

# AlGaAs 短波长超辐射集成光源\*

赵永生 孙中哲 李雪梅 宋俊峰 王之岭 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)

Shengli Wu Gregory Devane Kathleen A. Stair R. P. H. Chang  
(Material Research Center, Northwestern University, Evanston, IL60208-3108, U. S. A.)

**摘 要** 设计了一种新型半导体集成光源——AlGaAs 短波长超辐射集成光源。器件为单量子阱、增益导引的氧化物条形结构, 采用直接耦合方式将超辐射发光管与光放大器集成在一起, 在脉冲条件下获得了输出功率为 57 mW 的超辐射, 谱线宽度(FWHM)为 20 nm, 放大器的增益为 21 dB。

**关键词** 超辐射器件, 半导体光放大器, 集成光源。

## 1 引 言

高功率、宽光谱、短相干长度超辐射光源是光纤陀螺的理想光源, 由于光纤陀螺具有噪声低、抗震动、抗电磁干扰等优点, 使其在航空、航海、宇航等一切自控定向装置中有着广泛的应用, 特别是在军事领域中有着与其它陀螺竞争的优势。因此, 美国、日本等发达国家十分重视, 投入大量人力物力加以开发。近年来已研制出多种结构超辐射发光管(SLD), 这些器件都是在半导体激光器的基础上, 通过制造吸收区<sup>[1]</sup>、端面镀抗反射膜<sup>[2]</sup>、倾斜条形<sup>[3]</sup>等方式抑制激射振荡, 实现超辐射发光。在器件的制备过程中所选用的激光器基本结构也是多种多样, 如氧化物条形结构<sup>[4]</sup>、掩埋条形结构<sup>[5]</sup>、阶梯衬底内条形结构等<sup>[6]</sup>。

目前超辐射发光管的研究重点主要集中在对单元器件新结构的设计与研制上, 其结构和方法虽在不断改进, 但超辐射输出功率并没有突破性进展。据目前的文献报道, 单元器件最大输出功率只有几十毫瓦<sup>[7]</sup>。其主要原因, 一是因为无论选用何种方法抑制激射, 也不可能实现绝对的零反射, 所以这种单元器件往往在低增益区工作输出功率低, 在高增益区工作又容易引起激射; 其二是由于超辐射发光管的工作电流要比相应的激光器高得多, 器件的热效应明显, 也限制了超辐射输出功率的提高。

低功率器件远远满足不了越来越广泛的应用需要, 如波分复用多路光纤通信、光时域反射仪等都需要大功率超辐射光源。对于光纤陀螺, 大功率光源还可以有效地提高其精度和敏感性。为提高功率有人曾提出用半导体光放大器将超辐射光进一步放大的思想, 并作了初步

\* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1997-01-15; 收到修改稿日期: 1997-07-02

实验, 在实验中采用单个超辐射发光管和一个半导体光放大器, 中间选用透镜耦合, 得到了 470 mW 的超辐射光<sup>[8]</sup>。最近, 美国贝尔实验室(AT&T、Bell)也在这方面作了一些尝试, 在实验中他们将边发射发光管与光放大器用光纤连接, 对超辐射光加以放大, 但获得的输出功率仅为几毫瓦<sup>[9]</sup>。上述二种方法均属分立元件的实验性研究, 与实用化还有相当的距离。作者通过对超辐射发光管和半导体光放大器结构的分析与研究, 提出了将超辐射发光管与光放大器单片集成的思想, 并对其可行性进行了初步探索<sup>[10]</sup>。本文报道对这种集成超辐射光源的最新研究成果。实验表明, 集成超辐射器件可将发光管的超辐射输出功率提高两个数量级, 而且器件的体积小, 使用方便。

## 2 器件结构和工艺

实验采用 AlGaAs 单量子阱(SQW)外延片、增益导引、氧化物条形结构, 并采用直接耦合方式将超辐射发光管与半导体锥形放大器集成在一起。图 1 给出了这种集成超辐射光源的结构示意图。超辐射发光管部分的电流注入区为条形, 条宽 3  $\mu\text{m}$ , 长度为 360  $\mu\text{m}$ 。光放大器部分的电流注入区为锥形, 窄端与发光管对接, 宽度为 3  $\mu\text{m}$ , 宽端为光输出端, 宽度为 110  $\mu\text{m}$ , 锥形区长度为 1.3 mm。

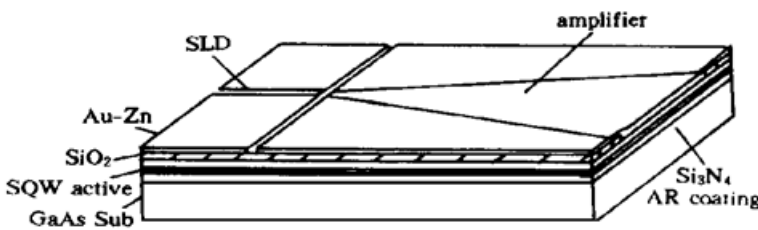


Fig. 1 Schematic structure of AlGaAs short wavelength superluminescent source by integrating superluminescent diode with the tapered optical amplifier

单量子阱外延片是由分子束外延方法生长, 各层的参数依次为: (1)  $n\text{-GaAs}$  缓冲层 0.25  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (2)  $n\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$  缓冲层 0.25  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (3)  $n\text{-Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  缓冲层 0.5  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (4)  $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  下限制层 1.0  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (5)  $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  下限制层 0.4  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{17}$ ); (6)  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  波导层 0.075  $\mu\text{m}$  厚; (7)  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$  量子阱有源层 0.0096  $\mu\text{m}$  厚; (8)  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  波导层 0.075  $\mu\text{m}$  厚; (9)  $\text{p-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  上限制层 0.4  $\mu\text{m}$  厚(Be 掺杂,  $n = 2 \times 10^{17}$ ); (10)  $\text{p-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  上限制层 0.78  $\mu\text{m}$  厚(Be 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (11)  $\text{p-GaAs}$  盖层 0.1  $\mu\text{m}$  厚(Be 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ )。上述外延片经清洁处理后沉积一层  $\text{SiO}_2$  膜, 膜厚 200 nm 左右。选用正性光刻胶 Az1350 光刻, 再用化学腐蚀方法, 将光刻后露出的区域腐蚀掉, 制成条形超辐射电流注入区和锥形放大器电流注入区, 然后蒸镀 Au-Zn 上电极, 并采用光刻胶剥离技术(lift-off 工艺)将上电极分割成发光管和光放大器二部分。最后将片子减薄至 100  $\mu\text{m}$ , 衬底面蒸镀 Au-Ge-Ni, 在 450 $^{\circ}\text{C}$  下微合金 30 s, 解理成条材, 即可镀抗反射膜。

单量子阱外延片是由分子束外延方法生长, 各层的参数依次为: (1)

$n\text{-GaAs}$  缓冲层 0.25  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (2)  $n\text{-Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$  缓冲层 0.25  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (3)  $n\text{-Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  缓冲层 0.5  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (4)  $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  下限制层 1.0  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (5)  $n\text{-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  下限制层 0.4  $\mu\text{m}$  厚(Si 掺杂,  $n = 2 \times 10^{17}$ ); (6)  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  波导层 0.075  $\mu\text{m}$  厚; (7)  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$  量子阱有源层 0.0096  $\mu\text{m}$  厚; (8)  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  波导层 0.075  $\mu\text{m}$  厚; (9)  $\text{p-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  上限制层 0.4  $\mu\text{m}$  厚(Be 掺杂,  $n = 2 \times 10^{17}$ ); (10)  $\text{p-Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  上限制层 0.78  $\mu\text{m}$  厚(Be 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ ); (11)  $\text{p-GaAs}$  盖层 0.1  $\mu\text{m}$  厚(Be 掺杂,  $n = 2 \times 10^{18}$ )。上述外延片经清洁处理后沉积一层  $\text{SiO}_2$  膜, 膜厚 200 nm 左右。选用正性光刻胶 Az1350 光刻, 再用化学腐蚀方法, 将光刻后露出的区域腐蚀掉, 制成条形超辐射电流注入区和锥形放大器电流注入区, 然后蒸镀 Au-Zn 上电极, 并采用光刻胶剥离技术(lift-off 工艺)将上电极分割成发光管和光放大器二部分。最后将片子减薄至 100  $\mu\text{m}$ , 衬底面蒸镀 Au-Ge-Ni, 在 450 $^{\circ}\text{C}$  下微合金 30 s, 解理成条材, 即可镀抗反射膜。

适用于 AlGaAs 抗反射膜的材料有  $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{SiO}_x$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  等, 本实验用电子束蒸发方法, 在半导体锥形放大器光输出端蒸镀  $\text{Si}_3\text{N}_4$  抗反射膜, 厚度为 110 nm 左右。

## 3 结果和讨论

集成超辐射光源芯片的光~ 电流特性如图 2 所示。曲线是在脉冲条件下获得, 脉宽 5  $\mu\text{s}$ ,

脉冲频率 0.2 kHz。图中(a)、(b)分别是放大器无电流注入  $I_a = 0$  和注入电流  $I_a = 1.0$  A 两种情况下,在锥形放大器的光输出端测得的输出功率与超辐射端注入电流的关系,(c)是在超辐射区的后端面测得的输出功率随发光管注入电流的关系曲线。从上述三条曲线可以看出,超辐射发光管自身的输出功率很低,在发光管的注入电流  $I_s = 150$  mA 时输出功率也只有 0.37 mW,而在放大器偏置电流为 1.0 A 时,在放大器的输出端测得的超辐射输出功率达 57 mW,若假设发光管输入到光放大器的光功率也为 0.37 mW,扣除放大器本身的光输出 ( $I_s = 0$  时的输出) 13 mW,放大器输出功率增加了 44 mW,此功率的增加是锥形放大器对发光管注入的光信号放大引起,对应光放大器的增益为 21 dB。

在图 2(b)中,当发光管的注入电流大于 100 mA 时,曲线近似线性增加,曲线斜率表征了集成超辐射发光管的放大能力,斜率越大,越有利于小信号的放大与调制。在发光管的注入电流小于 80 mA 时,放大器的放大作用不明显,其原因有待进一步研究。

图 3 分别给出了超辐射发光管和光放大器及两者同时工作时集成超辐射器件的光谱特性。(a)是发光管的注入电流为 150 mA 时,在超辐射端测得的超辐射发光管的发射光谱。(b)、(c)、(d)为该器件在放大器注入电流为 1.0 A 时,超辐射端的注入电流分别为 0 mA、100 mA、150 mA 时,在放大器的光输出端测得的光谱图。从图 3 中可以看出,这种器件发出的光是连续光谱,说明该集成光源具有超辐射特性,谱线宽度(FWHM)为 20 nm ( $I_s = 100$  mA)时。但从光谱中也可以看出随着超辐射端注入电流的增加,谱线宽度略有减少,说明激光成分略有增加,这是由于抗反射膜的质量还不是很好、存在着一定的残余反射率的缘故,其反射率为  $1 \times 10^{-3}$  左右。

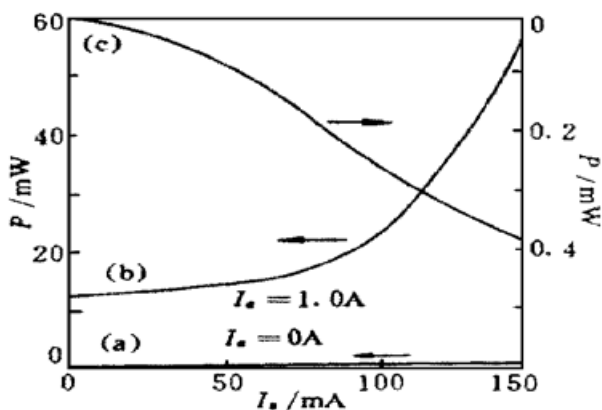


Fig. 2 The light-current characteristics of the integrated superluminescent source

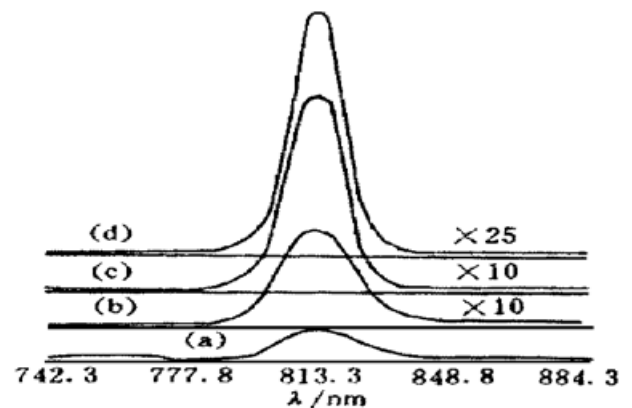


Fig. 3 The spectra characteristics of the integrated superluminescent source

实验结果表明,作者所设计的这种新型集成超辐射器件,超辐射光源与放大器有较好的相容性,光放大器对超辐射光具有明显的放大作用,可使超辐射发光管的输出功率增加二个数量级。由于这种集成器件采用直接耦合方式,工艺简单,耦合效率高,性能稳定可靠,使用方便。随着器件结构及工艺方法的改进,定会研制出性能更优良的集成超辐射光源。

### 参 考 文 献

- [1] A. T. Semenov, V. R. Shidlovski, S. A. Safin *et al.*, Superluminescent diodes for visible (670 nm) spectral range based on AlGaInP/GaInP heterostructures with tapered grounded absorber. *Electron. Lett.*, 1993, 29(6): 530~532

- [2] Thomas L. Paoli, Robert L. Thornton, Robert D. Burnham *et al.*, High-power multiple-emitter Al-GaAs superluminescent diodes. *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **47**(5) : 450~ 452
- [3] Gerard A. Alphonse, Dean B. Gilbert, M. G. Harvey *et al.*, High-power superluminescent diodes. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **QE-24**(12) : 2454~ 2457
- [4] Tien-pei Lee, Charles A. Burrus. JR., B. I. Miller, A stripe-geometry double-heterostructure amplified-spontaneous-emission (superluminescent) diode. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1973, **QE-9**(8) : 820 ~ 828
- [5] Norman S. K. Kwong, Kam Y. Lan, Nadav Bar-Chaim *et al.*, High power, high efficiency window buried heterostructure GaAlAs superluminescent diode with an integrated absorber. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(23) : 1879~ 1881
- [6] Yongsheng Zhao, Ying Liu, Xiuying Jiang *et al.*, Comparison of two kinds of AlGaAs terraced substrate inner stripe superluminescent diodes. *Opt. & Quant. Electron.*, 1996, **28**(11) : 1685~ 1690
- [7] Kazuki Tateoka, Hiroki Naito, Masaaki Yuri *et al.*, A high-power GaAlAs superluminescent diode with an antireflective window structure. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1991, **QE-27**(6) : 1568~ 1573
- [8] L. Goldberg, D. Mehuys, High power superluminescent diode source. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(20) : 1682~ 1684
- [9] K. Y. Liou, G. Raybon, Operation of a 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
- [10] Du Guotong, Zhao Yongsheng, Sun Zhongzhe *et al.*, Tentative exploration of monolithically integrated superluminescent diode with the tapered amplifier. *Proc. SPIE*, 1996, **2891** : Suppl. 39~ 42

## AlGaAs Short Wavelength Integrated Superluminescent Source

Zhao Yongsheng    Sun Zhongzhe    Li Xuemei    Song Junfeng  
Wang Zhiling    Jiang Xiuying    Du Guotong

(Department of Electronic Engineering and State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Jilin University, Changchun 130023)

Shengli Wu    Gregory Devane    Kathleen A. Stair    R. P. H. Chang  
(Material Research Center, Northwestern University, Evanston. IL6020-3108, U. S. A.)

(Received 15 January 1997; revised 2 July 1997)

**Abstract** A novel semiconductor integrated source — AlGaAs short wavelength superluminescent integrated diode has been suggested and demonstrated. It uses direct coupling of the superluminescent diode with the semiconductor amplifier. An AlGaAs SQW heterostructure wafer and gain-guide of oxide-stripe are used in the device. 57 mW superluminescent output power with 20 nm spectral width (FWHM) are obtained. The optical gain of the amplifier in the integrated device is about 21 dB.

**Key words** superluminescent diodes, semiconductor amplifiers, integrated optical sources.