

InGaAsP/InP 超辐射集成光源*

刘 杨 刘 琨 宋俊峰 殷景志 康博南 姜秀英 杜国同

(吉林大学电子工程系, 集成光电子学国家重点联合实验室 长春 130023)

提要 为提高半导体超辐射器件的输出功率, 采用直接耦合的方法, 将超辐射发光管(SLD)与半导体光放大器(SOA)单片集成, 制得了 $1.3 \mu\text{m}$ 超辐射集成光源, 其脉冲输出功率为 50 mW, 光谱宽度(FWHM)为 28.9 nm。通过对放大器增益特性的讨论, 得出了既能稳定器件性能, 又可以提高输出功率的有效工作方案。

关键词 超辐射发光管, 半导体光放大器, 单片集成

1 引 言

半导体超辐射光源以其宽光谱、短相干长度等特点被广泛应用于光纤陀螺、光时域反射仪、局域网等领域, 对于长波长(光通信波长)超辐射器件, 人们通过“光谱分割”(spectrum slicing)技术^[1-3], 将一连续的超辐射宽光谱光波分割成光谱宽度(FWHM)较窄、波长间隔相等的一系列光波, 从而使长波长超辐射器件有望成为光波分复用系统的新一代光源。目前波分复用系统的光源是DFB激光器阵列, 这种器件的制作难度较大、成本高, 且输出波长不可能完全与所要求的信道对应, 存在着一定的误差, 需要特殊的校正技术^[4], 并且随着密集波分复用的到来, 这种校正会变得越来越困难。与之相比长波长超辐射器件的制造工艺较为简单, 成本较低, 借助光谱分割技术可以方便地实现信道选取, 减少了DFB激光器波长修正的麻烦, 可见长波长超辐射光源在光通信系统中有着广泛的应用前景。

但现有超辐射发光管输出功率都很低, 经分割后分配到各个信道的强度就更低, 难以满足长距离光通信的需求, 因此大功率长波长超辐射光源的研制有着重要的科学意义。半导体超辐射器件是在传统的半导体激光器的基础上, 通过抑制激射来实现超辐射发光的, 但这种抑制不是绝对的, 超辐射发光管只能工作在低增益区, 而在高增益区容易引起激射, 这在很大程度上限制了器件的发光功率的提高。为此, 人们提出用半导体光放大器进一步放大的思想, 将超辐射发光管(SLD)和半导体光放大器(SOA)通过透镜或光纤连接起来, 得到了放大的超辐射光^[5,6], 但这种分立元件的组合存在着耦合效率低, SOA的增益峰与SLD的中心波长不易匹配等缺点, 降低了放大器的工作效率。

我们提出了一种将超辐射发光管与锥形放大器单片集成的思想, 已成功地研制了短波长AlGaAs超辐射集成光源器件^[7,8]。对长波长InGaAsP/InP材料的研究, 也取得了初步的成

* 国家“863”高技术计划、国家自然科学基金(69777005)、教育部博士点基金资助项目。

收稿日期: 1998-12-16; 收到修改稿日期: 1999-02-21

果。该器件通过直接耦合的方式将超辐射发光管与锥形放大器单片集成在同一衬底上,增大了耦合效率,提高了放大器的工作效率,从而可以有效地提高输出光功率。

2 器件结构和工艺

实验采用金属有机化学气相淀积(MOCVD)生长的 1.3m InGaAsP/InP 多量子阱外延片,制作出增益导引、氧化物条形结构的超辐射集成光源。整个器件分为两部分(如图 1):超辐射发光管(SLD)部分和锥形放大器(SOA)部分,它们可以通过电极分离实现电流的分别注入,其中超辐射部分的电流注入区为条形,条宽为 3~ 5 μm,长度为 300 μm,放大器部分采用锥形电流注入区,窄端与条形发光管对接,

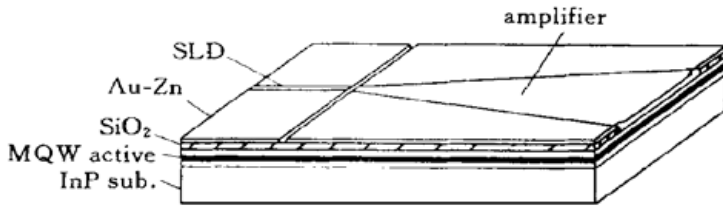


图 1 超辐射集成光源结构示意图

Fig. 1 Schematic structure of integrated superluminescent light source

宽度为 3~ 5 μm,宽端为光输出端,宽度为 130 μm,锥形长度为 1.3~ 1.5 mm。

器件的主要工艺过程为:首先采用电子束蒸发的方法在 InGaAsP/InP 多量子阱外延片上淀积一层 150 nm 厚的 SiO₂ 薄膜,选用 AZ1450J 正型光刻胶进行光刻,用化学腐蚀的方法,将光刻后露出部分的 SiO₂ 去掉,制出条形和锥形电流注入区。蒸镀 Au-Zn 上电极时,用直径为 15 μm 的钨丝遮挡,将上电极分割成超辐射发光管部分和锥形放大器部分,随后,将器件减薄至 150 μm 左右,蒸镀 Au-Ge-Ni 下电极,在 430℃ 下合金 3 min,最后解理并测试。由于这种锥形放大器本身就具有一定的抑制激射的能力,所以在研究初始阶段,没有在器件的输出端面上蒸镀抗反射膜。

3 结果和讨论

该器件的测试是用探针在脉冲(脉宽为 1 μs,占空比为 1:1000)的条件下进行的,图 2 是在超辐射区不同的注入电流(I_s)下,由放大器输出端得到的超辐射光功率与放大器注入电流

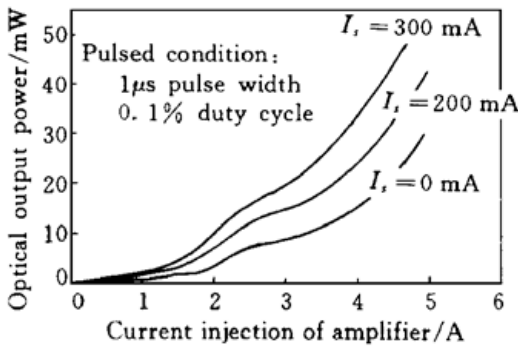


图 2 在超辐射区不同的电流注入下,超辐射集成光源输出功率与放大器注入电流的关系

Fig. 2 The optical output power of the device versus current injection of SOA at different SLD current injection

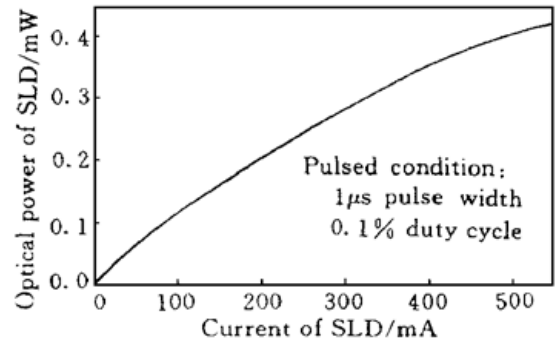


图 3 在超辐射区单独抽运时,由超辐射区一侧测得的光功率与电流特性曲线

Fig. 3 The optical output power of SLD section versus its current injection when only the SLD section is pumped

(I_a) 的关系曲线。可以看出,当超辐射部分没有电流注入,即放大器单独工作时,器件有较低的功率输出,这是放大器部分自发辐射的结果;随着超辐射部分的电流注入,输出功率较放大器单独抽运时有较大提高,其差值就是输入放大器的超辐射光被放大的部分。当 $I_a = 4.8 \text{ A}$, $I_s = 300 \text{ mA}$ 时,器件的输出功率最高,为 50 mW ,这是普通单管长波长超辐射器件难以达到的。但与短波长 AlGaAs 超辐射集成光源相比还有很大差距,这一方面与器件制作工艺有一定的关系(没有蒸镀抗反射膜),另一方面由于长波长材料与短波长相比存在较大俄歇复合^[9],使得长波长器件发光效率不如短波长高。由图中注意到,当 $I_s = 300 \text{ mA}$, $I_a = 4 \text{ A}$ 时,器件的输出光功率 $P_{out} = 34 \text{ mW}$,比 $I_s = 0, I_a = 4 \text{ A}$ 时的 $P_{out} = 16 \text{ mW}$ 有 18 mW 的提高。为了说明该器件的放大能力,我们对超辐射区单独抽运,由这一端测得其光功率随注入电流变化的关系曲线(图 3),此时由于放大器没有电流注入 ($I_a = 0$),它相当于超辐射部分的吸收区,所以从超辐射这一端得到的是超辐射光,并认为该功率近似等于对放大器的入射光功率,如图 3 所示, $I_s = 300 \text{ mA}$ 时,其输出功率为 0.284 mW ,由此可知当 $I_a = 4 \text{ A}$, $I_s = 300 \text{ mA}$ 时,放大器对输入超辐射光有 18 dB 的放大。

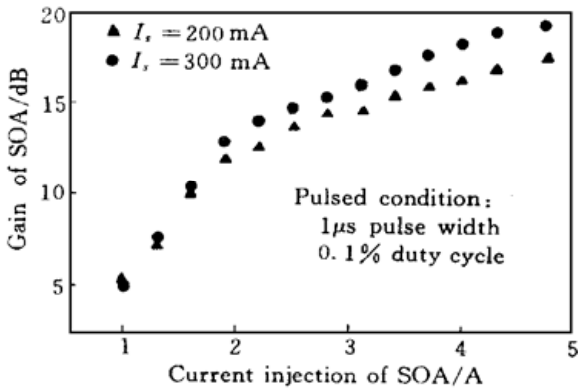


图 4 在不同的超辐射区注入电流条件下,放大器增益与其注入电流的关系曲线

Fig. 4 Gain of SOA versus its current injection at different current injections of SLD

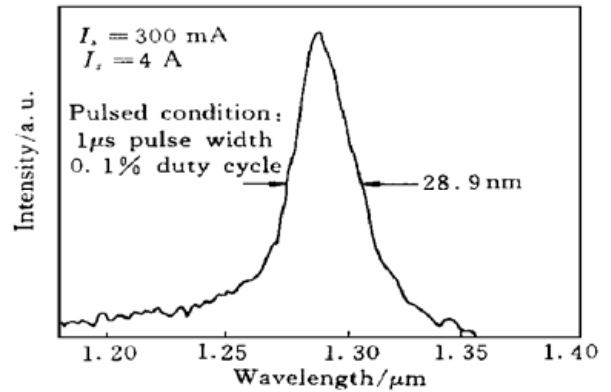


图 5 超辐射集成光源的光谱特性

Fig. 5 The emission spectrum of integrated superluminescent light source

为了更加直观地描绘半导体光放大器部分的工作状态,运用上述方法由图 2 计算得到放大器对入射超辐射光的净增益与放大器区注入电流的关系曲线(图 4),当 $I_s = 300 \text{ mA}$, $I_a = 4.75 \text{ A}$ 时达到了最大增益 19 dB ,由于超辐射部分的发出功率很小(百微瓦量级),不足以使放大器饱和,所以放大器呈现小信号增益特性,增益随着输入光强的提高而增加。在高注入下放大器趋向饱和,这在某种程度上与热效应有关,因为此时有源区温升较高,使得对温度依赖较强的俄歇复合作用增强,从而降低了辐射复合效率,使增益趋于饱和。因此,采用适当提高超辐射部分的输出功率、适当降低放大器工作电流的方法,来提高整个器件的输出功率,是一种行之有效的工作方案。它可以使有源区温度不致于过高,稳定器件性能。

对该器件的光谱特性测试表明,在低注入的条件下,输出光谱为连续谱,器件工作在超辐射状态。图 5 是在 $I_s = 300 \text{ mA}$, $I_a = 4 \text{ A}$ 时的光谱特性曲线,其中心波长为 $1.294 \mu\text{m}$,光谱宽度(FWHM)为 28.9 nm 。

参 考 文 献

- 1 M. H. Reeve, A. R. Hunwicks, W. Zhao *et al.*. LED spectral slicing for single-mode local loop applications. *Electron. Lett.*, 1988, **24**(7): 389~ 390
- 2 S. S. Wagner, T. E. Chapuran. Broadband high-density WDM transmission using superluminescent diodes. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(11): 696~ 697
- 3 D. D. Sampson, W. T. Holloway. 100 mW spectrally-uniform broadband ASE source for spectrum-sliced WDM systems. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(19): 1611~ 1612
- 4 T. K. Sudoh, Y. Nakano, K. Tada. Wavelength trimming technology for multiple-wavelength distributed-feedback laser arrays by photo-induced refractive index change. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(3): 216~ 217
- 5 L. Goldberg, D. Mehuys. High power superluminescent diode source. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(20): 1682~ 1684
- 6 K. Y. Liou, G. Raybon. Operation of an LED with a single-mode semiconductor amplifier as a broadband 1.3- μm transmitter source. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**(9): 1025~ 1027
- 7 Guotong Du, Gregory Devane, Kathleen A. Stair *et al.*. The monolithic integration of a superluminescent diode with a power amplifier. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(1): 57~ 59
- 8 Zhao Yongsheng, Du Guotong, Han Weihua. AlGaAs high-power short-wavelength superluminescent integrated source. *Progress in Nature Science*, 1998, **8**(5): 563~ 567
- 9 Govind P. Agrawal, Niloy K. Dutta. *Semiconductor Lasers*. 2nd edition, USA: Van Nostrand Reinhold, 1993. 99~ 100

InGaAsP/InP Integrated Superluminescent Light Source

Liu Yang Liu Kun Song Junfeng Yin Jingzhi

Kang Bonan Jiang Xiuying Du Guotong

(*Electronic Engineering Department, Jilin University,*

State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Changchun 130023)

Abstract In order to increase the optical output power of semiconductor superluminescent devices, a direct coupling method has been used to monolithically integrate the superluminescent diode (SLD) with a semiconductor optical amplifier (SOA). By this means, a 1.3 μm InGaAsP/InP integrated superluminescent light sources have been fabricated. 50 mW superluminescent output power is obtained in pulsed condition. The spectral width at full width at half maximum (FWHM) is 28.9 nm, the optical gain of SOA is about 19 dB.

Key words superluminescent diode, semiconductor optical amplifier, monolithic integration