

I 类- II 类混合 GaAs/AlAs 量子阱中 自由载流子散射导致的激子展宽

刘 伟 罗克俭 江德生 张耀辉 杨小平

(半导体超晶格国家重点实验室 中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 我们在 I 类- II 类混合 GaAs/AlAs 非对称量子阱结构的样品上,在较低的激发光强下在宽阱中获得了较高密度的光生电子积累.利用光致发光方法详细地研究了自由载流子散射对激子展宽的贡献,发现低温下随着载流子密度的增加,载流子散射导致的激子展宽随之增加,在一定激发光强下光荧光谱上出现 77K 激子线宽大于室温激子线宽的现象.我们根据载流子对激子态的散射理论进行了计算,发现实验结果和理论预言符合得很好.

PACC: 7865, 7820J, 7340L

1 引言

激子线宽是激子光谱的一个重要特征.目前已有大量关于光学声子、声学声子散射,合金组分涨落以及界面无序散射等机制对激子线宽的贡献的理论和实验研究报道^[1-8].与之相比,自由载流子散射对激子展宽的贡献的研究要少得多.据我们所知,目前只有一些理论工作报告^[9-13],而并没有相应的实验结果报道.

我们设计并生长了一种 I 类- II 类混合 GaAs/AlAs 非对称的双势阱结构,如图 1 所示,窄阱相对势垒构成 II 类量子阱,而宽阱相对势垒则构成 I 类量子阱.在这种结构中,在低温下,在较低功率密度的激发光强下可获得很高密度的空间分离的光生载流子^[14].我们利用这种结构的样品进行了光致发光(PL)测量,比较详细地研究了自由载流子散射对激子展宽的贡献,并用理论计算结果^[13]对实验曲线进行了合理的解释.据我们所知,这是首次关于载流子散射导致的激子线宽展宽的实验结果报道.

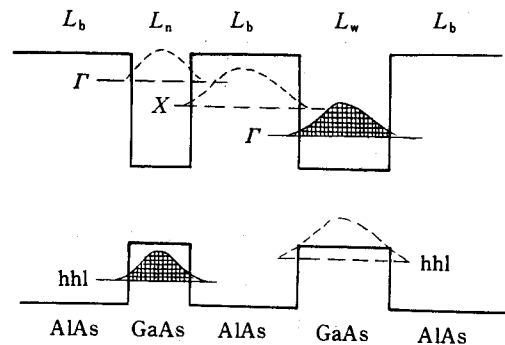


图 1 I 类- II 类混合量子阱结构示意图

刘 伟 男,1968 年生,硕士,主要从事超晶格量子阱物理和光电子性质的研究

江德生 男,1940 年生,研究员,博士生导师,主要从事 III-V 族半导体材料的物理性质、半导体光谱、以及超晶格量子阱物理方面的研究

1994 年 12 月 15 日收到本文

2 实验

实验所用样品是在半绝缘 GaAs 衬底上利用 MBE 方法生长的,其中阱层材料为 GaAs,宽阱厚度为 70 Å,窄阱厚度为 25 Å,垒层材料为 AlAs,厚度为 100 Å,周期为 20.我们对这块样品进行了 77K 和 300K 下不激发光强下的 PL 谱测量.测量中激发光源采用 Ar⁺ 离子激光器的 488nm 谱线.

3 实验结果分析讨论

图 2(a)、(b)是样品用 2.54eV 激光谱线激发分别在 77K、300K 下获得的 PL 谱.图 2(a)中发光峰有两个,分别在 1.610eV、1.625eV 处,其中 1.610eV 处的荧光峰对应宽阱中电

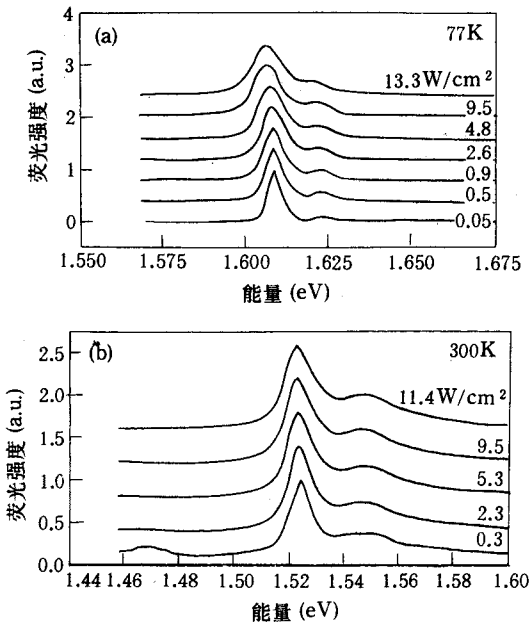


图 2 不同激发强度下样品 77K(a)和 300K(b)PL 谱

子第一子带到重空穴第一子带的激子复合跃迁(11H). 1.625eV 附近的荧光峰的来源与轻空穴激子无关,对其指认不是本文研究的主要问题,我们将在另文深入讨论.

低温下,当激发光子能量大于窄阱中重空穴第一子带和电子第一子带的能量间距时,窄阱中将产生光生载流子,其中光生电子迅速转移到 AlAs 层中的 X 能谷.接着这些电子将继续转移到能量更低的宽阱中的电子第一子带 Γ 态,在宽阱中形成二维电子的积累.而窄阱中产生的空穴没有转移通道,在窄阱中形成二维空穴积累.由于宽阱中积累的平衡电子和窄阱中积累的平衡空穴在空间上分离较远,二者复合几率很小,寿命很长,可达几个微秒的量级,这样,在光激发强度较低时就可宽阱和窄阱中分别产生较高密度的电子和空穴积累.

由图 2(a)可见,随着激发光强的增加,

11H 峰的半高宽 FWHM 逐渐增大.图 3 中实心方块所示是 77K 下 11H 荧光峰半高宽随激发强度增加而展宽的变化曲线.

由前述可知,激发光强增加会导致宽阱中积累较高密度的电子.光生电子密度增加导致激子发光峰展宽可能是基于两种物理机制,一种态填充效应,另一种是载流子对激子态的散射增强.在带间跃迁不需满足动量守恒或者电子、空穴浓度均较大时,态填充引起的展宽特别明显^[15],并且发光峰线型应具有二维态密度的台阶形特征.由图 2 可见,PL 谱中 11H 峰的线

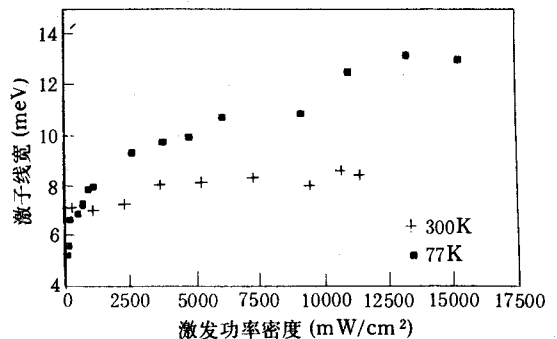


图 3 77K 和 300K PL 谱中 11H 峰线宽随激发强度变化关系

型基本上类似高斯型或洛仑兹线型,而不是二维态密度的台阶型线型,而且我们的样品并未在阱中有意掺杂,电子、空穴复合发光过程中动量应该守恒.而宽阱中平衡空穴浓度很小,导带态填充效应不会导致发光谱线的明显展宽.

我们再考虑载流子密度增加导致载流子对激子态散射增强这种展宽机制.我们采用文献[13]所述的方法对载流子散射导致的激子线宽展宽进行了理论计算.激子线宽直接与载流子对激子的散射截面相关:

$$\text{FWHM} = \frac{4h^2}{\pi \cdot M} \int_0^{\infty} dk k^2 Q f\{[m + m_e + m_h]/(m_e + m_h)]k\}$$

这里 M 是激子-自由载流子系统的约化质量, m 是自由载流子的质量, m_e 和 m_h 分别是电子和空穴的有效质量, f 是费米-狄喇克分布函数, Q 是二维电子对激子态的散射截面^[16]. 计算结果见图 4 中的实线. 计算表明,随着电子密度的增加,电子散射引起的激子线宽展宽也随之增加,增加的值与实验上光激发所预期之值非常接近. 因此我们认为 77K PL 谱中 11H 激子峰随激发光强增加而展宽是由于光生载流子密度增加导致的电子对激子态的散射增强引起的.

我们还对同一块样品进行了 300K 的 PL 谱测量,测量结果见图 2(b)所示. 300K 下重空穴激子峰的线宽随激发强度增加而发生变化,见图 3 十字叉线所示. 随着激发光强的增加,重空穴激子峰线宽几乎没有展宽. 在低激发强度下,300K PL 谱线宽比 77K PL 谱线宽要宽. 但在激发强度较强时,300K 下线宽比 77K 下线宽反而更窄. 这表明 300K 下,载流子散射很弱. 这个结果是合理的. 与低温下不同,300K 下窄阱中空穴的热离子发射机制起显著作用,窄阱中的光生空穴也将很快转移到宽阱中,与电子复合,因此平衡载流子密度始终很小. 300K 下激子峰半宽比 77K 下激子峰半宽更窄这一事实,进一步证明在 77K 的低温实验中,决定激子发光线宽是载流子散射效应.

4 结论

我们在 I 类-II 类混合量子阱结构中,实现了较低激发光强下在宽阱中获得较高载流子密度,在低温 PL 谱中观察到重空穴激子峰随激发光强增加而展宽的现象,我们证明这归因于自由载流子(电子)对激子态的散射导致的激子展宽. 据我们所知这是首次关于载流子散射导致的激子展宽的实验结果的报道.

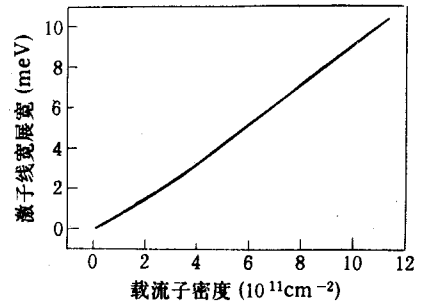


图 4 载流子散射导致激子线宽展宽随载流子密度变化曲线

参 考 文 献

- [1] H. N. Spector, J. Lee and P. Melman, Phys. Rev., 1986, **B34**:2554.
- [2] J. Lee, E. S. Loteles and M. O. Vassell, Phys. Rev., 1986, **B33**:5512.
- [3] J. Singh and K. K. Bajaj, Appl. Phys. Lett., 1984, **44**:1075.

- [4] D. A. B. Miller, D. S. Chemla, D. J. Eilenberger, P. W. Smith, A. C. Gossard and W. T. Tsang, *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**:679.
- [5] D. S. Chemla, D. A. B. Miller, P. W. Smith, A. C. Gossard and W. Wiegmann, *IEEE J. Quantum. Electron.*, 1984, **QE-20**:265.
- [6] D. C. Reynolds, K. K. Bajaj and C. W. Litton, *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46**:51.
- [7] P. S. Jung, J. M. Jacob, J. J. Song, Y. C. Chang and C. W. Tu, *Phys. Rev.*, 1989, **B40**:6454.
- [8] C. Weisbuch, R. Dingle, A. C. Gossard and W. Wiegmann, *Solid State Commun.*, 1981, **30**:709.
- [9] K. Hess, *Appl. Phys. Lett.*, 1979, **35**:484.
- [10] P. J. Price, *Surf. Sci.*, 1982, **113**:199.
- [11] V. K. Arora and F. G. Awad, *Phys. Rev.*, 1981, **B23**:5570.
- [12] R. K. Ridley, *J. Phys.*, 1982, **C15**:5899.
- [13] Y. Feng and H. N. Spector, *Superlattices. Microstruct.*, 1987, **3**:459.
- [14] I. Galbraith, P. Dawson and C. F. Foxon, *Phys. Rev.*, 1992, **B45**:13499.
- [15] Y. H. Zhang and K. Ploog, *Phys. Rev.*, 1992, **B45**:14069.
- [16] Y. Feng and H. N. Spector, *J. Phys. Chem. Solids.*, 1987, **48**:593.

Broadening of Excitonic Linewidth due to Scattering of Free Carriers in Type- I -Type- II Mixed Quantum Wells

Liu Wei, Luo Kejian, Jiang Desheng, Zhang Yiaohui and Yang Xiaoping

*(National Laboratory for Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)*

Received 15 December 1994

Abstract We have investigated the contribution of free carriers scattering to excitonic linewidth by low-temperature Photoluminescence on a type- I -type- II mixed quantum wells structure. We found that when a high density of free carriers (electrons) is present, the scattering of excitons by electrons becomes very important. The scattering-induced broadening of excitation linewidth is found to increase with electron concentration and to extremely broaden the exciton peak at high carrier concentrations and even make the excitonic linewidth of 77K PL spectra larger than that of 300K PL spectra. These results can be reasonably explained by our theoretical calculations.

PACC: 7865, 7820J, 7340L