

InP 基近红外波段量子线激光器的电致发光谱*

杨新荣† 徐 波 王占国 任芸芸 焦玉恒 梁凌燕 汤晨光

(中国科学院半导体研究所 半导体材料科学重点实验室, 北京 100083)

摘要: 制备了 InP 基近红外波段量子线激光器, 在改变注入条件的室温连续电致发光谱测试中, 观察到了不同于带填充效应的谱型变化. 低激励时, 高能峰先出现; 随激励电流增加, 高能峰减弱并随后消失, 同时低能峰出现并激射. 认为激光器随注入电流的增加表现出的这种特殊的激射谱, 是由自组织纳米结构尺寸的不均匀分布引起的.

关键词: InAs 量子线; InP 基; 激光器; 激射谱

PACC: 2852F; 3270; 4255P

中图分类号: TN365

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2007)S0-0457-03

1 引言

自组织量子点(线)体系因其优越的光电性质而成为目前的研究热点. 理论预计, 自组织量子点(线)激光器具有比传统的量子阱激光器更稳定的温度特性、更高的增益以及更小的阈值电流等诸多优点^[1,2]. 迄今已有美国得克萨斯大学、日本 NEC 实验室以及俄罗斯约飞研究所等几个小组成功地制备了室温激射波长在 1.3 μm 的自组织量子点激光器^[3~7]. 目前大部分有关量子点(线)的研究都集中在 InAs/GaAs 体系. 与 GaAs 体系相比, InP 衬底上的报道比较少且结果具有很大的争议性. InP 基材料是半导体领域中与 GaAs 并列的另一重要体系, 制备 InP 基量子点(线)结构, 可使材料体系发光波长延伸至 1.55 μm (光纤通信窗口) 以上, 这是 GaAs 基体系很难实现的. 从目前研究看, 由于 InAs/InP 体系比较复杂, 生长条件的变化和不同的器件结构对器件特性的影响非常明显. 对 InAs/InP 体系材料的生长和器件结构都需要做进一步的研究, 以提高各项性能, 达到实用化的目的. 本文报道了室温连续激射 InP 基 InAs 量子线激光器, 并对其独特的激射光谱进行了分析.

2 实验

我们设计制备的量子线激光器的基本结构如图

1 所示, 图中左边是各层的材料、浓度, 右边是各层所起的作用.

InGaAs	p	$1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$	接触层
InAlAs	p	$1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$	上限制层
InGaAlAs			上波导层
InGaAlAs		20nm	10 层有源区
InAs		4.5ML	
InGaAlAs			下波导层
InAlAs	n	1×10^{18}	下限制层
InP(100)	n		衬底

图 1 激光器基本结构
Fig. 1 Laser structure

激光器样品是在 Gen II 型固源分子束外延 (MBE) 系统中生长. 衬底采用 n 型 InP(100) 衬底, 生长过程中钼托高速旋转以提高样品的生长均匀性. 具体生长过程如下: 首先脱去衬底氧化层, 然后依次生长晶格匹配 (300K 下晶格失配在 10^{-4} 左右) 的 n-In_{0.52}Al_{0.48}As 缓冲层和 InGaAlAs 波导层, 再淀积 10 个周期 InAs/InGaAlAs 有源区, 其中 InAs 淀积量为 4.5ML, InGaAlAs 的厚度为 20nm; 然后是上波导层和 p-InAlAs 光限制层. 最后生长 p-InGaAs 接触层. 生长温度为 500~510℃. 我们采用的是分别限制型结构 (separate confined heterostructure, SCH), 这种结构能够控制光场的扩展, 提高光模限制因子, 使阈值电流密度明显降低^[8]. 激光器二极管被制作成脊宽 22 μm, 腔长 5mm 的边发射激光器.

* 国家自然科学基金 (批准号: 60390071, 60390074, 90301007, 60306010, 60476002, 60576062) 和国家基金项目研究特别基金 (批准号: G2000068303, 2002CB31190) 资助项目

† 通信作者. Email, yangxr@mail.semi.ac.cn

2006-11-20 收到, 2006-12-13 定稿

3 结果与分析

图 2 为激光器结构有源区的透射电镜 $g = 002$ 的暗场截面像,图 2(a)为沿 $[\bar{1}10]$ 方向,图 2(b)为沿 $[110]$ 方向.由图 2 可知,其有源区为沿 $[\bar{1}10]$ 方向的量子线,量子线的平均宽度和高度分别为 25 和 6nm,图中可清楚地看到有源区的周期性结构,在生长方向表现为正对准和斜对准,两种对准方式的混合是由四元化合物 InAlGaAs 的相分离所引起.

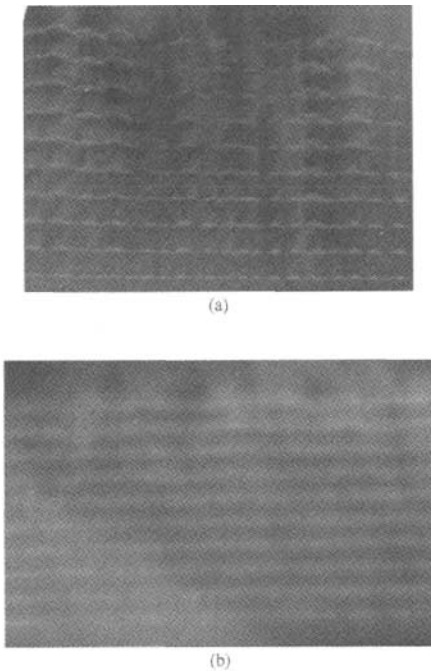


图 2 激光器结构样品透射电镜 $g = 002$ 的暗场截面像 (a) 沿 $[\bar{1}10]$ 方向的像;(b) 沿 $[110]$ 方向的像
Fig.2 Dark field ($g = 002$) cross-sectional TEM images of laser structure sample (a) Along $[\bar{1}10]$; (b) Along $[110]$

图 3 为不同电流下激光器室温连续电致发光谱,插图为激光器室温连续工作时的电流功率曲线,阈值电流为 1000mA. 如图所示,随电流增加,激光谱谱线强度不断增强.当电流足够大时,激光器增益足以补偿内部吸收和腔面损失,此时激光器激射,激射谱的中心波长为 $1.713\mu\text{m}$.从图中还可以观察到,在低注入下,电致发光谱的峰值处于高能边 ($1.635\mu\text{m}$);随注入电流增大,高能峰强度逐渐减弱直至最后消失,同时低能峰逐渐显现并最终激射.这种电致发光谱变化趋势不同于以往文献中的报道:在低激励水平下,低能峰(基态)先出现;随激励水平

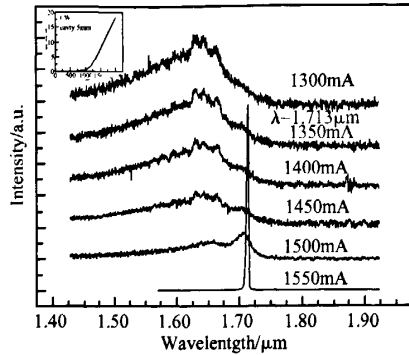


图 3 不同电流下激光器室温连续激射谱
Fig.3 Room-temperature lasing spectra of the laser under various currents Inset is the diagram of the output power versus injection current of a laser device at room temperature in CW mode.

的增加,基态饱和,然后高能峰最终激射,即所谓的能带填充效应^[9,10].高能峰和低能峰相差 34meV,这么低的能量差说明高能峰可能有两种来源:激发态或者小尺寸的量子短线.为了弄清高能峰的本质,我们对激光器结构样品进行了变功率光致发光谱(PL)测试.样品经“511”腐蚀液($\text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 1 : 1 : 5$)腐蚀大约 2min,然后进行 PL 测试.图 4 为变功率 PL 谱,谱线形状随激发功率增强没有变化,因此可排除激发态发光的可能性.发光峰最可能的来源就是不同尺寸量子点的发光.由以上分析,我们认为本文中独特的电致发光谱,可能是由于自组织量子线结构尺寸不均匀分布所引起的.量子线尺寸的不均匀分布使得量子线集团被分为多个子集,每个子集由一些具有相同光电性质的量子线构成^[11],表现在激光器电致发光谱中为不同发光波长.由于器件尺寸的选模作用,只有波长等于增益谱峰值的光子才能从增益介质内部得到

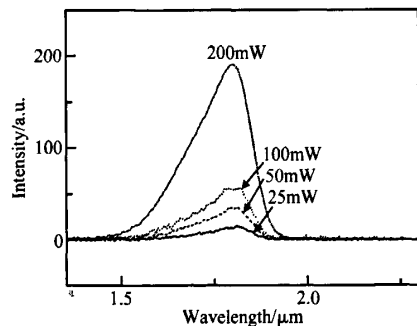


图 4 激光器结构样品室温变功率 PL 谱
Fig.4 Room-temperature PL spectra of a laser structure under different pump levels

最大的增益. 在小于阈值的低注入电流时, 模谱的包络类似自发发射谱; 随电流增加各纵模开始竞争, 对应于增益谱中心的主模的增长速率比其他纵模快, 因此最终激射. 本文中增益谱中心对应的模式谱峰应该为大尺寸量子线发光峰位即低能峰.

4 结论

研究了 InP 基长波长量子线激光器电致发光谱随注入电流的变化. 在低激励时, 高能峰先出现. 随激励电流增加, 高能峰减弱并随后消失, 同时低能峰出现并激射. 分析认为, 激光器随电流增加这种特殊的电致发光谱, 是由于自组织纳米结构尺寸的不均匀分布引起的.

参考文献

- [1] Arakawa Y, Sakaki H. Multidimensional quantum well laser and temperature dependence of its threshold current. *Appl Phys Lett*, 1982, 40(11): 939
- [2] Asada M, Miyamoto Y, Suematsu Y. Gain and the threshold of three-dimensional quantum-box lasers. *IEEE J Quantum Electron*, 1986, 22(9): 1915
- [3] Huffaker L, Park G, Zou Z, et al. 1.3- μm room-temperature GaAs-based quantum-dot laser. *Appl Phys Lett*, 1998, 73(18): 2564
- [4] Park G, Shchekin O B, Sebastian C, et al. Room-temperature continuous-wave operation of a single-layered 1.3- μm quantum dot laser. *Appl Phys Lett*, 1999, 75(21): 3267
- [5] Kohki M, Yoshiaka N, Otsubo K, et al. 1.3- μm CW lasing of InGaAs-GaAs quantum dots at room temperature with a threshold current of 8mA. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1999, 11(10): 1205
- [6] Mukai K, Nakata Y, Otsubo K, et al. 1.3- μm CW lasing characteristics of self-assembled InGaAs-GaAs quantum dots. *IEEE J Quantum Electron*, 2000, 36(4): 472
- [7] Marius G, Frank H, et al. Progress in quantum dot lasers, 1100nm, 1300nm, and high power applications. *Jpn J Appl Phys*, 2000, 39(4B): 2341
- [8] Jiang Jianping. *Semiconductor laser*. Beijing: Electronic Industries Publication, 2000; 320 (in Chinese) [江剑平. 半导体激光器. 北京: 电子工业出版社, 2000; 320]
- [9] Fafard S, Wasilewski Z R, Allen C N, et al. Lasing in quantum-dot ensembles with sharp adjustable electronic shells. *Appl Phys Lett*, 1999, 75(7): 986
- [10] Ni Allen C, Poole P J, Marshall P, et al. InAs self-assembled quantum-dot lasers grown on (100) InP. *Appl Phys Lett*, 2002, 80(19): 3629
- [11] Wang Hui. Study of the In(Ga)As/GaAs quantum dots laser. PhD Dissertation of the ISCAS, 2001 (in Chinese) [汪辉. In(Ga)As/GaAs 量子点激光器的研究. 中国科学院半导体研究所博士学位论文, 2001]

Electroluminescence Spectra of the Near-Infrared InP-Based Quantum-Wire Lasers*

Yang Xinrong[†], Xu Bo, Wang Zhanguo, Ren Yunyun, Jiao Yuheng, Liang Lingyan, and Tang Chenguang

(Key Laboratory of Semiconductor Materials Science, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: A near-infrared quantum-wire laser on InP (001) is fabricated. The electroluminescence (EL) spectra under various currents are measured, which are different from that induced by the filling effect of the energy band. Under relative low current, the EL peak is positioned at a higher energy. Then as the injection current is increased, the high energy peak gradually becomes weak and finally disappears. At the same time, a low energy peak presents, its intensity increases, and it lases up to the threshold current. We deduce that the unique EL spectra with different currents is probably caused by the inhomogeneous distribution of self-assembled quantum nanostructure size.

Key words: InAs/InP; laser; lasing spectrum

PACC: 2852F; 3270; 4255P

Article ID: 0253-4177(2007)S0-0457-03

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 60390071, 60390074, 90301007, 60306010, 60476002, 60576062) and the Special Funds for Major State Basic Research Project of China (Nos. G2000068303, 2002CB311905)

[†] Corresponding author. Email: yangxr@mail.semi.ac.cn

Received 20 November 2006, revised manuscript received 13 December 2006

©2007 Chinese Institute of Electronics