

研究快报

CdSe 量子点的 S-K 模式自组装生长

羊 亿, 申德振, 张吉英, 范希武, 郑著宏, 赵晓薇, 赵东旭

(中国科学院激发态物理开放研究实验室, 吉林 长春 130021)

刘毅楠

(中国科学院应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

关 键 词: CdSe; 自组装; 量子点; S-K 模式

中图分类号: O484.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7032(2000)01-0068-03

近年来, 由于半导体量子点(QD)材料可望提高器件的光电特性而成为研究的热点。如以量子点作为激活层的激光器(LD)与量子阱LD相比会有更低的阈值电流, 更高的增益和特征温度。Ⅲ-Ⅴ族半导体量子点的研究主要集中在CdSe/ZnSe^[1-4], 近年来也有ZnSe/ZnS^[5]、CdTe/ZnTe^[6]的报道。量子点的制备大多使用分子束外延(MBE)方法^[7], 而以金属有机化学气相淀积(MOCVD)法生长的CdSe/ZnSe^[8]量子点一般为V-W模式。Stranski-Krastanow(S-K)模式生长量子点与其他方法如电子束刻蚀等相比, 具有方法简单、表面缺陷少等特点, 是目前公认的一种制备高质量量子点的新技术。

首次报道以低压MOCVD直接在n-GaAs(100)衬底上制备S-K模式下的CdSe自组装量子点(SAQDs)。以原子力显微镜(AFM)直接表征未生长覆盖层的样品表面形貌, 观测到经应力释放后所形成的CdSe量子点。CdSe量子点的平均直径、高度、密度分别为 $50 \pm 15\text{nm}$ 、 $13 \pm 4\text{nm}$ 、 $5\mu\text{m}^{-2}$ 。

样品由低压MOCVD系统制备, 有机源为二甲基镉(DM Cd)与二甲基硒(DM Se), 生长温度为500℃, 生长室压力为 $2.93 \times 10^4\text{Pa}$ 。n-GaAs(100)衬底经3:1:1的H₂SO₄:H₂O₂:H₂O腐蚀液和HCl腐蚀抛光处理后, 在H₂气氛中600℃高温处理10分钟。约2个单原子层厚的CdSe层直接沉积在n-GaAs(100)衬底上。未生长覆盖层的样品冷却后立即用Digital Instruments Nanoscope IIIa系统观测其表面形

貌(生长后100分钟)。

图1是CdSe自组装量子点的AFM表面形貌平面图。从图中可看出在 $1 \times 1\mu\text{m}^2$ 的范围中, 分布有5个椭圆型亮点。图2是同一区域CdSe自组装量子点的AFM立体图。从图中可更清楚地看到CdSe自组装量子点的形貌。通过测量各点的尺寸, 得到平均直径为 $50 \pm 15\text{nm}$, 平均高度为 $13 \pm 4\text{nm}$, 直径与高度之比为4~5。这些结果与用MBE方法S-K模式下生长的CdSe/ZnSe自组装量子点的尺寸比较接近^[1-4], 同样与Ⅲ-Ⅴ族S-K模式下生长的自组装量子点的尺寸也较为接近^[9]。

CdSe/GaAs的晶格失配度为7.5%与CdSe/ZnSe的7.2%非常接近, 而且平整的GaAs表面容易获得(经AFM观测表面平整度为0.6nm), 因此在研究CdSe量子点自组装过程中, 可直接使用GaAs(100)表面。由于CdSe/GaAs系统的高失配度, 在平整的GaAs表面进行原子层级的CdSe生长时, GaAs与CdSe界面存在着较大的界面应力。一般来说, 当CdSe层非常薄时, 以CdSe层的弹性形变使整个体系能量达到最低, 当CdSe层厚度达到一临界厚度时, 便以应力释放形成量子点的形式来降低体系能量, 即实现由二维生长到三维生长的转变。CdSe/GaAs系统理论计算临界厚度约为3个单原子层。但最近也有CdSe厚度未达到临界厚度时应力释放形成自组装量子点的报道, 甚至在CdSe厚度为1个单原子层时就有自组装量子点的形成^[2,10]。实验结果也支持这一说法。但在观测1个单原子层的

收稿日期: 2000-01-13

基金项目: 国家攀登计划、国家自然科学基金重大基金(No. 69896260)以及国家自然科学基金资助

作者简介: 羊 亿(1974-), 男, 湖南人, 博士研究生, 主要从事Ⅲ-Ⅴ族半导体低维结构的制备及光电特性研究。

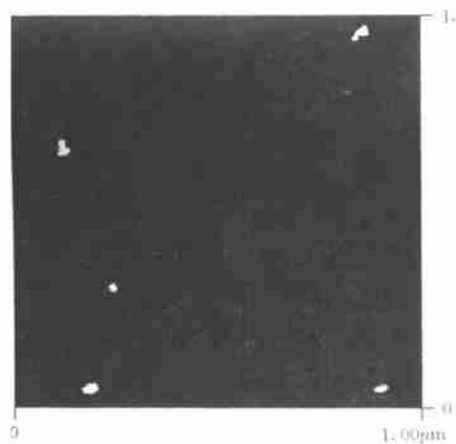


图 1 CdSe 自组装量子点的 AFM 照片(平面图)

Fig. 1 AFM image of CdSe SAQDs (ichnography).

CdSe 样品时,并没有观测到量子点的形成,可能是由于生长温度比较高(500 °C),界面有 Cd、Ga 的互扩散,降低了界面的应力。另外,还首次观测到 CdSe 自组装量子点在生长后 60 分钟左右出现二维到三维的转变以及熟化展宽过程。

综上所述,用低压 MOCVD 法制备了 S-K

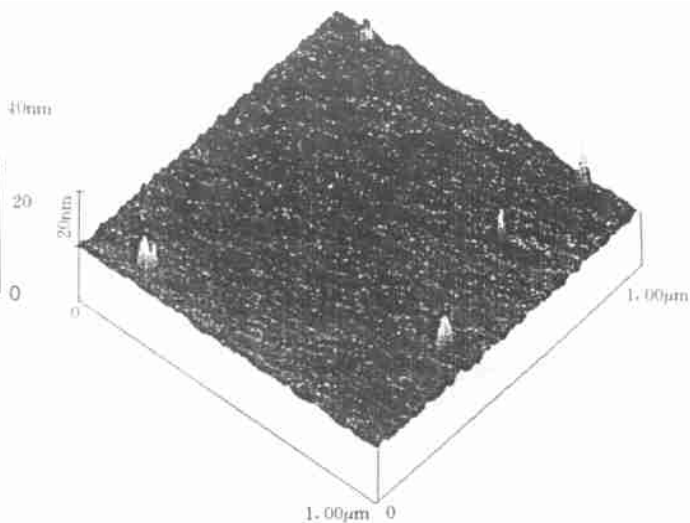


图 2 CdSe 自组装量子点的 AFM 照片(立体图)

Fig. 2 AFM image of CdSe SAQDs (stereograph).

模式下的 CdSe 自组装量子点,并以 AFM 表征其表面形貌, CdSe 自组装量子点的平均直径、高度、密度分别为 $50 \pm 15 \text{ nm}$ 、 $13 \pm 4 \text{ nm}$ 、 $5 \mu\text{m}^{-2}$ 。目前,有关 CdSe 自组装量子点进一步地研究工作如自组装过程、熟化展宽过程、ZnSe 原子级平面的获得、量子点发光特性等正在进行。

参 考 文 献

- [1] Xin S H, Wang P D, Aie Yin, *et al.* Formation of self-sembling CdSe quantum dots on ZnSe by molecular beam epitaxy [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**: 3884.
- [2] Kurtz E, Jung H D, Hanada T, *et al.* Self-organized CdSe/ ZnSe quantum dots on ZnSe(111) A surface [C]. *J. Cryst. Growth.*, 1998, **184/ 185**: 242.
- [3] Kenta A, Takashi H, Takafumi Y. Self-organized formation processed of CdSe quantum dots studied by reflection high energy electron diffraction and atomic force microscopy [C]. *A abstract Book of The Ninth International Conference on - Compounds*, 1999, Japan: Tu-p076.
- [4] Merz J L, Lee S, Furdyna J K. Self-organized growth, ripening, and optical properties of wide-bandgap - quantum dots [J]. *J. Cryst. Growth.*, 1998, **184/ 185**: 228.
- [5] Ma Z H, Sun W D, Sou I K, *et al.* Atomic force microscopy studies of ZnSe self-organized dots fabricated on ZnS/ GaP [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**: 1340.
- [6] Karczewski G, Mackowshi S, Kutrowski M, *et al.* Photoluminescence study of CdTe/ZnTe self-assembled quantum dots [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**: 3011.
- [7] Zhou Wei, Liang Jiben, Su Bo, *et al.* Structural and optical properties of red-emission InAlAs quantum dots [J]. *Chin. J. Lumin.*, 1999, **20**(3): 230 (in Chinese).
- [8] Harris Liao M C, Chang Y H, Chen Y F, Hsu J W. Fabrication of ZnSe quantum dots under Volmer-Weber mode by metalorganic chemical vapor deposition [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**: 2256.
- [9] Guo S P, Ohno H, Shen A, *et al.* InAs self-organized quantum dashes grown on GaAs (211)B [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**: 2738-2740.
- [10] Kim C S, Kim M, Lee S, Furdyna J K, Dobrowolska M. Optical evidence for the formation of CdSe quantum dots on ZnSe below critical thickness [C]. *A abstract Book of The Ninth International Conference on - Compounds*, 1999, Japan: Th-9.

Formation of Self-assembled CdSe Quantum Dots under Stranski-Krastanow Mode

YANG Yi, SHEN De-zhen, ZHANG Ji-ying, FAN X W,

ZHENG Zhu-hong, ZHAO Xiao-wei, ZHAO Dong-xu

(Laboratory of Excited State Processes, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

LIU Yi-nan

(The State Key Laboratory of Applied Optics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract

The formation of self-assembled CdSe quantum dots under Stranski-Krastanow (S-K) mode by low-pressure metalorganic chemical vapor deposition (LP-MOCVD) was reported for the first time. The samples were grown directly on GaAs (100) surfaces by LP-MOCVD. DimethylSelenide (DMSe) and DimethylCadmium (DMCd) were used as precursors. The growth pressure was kept at 2.93×10^4 Pa and the growth temperature was 500 °C. CdSe with the thickness of about 2 monolayers was grown directly on GaAs (100) surfaces. For the purpose of AFM observation, this uncapped sample was cooled down immediately to room temperature and was monitored under a Digital Instruments Nanoscope IIIa system at the same day of growth. The AFM images show that the average diameter, height and density of those self-assembled CdSe quantum dots are 50 ± 15 nm, 13 ± 4 nm and $5 \mu\text{m}^{-2}$, respectively. And those dots' diameter-height ratio is about 4 ~ 5, just the same as those results observed in other II-VI and III-V compounds which were grown under S-K mode by MBE.

Key words: CdSe; self-assembled; quantum dots; S-K mode