

GaAs/GaAlAs 反应离子刻蚀腔面激光器

庄婉如 杨培生 陈纪瑛 李建中

(集成光电子学国家联合实验室中国科学院半导体实验区,北京,100083)

1990年10月5日收到,1991年1月22日修改定稿

采用反应离子刻蚀 GaAs/GaAlAs 双异质结构激光器的一个腔面,已经获得室温下连续激射的效果,其阈电流比解理腔面高 18% 左右,量子效率低 14% 左右。

一、引言

把光学器件与电子器件集成在一起就称光电子集成回路(OEIC)。由于它大大减小了器件之间联线的电感与电容,使芯片的调制速率大幅度提高,因而越来越受到重视。由于 OEIC 芯片器件数目大幅度增加,采用常规解理技术制作 F-P 腔面已经不可能了。为此,人们尝试了多种获得光反馈的腔面方法,诸如湿法刻蚀、干法刻蚀、微解理、停止解理等技术。

激光器腔面的刻蚀,要求腔面与有源层严格垂直,而且腔面要达到如镜面的光亮没有损伤。上述各非解理腔面方法中,干法刻蚀可以获得损伤较小、沾污较少、几乎无钻蚀的竖直表面,效果最佳。国外采用反应离子刻蚀制作腔面,已经做过不少研究^[1-6],在该基础上发展起来的反应离子束刻蚀已经获得很接近理想镜面的效果^[7,8]。本文是国内首次报道采用反应离子刻蚀腔面做成 GaAs/GaAlAs 激光器的研制结果。

二、反应离子刻蚀工艺

反应离子刻蚀是一种射频剥离腐蚀(物理过程)和等离子腐蚀(化学过程)同时起作用的过程。III-V 族化合物半导体的刻蚀比起硅和二氧化硅的刻蚀要困难些,而 GaAs/GaAlAs 的刻蚀又比 InP/InGaAs 困难,这是因为铝非常容易被氧化。曾有报道,采用 Cl₂ 刻蚀 GaAlAs 时,因残留氧而反应生成的 Al₂O₃ 吸附于刻蚀表面上,不但严重影响了刻蚀表面的光洁度,更重要的是它阻止了刻蚀反应的进一步发展。同时,导致了刻蚀表面的很大倾斜度。为了克服 Al 的氧化问题^[1-3],我们的实验采用适当比例的 SiCl₄ 和 Ar₂ 的混合气体。SiCl₄ 对腐蚀过程中因低真空度下的残留氧而生成的 Al₂O₃ 也有腐蚀作用;而 Ar⁺ 离子在射频电场作用下能加强腐蚀的垂直性。这样,就可以改善刻蚀表面的光洁度,也可以减小侧壁的倾斜度。

对于多层 GaAs/GaAlAs 异质结构的刻蚀,要想得到竖直的侧墙,光刻显影线条的平直程度是腔面平直性的基础,为此,必须要求光刻制版、甩胶、曝光、显影、坚膜各道工序都

要严格保证图形边缘的平直光滑程度。其次是要减小 GaAlAs 层的氧化，它除了选择合适的反应气体之外，还需提高系统的密闭性，防止残留氧的沾污影响。第三是要控制各层的腐蚀速率尽量接近。这就要求选择适当的工艺参数如：气体成份比、气压、流量、射频功率密度等。我们进行腔面刻蚀采用的工艺是 SiCl_4 与 Ar_2 成份比约为 1.87:1，气体总压力为 2.6Pa，射频功率密度 0.88W/cm²。此外，衬底的晶向和温度等因素也会影响腐蚀面的质量。为了减小离子轰击对腔面造成的损伤，在刻蚀后可以使用化学腐蚀液进行轻微腐蚀，只要腐蚀液选择得当，就有可能一方面使刻蚀图形在竖直方向获得补偿，另一方面也可使腔面的光洁度得到较大的改善。图 1（见图版 I）是模拟的 GaAlAs/GaAs/GaAlAs 外延片（为了观察方便，GaAs 层比实际有源层厚一些）经过反应离子刻蚀后（没有再经过化学腐蚀）侧壁的扫描电镜照片。

对于典型的腔面刻蚀：GaAlAs 层的刻蚀，大约有 12—20° 的倾角，而对于 GaAs 层的刻蚀，倾斜角约 2—5°，虽然 GaAlAs 的大倾斜角影响了腔面的整体平直度，幸好激光器的有源层仅为 GaAs 层，振荡的激光仅需在有源层内两腔面之间来回反射。因而对激光器的特性，例如阈值、增益、效率等影响较小。

三、器件构造

构成本文所述的反应离子刻蚀腔面激光器的 F-P 腔，其中一个腔面采用反应离子刻蚀，另一个腔面则使用常规的解理腔面，如图 2 所示。激光器片子采用液相外延生长常规的双异质结构，即：在 n⁺-GaAs 衬底上按顺序生长 5 μm 厚 n⁺GaAs 缓冲层，1 μm 厚 N-Ga_{0.6}Al_{0.4}As 限制层，0.3 μm 厚不掺杂 GaAs 有源层，1 μm 厚 P-Ga_{0.6}Al_{0.4}As 限制层和 1 μm 厚 p⁺GaAs 顶层。在 P 面和 n 面做成电极后，用 H⁺ 轰击做绝缘隔离制成 10 μm 条宽的 DH 片子。然后采用 AZ1350 光刻胶做掩膜。采用上节所述适当比例的 SiCl_4 与 Ar_2 的混合气体腐蚀激光器的一个腔面，腐蚀深度超过有源层。为了减小损伤，在离子刻蚀后，还使用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ 系列的化学腐蚀液，使刻蚀图形在竖直度能获得补偿，腔面光洁度也得到一定的改善。另一个腔面采用常规的解理腔面，制成反应离子刻蚀腔面激光器，激光器按常规装配，把 P 面倒扣在铜热沉上。

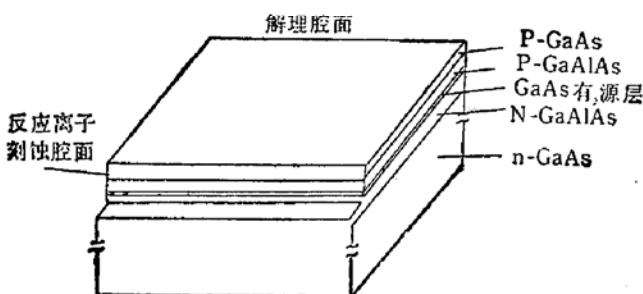


图 2 反应离子刻蚀腔面激光器结构示意图

扣在铜热沉上。

在离子刻蚀后，还使用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ 系列的化学腐蚀液，使刻蚀图形在竖直度能获得补偿，腔面光洁度也得到一定的改善。另一个腔面采用常规的解理腔面，制成反应离子刻蚀腔面激光器，激光器按常规装配，把 P 面倒扣在铜热沉上。

四、器件性能比较

为了确定反应离子刻蚀腔面的效果，我们用同一片子做了两种类型激光器。其中离子刻蚀腔面激光器是一个腔面采用反应离子刻蚀，而另一腔面采用解理腔面；另一种类型激光器则是两个腔面都采用解理腔面^[10]。

图3为两类激光器的典型L-I曲线对比, 曲线1、2、3分别对应于C16#、C22#及C08#解理腔面激光器; 曲线4、5、6则分别对应于R27#、R15#及R34#反应离子刻蚀腔面激光器。可以看出离子刻蚀腔面激光器的 I_{th} 提高了一些, 微分量子效率下降了一些, 光输出功率也下降了一些。

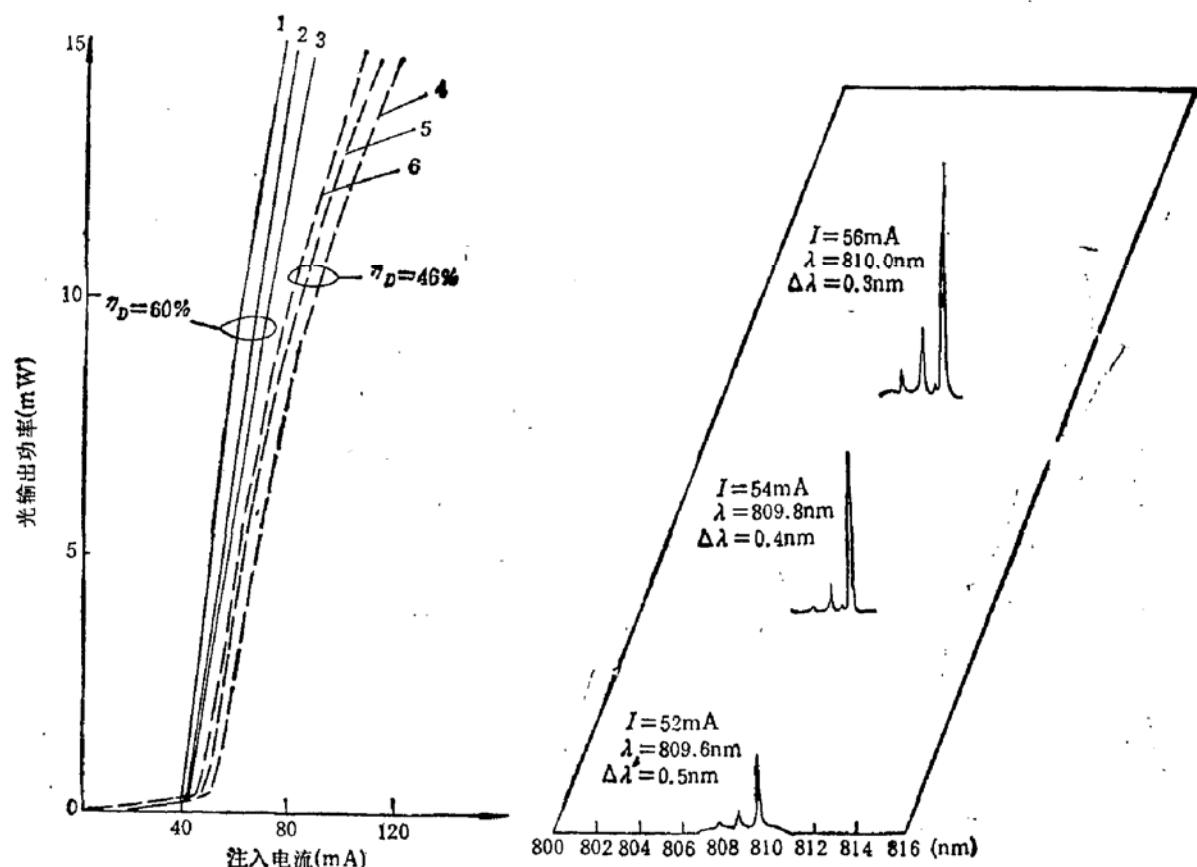


图3 反应离子刻蚀腔面激光器与解理腔面激光器的典型L-I特性比较

——解理腔面激光器 (1. C16#, 2. C22#, 3. C08#)
——反应离子刻蚀腔面激光器
(4. R27#, 5. R15#, 6. R34#)

图4为反应离子刻蚀腔面激光器的激射光谱曲线, 光谱特性与常规解理腔面激光器的光谱没有区别。

表1 本文激光器参数比较

参 数	平均阈电流 (I_{th})	平均微分效率 (双面)	80mA 的平均 光输出	光谱半宽
离子刻蚀腔面	45mA	46%	10mW	0.2~1nm
解理腔面	38mA	60%	15mW	0.2~1nm
相对变化	+18%	-23%	-33%	差不多

表1归纳了两类激光器的一些参数比较结果。表2比较了文献[11]多量子阱激光器采用反应离子束刻蚀一个腔面与两个都是解理腔面的激光器阈电流及单面斜率效率的比。

较。从原理上讲反应离子束刻蚀效果应比反应离子刻蚀要好得多。我们的实验结果从相对变化来看与此文献相对变化的差别不大。

表 2 文献[11]反应离子束刻蚀腔面激光器参数

参 数	阈电流 I_{th}	单面斜率效率
反应离子束刻蚀腔面	31 mA	0.20
解理腔面	25 mA	0.26
相对变化	+24%	-23%

五、结 论

采用合适比例的 SiCl_4 加 Ar_2 混合气体做 $\text{GaAs}/\text{GaAlAs DH}$ 激光器的腔面反应离子刻蚀, 已经得到比较竖直的效果。加上化学腐蚀减小损伤和补偿倾斜度, 可以获得比较接近解理腔面的效果。一个反应离子刻蚀腔面并一个解理腔面的激光器, 其阈电流仅是两个都是解理腔面阈电流的 1.2 倍, 量子效率降低 14%, 光输出功率减小 33%, 反应离子刻蚀腔面激光器虽然性能稍微变差, 但属于可以接受的结果, 这将为无法采用解理腔面的激光器, 例如短腔激光器、集成化激光器、各类光电集成芯片的激光器摸索出了一条较好的解决办法。

参 考 文 献

- [1] J. Z. Li et al., *Appl. Phys. Lett.*, 45(8), 897(1984).
- [2] G. J. Sonek et al., *J. Lightwave Technol.*, LT 3(5), 1147(1985).
- [3] J. Z. Li et al., *J. Vac. Sci. Techn.*, BV3(1), 406(1985).
- [4] S. S. Cooperman et al., *J. Vac. Sci. Techn.*, B7, 41(1989).
- [5] S. Semura et al., *JPN. J. Appl. Phys.*, 24, L463, (1985).
- [6] L. A. Coldren et al., *Appl. Phys. Lett.*, 37(8), 681(1980).
- [7] N. Bouadma, et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-25 (11), 2219 (1989).
- [8] M. A. Bösch et al., *Appl. Phys. Lett.*, 38(4), 264(1981).
- [9] T. Yuasa, et al., *Appl. Phys. Lett.*, 48, 748(1986).
- [10] 王启明、庄婉如; 半导体学报1(1), 219(1980).
- [11] H. Nakano, et al., *J. Lightwave Techn.*, LT-4 (6), 579 (1986).

GaAs/GaAlAs RIE-Facet Laser

Zhuang Wanru, Yang Peisheng, Chen Jiying and Li Jianzhong

(Institute of Semiconductors, National Integrated Optoelectronics Lab., P. O. Box 912, Beijing 100083)

Abstract

One facet of GaAs/GaAlAs DH laser cavity was formed by using reactive ion etching (RIE) technique. CW lasing was observed in the lasers fabricated by this method. Compared with the cleaved cavity lasers, the average threshold current of RIE facet lasers has increased by about 18%, and the average external differential quantum efficiency decreased by about 14%.