

0335-338

# 自组织 InAs/GaAs 岛状结构 生长停顿研究\*

TN304.2

王志明 吕振东 封松林 杨小平 陈宗圭 徐仲英 郑厚植  
(中国科学院半导体研究所, 超晶格微结构国家重点实验室, 北京, 100083)

0471.1

王凤莲 高 旻 韩培德 段晓峰  
(中国科学院北京电子显微镜实验室, 北京, 100080)

**摘要** 报道了自组织生长 InAs/GaAs 岛状结构生长停顿的研究结果. 在完成 InAs 岛生长以后, 引入不同时间的停顿, 然后再淀积 GaAs 盖层, 将导致 InAs 岛光致发光峰蓝移, 发光谱线变宽, 同时发光强度减弱. 透射电子显微镜分析表明在这种结构中出现了失配位错, 在其附近应变得部分弛豫, 成为 InAs 材料的俘获陷阱. 随着停顿时间加长, InAs 岛密度降低, 尺寸变小, 光致发光谱发生相应变化.

**关键词** InAs/GaAs, 量子点, 生长停顿.

自组织 砷化镓/砷化镓

## 引言

载流子在空间三个维度都受到限制的量子点结构受到越来越多的关注. 在 GaAs 衬底上生长 InAs 是一种典型的 Stranski-Krastanov 生长模式, 即当 InAs 覆盖层超过临界厚度时, InAs 由二维平面生长变为三维成岛生长, 其结构由一层浸润层和在它上面分布的岛状结构组成. 这些岛状结构底部横向尺寸几百 Å, 高度为几十 Å 不等, 可以看作是量子点<sup>[1]</sup>. 这种自组织生长的岛状结构具有非常高的发光效率, 但是发光谱线很宽, 这是由于 InAs 岛尺寸分布不均匀引起的. 岛的大小与生长条件密切相关, 现在仍然很难控制. 在 InAs 岛生长完成后停顿一下, 再沉积 GaAs 盖层, 研究光致发光谱(PL)随停顿时间的变化, 可以了解 InAs 材料迁移过程, 有助于控制岛状结构的尺寸. 利用金属有机物气相外延, Carlsson 等人<sup>[2]</sup>生长的 InP 岛状结构发光峰随停顿时间变长而加强, 同时与浸润层相关的发光峰减弱. Heinrichsdorff 等人<sup>[3]</sup>生长的 InGaAs 岛发光峰则随停顿时间变长红移. Gerard 等人<sup>[4]</sup>研究了 MBE 生长的 InAs 岛状结构, 发现其发光峰红移在极短的时间内(≈10s)就达到饱和.

本文研究了覆盖度为 3ML(Monolayer)的 InAs 岛状结构的生长停顿效应. 随着停顿时间加长, InAs 岛发光峰蓝移, 谱线半高宽 FWHM 变大, 同时发光强度减弱. 我们结合透射电子显微镜 TEM 照片给出了合理解释, 这与失配位错的出现密切相关, 失配位错成为 InAs 材料的俘获陷阱.

\* 国家自然科学基金(编号 69576032)和中国科学院重点资助项目  
稿件收到日期 1997-04-11, 修改稿收到日期 1997-05-26

## 1 实验

实验所用样品由 VG 公司 MBE 系统 V80H MK I 生长. GaAs(100)衬底在 MBE 系统中 580℃ 脱氧后,先生长 0.5 $\mu\text{m}$  GaAs 缓冲层,生长温度为 600℃,然后将温度降至 450℃ 淀积 3ML 的 InAs. 此时引入不同时间(0~90s)生长停顿,最后覆盖 20nm 的 GaAs 层. 整个生长过程由高能电子衍射(RHEED)监控. 当 InAs 的覆盖度达到 1.7ML 时,RHEED 衍射图形从线状变为点状,表明 InAs 从二维生长到三维成岛生长的转变厚度约为 1.7ML.

透射电镜测量是在 Philips CM200 FEG 电子显微镜上进行的. 光致发光谱测量采用氩离子激光器作为激发光源,激发光波长是 514.5nm,激发功率约为 4mW,用低温 Ge 探测器测量,测量温度为 12K.

## 2 实验结果及讨论

图 1 是具有不同生长停顿时间的 3ML InAs/GaAs 岛状结构的光致发光谱. 引入生长停顿之后,发光峰变化明显,峰位移向高能端,发光谱线半高宽增大,与此同时强度减弱. 生长停顿 90s 以后,InAs 相关的发光峰消失了. 为了清楚起见,图 2 显示了样品发光峰能量位置和谱线半高宽随停顿时间为 0~20s 的变化.

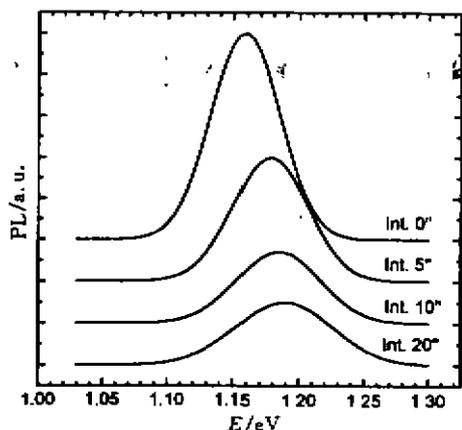


图 1 不同生长停顿时间的 3ML InAs/GaAs 岛状结构的光致发光谱  
Fig. 1 Photoluminescence spectra of 3ML InAs/GaAs islands with different growth interruption time after growth of InAs

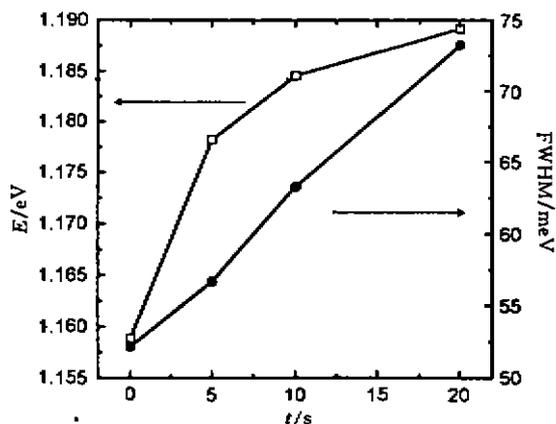


图 2 3ML InAs/GaAs 岛状结构发光峰能量位置和光谱半高宽 FWHM 随生长停顿时间的变化  
Fig. 2 Peak energy and FWHM of 3ML InAs/GaAs islands with different growth interruption time after growth of InAs

我们也研究了 1.7ML 覆盖度的 InAs 岛状结构光致发光谱随停顿时间的变化<sup>[5]</sup>,结果与文献[4]类似:停顿时间越长,发光峰红移越明显.这是由于浸润层中的 InAs 材料在停顿时间内迁移到 InAs 岛中,使岛状结构增大引起的.在不停顿连续生长的情形下,浸润层实际上处于亚稳状态.从 TEM 分析得到的 InAs 岛尺寸一般比用原子力显微镜(AFM)测量结果小很多,研究 InAs 材料在停顿时间内的迁移过程,可以进一步搞清这个问题的根源.

一般的 AFM 测量需要将样品冷却,在这个过程中由于 InAs 材料的迁移,岛状结构迅速增大.自组织生长的 InAs/GaAs 岛状结构是强应变体系,应变的不均匀分布在很大程度上影响了 TEM 的测量精度.把 AFM 形貌测量和 PL 谱随生长停顿时间的变化相结合,将会对自组织岛状结构的形成动力学有进一步的认识,我们正在进行这方面的研究.

在 InAs 覆盖度刚刚超过临界厚度,进行三维成岛生长初期,可以形成嵌有量子岛的无位错材料体系,当 InAs 覆盖度增大到一定程度,在某些岛状结构中或其附近会产生失配位错,使得周围应变得到部分释放,自由能降低.如图 3 TEM 平面像所示,InAs 岛状结构十分清晰,密度约为  $5 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ ,最近邻岛的间距大部分小于 15nm.大部分岛大小比较均匀,底部横向尺寸约 10nm.也出现了一些大的 InAs 岛,上面有莫埃(moire)条纹,表明在 3ML 的 InAs/GaAs 自组织岛状结构中已经出现了失配位错.实验发现<sup>[6]</sup>:进一步淀积 InAs 材料,将主要沉降在位错附近,有位错的 InAs 岛迅速增大,而无位错岛状结构增长缓慢.3ML InAs 生长完成以后引入停顿,InAs 材料将会迁移到位错附近,使应变体系自由能降低.图 3 中位错附近都有一个空白区,没有岛状结构存在,就是由于 InAs 材料迁移引起的,失配位错成为 InAs 的俘获陷阱.随着停顿时间增大,更多的 InAs 材料迁移到位错附近,失配位错增长,导致岛状结构发光峰越来越弱.参与形成无位错岛状结构和浸润层的 InAs 材料越少,量子岛的尺寸也会越来越小.根据简单的量子限制效应,岛状结构发光峰将会蓝移.由于位错出现,某些区域没有 InAs 岛存在,意味着岛状结构分布更加不均匀,不均匀程度会随停顿时间增大变得更明显.岛状结构分布不均匀会使光致发光谱半高宽增大<sup>[5]</sup>.有必要指出的是,谱线半高宽随停顿时间的变化可能还与 InAs 岛之间通过浸润层发生的材料迁移和岛状结构的融合有关,这个问题有待于进一步研究.

### 3 结论

在 GaAs(100)衬底上自组织生长的 3ML InAs 岛状结构中出现了失配位错,周围应变得到部分弛豫,自由能降低,成为 InAs 材料的俘获陷阱.在 3ML InAs 淀积完成以后,引入不同的生长停顿时间,再覆盖 GaAs 层,将会导致更多的 InAs 迁移到位错附件,位错增长,InAs 岛状结构尺寸变小,分布更加不均匀.与此相对应,生长停顿时间越长,岛状结构发光

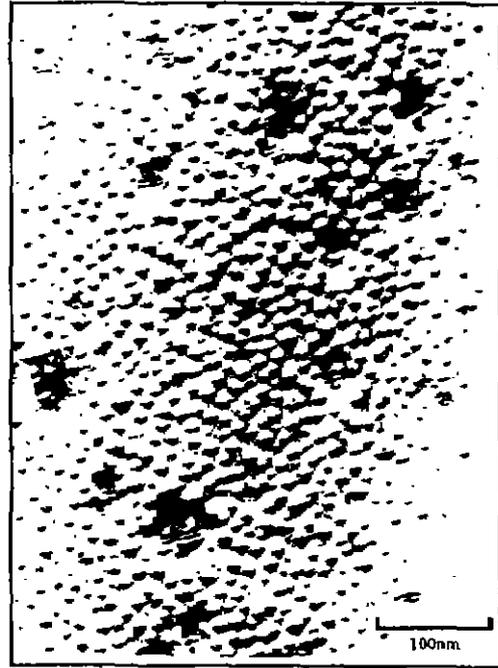


图 3 不停顿生长的 3ML InAs/GaAs 岛状结构的透射电镜平面像  
Fig. 3 Plane-view image of transmission electron microscopy of 3ML InAs/GaAs islands without growth interruption

峰蓝移程度越大,发光强度越小,而谱线半高宽越大。

#### REFERENCES

- 1 Moison J M, *et al. Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**:196~198
- 2 Carlsson N, *et al. Appl. Phys. Lett.*, 1994, **65**:3093~3095
- 3 Heirichsdorff F, *et al. J. Crystal Growth*, 1997, **170**:568~573
- 4 Herard J M, *et al. J. Crystal Growth*, 1995, **150**:351~356
- 5 Wang Z M, Feng S L, Lu Z D, *et al.* to be present at *the 10th International Conference on Superlattices, Microstructures, and Microdevices*, 1997
- 6 Sugiyama Y, *et al. Jpn. J. Appl Phys.*, 1996, **35**:1320~1324

### THE STUDY OF GROWTH INTERRUPTION OF SELF-ASSEMBLED InAs/GaAs Islands \*

WANG Zhi-Ming LU Zhen-Dong FENG Song-Lin YANG Xiao-Ping  
CHEN Zong-Gui XU Zhong-Ying ZHENG Hou-Zhi

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

WANG Feng-Lian GAO Min HAN Pei-De DUAN Xiao-Feng  
(Laboratory of Electron Microscopy, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** The results of the growth interruption in self-assembled InAs/GaAs islands were reported. The introduction of growth interruption between the InAs deposition and subsequent growth of the upper GaAs layer induced a blue-shift of the photoluminescence (PL) peak energy, broadness of the PL linewidth and the decrease of the intensity. Transmission electronic microscopy shows that some misfit dislocations, where the strain has been relaxed partly, break out in this structure as the traps of InAs matter transfer. The PL spectra variance is in agreement with the decrease of island density and reduction of the island size due to the growth interruption.

**Key words** InAs/GaAs, quantum dots, growth interruption.

---

\* The project supported by the National Natural Science Foundation of China and Chinese Academy of Sciences  
Received 1997-04-11, revised 1997-05-26