

浅离子注入 $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ SL-MQW 激光器的混合蓝移效应*

朱洪亮 韩德俊¹ 胡雄伟 汪孝杰 王 圩

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

(¹ 北京师范大学低能核物理所 北京 100875)

摘要 利用 300keV 的 P^+ 离子对 $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ 应变层多量子阱(MQW)激光器外延结构实施浅注入, 经 H_2/N_2 混合气氛下的快速退火, 结构的光致发光(PL)峰值波长蓝移了 76nm, 所作宽接触激光器的激射波长蓝移了 77.9nm. 发现具有应变结构的 $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ MQW, 在较低的诱导因素作用下即可产生较大的量子阱混合(intermixing)效应

EEACC: 2530C, 2550B, 4320J

1 前言

近年来, 利用量子阱混合技术实现器件波长蓝移(blue shift)^[1-3]并用于制作光有源、无源器件和光集成器件^[4,5]已引起人们越来越多的关注. 在无杂质空位扩散(IFVD)^[1,2]技术中, 量子阱(QW)材料被硅-氧化物或氮氧化物覆盖, 退火后实现的波长蓝移现象被认为是 III/V 族元素空位扩散的结果, 它起到了增强 QW 阱、垒之间组分混合的作用. 但时至今日这种方法的重复性还有待进一步确认; 光吸收诱导(PAD)^[3]技术采用钕钇铝石榴石(Nd:YAG)固体激光器照射样品, 材料吸收光能产生热能促使 QW 混合, 实现波长蓝移. 其主要缺点是激光束斑的不均匀会导致 QW 混合特性的不均匀; 高能离子注入退火^[4,6,7]技术利用兆电子伏(MeV)量级的离子注入样品内部, 退火过程中空位缺陷的扩散起增强 QW 混合的作用. 由于高能离子产生的缺陷既深又广, 对 QW 有源区会形成一定程度的损伤; 低能离子注入^[8,9]技术是在 QW 有源区附近实施离子注入, 靠注入离子在 QW 区内的物理碰撞过程来实现 QW 混合作用. 显然, 注入离子对 QW 有源区的损伤不能低估, 而且, 注入之后至少还要进行一次覆盖层外延生长才能形成完整的器件结构, 成本也相对较高.

本工作利用 300keV 的磷(P^+)离子对 $\text{InGaAs}/\text{InGaAsP}$ 应变 MQW 激光器外延结构实施浅注入, 在小于 450nm 的顶层区域内产生 Frenkel 缺陷, 经快速退火可使体内应变 MQW 实现混合, 达到与 MeV 量级的高能深注入退火同样甚至更好的带隙蓝移效果, 应变 MQW 混合激光器获得了 77.9nm 的带隙波长蓝移. 与在 QW 有源区附近实施低能离子

* 本工作为“863”307 主题资助项目

朱洪亮 男, 1957 年出生, 高级工程师, 主要从事 MOVPE 材料生长和 DFB 激光器件的制作
1998-11-10 收到, 1999-01-08 定稿

注入后还要进行二次限制层和顶接触层外延^[9]的情况不同,与采用 MeV 量级的高能离子注入^[4,6,7]的情况也不同,实验是在激光器整个外延生长工艺全部完成后才进行 300keV 离子注入的。据作者了解,对这样的整体 MQW 激光器件结构,仅利用 300keV 的离子能量注入就实现如此大的波长蓝移尚属首次报道。该技术在制作不同波长的激光器集成,激光器与调制器、探测器及光波导的集成方面,与其他方法相比工艺更为简单和成本更为低廉。

2 实验条件

图 1 为试验所用的 SL-MQW 激光器层结构。它是利用 AIXTRON-200 MOCVD 水平石英反应系统在掺 S ($2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 的 InP (100) 衬底上外延生长而成。依生长次序各层情况分别为: $1 \mu\text{m}$ 厚的掺 Si ($1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) InP 缓冲层,不掺杂的 70nm 厚的 InGaAsP 下波导层,8QW 应变有源区层, 120nm 厚的 InGaAsP 上波导层, $1.54 \mu\text{m}$ 厚的掺 Zn ($5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) P-InP 盖层和 250nm 厚的掺 Zn ($1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) P-InGaAs 顶层。量子阱为 3.5nm 厚的压应变 (0.8%) InGaAs 材料,垒厚 15nm ,垒和上、下波导层均为无应力的 InGaAsP 材料,其带隙波长是 $1.24 \mu\text{m}$ 。

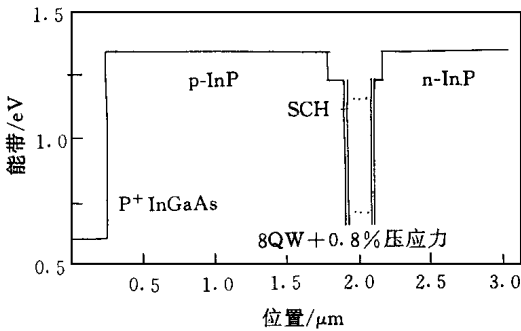


图 1 试验用应变多量子阱激光器层结构

将样品的一部分直接作离子注入。注入方向偏离样品表面法线 7° ;选择能量为 300keV ,剂量为 $2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 的 P^+ 离子注入(除注入能量的差别外,其它条件均与文献报道的情况^[4,6,10,11]相同),离子射程 $R_p \cong 0.35 \mu\text{m}$,标准偏差 $\Delta R_p = 0.1 \mu\text{m}$ 。与其他作者的工作^[4,6,10,11]相比,本试验的离子注入区较浅,且远离 QW 有源区(大于 $1.45 \mu\text{m}$)。

将注入样品与未作注入的样品同时用碘钨灯作快速退火(RTA)。退火是在 H_2/N_2 比为 1:1 的气氛下进行的。样品夹于 Si 单晶片和 InP 片之间,退火温度为 700°C ,退火时间只 40s 。退火时间比文献^[4,6,10,12]中所采用的时间短。退火过程中完全没有 SiO_2 覆盖层对 MQW 蓝移的影响。

在注入退火样品、纯退火样品以及原始样品的正面蒸镀 AuZnAu 电极层,背面减薄到 $100 \mu\text{m}$ 后蒸镀 AuGeNi 电极层,然后解理作成 $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ 的宽接触激光器。

对上述样品分别测量其 PL 谱特性和激光器的激射波长分布。

3 测量结果

图 2 为实验样品的 PL 谱。A 为外延原始样品,其峰值波长位于 1538nm 处;B 为未作注入但与注入片在相同条件下作快速退火的样品,其峰值波长相对 A 蓝移了 7nm ,在 1531nm 处;C 为作了注入但未作退火处理的样品,由于注入表面缺陷的强吸收作用,其 PL 谱强度变得十分微弱;D 为作注入和快速退火后的样品,峰值波长蓝移十分显著,移到了 1462nm 处,它相对外延原始样品蓝移量达 76nm ,相对纯退火样品蓝移量达 69nm 。

由上述三样品制作的宽接触激光器,其阈值电流在 850mA 附近,激射波长分布见图 3 图中 A, B, D 三样品对应的激射波长分别是 1565.6 、 1560.4 和 1487.7nm 。注入退火激光

器D 的波长相对外延原始片 A 的波长蓝移达 77.9nm, 与纯退火器件B 之间的波长蓝移亦达 72.7nm, 均高于文献[4, 6, 10~ 12]报道的 65nm; 纯退火样片器件与原始样片器件之间的波长差只有 5.2nm, 说明所作 QW 器件的热稳定性很好(一般报道均为 20nm 以上)。

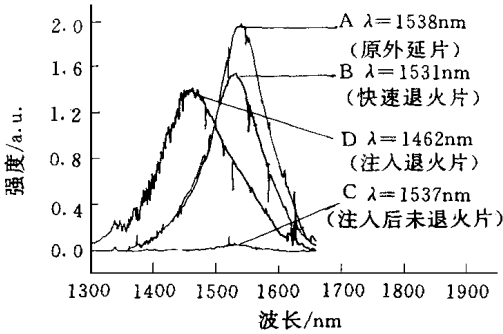


图 2 试验样品的 PL 谱

- A: 外延原始样片; B: 仅作快速退火的样片;
- C: 注入后未退火的样片;
- D: 注入后作快速退火的样片。

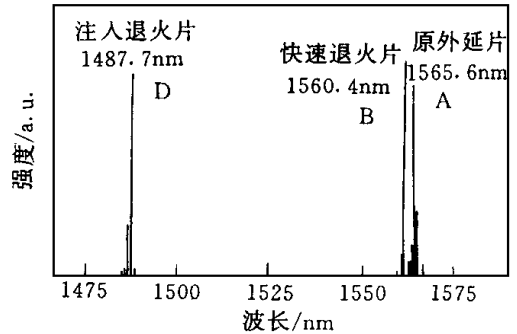


图 3 试验器件的激光波长分布

- A: 外延原始样片;
- B: 仅作快速退火的样片;
- D: 注入后作快速退火的样片。

4 分析和讨论

上述试验条件和结果与文献[4, 6, 8~ 10]利用高能离子注入退火增强互扩散达到 QW 混合蓝移的情况具有显著的差别。本试验中, 离子注入的能量较低, 注入的深度较浅, 离子注入区远离 MQW 有源区, 退火温度相近但退火的时间更短, 然而所获 QW 混合蓝移量却更高。

按常规分析, 离子在样片注入层内会产生大量的空位和填隙原子对, 即 Frenkel 缺陷, 它们在退火过程中向有源区的扩散是增强 QW 结构阱、垒层组分混合的因素或促使 QW 实现混合的诱导因素。在浅离子注入情况下, 缺陷扩散增强 QW 混合机理是类似的: 入射离子进入晶体与晶格原子碰撞产生的缺陷, 会在退火过程中由注入区向样片表面和体内扩散。本试验由于离子注入浅, 退火时大部分缺陷向表面扩散的过程较快, 因而注入损伤层内的晶格缺陷可以在较低的退火温度和较短的退火时间内得到恢复。PL 谱峰强度经短时退火得以迅速恢复就可说明这一点(对比图 2 曲线 C 和 D)。而向体内扩散的缺陷可起到增强 QW 混合^[4, 9, 12, 13]的作用。

分析认为上述试验中向体内扩散的缺陷密度显然比高能 (MeV) 离子注入条件下的缺陷密度要少得多(因其他注入条件基本相同), 也就是说, 增强 QW 混合或者说促使 QW 混合的诱导因素要远比高能离子注入情况来得低。试验结果表明, QW 混合的效果非但没有减少, 反而还有一定的提高。这说明, 本试验样片的应变层 MQW 结构相比其他作者采用的无应变 MQW 结构而言, 较低的诱导量就可以实现同样或更大的 QW 混合蓝移。

作者认为, 这一现象与构成 MQW 层材料的应变量为极相关, 因为应变 MQW 层是处于一种亚稳状态, 缺陷在退火过程中的扩散诱导作用可能会造成应变 QW 区内混合效应的连锁反应, 导致较充分的混合作用。图 2 中注入退火样片的 PL 谱相对原始片和纯退火片有较大的展宽, 亦从一个侧面反映出 MQW 阱、垒之间的组分互混得到了增强, 因而使实现较

大的带隙波长蓝移成为可能。可以预期,应变层的应力越大,达到一定蓝移量所需的QW混合诱导量将越小,即所需注入能量、剂量越低越少,或所需退火温度可以更低,退火时间可以更短。退火条件可以降低这一点对整片光器件集成尤为重要,因为,在光器件集成中,QW混合是有选择地在某些区域实施,而在另一些区域则不希望出现QW混合现象,这些区域在退火后能带结构的变化应非常小。试验中采用40s的快速退火,注入区产生达76nm以上波长蓝移量,未注入区的波长蓝移量还不足其1/10。充分显示出该技术方法的优越性。

5 总结

本文采用浅离子注入退火InGaAs/InGaAsP应变MQW激光器外延结构,实现了大的QW混合效应以及大的带隙波长蓝移。作者认为,在浅离子注入退火条件下促成应变MQW混合的因素可能包括以下两点:(1)样片顶表面层内的Frenkel缺陷是退火过程中促成MQW实现混合的诱导因素;(2)QW层中的材料应力是促进QW混合连锁反应的催化剂,它使退火过程中缺陷的扩散诱导作用得以充分发挥,从而可实现较大的带隙波长蓝移。因此,QW区内较大的材料应力使应变MQW比无应变MQW结构只需较低的诱导量就可实现较大的QW混合蓝移。利用这一特点,作者采用浅注入退火使QW混合区内的激光器结构波长蓝移近80nm,而未注入区的激光器波长蓝移不足其1/10。

致谢 作者感谢张春辉同志所作的PL测量和图谱整理工作。

参 考 文 献

- [1] J. H. Lee, S. K. Si *et al*, *Electron Lett*, 1997, **33**: 1179~ 1181.
- [2] B. S. Ooi, S. G. Ayling *et al*, *IEEE Photonics Technol Lett*, 1995, **7**: 944~ 946.
- [3] A. Mckee, C. J. McLean *et al*, *Appl Phys Lett*, 1994, **65**: 2263~ 2265.
- [4] P. J. Poole, S. Charbonneau *et al*, *IEEE Photonics Technol Lett*, 1996, **8**: 16~ 18.
- [5] A. Randane, P. Krauz *et al*, *IEEE Photonics Technol Lett*, 1995, **7**: 1016~ 1018.
- [6] Han Dejun, Zhuang Wanru *et al*, *Nucl Instrum. Methods*, 1997, **B132**: 599~ 606.
- [7] 张燕文, 姬成周, 等, *半导体学报*, 1995, **16**(1): 36.
- [8] 江炳尧, 沈鸿烈, 等, *半导体学报*, 1993, **14**(4): 217.
- [9] T. Hirata, M. Maeda *et al*, *Jpn. J. Appl Phys*, 1990, **29**(6): L961~ L963.
- [10] S. Charboneau, P. J. Poole *et al*, *Appl Phys Lett*, 1995, **67**: 2954~ 2956.
- [11] J. -P. Noel, D. Melville *et al*, *Appl Phys Lett*, 1996, **69**: 3516~ 3518.
- [12] J. J. He, S. Charbonneau *et al*, *Appl Phys Lett*, 1996, **69**: 562~ 564.
- [13] O. P. Kowaski, C. J. Hamilton *et al*, *Appl Phys Lett*, 1998, **72**: 581~ 583.

Blue Shift of InGaAs/InGaAsP SL-MQW Laser by Shallow Ion Implantation

Zhu Hongliang, Han Dejun¹, Hu Xiongwei, Wang Xiaojie, Wang Wei

(*Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*)

(¹*Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875*)

Received 10 November 1998, revised manuscript received 8 January 1999

Abstract It has been obtained a wavelength blue-shift of 77.9nm of InGaAs/InGaAsP SL-MQW lasers with an epitaxy-finished structure by using 300keV P⁺ ion implanting and transient annealing at H₂/N₂ mixing gases. The results show also that the strain in the active region of InGaAs/InGaAsP SL-MQW can lead QW intermixing more effectively.

EEACC: 2530C, 2550B, 4320J