

InAlGaAs/GaAs 量子阱的 生长及其界面特性*

郑联喜 胡雄伟 韩 勤

(中国科学院半导体研究所 国家光电子工艺中心 北京 100083)

摘要 本文研究了以 InAlGaAs 作垒层的 InAlGaAs/GaAs 量子阱的低压金属有机化合物化学汽相淀积(LP-MOCVD)生长及其界面特性,发现在适当生长条件下可以解决 InGaAs 和 AlGaAs 在生长温度范围不兼容的问题,得到了高质量的 InAlGaAs/GaAs 量子阱材料.同时用 X 光和低温光致发光(PL)谱研究了量子阱结构的界面特性,表明适当的界面生长中断不仅可以改善界面平整度,而且能改善垒层 InAlGaAs 的质量.

PACC: 6800, 6855, 6865, 7340

1 引言

近几年来,大功率半导体激光器如 808nm 激光器由于其好的市场前景正受到越来越多的关注.此类激光器多数采用 AlGaAs/GaAs 量子阱结构.我们曾报道过室温连续最大输出功率为 4W 的该种激光器^[1],但是它们的工作寿命较短,主要是镜面灾变性光学损伤(COD)^[2,3]和暗线缺陷引起的早期失效^[4,5],使得该器件的使用受到限制.为解决这些问题,出现了无铝 InGaAsP-GaAs 结构的激光器^[6]和 InAlGaAs 作阱层的 AlGaAs/InAlGaAs 结构的激光器^[7].其中 AlGaAs/InAlGaAs 结构的激光器由于应变的存在,使各种缺陷的繁殖受到抑制,即使在激光器的表面进行人为划伤^[8],缺陷也不向有源区延伸,这对器件的寿命有非常大的好处,因此引起人们的极大兴趣.

众所周知,InGaAs 容易在较低的生长温度下得到高质量材料,而 AlGaAs 的高质量材料则必须在相对高的温度下才能得到^[9],因此四元 InAlGaAs 材料的生长就变得尤其困难.上面提到的 AlGaAs/InAlGaAs 量子阱激光器采用 InAlGaAs 作为阱层,器件特性受到该层质量的影响,这就对材料生长提出了更高的要求.我们首次提出了一种新的结构,用 InAlGaAs 层作为量子阱结构的垒层,AlGaAs 仍然是阱层,这种结构中发光的是常规 GaAs

* 国家自然科学基金资助项目(编号 69686003)

郑联喜 男,1966 年出生,高级工程师,从事光电子器件及材料研究

胡雄伟 男,1945 年出生,研究员,从事光电子器件研究

韩 勤 男,1965 年出生,高级工程师,从事光电子器件研究

1997-12-10 收到,1998-02-25 定稿

量子阱,它可以具有很好的质量,作为垒层的 InAlGaAs 层对量子阱发光的影响就弱得多,但由于仍然有应变,对缺陷的抑制作用大大降低了对生长材料的要求.从整个激光器结构考虑,我们甚至可以将该应变层放在稍微远离量子阱区的波导层中,这样在保留其抑制缺陷作用的同时进一步减少它对量子阱的影响.因此采用这种结构,可以期望大功率激光器的寿命有很大的提高.

由此,我们研究了 InAlGaAs/GaAs 结构的生长特性,并用 X 光和光致发光(PL)谱研究了该结构的界面特性,得到了高质量的量子阱材料.

2 实验

我们用 LP-MOCVD 生长所需的 InAlGaAs/GaAs 结构,用砷烷(A₂SH₃)作 V 族源,三乙基镓(TEGa)、三甲基铝(TMAI)、三甲基铟(TMIn)作 III 族源,氢气(H₂)作载气.所生长的样品分为两种,一种是如图 1(a)所示的有三个不同厚度量子阱的多量子阱结构,另一种是如图 1(b)所示有相同阱宽的超晶格结构.在每个 InAlGaAs 层与 GaAs 层之间和 GaAs 层与 InAlGaAs 层之间引入生长中断,即在该界面处停止生长,只引入 A₂SH₃.用 X 光和 PL 表征其特性.所有样品中, In_xAl_yGa_{1-x-y}As 层的组分基本一样,即 $x = 0.1$ 和 $y = 0.4$.

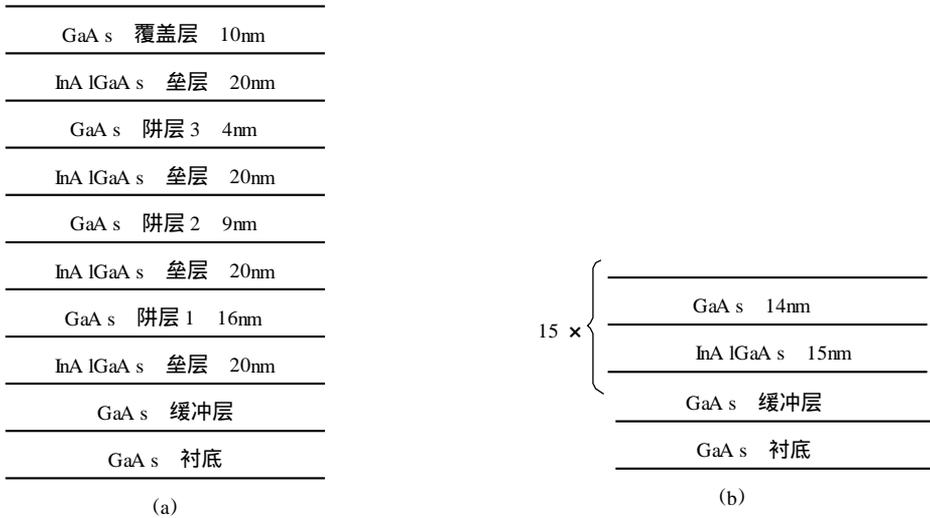


图 1 两种样品的结构示意图

3 结果讨论

3.1 InAlGaAs/GaAs 量子阱结构质量与生长温度的关系

采用图 1(a)的多量子阱结构,生长中断时间固定为 5 秒钟,改变生长温度(700、725、750),用 PL(10K)来测量各样品的光致发光半宽.图 2(a)~2(c)分别对应 3 个不同阱宽(16nm、9nm、4nm)的量子阱的结果,阱 2(图 2(b)的 9nm 量子阱)和阱 3(图 2(c)的 4nm 量子阱)的结果表明,当温度较高时(如 750)其半宽有明显的增大,这说明在越高的温度下 In 的分凝对材料的质量有越大的影响,特别是在 GaAs/InAlGaAs 界面(InAlGaAs

上生长 GaAs 的界面)处,这也是为什么 InGaAs 材料要在低温下生长的原因 而在较低的温度下(700~ 725)两阱的 PL 半宽没有太大的变化,说明在此温度范围由于铝所引起的影响不太严重 阱 1(图 2(a)的 16nm 量子阱)在低生长温度(700)时半宽有明显增加,而且该阱的半宽比窄阱更宽,在此可能有其他原因,需作进一步研究 更低温度的生长由于对 AlGaAs 的生长不利^[1],所以没有进行 尽管如此,从三个量子阱的 PL 结果,可以得出 725 左右是比较好的生长温度

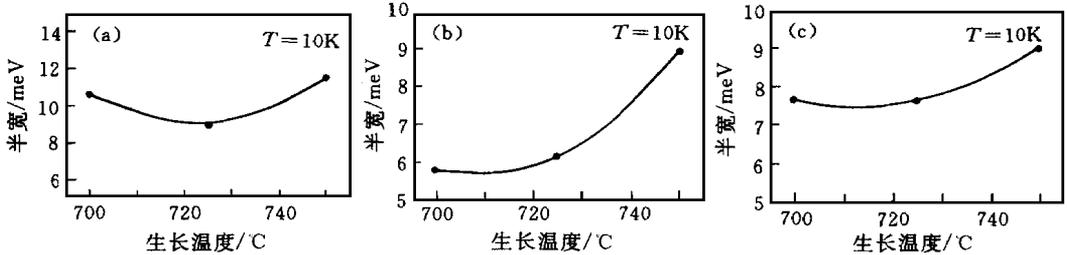


图 2 不同生长温度下的三个量子阱的 PL 半宽图
(a) 16nm, (b) 9nm, (c) 4nm.

3.2 生长中断对 InAlGaAs/GaAs 量子阱结构的界面质量的影响

影响 PL 半宽的因素很多,徐仲英、徐强等在 GaAlAs/GaAs^[10]及 GaAs/InGaAs^[11]的 PL 研究中发现,低温下影响 PL 半宽的主要因素有:(1)杂质与激子的相互作用;(2)量子阱界面不平整;(3)多量子阱层之间的厚度涨落;(4)合金层中合金组分无序;(5)应变不均匀 由于在我们的结构中,InAlGaAs 层的质量是个关键,所以忽略 GaAs 层本身的变化,影响材料质量的主要因素为 InAlGaAs 层的质量,而且由于它在该结构中作为量子阱结构的垒层,其影响主要通过界面来实现

许多研究人员用 PL 研究了生长中断对 GaInP/GaAs^[12]、GaAs/GaAsP^[13]、GaAs/GaAlAs^[10,14]量子阱界面的影响,发现适当的生长中断对界面质量有很大的改善 我们采用图 1(a)的结构,固定生长温度为 725 ,然后改变生长中断时间,用 PL 测量其光致发光半宽,结果如图 3(a)~ 3(c)所示 可以看出,阱 1(16nm 宽)和阱 2(9nm 宽)的半宽随中断时间的加长而明显减小,阱 3(4nm 宽)的半宽随着中断时间的延长开始有一定的降低,但接着又轻微升高 从图 3 还可以看出,阱越宽其半宽变化越大 这些表明在量子阱的 PL 半宽有至少两个竞争的影响因素,一个在短中断时间内起主要作用,另一个在长时间的中断中起主要

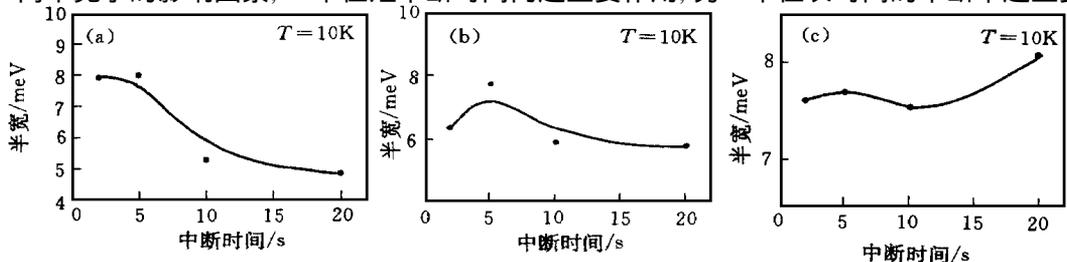


图 3 不同生长中断时间下各量子阱的 PL 半宽图
(a) 16nm, (b) 9nm, (c) 4nm.

作用,而且阱越窄,其竞争越大。由于在我们的生长条件下,生长为2D模式,即在生长表面有很多原子级台阶,生长通过沿台阶的侧面生长来完成,在生长中断中,台阶相互反应,不断合并^[15],随着中断时间的延长,这些台阶越来越少,最后使表面变平,因此PL半宽随着降低。但是由于我们在高温(相对于InGaAs的生长温度)生长InAlGaAs层,In的分凝现象更为严重,即随着中断时间的延长,In有从层中向表面析出的趋向,温度越高越严重,析出的In会破坏表面的平整或者产生不均匀的应变,在InGaAs/GaAs中我们报道了类似的结果^[16],但也正是由于高温生长,In不会在表面成为In滴(这在InGaN生长中非常严重),所以其影响在几个分子层范围内。因此在较宽的量子阱中,In分凝的现象表现不明显,但在较窄的量子阱中,表面对其质量的影响相当大,从阱宽起伏和对应能量变化的简单公式 $\Delta E = [\partial \epsilon_g / \partial z] \Delta z$ 可以知道,即使单原子层厚度变化对窄量子阱的PL半宽也有很大的影响,因此在窄量子阱中,上面所说的两种影响界面的因素都很显著,导致中断时间的延长其半宽并不降低很多。但我们在该生长条件下,10秒钟的生长中断仍然得到了高质量的材料。此时三个阱的半宽分别为:5.28meV(16nm阱),5.93meV(9nm阱)和7.55meV(4nm阱)。这和AlGaAs/GaAs的结果^[17]不相上下。

在采用了上面优化的生长温度(725)和优化的中断时间(10秒)后,使用图1(b)所示

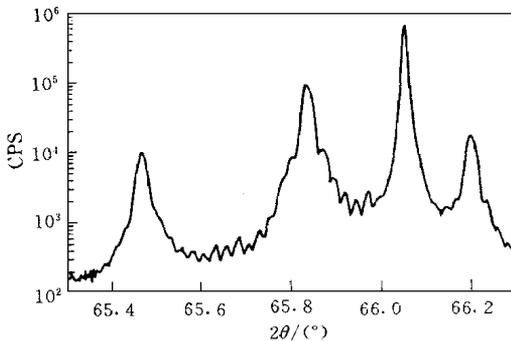


图4 InAlGaAs/GaAs超晶格结构的X光衍射曲线

的结构,我们生长了超晶格结构。图4是该样品的X光双晶衍射曲线,从图中不仅可以看出强的卫星峰,而且在卫星峰之间可以看到清晰的干涉条纹,这表明该样品的界面平整度和阱宽涨落都在单分子层范围内。

4 结论

将InAlGaAs层作为量子阱结构的垒层而不是阱层,不但可以期望制备出长寿命的激光器,而且在生长上更容易实现,对提高器件成品率有很大好处。在相对高的温度下仍能得到高

质量的InAlGaAs/GaAs量子阱材料。在对界面的研究中发现,生长中断时间短时,2D生长台阶导致的表面不平是影响界面质量的主要因素,但中断时间长时,In分凝导致的表面退化为影响界面质量的主要原因;阱宽越小,两种影响越大。合适的中断时间能生长出高质量的InAlGaAs/GaAs超晶格、量子阱材料。

参 考 文 献

- [1] 郑联喜,肖智博,韩勤,等,半导体学报,1996,17(5):392
- [2] K. Shinozaki *et al.*, J. Appl. Phys., 1989, 65(8): 2907.
- [3] L. Figueroa *et al.*, SPIE, Laser Technology, 1986, 723: 2
- [4] W. T. Tsang, Semiconductors and Semimetals, 1985, 22: 379.
- [5] Osamu Ueda, SPIE Vol 1634, Laser Diode Technology and Applications, 1992, 215.
- [6] Dnityr Z. Garbuzov *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1991, 27(6): 1531.

- [7] J. Baumann, S. Yellen, R. Juhala *et al* , SPIE Laser Diode Technology and Applications V, 1993, **1850**: 203
- [8] S. L. Yellen, A. H. Shepard, R. J. Dalby *et al* , IEEE J. Quantum Electron , 1993, **29**(6): 2058
- [9] Hideaki Matsueda, Kiyoki Hara, Appl Phys Lett , 1989, **55**(4): 362
- [10] 徐仲英, 徐强, 郑宝真, 等, 半导体学报, 1990, **11**(6): 416
- [11] 徐强, 徐仲英, 郑宝真, 许继宗, 半导体学报, 1990, **11**(6): 403
- [12] C. Y. Tsai, M. Moser, C. Geng *et al* , J. Crystal Growth, 1994, **145**: 786
- [13] Kazunobu Ota, Hiroyuki Yaguchi, Kentaro Onabe *et al* , J. Crystal Growth, 1994, **145**: 819
- [14] T. R. Block, D. P. Neikirk and B. G. Streetman, J. Vac Sci Technol B, 1992, **10**(2): 832
- [15] T. Ide, A. Yamashita and T. Mizutani, Surface Science, 1993, **287/288**: 1013
- [16] Wang Xiaojun *et al* , Mat Res Symp. Proc , 1997, **442**: 541
- [17] 董建荣, 陆大成, 等, 半导体学报, 1996, **17**(4): 252

Growth and Interface Properties of InAlGaAs/GaAs Quantum Wells

Zheng Lianxi, Hu Xiongwei, Han Qin

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences,
National Research Center for Optoelectronic Technology, Beijing 100083)

Received 10 December 1997, revised manuscript received 25 February 1998

Abstract The InAlGaAs/GaAs quantum wells (QWs) with InAlGaAs layers as barriers are grown by low pressure metal organic chemical vapor deposition (LP-MOCVD). The study of growth reveals that high quality InAlGaAs/GaAs QWs can be obtained under proper growth interruption. The interface properties are also studied by using X-ray diffraction and low temperature PL.

PACC: 6800, 6855, 6865, 7340