

文章编号: 0258-7025(2001)05-0412-03

倾斜结构 InGaAsP/InP 集成超辐射光源^{*}

刘 杨 曾毓萍 宋俊峰 殷景志 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,在原有的将超辐射发光管(SLD)与半导体光放大器(SOA)单片集成的基础上,将器件电流注入区中心轴线倾斜 6° ,制得了 $1.5\ \mu\text{m}$ 倾斜结构的 InGaAsP/InP 集成超辐射光源。发现这种新型结构的单片集成器件具有抑制激射的功能。在较低的电流注入下,得到了 38 mW 的脉冲超辐射输出功率。其光谱宽度(FWHM)和平行、垂直于结平面的远场半宽分别为 16 nm, 15° 和 64° 。同时,通过对该集成器件特性的研究,发现如何增加 SOA 部分的入射光功率是提高该集成器件性能的一个十分关键的因素。

关键词 超辐射发光管, 半导体光放大器, 单片集成, 光谱分割, 多波长光源

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

InGaAsP/InP Integrated Superluminescent Light Source with Tilted Structure

LIU Yang ZENG Yu-ping SONG Jun-feng YIN Jing-zhi DU Guo-tong

(*Electronics Engineering Department, Jilin University, State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Changchun 130023*)

Abstract Based on original idea about monolithic integration of the SLD (superluminescent diode) with SOA (semiconductor optical amplifier), the axis of current injection region was tilted by 6° with respect to the output facet normal, by this means, $1.5\ \mu\text{m}$ InGaAsP/InP integrated superluminescent light source with tilted structure has been fabricated. High superluminescent power of 38 mW was obtained at lower pumping level by co-operation of the two sections. The spectral full width at half maximum (FWHM) is 16 nm, and the FWHM far field pattern (FFP) parallel and perpendicular to the junction plane are 15° and 64° , respectively. A new phenomenon was discovered, in which the lasing action was suppressed by pumping the SLD section of the integrated device properly.

Key words superluminescent diode, semiconductor optical amplifier, monolithic integration, spectrum slicing, multiwavelength light source

“光谱分割”^[1~3]是 20 世纪 90 年代兴起的一种光波分复用技术,它通过光波解复用器件,将一宽谱光分割成许多窄线宽的光波,从而实现了单一光源的多波长输出。这种组合形式光源的优点在于,各波长之间间隔固定,无需对波长分别进行精密调控。随着密集波分复用(DWDM)的到来,这种光源的优势会越来越明显。目前,宽谱光源主要包括半导体发光二极管(LED)和超辐射二极管(SLD)等,然而它们较低的功率输出大大地限制了光谱分割技术的应用。为了提高超辐射功率,人们提出了很多方法,例

如利用掺铒光纤放大器(EDFA)的自发射光^[4],将 SLD 与 EDFA 相串接^[5]得到放大的超辐射光,通过光纤或透镜将 LED 或 SLD 与半导体光放大器(SOA)串联得到放大的自发射光^[6,7],以及我们提出的将 SLD 与 SOA 单片集成,也得到了较高的超辐射输出^[8,9]。

本文在前阶段研究的基础上,改进了器件结构——采用倾斜结构,并优化工艺条件,在较低的电流密度下得到了较高的超辐射功率输出,同时发现这种新型结构的单片集成器件具有抑制激射的功能。

1 器件结构及制作

这种新型集成器件的结构如图 1 所示,它由条形超辐射(SLD)区和锥形放大器(SOA)区两部分组

^{*} 国家“863”高技术计划、国家自然科学基金(69777005)和教育部博士点基金资助课题。

收稿日期 2000-03-14; 收到修改稿日期 2000-04-17

成,二者可以分别驱动,锥形的张角为 5° 。为了减少端面反射,器件的中轴线相对输出端面的法线方向倾斜 6° 。整个器件是在 n -InP衬底上,采用MOCVD技术生长的。表1为该器件有源区的具体结构。 SiO_2 薄膜被用来作为电流限制。器件的典型尺寸如下:SLD区长 $200\ \mu\text{m}$,其条形电流注入区宽度为 $3\ \mu\text{m}$,SOA区长 $1500\ \mu\text{m}$,其电流注入区的窄端为 $3\ \mu\text{m}$,宽端为 $130\ \mu\text{m}$ 。尽管如此宽的光束很难被耦合进入光纤,但它很容易被耦合进入列阵波导复用器当中。由于这种倾斜结构和锥形的SOA区域在某种程度上不适合产生振荡激光,因此

在出射端面上没有蒸镀抗反射膜(AR coating)。

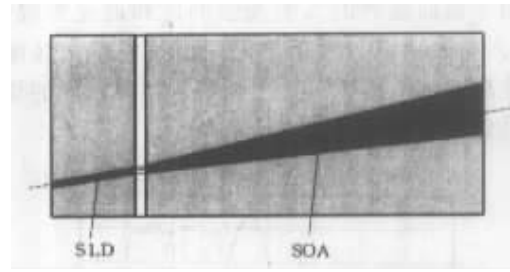


图1 超辐射集成光源结构示意图(俯视图)

Fig.1 Schematic structure of integrated superluminescent light source (top view)

表1 有源区结构

Table 1 Structure of active layer

	Thickness/nm	Strain	$\lambda_g/\mu\text{m}$	Number
Well	5	0.8% compressive strain	1.60	5
Barrier	10	-0.06% tensile strain	1.30	4

2 结果和讨论

该器件的测试是在脉宽 $10\ \mu\text{s}$,占空比1:100的条件下进行的,图2是在超辐射区不同的注入电流下,由放大器输出端得到的光功率与放大器注入电流的关系曲线,该曲线呈现“软”阈值特性,这是超辐射器件典型的特征^[9]。当放大器单独工作时,器件有较低的功率输出,随着超辐射区的电流注入,由于放大器对入射光的放大作用,整个器件的输出功率

有较大提高。从图中还可以看到,随着超辐射区注入电流的逐渐增大,输出光功率的增加量却逐渐降低,这是由于SOA区域的入射光功率(即SLD出射光功率)的饱和造成的。为此,我们在超辐射区的一端测得了当该区单独抽运时的光功率与电流的关系曲线(图2中插图),很显然,入射到放大器的光功率与该测得功率具有同样的电流变化趋势,从而证实了我们的假设。因此,SLD区的出射光功率的饱和在一定程度上限制了输出功率的进一步提高。

对该器件的光谱特性测试表明,在低注入条件下,输出光谱为连续谱,器件工作在超辐射状态。图3为放大器注入电流为 $1.1\ \text{A}$ 时,在不同超辐射区注入电流下的光谱图,中心波长为 $1.50\ \mu\text{m}$,光谱宽度(FWHM)随着超辐射区的注入增加而逐渐变窄,说明在输出的光束中受激发射的成分在不断增加。

另外,在放大器部分单独抽运时,如果不断增大电流(大于 $1.2\ \text{A}$)激光峰将会出现在光谱中心波长的长波一侧,如果此时相应将超辐射区的注入电流增大到一定程度,激光峰会逐渐消失(如图4(a)所示),说明该集成超辐射器件具有抑制激光的功能。该现象可能是由于随着入射光强的提高,入射光子主导了整个受激发射过程,逐渐耗尽了参与激光的那一部分载流子,使激光模式的增益逐渐降低,当其增益小于损耗时,激光便被抑制了。如果适当地增加放大器的注入电流,就需要更大的超辐射区的注入电流来抑制激光,即需要更多的入射光子来导引

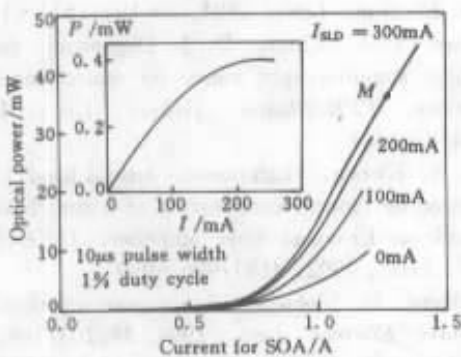


图2 在超辐射区不同的注入电流下,由放大器输出端得到的超辐射光功率与放大器注入电流的关系曲线
插图为当超辐射区单独抽运时,在该区的一端测得的光功率与电流的关系曲线

Fig.2 Optical output power of the device versus current injection of SOA at different SLD current injection
The inset shows the P - I characteristic of SLD region when it was pumped only

整个放大区的受激发射。可见,这种抑制过程同样由于前面提到的入射光强的饱和而受到限制。因此,入射光功率的大小是提高该集成器件性能的一个十分关键的因素。适当地增加超辐射区的长度是一种解决方案。

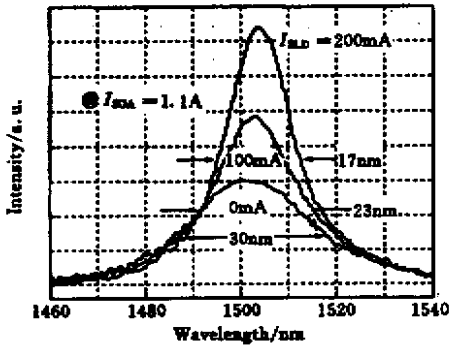


图3 当 $I_{SOA} = 1.1$ A 时,不同的超辐射电流下的光谱图

Fig.3 Spectrum at different SLD currents when

$$I_{SOA} = 1.1 \text{ A}$$

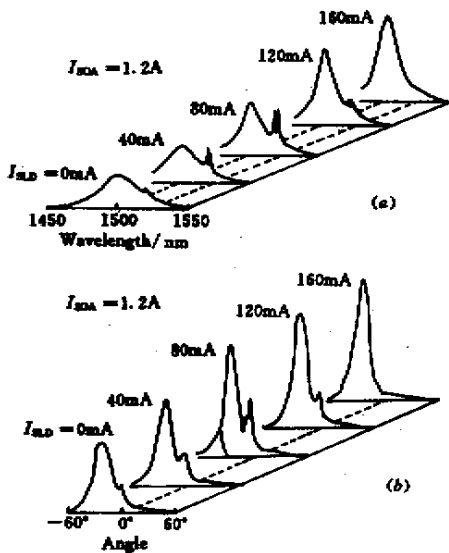


图4 $I_{SOA} = 1.2$ A 时不同超辐射电流下的光谱图(a)和
平行于结平面的远场图样(b)

Fig.4 Spectrum (a) and far field pattern parallel to the
junction plane (b) at different SLD currents when $I_{SOA} = 1.2$ A

有趣的是,我们不但在器件的发射光谱中发现了激光的抑制过程,同时也在平行于器件结平面的远场(FFP)中观测到了这一过程(如图4(b)所示)。在远场图中,出射光束的主峰位于 20° 附近,这是由于器件轴线倾斜的缘故,另外还有一个小峰出现在 0° 。从对应的光谱图中,可以断定这一部分光束是激光光,由于它们位于 0° ,即其出射方向垂直于解理端面,所以这部分激光光产生于器件两端面的F-P

振荡,腔面进一步蒸镀抗反射膜也是很必要的。

当放大器的注入电流为1.3 A,超辐射区的注入电流为300 mA时,得到了38 mW的最大超辐射输出功率(如图2中的M点位置),与此对应的电流密度分别为 1 kA/cm^2 和 50 kA/cm^2 。据我们所知,这是目前在较低的电流密度下半导体长波长器件输出的最大光功率。此时,光谱宽度(FWHM)和平行、垂直于结平面的远场半宽分别为16 nm, 15° 和 64° 。随着注入电流的进一步提高,我们得到了更高的激光功率,这暗示着该集成器件具有较大的超辐射功率潜力。

3 结论

本文在原有的将超辐射发光管与半导体光放大器单片集成思想的基础上,改进了器件结构和工艺条件,通过对该集成器件特性的研究得出了很多有益的结论:(1)如何增加SOA的入射光功率是提高该集成器件性能的一个十分关键的因素;(2)腔面进一步蒸镀抗反射膜是很必要的。这些对今后的器件制作有着重要的指导意义。

参考文献

- 1 D. K. Jung, S. K. Shin, C.-H. Lee *et al.*. WDM passive optical network based on spectrum slicing techniques. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(9):1334 ~ 1336
- 2 K.-Y. Liou, U. Koren, K. Dreyer. A 24-channel WDM transmitter for access systems using a loop back spectrally sliced light-emitting diode. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(2):270 ~ 272
- 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 J. S. Lee, Y. C. Chung, D. J. Digiiovanni. Spectrum-Sliced fiber amplifier light source for multichannel WDM Applications. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(12):1458 ~ 1461
- 5 Norman S. Kwong. High-power, broad-band 1550 nm light source by tandem combination of a superluminescent diode and an Er-doped fiber amplifier. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1992, **4**(9):996 ~ 999
- 6 L. Goldberg, D. Mehuys. High power superluminescent diode source. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(20):1682 ~ 1684
- 7 K. Y. Liou, G. Raybon. Operation of an LED with a single-mode semiconductor amplifier as a broadband $1.3 \mu\text{m}$ transmitter source. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**(9):1025 ~ 1027
- 8 Guotong Du, Gregory Devane, Kathleen A. Stair. The monolithic integration of a superluminescent diode with a power amplifier. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, **10**(1):57 ~ 59
- 9 Liu Yang, Liu Kun, Song Junfeng *et al.*. InGaAsP/InP superluminescent integrated light source. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(5):397400 (in Chinese)