

ZnSe-ZnS 应变层超晶格的激子吸收谱

沈爱东 陈云良 王海龙 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所量子光学联合开放实验室, 上海 201800)

吕 少 哲

(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)

提 要

在 16 K 至室温范围内测量了 ZnSe-ZnS 应变层超晶格的激子吸收谱。观测到对应于 $1E-1HH$ 、 $1E-1LH$ 及 $1E-3HH$ 跃迁的三个激子吸收峰。

关键词 吸收谱, 激子能级, 应变层超晶格。

1 引 言

基于 ZnSe-ZnS 多量子阱材料的光双稳器件已被研制出来^[1,2]。最近, 美国 3M 公司又率先报道了 ZnSe 量子阱激光二极管在 77 K 下的脉冲激射运转^[3]。各国在器件应用方面进行了激烈的角逐, 但人们在该材料的光学性质的研究方面主要集中在光致荧光特性的研究^[4,5]。众所周知, 光吸收与光致荧光均为研究异质结光性质, 特别是研究其能级的主要工具^[6], 但吸收谱由于能测出多级轻重空穴激子能级而能更精细地研究超晶格量子阱的能级结构。本文主要报道作者在 16 K 至室温范围测量了 ZnSe-ZnS 应变层超晶格的激子吸收谱。

2 实 验 装 置

ZnSe-ZnS 应变层超晶格采用分子束外延生长在(100)取向的 GaAs 衬底上^[7]。样品均不有意掺杂。其结构参数由 X 射线衍射及透射电镜观测确定。采用化学选择腐蚀法去除不透光的 GaAs 衬底。

吸收谱通过测量透射谱获得。图 1 为透射测量实验装置图。光源 (LS) 采用氙灯, 采用 GDM 1000 双光栅单色仪 (MC) 和 R 268 光电倍增管 (PM) 探测接收。氮气循环致冷。

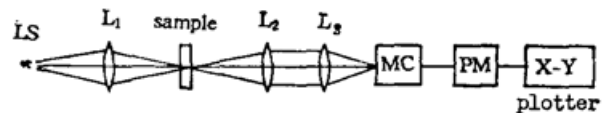


Fig. 1 Experimental arrangement for transmission measurements

3 结 果 与 讨 论

透射与吸收的关系为^[8]

$$I_t = \frac{I_0(1-R)^2 \exp(-\alpha L)}{1-R^2 \exp(-2\alpha L)}, \quad (1)$$

式中 I_t 为透射光强, I_0 为入射光强, R 为样品反射率, L 为样品厚度, α 为吸收系数. 在带隙附近 R 可忽略, 因此有:

$$\alpha = -(1/L) \ln(I_t/I_0), \quad (2)$$

利用(2)式可由透射谱算出吸收谱. 图2是16K时ZnSe-ZnS应变层超晶格的典型吸收光谱. 样品参数为: ZnSe阱宽2.7nm, ZnS垒宽2.7nm, 周期数65, ZnS包层厚度0.6 μ m. 其中虚线为该样品对应的光致荧光谱. 从吸收谱中可清楚地看到三个激子吸收峰, 分别相应于1E-1HH、1E-1LH及1E-3HH激子跃迁.

文献[9]曾采用Krönig-Penney模型计算了ZnSe-ZnS超晶格的激子能级, 得到激子能级与阱(垒)宽的关系, 但由于未考虑应力效应, 因而计算所得的轻重空穴能级差值要小于实验值. 事实上, ZnSe与ZnS的晶格失配率高达5%, 轻重空穴的分裂主要是由于应力效应引起的^[10], 其能量差

$$\Delta E_{lh} = 2bS'\epsilon_{xx} - (2b^2(S')^2\epsilon_{xx}^2/\Delta), \quad (3)$$

$$S' = (S_{11} - S_{12}) / (S_{11} + S_{12}), \quad (4)$$

式中 $S_{11} = 21.1(\text{TPa})^{-1}$, $S_{12} = -7.8(\text{TPa})^{-1}$ 为弹性屈从常数, $b = -1.2$ 为畸变势, $\Delta = 0.43\text{eV}$ 为自旋-轨道耦合, ϵ_{xx} 为 ZnSe 层内的应变张量元, 且有

$$\epsilon_{xx} = (a' - a_{\text{ZnSe}}) / a_{\text{ZnSe}}, \quad (5)$$

$$a' = (a_1 G_1 h_1 + a_2 G_2 h_2) / (G_1 h_1 + G_2 h_2), \quad (6)$$

式中 a_1, a_2 分别为 ZnSe、ZnS 的晶格常数, h_1, h_2 为层厚, $C_{11}^{\text{ZnSe}} = 8.1 \times 10^{11} \text{dyn/cm}^2$, $C_{12}^{\text{ZnSe}} = 4.9 \times 10^{11} \text{dyn/cm}^2$, $C_{11}^{\text{ZnS}} = 10.0 \times 10^{11} \text{dyn/cm}^2$, $C_{12}^{\text{ZnS}} = 6.5 \times 10^{11} \text{dyn/cm}^2$ 分别为 ZnSe、ZnS 层的弹性常数. 对 $h_{\text{ZnSe}} = h_{\text{ZnS}}$, 由(3)~(6)式有 $\Delta E_{lh} = 140 \text{meV}$. 考虑到限制引起的轻重空穴分裂, 这一结果与实验值吻合很好.

实验中未观测到 $n=2$ 以上的激子跃迁, 这可能是由于 ZnSe-ZnS 超晶格中导带不连续很小^[4], 因而 $n=2$ 的电子已跑出阱外成为非束缚态. 由于对对称势阱跃迁选择定则为 $n+m$

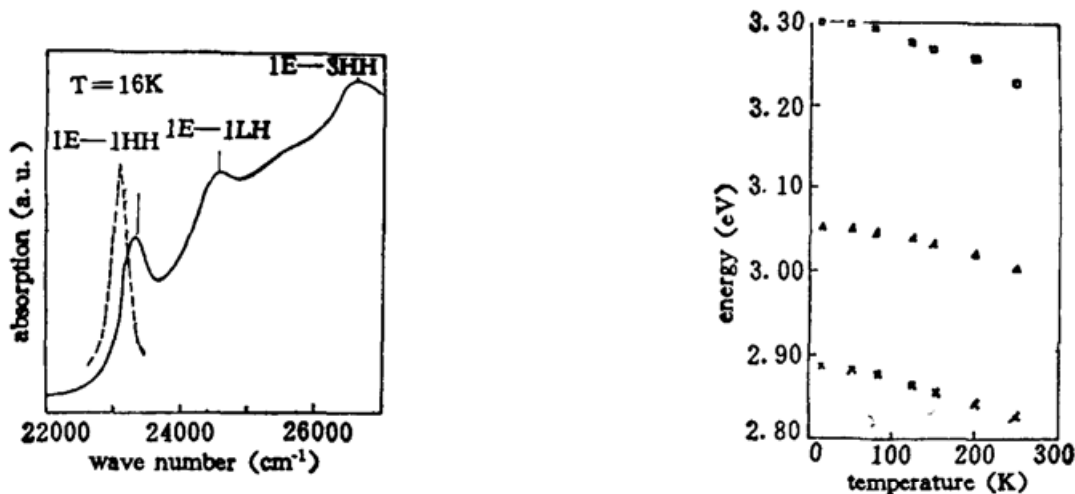


Fig. 2 Typical absorption spectrum of a ZnSe-ZnS strained-layer superlattice. Dash line shows the corresponding PL spectrum

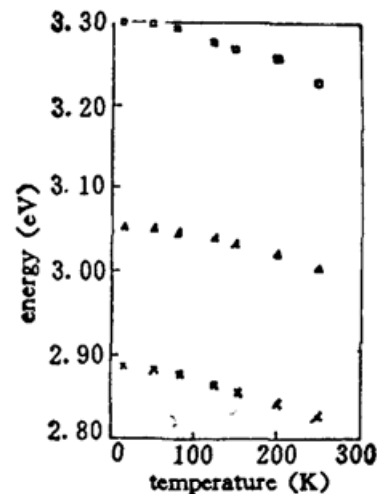


Fig. 3 Temperature dependence of the three exciton energies
(+) 1E-1HH exciton (Δ) 1E-1LH exciton
(○) 1E-3HH exciton

为偶数, 因此 $1E-2HH$ 跃迁是禁戒的。

实验在不同温度下测量了样品的吸收, 发现直到室温时仍存在明显的激子吸收峰。图 3 为三个激子吸收峰峰值能量随温度的变化关系。可以看出随着温度升高, 吸收峰向低能方向单调移动。此外, 还研究了重空穴激子 $1E-1HH$ 吸收峰半高宽(FWHM)随温度的变化, 发现低温时半宽随温度变化不大, 展宽主要是由于阱宽涨落引起的非均匀加宽; 较高温度时, 由于热展宽, 半宽随温度增大而增宽较快, 如图 4 所示。

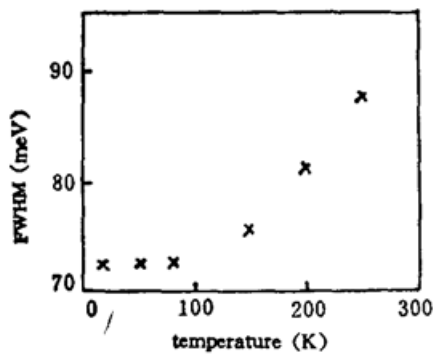


Fig. 4 Temperature dependence of FWHM of the first heavy-hole exciton

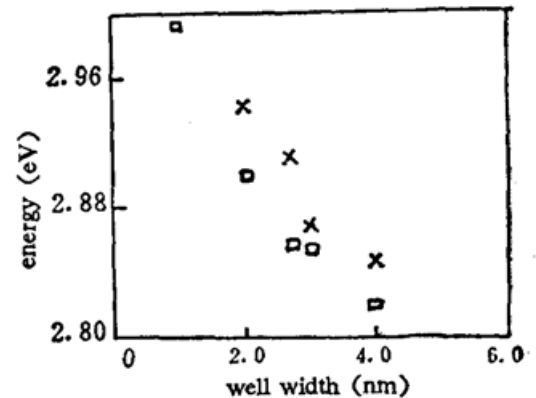


Fig. 5 Relationship between ZnSe well layer thickness and the first heavy-hole exciton energy. \square shows the PL results

图 5 为 16 K 时重空穴激子吸收峰值能量随阱宽变化。其中 \square 为 77 K 时的光致荧光测量值。可以看出随阱宽增加, 峰值能量向长波方向单调移动, 显示出明显的量子限制效应。

感谢上海光机所崔捷博士, 长春物理所黄世华研究员的热情帮助和有益讨论。

参 考 文 献

- [1] H. L. Wang, L. Xu, A. D. Shen *et al.*, ZnSe-ZnS Multiple-Quantum-Well Optical Bistable Device. *J. Appl. Phys.*, 1990, **68** (8): 4338~4339
- [2] 申德振, 范希武, 范广涵等. ZnSe-ZnS 多量子阱激子光学双稳性. *光学学报*, 1990, **10** (7): 643~646
- [3] M. A. Haase, J. Qiu, J. M. DePuydt *et al.*, Blue-Green Laser Diodes. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **59** (11): 1272~1273
- [4] K. Shahazad, D. J. Olego, C. G. van de Walle *et al.*, Effect of Strain on the Optical and Vibrational Properties of ZnSe-ZnSSe Strained-Layer Superlattices. *J. Lumin.*, 1990, **46** (2): 109~136
- [5] H. Kuwabara, H. Fujiyasu, H. Shimizu, *et al.*, Temperature dependence of photoluminescence of ZnSe-ZnS superlattice. *J. Crystal Growth*, 1985, **72**: 299~303
- [6] G. Bastard, *Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures*. Les Ulis: Editions de Physique, 1988: 237~271
- [7] A. D. Shen, J. Cui, H. L. Wang *et al.*, Molecular-Beam Epitaxial Growth of ZnSe-ZnS Strained-Layer Superlattices. *SPIE*, 1991, 1519: 656~659
- [8] J. I. Pankove, *Optical Processes in Semiconductors*. New Jersey: Prentice-Hall, 1971: 93
- [9] 刘玉东, 申德振, 范希武等. ZnSe-ZnS 超晶格激子能级的计算及实验研究. *红外与毫米波学报*, 1991, **10** (2): 95~99
- [10] A. D. Shen, J. Cui, Y. L. Chen *et al.*, Determination of Refractive Index and Study of Absorption in Wide Band Gap II-VI Semiconductor Superlattices. *J. Crystal Growth*, 1991, **111**: 807~810

Excitonic absorption spectra of ZnSe-ZnS strained-layer superlattices

SHEN AIDONG CHEN YUNLIANG WANG HAILONG WANG ZHIJIANG
(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 2018000*)

LÜ SHAOZHE

(*Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Physics, Academia Sinica, Changchun 130031*)

(Received 26 December 1991; revised 25 February 1992)

Abstract

The excitonic absorption spectra of ZnSe-ZnS strained-layer superlattices were measured at temperatures ranging from 16 K to room temperature. Three excitonic absorption peaks corresponding to 1E-1HH, 1E-1LH and 1E-3HH transitions were observed.

Key words absorption spectra, excitonic energy, strained-layer superlattices.