

文章编号: 0258-7025(2003)11-0961-04

新型隧道带间级联双波长半导体激光器

李建军, 沈光地, 郭伟玲, 廉 鹏, 韩 军, 邓 军, 邹德恕

(北京工业大学北京光电子技术实验室, 北京 100022)

摘要 提出了通过隧道带间级联实现半导体激光器有多个激射波长的新型物理思想,并以 GaAs 为隧道结, InGaAs 应变量子阱为有源区,利用金属有机物化学气相沉积(MOCVD)生长了含有两个有源区的双波长半导体激光器。制备了 90 μm 条宽的脊型波导器件结构,测试得到了能同时激射 951 nm 和 986 nm 两个波长的双波长半导体激光器,腔面未镀膜时的斜率效率达到了 1.12 W/A,垂直远场为基模,水平方向发散角为 10°,垂直方向发散角为 36°。

关键词 激光技术;半导体激光器;多波长;金属有机物化学气相沉积

中图分类号 TN 248.4 **文献标识码** A

Novel Semiconductor Laser with Dual-wavelength Cascaded by Tunnel Junction

LI Jian-jun, SHENG Guang-di, GUO Wei-ling,

LIAN Peng, HAN Jun, DENG Jun, ZOU De-su

(Beijing Optoelectronic Technology Laboratory, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract A novel semiconductor laser is proposed which could have multiwavelength cascaded by tunnel junction, and a dual-wavelength semiconductor which has two active regions is grown by MOCVD with GaAs as tunnel junction and InGaAs strain quantum well as the active regions. A ridge structure of 90 μm stripe width is fabricated. The measurement results show that the laser can have two lasing wavelengths, 951nm and 986nm, the slop efficiency reaches 1.12 W/A without coating, and the far-field FWHM are 10° and 36° for horizontal and vertical direction, respectively.

Key words laser technique; semiconductor laser; multi-wavelength; MOCVD

1 引 言

普通的半导体激光器通常只有一个激射波长,但是在某些情况下,如 VCD 和 DVD 兼容读写系统、彩色激光复印系统等,需要读写光头能有多激射波长。为了制备多波长系统或器件,目前已提出了各种方法^[1~4],如:1) 将不同波长的分立激光器简单组合,这需要两套光路,使得组装时间长,体积增大,且成本提高;2) 采用横结条形结构^[1],需要在外延生长结束后进行两步高温 Zn 扩散工艺,这将会影响已生长好的外延片的固有特性;3) 在单片上

采用两次金属有机物化学气相沉积(MOCVD)外延工艺^[2],先后生长两个波长的激光器结构,外延次数增加,在二次外延前的工艺如光刻、腐蚀、淀积和清洗等对第二个激光器的材料生长有很大影响,对工艺的要求非常严格。

针对上述多波长半导体激光器系统存在的问题,我们提出了一种新型带间隧道级联多波长半导体激光器,其基本原理如图 1 所示。工作时,电子通过负电极从 N 型区注入到第一个有源区中与价带的空穴复合,产生一个能量为 $h\nu_1$ 的光子,然后价带

收稿日期:2002-08-09;收到修改稿日期:2002-10-09

基金项目:国家自然科学基金(60077001)、国家 973(G20000683-02)和北京市自然科学基金(4002003)资助项目。

作者简介:李建军(1966—),男,河北人,北京工业大学副教授,博士,主要从事半导体光电子器件的研究及其材料的 MOCVD 生长。E-mail:lijianjun@bjut.edu.cn

的电子通过反偏的 PN 结隧穿到下一区的导带得到再生,并输运到第二个有源区,与价带中空穴复合后又产生一能量为 $h\nu_2$ 的光子。也就是说,如果有 N 个有源区,且各有源区的禁带宽度彼此不同,则从电极注入一个电子将会产生 N 个不同能量的光子。当注入电流达到使每一有源区实现粒子数反转后,结合合理设计的波导结构,避免各有源区间的相互耦合,则可实现该结构激光器有 N 个不同的激射波长。与其他类型多波长半导体激光器相比,带间隧道级联多波长半导体激光器具有以下优点:1) 整个器件结构由一次外延生长完成,使工艺大为简化;2) 应用了隧道带间级联机理,从电极注入一个电子,可产生 N 个不同能量的光子,内量子效率大于 1;3) 在输入电流相同的情况下,总输出光功率随有源区数目的增加成倍增加。

为了从实验上证实带间隧道级联多波长半导体激光器的可行性,我们利用 MOCVD 生长了含有两个有源区的结构,通过器件后工艺,制备出了能同时激射两个波长的半导体激光器,其激射波长分别为 951 nm 和 986 nm。

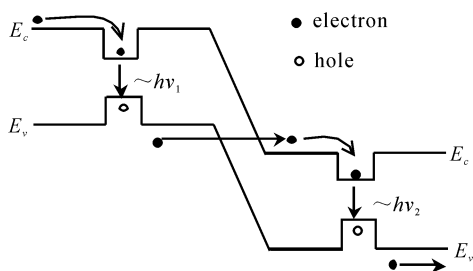


图 1 带间隧道级联多波长半导体激光器原理图
Fig. 1 Principle of the multi-wavelength semiconductor laser cascaded by tunnel junction

2 器件制备

图 2 给出了带间隧道级联双波长半导体激光器的结构示意图。首先在(100)偏(111)晶向 2° 的 n 型 GaAs 衬底上,利用 EMCORE D125 MOCVD 系统进行各层的外延生长。有源区采用非掺杂的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}/\text{InGaAs}$ GRIN-SCH 应变量子阱结构,波导层厚度为 240 nm,量子阱宽 8 nm,其中有源区 1 中的 In 组份为 0.22,有源区 2 中的 In 组份为 0.16。两个有源区通过 GaAs 隧道结进行带间级联,隧道结的 p 区用 C 作受主杂质,掺杂浓度为 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$,厚度为 12 nm,隧道结的 n 区用 Si 作施主杂质,掺杂浓度为 $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$,厚度为

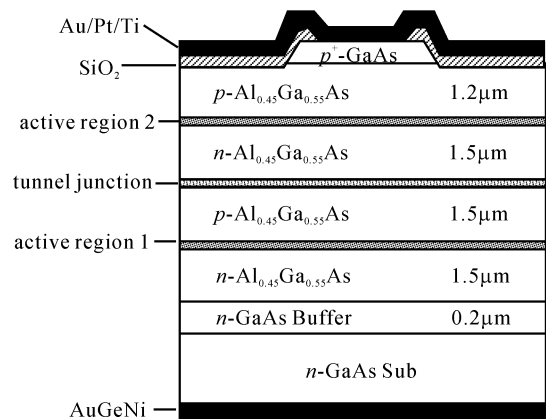


图 2 带间隧道级联双波长半导体激光器结构
Fig. 2 Scheme of the multi-wavelength semiconductor laser cascaded by tunnel junction

45 nm。波导限制层是 Al 组份为 0.45 的 AlGaAs,分别用 Si 和 C 作为施主和受主杂质,掺杂浓度为 10^{18} cm^{-3} 。器件的最顶层是 200 nm 的 p 型 C 掺杂 GaAs 帽层,掺杂浓度为 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。具体生长条件为,反应室压强 80 mbar,电机转速 1000 r/min,隧道结处的生长温度 600°C ,其他区的生长温度 730°C 。用 H_2 作载气, AsH_3 作为 As 源, TMGa, TMAI 和 TMIIn 分别作为 Ga, Al 和 In 源, CCl_4 作为 p 型掺杂剂, Si_2H_6 作为隧道结的 n 型掺杂剂,其他 n 型区域用 SiH_4 作为掺杂剂。生长隧道结的 p 区时的 V/III 为 20,其他区生长时的 V/III 大于 100。

外延生长结束后,与普通半导体激光器的制备工艺相同,制备台面微腐蚀结构。主要工艺流程为:光刻台面,溅射 SiO_2 ,光刻正面条形电极,溅射正面电极 Ti/Pt/Au,背面减薄抛光,蒸发背面电极 AuGeNi,合金,解理,烧结,压焊和封装等。为了便于器件散热,采用 p 面朝下的倒装结构。管芯宽为 $600 \mu\text{m}$,腔长为 $800 \mu\text{m}$, p 面电极条宽 $90 \mu\text{m}$ 。

3 实验结果及讨论

图 3 给出了带间隧道级联双波长半导体激光器外延片的扫描电镜(SEM)照片,由图可以清晰可见各外延生长层,各层的生长厚度与设计厚度一致。同时还测量了两个有源区的室温 PL 谱,结果如图 4 所示。先用温法腐蚀掉表面接触层和有源区 2 的部分 p 型 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ 限制层,然后测量有源区 2 的 PL 谱,得到其峰值波长为 938 nm;接着继续腐蚀样品,直到腐蚀掉有源区 1 的部分 p 型 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ 限制层,测量得到有源区 1 的峰值波长为 976 nm,

二者相差 38 nm。由于受样品的腐蚀情况及 PL 谱仪器探测精度等因素的影响,造成两个有源区的 PL 谱半峰值全宽有一定的差别。

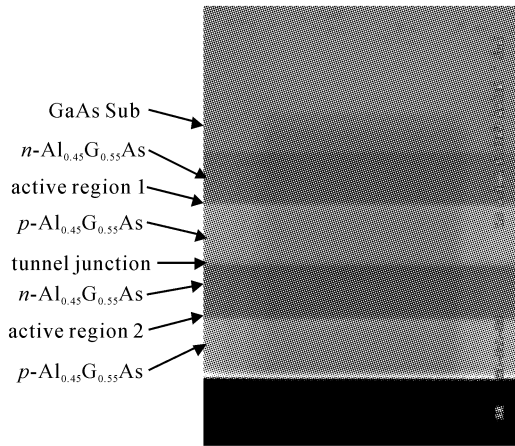


图 3 带间隧道级联双波长半导体激光器 SEM 照片
Fig. 3 SEM photograph of the dual-wavelength semiconductor laser cascaded by tunnel junction

图 5 给出了在腔面没有镀膜时,带间隧道级联双波长半导体激光器单面的光学特性测试结果。图 5(a)是光输出功率和器件端电压与输入电流的关系

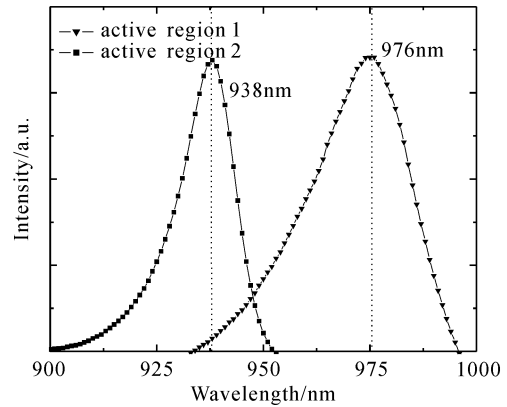


图 4 带间隧道级联双波长半导体激光器 PL 谱
Fig. 4 PL spectrum of the dual-wavelength semiconductor laser cascaded by tunnel junction

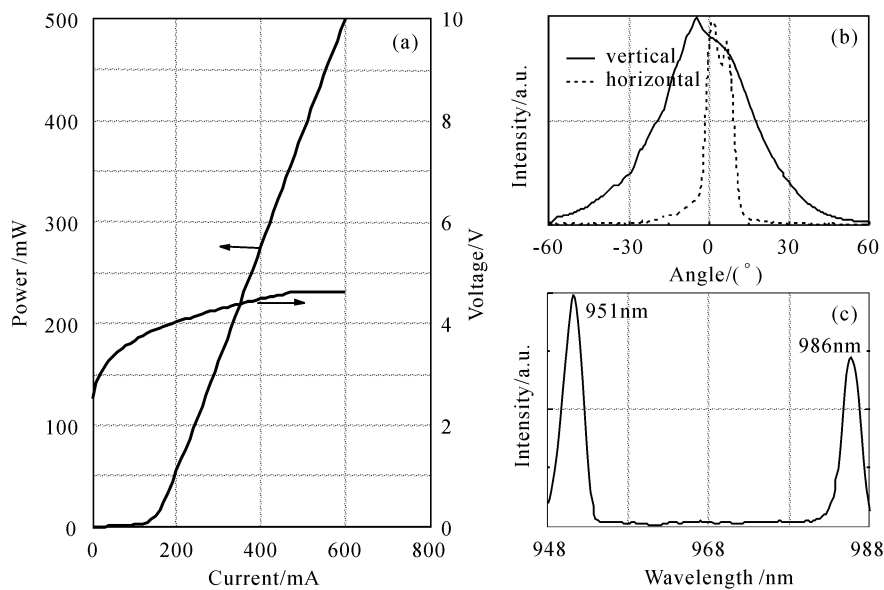


图 5 带间隧道级联双波长半导体激光器的光学特性测试结果
(a) P-I 特性;(b) 远场特性;(c) 光谱特性

Fig. 5 Optical characteristic of the dual-wavelength semiconductor laser cascaded by tunnel junction
(a) P-I characteristic; (b) far field pattern; (c) optical spectrum

曲线,器件的阈值电流为 124 mA,在 600 mA 时的光输出功率为 500 mW,斜率效率为 1.12 W/A,约为普通半导体激光器的两倍,端电压为 4.6 V,功率效率为 18%,串联电阻为 1.25 Ω 。图 5(c)是在 600 mA 的工作电流下,器件的光谱特性,由图可见,器件有两个激射波长,分别为 951 nm 和 986 nm,相差 35 nm,与 PL 谱的测试结果相一致,实现了同一半

导体激光器的双波长激射,从而从实验上证实了通过带间隧道级联实现多波长半导体激光器的可行性。实际器件的激射波长比 PL 谱测试结果的值要大,这是由于器件工作时,自由载流子和温度效应引起有源区禁带宽度变窄造成的^[5,6]。在图 5(b)中还同时给出了器件的远场特性,水平方向发散角为 10°,垂直方向的发散角为 36°,且垂直方向的远场为

单瓣,表明两个有源区的波导并没有发生耦合,各自分别激励,且在垂直方向都为基模。

4 结 论

以 GaAs 为隧道结,InGaAs 应变量子阱为有源区,利用 MOCVD 生长了有两个有源区的隧道带间级联双波长半导体激光器。90 μm 条宽脊型结构器件的测量结果表明器件的垂直远场为基模,两个有源区没有发生耦合,单面光输出的斜率效率(未镀膜)达 1.12 W/A,且有两个激励波长,分别为 951 nm 和 986 nm,两个波长的间隔与 PL 谱测试结果相一致,从而从实验上证实了通过隧道带间级联实现多波长半导体激光器的物理思想。

参 考 文 献

1 W. T. Tsang. CW multiwavelength transverse-junction-

stripe lasers grown by molecular beam epitaxy operating predominantly in single-longitudinal modes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**(6):441~443

2 Tien-chang Lu, Richard Fu, H. M. Shieh *et al.*. Characteristics of monolithically integrated two-wavelength laser diodes with aluminum-free active layers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **78**(7):853~855

3 D. P. Bour, D. W. Treat, K. J. Beernink. Infra-red AlGaAs and visible AlGaInP laser-diode stack [J]. *Electron. Lett.*, 1993, **29**(21):1855~1856

4 J. S. Major, Jun., D. F. Welch *et al.*. Individually addressable, high power singlemode laser diodes operating at 0.8, 0.85, and 0.92 μm [J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(4):391~393

5 Henry Kressel, J. K. Butler. *Semiconductor Lasers and Heterojunction Leds* [M]. New York: Academic Press, 1977. 27

6 E. Herbert Li. Material parameters of InGaAsP and InAlGaAs systems for use in quantum well structures at low and room temperatures [J]. *Physica E*, 2000, **5**:215~273

本刊增页及更改出版日期启事

近年来,由于来稿量较多,而本刊的容量又有限,为了缩短论文的发表周期,故从 2004 年第 1 期起,经上级有关部门批准,本刊将从原来的 96 面增至 128 面,出版日期从每月 20 日提前为每月 10 日。特此通知。

《中国激光》编辑部

2003 年 11 月