

ZnCdSe-ZnSe 组合超晶格的受激发射

于广辉, 范希武, 郑著宏, 关郑平, 张吉英, 申德振

(中国科学院激发态物理开放研究实验室, 吉林 长春 130021; 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 77K 下首次观测到了来自 ZnCdSe-ZnSe 组合超晶格的受激发射过程。在组合超晶格中由于载流子转移过程的存在, 受激发射出现在具有宽阱的超晶格中。

关键词: MOCVD; ZnCdSe-ZnSe 组合超晶格; 受激发射

中图分类号: O472 文献标识码: A 文章编号: 1000-7032(2000)04-0334-04

1 引 言

近年来, 随着材料生长技术的发展, 人们对于 ZnCdSe-ZnSe 超晶格和量子阱的研究不断深入。但以前的工作大部分都集中在研究单一超晶格和量子阱的情况, 由于在组合量子阱和超晶格中存在更多的能级, 因此合理设计的超晶格和量子阱对于实现多波段显示, 多波段电光调制及光探测具有重要的意义^[1~3]。至今为止, 对于组合超晶格结构的受激发射过程研究还未见报道。

本文主要研究了 ZnCdSe-ZnSe 组合超晶格结构中的受激发射过程。通过对 ZnCdSe-ZnSe 组合超晶格的发光光谱的测量, 讨论了激子转移过程及温度等对受激发射过程的影响。

2 实 验

实验中采用了 MOCVD 生长的 ZnCdSe-ZnSe 组合超晶格样品。样品# 3032 中共包括两组超晶格, 中间由厚为 50nm 的 ZnSe 隔离层隔开, 靠近 GaAs 衬底的超晶格称为 SL1, 而靠近 ZnSe 盖层的超晶格称为 SL2, 每组超晶格包括 20 周期, 缓冲层厚 1.2 μm, 盖层厚 150nm, SL1 中的 Cd 组份为 10%, 阱宽 5nm, 垒宽 6nm, SL2 中的 Cd 组份为 7%, 阱宽 3nm, 垒宽 6nm。光谱测试系统是配有 RCA-C31034 光电倍增管的 SPEX1404 双光栅光谱仪, 光荧光谱由 UV-24 型氮分子脉冲激光器的 337.1nm 谱线激发获得。

3 结果与分析

在 77K 下采用氮分子激光器 337.1nm 谱线激发样品# 3032 时, 我们发现它的光谱特性与以前的不同。该样品被解理成宽度为 2mm 的波导型结构。测量时激发光采用斜入射的方式。发光光谱见图 1。可以看到, 随着激发密度的增加, 在光致发光(PL)光谱低能侧出现了一个新的发光峰 L, 进一步增加激发光的强度, 该发光峰强度迅速增强。

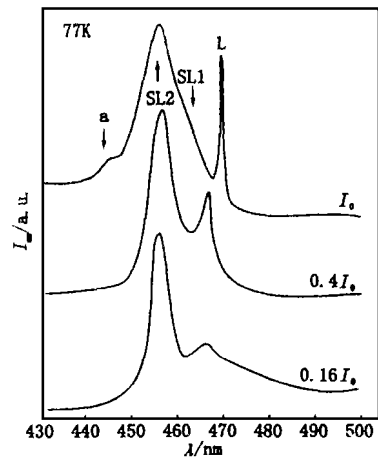


图 1 77K 不同激发密度下, 样品# 3032 的表面发光光谱 $I_0 = 300 \text{ kW/cm}^2$

Fig. 1 Surface emission spectra of the sample # 3032 under different excitation at 77K ($I_0 = 300 \text{ kW/cm}^2$).

在图 1 的光谱中, 共包括四个发光谱带 a, SL1、SL2 和 L, 根据以前的报道^[4], a 峰是 ZnSe

收稿日期: 2000-09-26

基金项目: 国家攀登计划, 国家自然科学基金重大基金(No. 69896260), 国家自然科学基金, 863 高技术项目和中国科学院激发态物理开放实验室资助

作者简介: 于广辉(1972-), 男, 吉林德惠人, 1999 年在中科院长春物理所获理学博士学位。

势垒层的发光, SL1 和 SL2 分别为来自两组超晶格的发光, L 峰就是新出现的发光谱带。由于 L 发光峰是在高密度激发的情况下才出现的, 并且它的半宽很窄, 随激发密度的增加发射强度迅速增加, 可以认为该发光峰是由受激发射引起的。采用激发光垂直样品表面入射的方式, 从端面收集得到的光谱见图 2。图中可以清晰的看到来自两组超晶格的发光, 随激发密度的增加, 受激发射出现了一定的红移。这个红移可能与高激子浓度时激子之间的非弹性散射过程有关, 文献[5, 6] 也报道了类似的结果。

图 3 为 ZnCdSe-ZnSe 组合超晶格的增益光谱。测量时激发条宽为 1mm, 长度为 1.3mm, 激发功率为 1MW/cm²。这个半对数图中的线性部分表明, L 发光峰的强度随激发条长呈指数增加,

这就给出了该峰是受激发射峰的直接证明。根据净增益的计算公式^[7]:

$$I = I_s [\exp(gl) - 1] / g$$

式中 g 为增益系数, l 为激发条长, I_s 为激发区域单位体积发光强度。当 $gl > 1$ 时, $I \approx \exp(gl)$, 由图 3 直线部分可以得到增益 g 为 72cm⁻¹。在长激发条的情况下, 由于出现了增益饱和的过程, 因此当激发条长超过 0.9mm 时, 曲线逐渐出现了偏离直线的趋势。

不同温度下, 受激发射峰的强度和波长的变化见图 4。由图可见, 受激发射的强度受温度的影响很大, 在 80~ 180K 的范围内, 发光强度迅速下降(达到三个数量级), 这与文献[8] 中的结果一致。在温度接近 200 K 时, 非均匀线形展宽模型^[9]不再适用, 激子与 LO 声子之间的作用增强, 因此发光强度迅速减弱。随着温度的升高, 发光峰的位置产生红移。

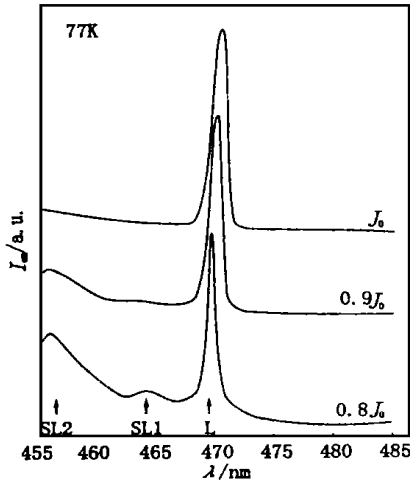


图 2 77K 不同激发密度下# 3032 样品端面收集得到的光谱。J₀= 200kW/cm²
Fig. 2 Edge emission spectra of the sample # 3032 under different excitation at 77K (I₀= 300kW/cm²).

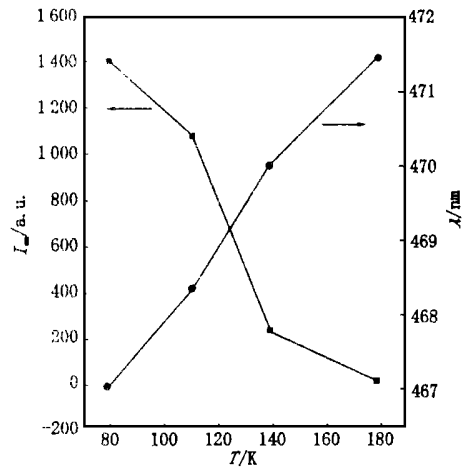


图 4 不同温度下受激发射的强度和波长
Fig. 4 Dependence of emission intensity and emission wavelength on temperature.

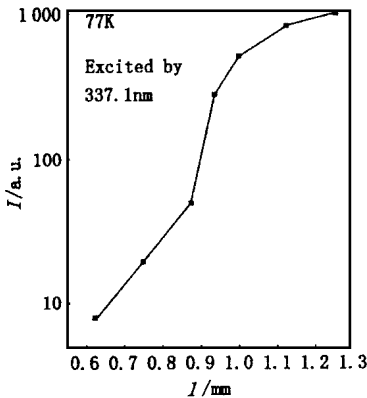


图 3 不同激发条长下的发光强度曲线
Fig. 3 Dependence of edge emission from the sample # 3032 on strip length of excitation at 77K.

一般来讲, 可能的受激发射的原因有很多, 如自由载流子复合, 激子复合等, Cingolani^[10] 等曾提出了自洽模型对受激发射过程进行了解释。他们认为在稳态激发的条件下, 阱中自由电子空穴对和激子同时存在, 一般的情况下, 在浅阱中, 自由载流子的复合占主要成分, 而在深阱中, 激子的复合是受激发射的主要原因。通过对不同样品的时间分辨光谱和磁场下光荧光谱、泵浦-探测非线性透射光谱等光谱特性的测量可对受激发射的机理进行深入的研究。根据我们现有的实验结果, 还不能够说明受激发射的起因。但是可以看到, 由于载流子转移过程的存在^[1, 4], 使得具有宽阱的超晶格中更容

易出现受激发射过程。从这个意义上说,具有窄阱的超晶格起到了一个载流子注入层的作用,对于降低激光器的阈值功率会起到一定的作用。

4 结 论

77K 下首次观测了来自 ZnCdSe-ZnSe 组合超

晶格的受激发射过程。由于载流子转移过程的存在,受激发射出现在具有宽阱的超晶格中。采用变激发条长法得到增益系数为 72cm^{-1} 。在 200 左右,由于激子与 LO 声子之间的作用增强,受激发射峰的强度迅速减弱。

参 考 文 献:

- [1] Guan Z P, Kuang G K, Griehl E, *et al.* Electro-optical modulation in the blue-green spectral range using a ZnSe-Zn_{0.25}Cd_{0.75}Se double superlattice at room temperature [J]. *Phys. Rev. B*, 1997, **56**(15):9589-9593.
- [2] Guan Z P, Ullrich B, Zheng Q B, *et al.* ZnSe-Zn_{0.78}Cd_{0.22}Se multisuperlattice structure for effective optical pumping and multicolor emission [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1996, **35**(11B):L1486-1489.
- [3] Guan Z P, Kuang G K, Griebel, *et al.* Localized excitonic transitions in a ZnSe-Zn_{0.75}Cd_{0.25}Se double superlattice grown by molecular beam epitaxy [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **72**(14):1688-1690.
- [4] Yu Guanghui, Fan X W, Guan Z P, *et al.* Subband transitions in ZnCdSe-ZnSe compound superlattices at room temperature [J]. *Chin. J. Lumin.*, 1998, **9**(3):207-211(in Chinese).
- [5] Kawakami Y, Hauksson I, Stewart H, *et al.* Exciton-related lasing mechanism in ZnSe-ZnCdSe multiple quantum wells [J]. *Phys. Rev.*, 1993, **48**(16):11994-12000.
- [6] Newbury P R, Shahzad K, Cammack D A. Stimulated emission via inelastic exciton-exciton scattering in ZnSe epilayers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(10):1065-1067.
- [7] Shaklee K L, Leheny R F, Nabory R E. Stimulated emission from the excitonic molecules in CuCl [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1971, **26**:888-891.
- [8] Ding J, Jeon H, Ishihara T, *et al.* Excitonic gain and laser emission in ZnSe-based quantum wells [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1992, **69**(11):1707-1710.
- [9] Tomasiunas R, Pelant Y, Guennani D, *et al.* Gain of optically excited ZnCdSe-ZnSe quantum wells [J]. *Solid State Communications*, 1996, **97**(3):187-192.
- [10] Cingolani R, Calcagnile L, Coli G, *et al.* Radiative recombination processes in wide-band-gap - quantum wells: the interplay between excitons and free carriers [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1996, **13**(6):1268-1277.

Stimulated Emission in ZnCdSe-ZnSe Compound Superlattices

YU Guang-hui, FAN X W, ZHENG Zhu-hong, GUAN Zhen-ping,

ZHANG Ji-ying, SHEN De-zhen

(Laboratory of Excited State Processes, Chinese Academy of Sciences,

Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

Abstract: - compound semiconductor materials, in particular ZnCdSe-ZnSe superlattices have been extensively studied in the past several years due to their potential applications in blue and blue-green laser diode (LD). ZnSe-based LD generally use a single quantum well or multiple quantum wells structure as an active layer where light is emitted. In this paper the stimulated emission is studied in a special kind of superlattice structure - ZnCdSe-ZnSe compound superlattices, in order to try a new structure for the LD's active layer. The sample used here was grown by a low pressure MOCVD on GaAs(100) substrate. The ZnCdSe-ZnSe compound superlattices have two groups of superlattices SL1 and SL2 with different Cd compositions which separated by a 50nm ZnSe isolating layer. The double superlattices are embedded in an 1.2 μm ZnSe buffer layer and an 150nm ZnSe cap layer. The superlattice SL1 with Cd composition 10%

near the buffer layer have 20 periods, well width 5nm and barrier width 6nm, and the superlattice SL2 with Cd composition 7% have 20 periods, well width 3nm, and barrier width 6nm. Photo luminescence and photopumped stimulated emission spectra were excited by the 337.1nm line of a UV-24 N₂ laser working at 10Hz, and the signals were measured at 77K using a SPEX1404 double grating monochromator with a RCA-C31034 cooled photomultiplier. The samples used in the stimulated emission measurement were cleaved in approximately 2mm wide resonators and the Fabry-Perot cavities were formed by the natural facets of the sample bars. Fig. 1 and Fig. 2 show the emission spectra from the surface emission and the edge emission of the samples, respectively. There are four bands a, SL1, SL2 and L in Fig. 1 and Fig. 2. The band L increased rapidly with increasing the excitation intensity. We can attribute the bands a, SL1 and SL2 to spontaneous emission from ZnSe barrier and superlattices, respectively. We can also attribute the band L to stimulated emission from superlattice SL1. Due to the carrier transfer between the double superlattices, the stimulated emission mainly appeared in the superlattice with wide well. The gain spectrum was shown in Fig. 3. According to the dependence of the stimulated emission intensity from the cleaved edge on the strip length of excitation, the magnitude of the optical gain is found to be about 72cm^{-1} .

Key words: MOCVD; ZnCdSe-ZnSe compound superlattices; stimulated emission