

# GaAs(100)衬底上自组织生长 InAs 量子点的研究

杨小平 张伟 陈宗圭 王凤莲 田金法 邓元明 郑厚植

(中国科学院半导体所 超晶格微结构国家重点实验室 北京 100083)

高旻 段晓峰

(中国科学院北京电子显微镜实验室 北京 100080)

**摘要** 本文利用在 GaAs(100)衬底上自组织生长超薄层 InAs 的方法得到了 InAs 量子点结构。当 InAs 的覆盖度小于 1.7ML(Mono-Layer)时, InAs 层仍保持二维生长模式, 而当 InAs 的覆盖度大于 1.7ML 时, InAs 层将会成岛生长, 得到的量子点的尺寸和分布相当均匀。我们还研究了不同覆盖度的 InAs 层的光致发光(PL)特性, 结果发现在成岛前后, 它们的 PL 特性有明显差异。

PACC: 6885, 6116D, 7855

## 1 引言

低维半导体结构由于其在物理特性研究和器件应用方面的重要意义受到人们越来越多的关注<sup>[1,2]</sup>。二维结构(量子阱, 超晶格)已经得到了广泛研究并应用于器件研制, 而一维(量子线)、零维(量子点)结构由于其在材料制备方面的困难还研究的较少。传统制备一维、零维结构的方法是在二维结构上通过电子束曝光和反应离子刻蚀来得到低维结构。但该方法由于受到光刻精度的限制不可能得到很小尺寸的低维结构, 通常 100nm 左右。而且该方法过程复杂, 同时由于刻蚀会造成不可避免的非辐射缺陷。这些缺点大大限制了该方法的应用前景。

为了克服上述方法的不足, 最近 J. M. Moison 等人提出了通过在 GaAs 衬底上自组织生长 InAs 的方法直接得到 InAs 量子点结构<sup>[3~7]</sup>。由于 InAs 与 GaAs 存在较大的晶格失配(7%), InAs 在 GaAs 衬底上将按 S-K 模式生长, 即当 InAs 覆盖度超过一临界厚度时, InAs 层由二维(2D)平面生长变为三维(3D)成岛生长。通过控制淀积 InAs 层的厚度可以得到不同尺寸的 InAs 量子点结构。本文报道了我们采用该方法研制 InAs 量子点的实验结果。透

杨小平 男, 1966 年生, 助研, 目前从事 II-V 族化合物半导体材料生长研究

张伟 男, 1965 年生, 助工, 目前从事 II-V 族化合物半导体材料生长研究

1996 年 3 月 12 日收到初稿, 1996 年 5 月 22 日收到修改稿

射电子显微镜(TEM)的结果表明我们得到了尺寸和分布较均匀的量子点结构. 同时我们用PL光谱研究了这些量子点结构的发光特性.

## 2 实验

样品的制备是在英国VG公司·V80H MK I分子束外延(MBE)系统中完成的. 在MBE系统中580℃脱氧后, 先生长0.5μm的GaAs缓冲层, 再生长超薄层的InAs, 随后在InAs层上再生长20nm GaAs覆盖层. 其中缓冲层的生长温度为600℃, InAs层及覆盖层的生长温度为450℃. As<sub>4</sub>的等效束流为 $1.2 \times 10^{-3}$ Pa, GaAs的生长速率为1μm/h, InAs的生长速率为0.11ML/s. InAs层的覆盖度从1ML变化至4ML.

透射电镜测量是在Philips CM200 FEG电子显微镜上进行的. 光致发光测量采用一台氩离子激光器作为激发光源, 激发光波长514.5nm, 激发功率4~5mW, 探测器采用Ge探测器, 测量温度为13K.

## 3 实验结果及讨论

### 3.1 二维生长到三维生长的转变厚度

由于InAs与GaAs存在7%的晶格失配, 所以在GaAs衬底上生长InAs时, 将遵循S-K模式生长. 原位高能电子衍射(RHEED)观察发现当InAs的覆盖层小于1.7ML时, RHEED衍射图形仍为线状. 而当InAs层的覆盖度大于1.7ML时, RHEED衍射图形突然变为点状, 表明InAs从二维生长到三维生长的转变厚度为1.7ML, 即当InAs的覆盖度大于临界厚度1.7ML时InAs将成岛生长.

### 3.2 透射电子显微镜结果

图1(见图版I)是InAs覆盖度为1ML和2.5ML时TEM截面像. 从照片上可以看出当InAs覆盖度为1ML时, InAs与GaAs的界面平坦, 表明此时InAs层仍是二维生长. 而当InAs覆盖层为2.5ML时形成了InAs量子点, 表明此时InAs层已由二维生长转变为三维生长, 与RHEED的观察结果相一致. 从TEM照片上估计InAs量子点的高度约为5nm.

图2(a)(见图版I)是InAs覆盖度为2.5ML时的TEM平面像. 从平面像上我们可以更清楚地看到, 当InAs覆盖度大于转变厚度时形成了尺寸和分布都较均匀的InAs量子点. 图2(b)(见图版I)是InAs量子点直径的统计分布, 从图中我们可以看出InAs量子点的大小分布很集中, 平均直径为10nm. InAs量子点的面密度为 $5 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ . 这表明在GaAs衬底上自组织生长InAs是一种比较简单直接并且可行的制备量子点的方法, 为研究零维结构的物理性质和器件应用开辟了前景.

### 3.3 光致发光谱(PL)

图3(a)是InAs覆盖度为1ML和2.5ML的PL光谱. 从图中可以看到当InAs覆盖度为1ML时, PL发光峰能量为1.449eV, 接近GaAs的自由激子发光能量且半高宽较窄, 只有9.5meV, 也表明此时InAs仍为二维生长且界面较平整. 而当InAs覆盖度为2.5ML时, PL发光峰能量明显地往低能方向移动( $E=1.182\text{eV}$ ), 且半高宽明显增大( $\text{FWHM}=62\text{meV}$ ). 这是由于形成InAs量子点且InAs量子点的大小有一定的分布造成的. 但其发光机理目前尚不清楚, 有待进一步研究.

图3(b)是PL发光峰的能量与半高宽随InAs覆盖度的变化关系曲线. PL发光峰的能

量与半高宽在 InAs 厚度为 1~2ML 时都有一个突然的变化,也表明 InAs 二维生长到三维生长的转变厚度在 1~2ML 之间,与 RHEED 的观察结果相符合.

#### 4 结论

采用在 GaAs(100)衬底上自组织生长 InAs 的方法得到了 InAs 量子点结构. RHEED 观察表明 InAs 从二维生长到三维生长的转变厚度为 1.7ML. 当 InAs 的覆盖度小于 1.7ML 时, TEM 观察到界面平坦的 InAs 层. 当 InAs 的覆盖度大于 1.7ML 时,则 TEM 的平面像和截面像都表明形成了 InAs 量子点. 当 InAs 的覆盖度为 2.5ML 时, InAs 量子点的直径和高度大约为 10nm 和 5nm, 面密度为  $5 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ . PL 光谱的研究也表明,当形成 InAs 量子点时,发光峰的能量明显地往低能方向移动,且半高宽明显增大.

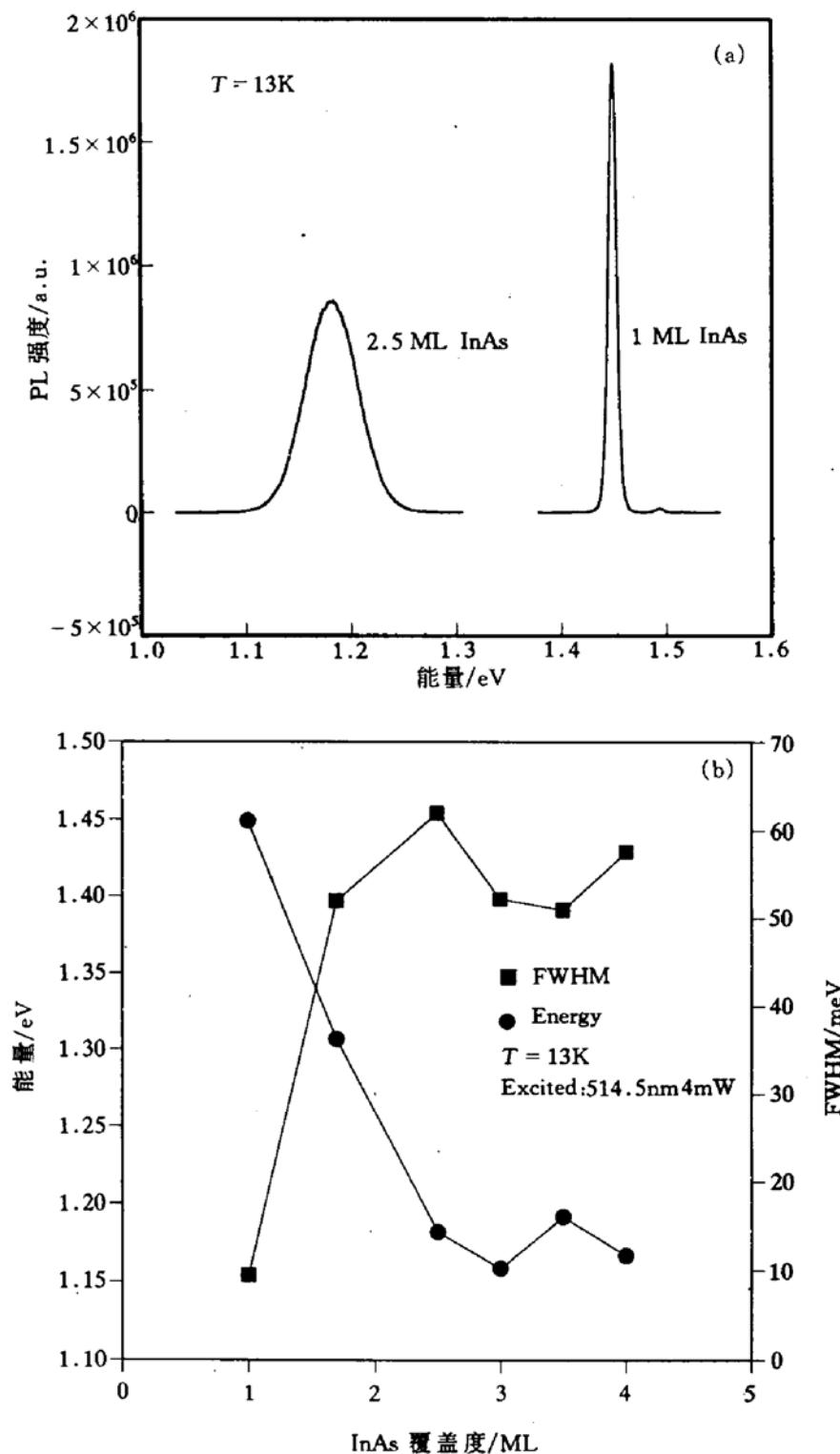


图 3 InAs/GaAs 在不同覆盖度下的 PL 光谱

## 参 考 文 献

- [1] Masahiro Asada *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 1985, **24**:L95~L99.
- [2] Hiroyuki Sakaki, Surface Science, 1992, **267**:623~629.
- [3] J. Y. Marzin *et al.*, Phys. Rev. Lett., 1994, **73**:716~719.
- [4] J. M. Moison *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**:196~198.
- [5] A. Madhukar *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**:2727~2729.
- [6] Qianghua Xie *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1994, **65**:2051~2053.
- [7] J. Tersoff *et al.*, Phys. Rev. Lett., 1996, **76**:1675~1678.

## Self-Organized Growth of InAs Quantum Dots on GaAs(100)

Yang Xiaoping, Zhang Wei, Chen Zonggui, Wang Fenglian,  
Tian Jinfa, Deng Yuanming and Zheng Houzhi

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

Gao Ming and Duan Xiaofeng

(Laboratory of Electron Microscopy, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Received 12 March 1996, revised manuscript received 22 May 1996

**Abstract** We present a new approach to fabricate quantum dots using self-organized growth of InAs on GaAs(100) substrates. Both cross-sectional and plan-view TEM micrographs clearly show that strikingly uniform and very dense InAs QDs appeared after a critical coverage of 1.7 ML, while InAs film is rather flat before the critical coverage. Optical characterization of these self-organized InAs QDs are studied by photoluminescence spectroscopy.

**PACC:** 6855, 6116D, 7855