

ZnSe-ZnS 超晶格材料的光学特性

王海龙 崔 捷 沈爱东

陈云良 徐 梁 沈玉华

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海, 201800)

1991年5月27日收到, 1992年3月16日修改定稿

本文首次报道了 ZnSe-ZnS 应变层超晶格的分子束外延生长。对材料进行了光荧光谱、远红外反射谱及喇曼光谱测量。得到了激子发射峰的移动随 ZnSe 阵宽及温度的变化以及发射峰半宽随温度的变化。首次在室温下测量到该材料的三级纵声学声子折叠模。通过对远红外反射谱的计算机拟合, 确定了 ZnSe、ZnS 材料的几个基本声子参数。我们还首次在室温下观测到 ZnSe-ZnS 多量子阱标准具有明显的脉冲压缩效应。

PACC: 6865, 7865, 7280E

一、引言

半导体超晶格与量子阱材料以其特有的电学和光学特性而受到人们的广泛重视。宽禁带的 II-VI 族化合物半导体 ZnSe 和 ZnS 由于其工作波长在可见光波段, 近年来引起人们很大的兴趣。目前 ZnSe-ZnS 超晶格及量子阱材料被认为是制作可见光(蓝绿光)发光二极管、短波长半导体激光器及可见光光逻辑器件(如光双稳器件)等光电器件最有前途的材料之一。

运用 HWE, MOCVD 及 MOMBE 等生长工艺生长 ZnSe-ZnS 应变层超晶格^[1-4]以及运用分子束外延(MBE)生长 ZnSe 及 ZnS 薄膜^[5-7]的报道已有不少, 但迄今未有 MBE 生长 ZnSe-ZnS 超晶格的报道。本文首次报道我们采用 MBE 生长 ZnSe-ZnS 超晶格及量子阱材料, 并对材料进行了光荧光谱、远红外反射谱及喇曼光谱等分析测试。得到了激子发射峰随 ZnSe 阵宽及温度的变化以及发射峰半宽随阵宽的变化。首次在室温下测量到该材料的三级纵声学声子折叠模。通过对远红外反射谱的计算机拟合, 确定了 ZnSe、ZnS 材料的几个基本声子参数。我们还首次观测到以 ZnSe-ZnS 多量子阱制成的 F-P 腔标准具在室温下具有明显的脉冲压缩效应^[8]。

二、实验

ZnSe-ZnS 应变层超晶格及量子阱材料采用国产 III 型分子束外延设备长于(100)取向的 GaAs 衬底上。束源采用 6N 的 Zn、S 及 5N 的 Se 单体材料。束压控制在 1.3×10^{-5} Pa 级别, 束压比 (Se,S):Zn 约 2:1。该条件下生长速率约 30 Å/分。背景真

空 $\sim 1.3 \times 10^{-7}$ Pa。材料的晶体质量采用反射高能电子衍射(RHEED)原位监测。

由于 ZnSe 与 GaAs 的晶格失配很小(约 0.27%), 通常在超晶格与衬底之间生长一层 ZnSe 缓冲层。为便于制作波导结构以及进行透射(如吸收)测量, ZnS 也常被用作缓冲层(ZnS 的折射率较小而带隙较宽)。

光荧光谱的测量采用 N₂ 激光器的 3371 Å 线为激发源, 记录采用 Boxcar 4400, 远红外反射谱的测量采用傅里叶远红外光谱仪。喇曼光谱测量采用背向散射配置, 激发光源为 Ar⁺ 激光器的 4880 Å 谱线。脉冲压缩效应(光学双稳性)的观测采用 YAG 激光的三倍频光为光源, 用存贮示波器对光脉冲进行记录和显示, 测量装置及器件结构详见文献[9]。

三、结果及讨论

图 1 为典型的 ZnSe-ZnS 超晶格的光荧光谱。样品参数为 ZnSe 阵宽 40 Å, ZnS 垒宽

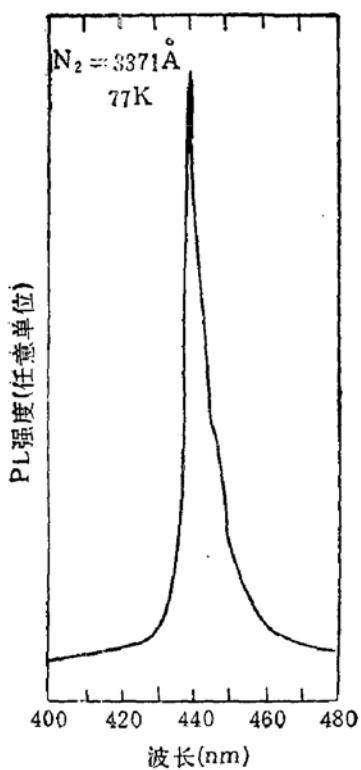


图 1 典型的 ZnSe-ZnS 应变层超晶格的光荧光谱

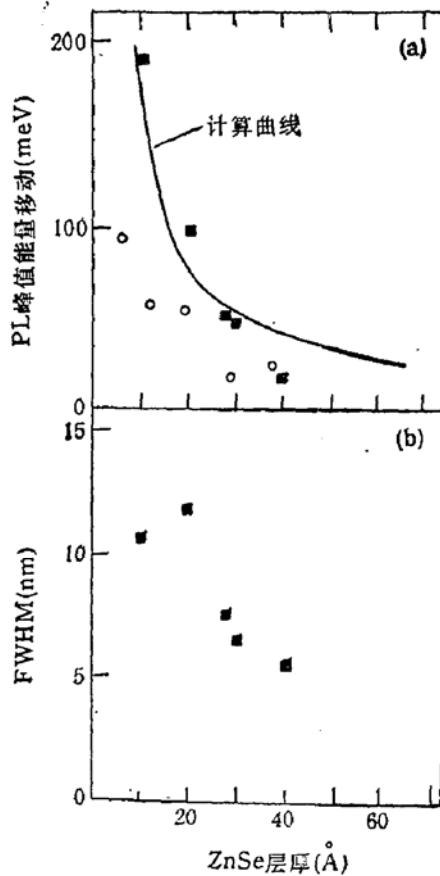


图 2 (a) PL 峰值能量移动 (b) PL 谱 FWHM
与 ZnSe 阵宽的关系(○为 Taike 报道的结果)

40 Å, ZnS 缓冲层厚度 1 μm, 测试温度为 77 K。测试结果表明在 4400 Å 处超晶格具有很强的激子发射, 其半宽(FWHM)为 38.2 meV。图 2(a)给出材料的发光峰值能量移动与 ZnSe 阵宽的关系。随着阵宽的减小, 峰值能量向高能方向单调移动, 表现出明显的量子限制效应。图中实线为理论计算曲线。理论计算采用 Krönig-Penney 模型, 并考

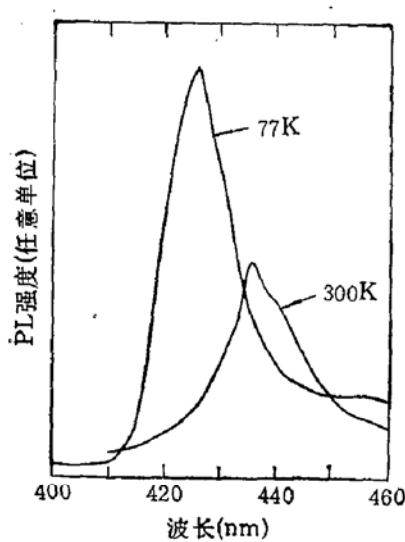


图 3 ZnSe-ZnS (20 Å, 20 Å) SLS 的 PL 谱随温度的依赖关系

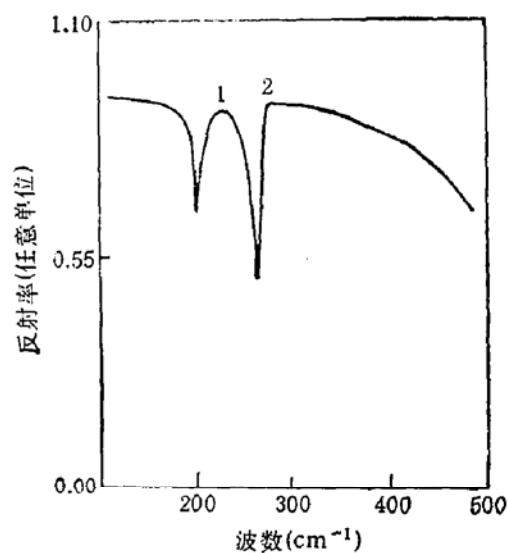


图 4 典型的 ZnSe-ZnS SLS 的远红外反射谱
1. ZnSe TO 模 2. ZnS TO 模

虑了应力效应^[10]。我们还发现发光峰的半宽随阱宽的减小而增大,如图 2(b) 所示,这可能是由于势阱的尺寸涨落所致^[11]。图 3 给出两个不同温度下的光荧光谱。我们分别在液氮 (77 K) 和室温 (300 K) 下测量了 ZnSe-ZnS (20 Å, 20 Å) 超晶格的光荧光谱,发现随着温度的增加,发光峰向低能方向移动,同时其半宽增加。

图 4 是 ZnSe-ZnS (10 Å, 10 Å) 超晶格的远红外反射谱。超晶格周期数为 100, ZnSe 缓冲层厚 0.2 μm, 反射率在 200—300 cm⁻¹ 之间出现两个峰, 分别在 210 cm⁻¹ 和 270 cm⁻¹ 附近, 对应 ZnSe、ZnS 材料的横光学声子模 (TO 模)。这种应变层超晶格中的各个 TO 模相对于体材料相应的 TO 声子频率有所移动, 并且随结构参数变化, 说明各层中都有非均匀应力存在, 这些应力改变了声子频率^[12]。图 5 为对远红外反射谱拟合所得曲线。由计算机拟合所得几个 ZnSe、ZnS 声子参数示于表 1。

表 1 ZnSe-ZnS 应变层超晶格声子参数。 ϵ_∞ , s , r , ω_{TO} 分别是高频介电常数、模振荡强度、模衰减系数、TO 声子频率

层	ϵ_∞	ω_{TO} (cm ⁻¹)	s	r	d
ZnS	5.1	270.1	4.05	8.9	10 Å
ZnSe	5.8	214.6	6.1	25.0	10 Å
ZnSe 缓冲层	6.0	210.5	1.8	27.0	0.2 μ
GaAs 衬底	11.5	268.2	5.9	0.46	

图 6 为 ZnSe-ZnS (29 Å, 26 Å) 超晶格的喇曼谱。在 10—90 cm⁻¹ 区域观察到三级双峰 (LA 折叠模), 分别位于 22 cm⁻¹, 44 cm⁻¹ 及 67 cm⁻¹, 双峰间隔约 5 cm⁻¹。图内右上方所示为根据体材料色散曲线按超晶格布里渊区折叠得到的超晶格 LA 声子折叠模的色散曲线。* 为实验值。实验值与理论值的偏离可能源于理论曲线未考虑应力效应。我们知道, 在 ZnSe-ZnS 超晶格内, 沿着垂直于生长界面的 [100] 方向 ZnSe 层产生

拉伸应变, ZnS 层产生压缩应变。因此 ZnSe 的色散曲线上移而 ZnS 的色散曲线下移, 在高波数区不再重迭。应力效应使得峰宽加宽, 同时双峰的间隔增大。

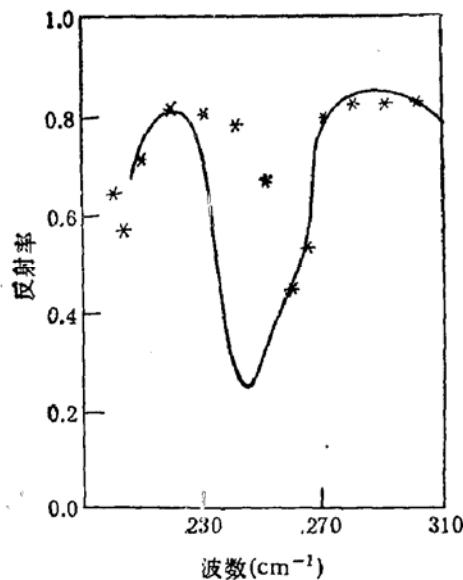


图 5 ZnSe-ZnS SLS 远红外反射率拟合曲线
*实验值 ——计算值

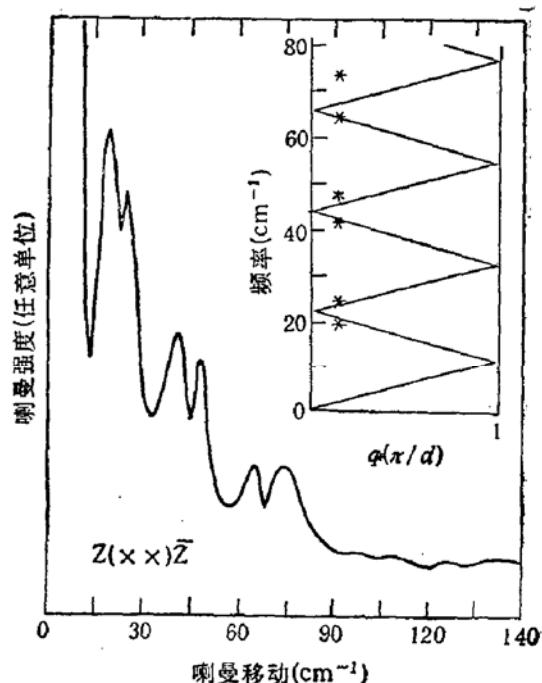


图 6 低频区 ZnSe-ZnS SLS 的喇曼谱

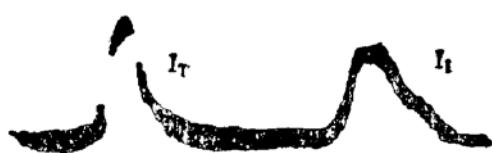


图 7 ZnSe-ZnS 多量子阱标准具的脉冲压缩波形

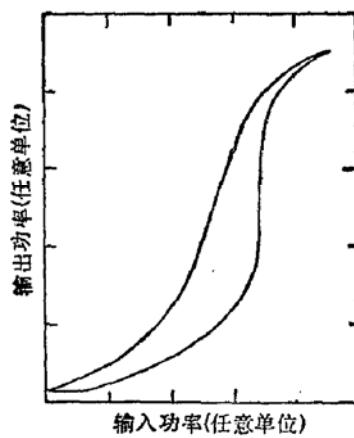


图 8 ZnSe-ZnS 多量子阱标准具的双稳回线

图 7 为 YAG 三倍频光脉冲透过 ZnSe-ZnS 多量子阱 F-P 标准具前后的波形图。可以看出, ZnSe-ZnS 多量子阱标准具具有明显的脉冲压缩效应。当入射光脉冲脉宽为 12 ns 时, 透射脉冲的脉宽约为 6 ns, 几乎被压缩一半。根据入射及透射脉冲波形, 我们得到了 ZnSe-ZnS 多量子阱标准具的双稳回线, 如图 8 所示。该器件具有良好的光学双稳定性, 其开关强度约 $0.1 \text{ W}/\mu\text{m}^2$, 开关时间约 10 ns。

四、结 论

ZnSe-ZnS 应变层超晶格及量子阱材料是制作可见光波段光电器件很有潜力的材料。我们采用分子束外延技术成功地生长了该材料。对材料进行了光荧光谱、远红外反射谱及喇曼光谱等测试分析,发现该材料具有良好的光学特性,并首次在室温下测量到该材料的三级纵声学声子折叠模,我们还首次观测到 ZnSe-ZnS 多量子阱标准具明显的脉冲压缩效应。

参 考 文 献

- [1] H. Kuwabara, H. Fujiyasu, H. Shimizu, A. Sasaki and S. Yamada, *J. Crystal Growth*, 72, 299(1985).
- [2] S. Fujita, Y. Matsuda and A. Sasaki, *Appl. Phys. Lett.*, 47, 955(1985).
- [3] T. Yokogawa, M. Ogura and T. Kajiwara, *Appl. Phys. Lett.*, 49, 1702(1986).
- [4] A. Taike, N. Teraguchi, M. Konagai and K. Takahashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 26, L989(1987).
- [5] T. Yao, Y. Makita and S. Maekawa, *Appl. Phys. Lett.*, 35, 97(1979).
- [6] K. Yoneda, Y. Hishida, T. Toda, H. Ishii and T. Niina, *Appl. Phys. Lett.*, 45, 1300(1984).
- [7] B. G. Benz II, P. C. Huang, S. R. Stock and C. J. Summers, *J. Crystal Growth*, 86, 303(1988).
- [8] H. M. Gibbs, *Optical Bistability* (Academic, London, 1985), pp4-11.
- [9] H. Wang, L. Xu, A. Shen, Y. Chen, J. Cui, P. Qiu, Q. Li, D. Zhuang, C. Zhang, S. Yang and W. Wang, *J. Appl. Phys.*, 68, 4338(1990).
- [10] H. Fujiyasu and K. Mochizuki, *J. Appl. Phys.*, 57, 2960(1985).
- [11] L. Goldstein, Y. Horikoshi, S. Tarucha and H. Okamoto, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 22, 1489(1983).
- [12] S. Nakashima and Y. Nakakura, *Appl. Phys. Lett.*, 48, 236(1986).

Optical Properties of ZnSe-ZnS Strained-Layer Superlattices

Wang Hailong, Cui Jie, Shen Aidong, Chen Yunliang,

Xu Liang and Shen Yuhua

(Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica, P.O.Box 800—216, Shanghai 201800)

Abstract

ZnSe-ZnS strained-layer superlattices (SLS_n) were grown by molecular beam epitaxy. Photoluminescence, far-infrared reflectivity and Raman spectra were measured to evaluate the optical properties of the SLS_n. Pulse compression effect was also observed for a ZnSeZnS multiple quantum well etalon.

PACC: 6865, 7865, 7280E