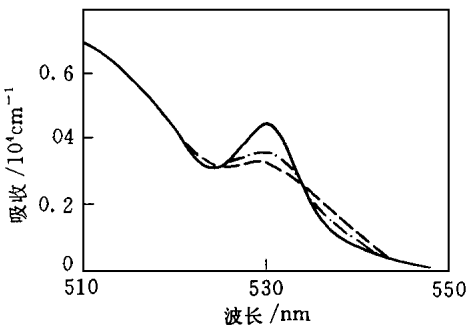


图 2 不同泵浦光强下 ZnSe/CdZnSe 多量子阱的吸收谱

泵浦光强为 0MW/cm²(—);
0.1 MW/cm²(- - -);
0.2 MW/cm²(- · - ·)

根据 Kramers-Kronig 关系有^[4]

$$\Delta n(\lambda) = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\infty \frac{\lambda'^2 \Delta\alpha(\lambda')}{\lambda'^2 - \lambda^2} d\lambda' \quad (1)$$

由公式(1), 我们根据不同波长 λ 的吸收系数的改变量 $\Delta\alpha(\lambda)$ 可获得不同波长 λ 的折射率的改变量 $\Delta n(\lambda)$, 在实际测量中, 测量的吸收系数的波长范围不可能从零到无穷大, 但根据半导体的特性, 激子吸收系数的改变量只涉及在激子吸收区的较小范围内, 其它范围的吸收改变量均为零 所以实际公式(1)可变为

$$\Delta n(\lambda) = \frac{1}{2\pi^2} \int_{\lambda_a}^{\lambda_b} \frac{\lambda'^2 \Delta\alpha(\lambda')}{\lambda'^2 - \lambda^2} d\lambda' \quad (2)$$

其中 λ_a 至 λ_b 是当激发光强增加引起的激子吸收变化的波长区 在实验中, 由图 2 可知, λ_a 为

521.6nm, λ_b 为 544nm, 根据图 2 的实验结果及公式(2)进行理论计算得到计算结果如图 3 所示 从图 3 中可知, 对应于激子吸收峰的位置, $\Delta n = 0$, 在激子吸收峰的高能侧, $\Delta n > 0$, 而在吸收峰的低能侧, $\Delta n < 0$ 最大折射率的改变量为 -6.19×10^{-3} , 相应的波长位置为 533nm, 此时的非线性折射率系数为 $-1.8 \times 10^{-5} \text{esu}$.

3.2 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱的光学双稳态

根据 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱的激子饱和吸收特性, 我们选择非线性折射率变化较大的

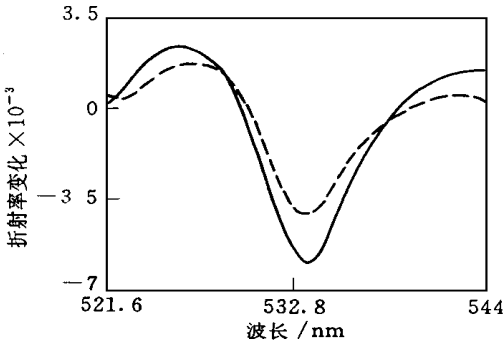


图 3 不同激发光强 ZnSe/CdZnSe

多量子阱的非线性折射率变化

激发光强为 0.1 MW/cm^2 (---) 和 0.2 MW/cm^2 (—)

收光双稳的基本条件为

$$(\alpha L) / (T + \alpha L) > 8 \quad (3)$$

式中 αL 和 $\alpha_0 L$ 分别为线性和非饱和吸收; T 为光经过 F-P 腔的单面透过率, 对于此光双稳器件 αL 和 T 分别约为 0.4, 0.2 显然不满足上述条件. 因此该 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱光双稳器件的光双稳为色散型光双稳

根据激子非线性理论, 非线性机制主要有以下几种: 激子态的相空间填充^[5], 激子的库仑屏蔽, 激子带的增宽效应^[5,6], 带填充和带隙重正化效应^[7,8]. 激子和带边的非线性效应分别表现为激子的饱和吸收和带边吸收的移动. 通常情况下, 半导体多量子阱中产生激子非线性效应所需光强要比产生带边非线性效应所需的光强低, 因此, 可以认为随着激发光强的增加, 激子的光学非线性效应首先起作用. 图 2 的泵浦-探测实验结果证实了我们上述分析结果; 另一方面 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱在 337.1nm 的吸收系数比在 532nm 的吸收系数大, 结果表明带边效应并没有对光双稳起主要作用, 因此 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱光双稳的非线性机制可归结为激子的饱和吸收. 图 2 中激子吸收峰的蓝移及展宽表明, ZnSe/ZnCdSe 多量子阱的光学非线性效应主要来源于激态的相空间填充和激子带展宽

4 结论

综上所述, 本文研究了 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱光学非线性折射率的变化. 观测到由折射率变化引起的 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱的室温激子光双稳. 根据 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱的激子吸收谱及激子的非线性理论, 归结其主要线性机制为激子态的相空间填充和激子带展宽

波长位置, 即 532nm 的脉冲激光激发, 测量了 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱光双稳器件的入射光强与透射光强随时间变化及透射光强随入射光强的变化曲线如图 4 所示. 从图 4(a) 可以发现, 入射光脉冲经过样品后, 透射脉冲有窄化现象, 并有一定的时间延迟, 由此可见, 透射光随入射光的变化是非线性的. 由图 4(b) 可以明显地观察到室温 ZnSe/ZnCdSe 多量子阱光双稳器件的透射式光双稳, 其光双稳器件的阈值和对比度分别为 210 kW/cm^2 和 2.1.

光学双稳态可以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两类. 对于纯吸

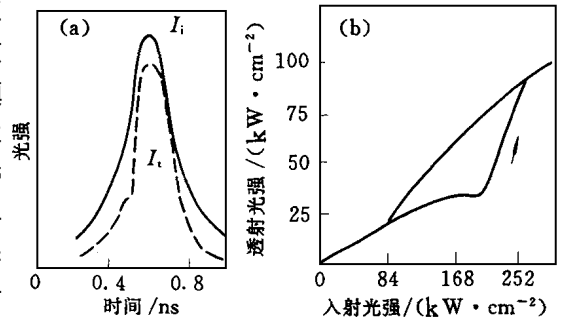


图 4 ZnSe/CdZnSe 多量子阱瞬态入射光强 I_i (实线) 和透射光强 I_t (虚线) (a) 以及透射光随入射光变化的曲线 (b)

参 考 文 献

- [1] J. Ding, N. Pelekanos, A. V. Numikko *et al*, Appl Phys Lett , 1990, **57**: 2885
 [2] M. Lowisch, F. Kreller, J. Puls *et al* , Phys Stat Sol (B), 1995, **165**: 188
 [3] 孙甲明, 申德振, 范希武, 等, 发光学报, 1994, **15**: 172
 [4] F. Sern, "Elementary Theory of the Optical Properties of Solids", Solid State Physics, ed by F. Seitz and D. Turnbull, Academic Press(1963), Vol 15, p. 299
 [5] D. Z Shen, X. W. Fan and G. H. Fan, Nonlinear Optics, 1991, **1**: 319
 [6] D. Z Shen, X. W. Fan, G. H. Fan *et al* , Chin Acta Opt Sinica, 1990, **10**: 643
 [7] D. Z Shen, X. W. Fan, Z S Piao *et al* , J. Grystal Growth, 1992, **117**: 519
 [8] H. Haug and S. Schmitt-Rink, J. Opt Soc Am. B, 1985, **2**: 1135

Exciton Optical Nonlinearity in ZnSe/ZnCdSe MQW s

Li Hongyu, Shen DeZhen, Zhang Jiying, Yang Baojun and Fan Xiwu

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

Received 13 October 1996, revised manuscript received 2 February 1997

Abstract The exciton nonlinear refractive index is calculated by using Kramers-Kronig relation and the saturation of exciton absorption of ZnSe/CdZnSe multiple quantum wells (MQW s) under different pump intensities. The maximum nonlinear refractive index change is about -6.19×10^{-3} . Exciton optical bistability in ZnSe/CdZnSe MQW s is investigated at room temperature. The results indicate that the threshold and contrast ratio for the optical bistability in ZnSe/CdZnSe MQW s optical bistable device are about 210 kW/cm^2 and 2, respectively. On the basis of the exciton nonlinear theories and exciton absorption spectra in the ZnSe/CdZnSe MQW s, we attribute the major nonlinear mechanism of the ZnSe/CdZnSe MQW s to the phase space filling of exciton states and exciton band broadening due to exciton-exciton interactions.

PACC: 4265, 6865, 7320, 7340L, 7865