

# 低温下分子束外延生长 GaAs 的光致发光研究

江德生 吕振东 崔丽秋 周向前 孙宝权 徐仲英

(中国科学院半导体研究所超晶格国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要** 研究了低温下分子束外延生长 GaAs(LTG-GaAs) 样品的稳态和瞬态发光. 从 200 生长的样品中可测到很弱但清晰可辨的稳态发光峰, 峰的能量位置相对于体 GaAs 激子峰有一定蓝移. 此外, 发现在体 GaAs 上生长 LTG-GaAs 薄膜可大大减小体 GaAs 衬底材料中本征发光的衰减时间, 但对(e, A) 发光影响不大. 用上转换方法对退火和未退火 LTG-GaAs 样品瞬态发光进行了测量, 获得了关于 LTG-GaAs 中复合中心和陷阱中心的信息.

**关键词** 光致发光, 砷化镓, 分子束外延, 瞬态测量

## 1 引 言

低温下分子束外延生长 GaAs(LTG-GaAs) 是高度富砷的单晶(富砷量高达1% ~ 1.5%), 样品退火后, 过量砷析出形成砷沉淀物颗粒. 可以得到迁移率高, 载流子复合寿命短, 性能稳定的半绝缘薄膜, 在光电子和微电子领域具有重大应用价值<sup>[1]</sup>. 稳态和瞬态发光研究对固体材料的电子态和物理过程能提供大量信息. 但一般来说, LTG-GaAs 材料的稳态光致发光很弱<sup>[2]</sup>, 并且不易跟来自衬底 GaAs 的发光信号区分. 研究 LTG-GaAs 样品的稳态和瞬态发光. 在稳态激发下, 测到了清晰的低温发光峰, 确认其相对于体 GaAs 激子峰的蓝移. 用上转换方法对退火和未退火 LTG-GaAs 样品瞬态发光进行了测量, 获得了关于 LTG-GaAs 退火前后载流子复合中心和陷阱中心的信息.

## 2 实验样品

所研究的 LTG-GaAs 样品是用分子束外延方法生长在(100)半绝缘 GaAs 衬底上, 衬底温度为200. 样品 M1 厚度为400纳米, 在生长后在原位于615 砷富气氛下热退火15分钟. 另外三块200 生长的分子束外延 LTG-GaAs 薄膜样品 A1, A1-800, A1-1000, 其外延层厚度均为1微米, 分别是未退火样品, 800 快速热退火30秒样品, 和1000 快速热退火30秒样品. 样品的 X 光双晶衍射和透射电子显微镜测量表明, 退火后 LTG-GaAs 薄膜中过量砷以沉淀物形式析出, 晶格常数恢复到接近于与体 GaAs 之值.

## 3 结果和讨论

对样品 M1 进行了11K 下的稳态光致发光光谱测量. 氩离子激光激发波长为514.5nm, 激发功率密度约为30W/cm<sup>2</sup>. 分别测量了 LTG-GaAs 样品和无外延薄膜的衬底 GaAs 的发光, 如图1所示. 从两者对比可以看出, LTG-GaAs 样品的发光光谱中在1.533eV 处多出一个弱峰. 其峰值位置比体 GaAs 自由激子峰能量还高. 显然, 这个峰

来自 LTG-GaAs 层. Zhou 等人报道了 LTG-GaAs 在准稳态激发下的发光<sup>[3,4]</sup>. 他们所用激发功率密度比我们高两个数量级以上, 所测发光峰的半高宽很大, 并有较长的高能尾. 他们把展宽归因于强载流子-载流子散射导致的载流子近麦克斯维尔分布. 我们采用的激发光强较小, LTG-GaAs 发光峰很窄, 因而可准确定出峰值能量位置. 已知在退火的 LTG-GaAs 中, As 沉淀物和 GaAs 之间形成肖特基势垒, 在 GaAs 中可能产生相当强的局部电场<sup>[5]</sup>. 电场的存在一般引起 GaAs 本征发光峰的红移. 但我们测量得到的峰值能量比体 GaAs 的禁带宽度还大, 发光峰出现蓝移, 说明在样品中肯定存在使发光峰蓝移的机制. 我们认为蓝移是因为 LTG-GaAs 层退火处理不够充分, 其晶格常数仍比 GaAs 衬底的稍大, 因而使外延层受到压应力分量作用, 使本征能隙增大所致. 必须指出, 不同 LTG-GaAs 样品的载流子复合时间、发光效率等性能可能有相当大的差别, 取决于生长和退火条件<sup>[4]</sup>. 发光测量的结果为选取材料的处理工艺提供了依据.

图1样品 M1 及其衬底的两个光谱中, 位于 1.518eV 和 1.49eV 处有两个发光峰, 指认是分别来自衬底(体 GaAs)的激子发光和导带电子与受主中心间的复合发光, 即( $e, A \uparrow$ )发光. 这两个峰的相对强度与激发强度有关. 图2小插图画出了样品用掺 Ti 蓝宝石激光器的、波长为750纳米的两个不同光强激发的光致发光光谱, 测量温度为11K. 可以看到, 在低激发时(见图), 在 1.535eV 处同样可测到来自 LTG-GaAs 的发光峰. 而来自衬底体 GaAs 的两个发光峰则相对较强. 与750nm 波长激发时光的透入深度较大有关. 当激发强度增大一个数量级时, 体 GaAs 的 1.518eV 激子发光随激发光强增大迅速, 变得比 1.49eV 处的( $e, A \uparrow$ )发光峰更强(见上图). 这是合理的, 因为杂质中心浓度有限, 其随激发强度的增大在光强较大时趋向饱和, 相对强度减小. 用自相关技术(粒子数混合法)测量了 1.518eV 的激子峰的瞬态发光光谱, 结果如图2所示. 激发光源是掺 Ti 蓝宝石激光器750纳米的脉冲光. 图中横坐标是用不同频率斩波的两束脉冲激发光(由同一束光分光所得)之间的时间弛豫(ps), 纵坐标是经锁相放大得到的样品发光光强. 由此曲线可算出激子发光的衰减时间约为 32ps, 远小于体 GaAs 激子发光的寿命(纳秒量级). 相比之下, 来自衬底 GaAs 的( $e, A \uparrow$ )发光寿命仍很长, 与体 GaAs 相差不大. 表明, LTG-GaAs 外延层的存在, 为其下面的体 GaAs 中的载流子提供了复合渠道, 使激子发光寿命大大减小, 对定域性较强的杂质中心的发光寿命影响则较小. 因而, 在体 GaAs 上生长 LTG-GaAs 外延薄膜可以控制体 GaAs 衬底材料中本征发光的寿命, 使超快速光电器件的发光光强和快速效应两种性质得到兼顾.

对 LTG-GaAs 样品 A1 在退火前后的带间瞬态发光进行了研究. 测量是在室温下用上转换方法进行的<sup>[3]</sup>. 激发光采用掺 Ti 蓝宝石的脉冲激光, 脉宽 80fs, 重复频率为 82MHz, 光子能量为 1.64eV. 样品在  $E = 1.43\text{eV}$  处的发光与 1.64eV 的激发光脉冲经非

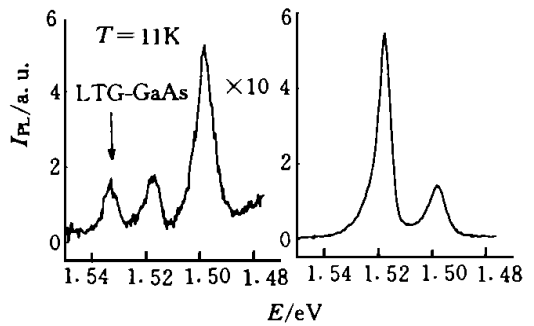
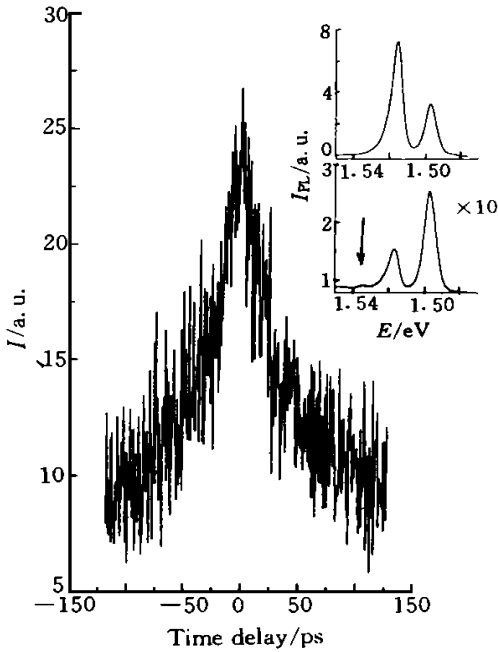


图1 样品 M1(左)及 GaAs 衬底(右)的光致发光光谱

Fig. 1 PL emission spectra of sample M1 (L) and GaAs substrate (R).



右上方插图为不同激发强度下测得的准稳态发光谱  
图2 样品 M1 中 1.52eV 发光峰的自相关信号

Fig. 2 Auto-correlation signal of 1.52eV emission peak for sample M1.

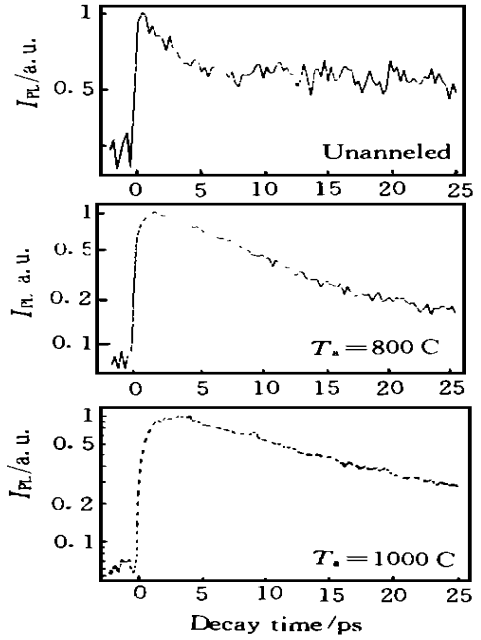


图3 退火和未退火 LTG-GaAs 样品的带边瞬态发光

Fig. 3 Band transient luminescence of LTG-GaAs sample without and after annealing x.

线性晶体混频后所得和频信号的强度随时间发生变化, 结果如图3所示. 样品 A1, A1-800, A1-1000的发光衰减时间分别为8.5ps, 9.3ps 和16.9ps. LTG-GaAs 带边附近的发光衰减主要是由于载流子浓度的衰减所引起的. 在假定电子和空穴寿命大致相等的情况下<sup>[3]</sup>, 可算得样品载流子寿命分别为17ps, 18.6ps 和33.8ps. 即800 退火后载流子寿命变化不大, 1000 退火后寿命有所增大. 实验证明, 退火后 LTG-GaAs 中过量砷析出, 与过量砷有关的点缺陷浓度有数量级的减小, 因而可以认为, 在未退火样品中载流子的短寿命与点缺陷深中心有关. 但退火后的短寿命则不能简单地用点缺陷深中心的俘获和复合来解释, 这与砷沉淀物界面处的复合也有关<sup>[7]</sup>. 此外, 未退火样品的发光衰减曲线中, 明显出现时间常数较大的拖尾, 在退火后拖尾消失. 这表明未退火 LTG-GaAs 样品中存在相当高浓度的陷阱中心, 可认为它们是与过量砷有关的点缺陷. 在退火后, 点缺陷浓度大量减少, 载流子的陷阱效应减小, 拖尾消失. Marcinkevicius 等利用空间分辨光谱测量结果提出<sup>[6]</sup>, LTG-GaAs 中陷阱俘获时间不受 As 沉淀物的影响. 实验结果与之一致.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Heiliger H M, Vossebuerger M, Roskos H G *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1998, **69**: 2903.  
[ 2 ] Smith F W *et al.*, IEEE Electron Device Lett., 1988, **9**: 77.  
[ 3 ] Zhou X Q, van Driel H M, Rühle W W *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1992, **61**: 3020.  
[ 4 ] van Driel H M, Zhou X Q, Rühle W W *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1992, **60**: 2246.  
[ 5 ] Warren A C *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1990, **57**: 1331.  
[ 6 ] Marcinkevicius S *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1996, **68**: 397.  
[ 7 ] Gupta S *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, **59**: 3276.

## PHOTOLUMINESCENCE STUDY ON MBE LOW TEMPERATURE-GROWN GaAs

Jiang Desheng Lu Zhendong Cui Liqiu Zhou Xiangqian Sun Baoquan Xu Zhongying  
(*National Laboratory for Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*)

### Abstract

The steady-state and transient photoluminescence (PL) of molecular beam epitaxial (MBE) low temperature-grown (LTG) GaAs samples are investigated. A weak but well-distinguished steady-state PL peak is detected from LTG-GaAs. Its peak energy has a blue shift relative to the excitonic PL peak of bulk GaAs. Furthermore, it is confirmed that the decay time of the intrinsic luminescence from bulk GaAs substrate is strongly reduced by the top LTG-GaAs layer, while no essential change occurs for the impurity-related ( $e, A \uparrow$ ) luminescence. The transient PL of LTG-GaAs without and after annealing is measured by using up-conversion technique. The information about recombination and trapping centers are obtained.

**Key words** photoluminescence, GaAs, MBE, transient measurement