

文章编号: 0253-2239(2006)10-1565-4

# 消除半导体激光诱导腐蚀晶向影响的两步腐蚀新方法\*

刘霖 叶玉堂 吴云峰 陈镇龙 范超 王昱琳

(电子科技大学光电信息学院, 成都 610054)

**摘要:** 提出了一种消除激光化学诱导液相腐蚀晶体取向影响的新方法——两步腐蚀法。激光化学液相两步腐蚀法实质上是加长非晶向方向图形的腐蚀时间, 保证与晶向方向腐蚀程度一致。实验结果表明, 晶体取向对激光化学诱导液相腐蚀图形有较大的影响; 两步腐蚀法可以有效地消除晶体取向影响, 得到需要的图形; 与国内外普遍采用的表面抗蚀膜掩蔽和激光光强分布调节等方法相比, 具有可以处理内部晶向影响, 操作简单, 设备要求低等特点, 两步腐蚀法可以有效地克服常规方法的诸多弊端, 达到消除晶向影响的目的, 在特殊结构光电器件和光电集成中具有广泛的应用前景。

**关键词:** 光电子学; 激光辅助液相腐蚀; 晶体取向; 半导体化合物

中图分类号: TN244 文献标识码: A

## New Two-Step Etching Method Wiping off Crystal Tropism Influence in Laser-Induced Wet Chemical Etching

Liu Lin Ye Yutang Wu Yunfeng Chen Zhenlong Fan Chao Wang Yulin

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract:** A new method, laser-assisted wet two-step etching, which can wipe off the crystal tropism influence in laser induced wet-chemical etching is proposed. The essential of this method is to lengthen the etching time in non-crystal-tropism direction and assure the same etching degree as that in the crystal-tropism direction. Theoretical analysis and experimental result show that the crystal tropism influences the etched image greatly; and the two-step method can wipe off the crystal tropism influence effectively; and also, compared with the adopted normally surface mask film and laser intensity distributing accommodation, the two-step etching method can deal with the inside crystal tropism influence, operate easily and the requirement for equipment is low. The laser-assisted wet two-step etching can overcome the disadvantages of conventional ones, and wipe off the crystal tropism influence and is useful in the fabrication of special-structured optoelectronic devices and optoelectronic integration.

**Key words:** optoelectronics; laser-assisted wet etching; crystal tropism; semiconductor compound

## 1 引 言

在半导体激光化学诱导液相腐蚀中, 晶体取向对腐蚀图像形状有着很大的影响, 至今没有得到有效解决, 使得实际得到的腐蚀图样远远偏离设计需要。半导体激光化学腐蚀中晶向影响的特点一直是

国内外学者研究的一个重要方向, 进行了大量的研究工作。Kawagachi 研究了晶体取向对制作凹槽的影响<sup>[1]</sup>; Hrubesh 研究了激光辐照对腐蚀表面晶体取向影响的改变<sup>[2]</sup>; Steinsland 研究了不同晶体取向上腐蚀速率的差异<sup>[3]</sup>等等。

\* 国家自然科学基金(60277008)、教育部重点项目(03147)、电科院及四川省科技厅(04GG021-020-01)和国防科技重点实验室基金(514910501005DZ0201)资助课题。

作者简介: 刘霖(1979~), 男, 成都龙泉人, 博士研究生, 主要从事光电集成和激光微细加工研究。

E-mail: juanxiul@uestc.edu.cn

导师简介: 叶玉堂(1946~), 电子科技大学光电信息学院教授, 博士生导师, 主要从事单片光电集成, 红外技术和激光微细加工。E-mail: ytye@uestc.edu.cn

收稿日期: 2005-12-22; 收到修改稿日期: 2006-04-15

在研究晶体取向影响特点的基础上,为实现消除晶向影响这一目的,国内外学者也提出了各自不同的研究思路。主要分为两种,一种是在基片表面制作掩膜,这种方法虽然能够保证腐蚀表面图像满足设计需要<sup>[4]</sup>,但实际上并没有真正消除晶体取向影响,在掩膜下方的晶向影响仍然存在<sup>[5]</sup>。另一种是根据各向异性腐蚀速率,利用二元光学或者液晶对激光光束强度分布进行调节<sup>[6]</sup>,以控制不同方向的腐蚀速率。但此方法适应性较弱,且设备需求昂贵,失去了激光化学液相腐蚀相对离子刻蚀的优势<sup>[7]</sup>。

本文提出了一种消除晶体取向影响的新方法—激光化学液相两步腐蚀法,该方法的主要思路是先不考虑晶体取向影响,直接制作腐蚀图形,再根据腐蚀图形特点进行二次腐蚀。该方法的本质是加长非晶向方向图形的腐蚀时间,以达到设计要求。实验结果表明,控制好激光功率和腐蚀液浓度,可以得到较好的腐蚀图形,弥补晶体取向造成的影响,具有可以处理内部晶向影响的能力<sup>[8]</sup>。

## 2 激光化学诱导液相两步腐蚀法

### 2.1 两步腐蚀法实验装置

两步腐蚀法实验装置如图 1 所示,主要包括 0.53  $\mu\text{m}$  倍频 YAG 激光器,可旋动光学架和三维移动平台构成。可旋动光学架主要用于固定掩膜板,并在不移动光学架的情况下可以根据需要自由选择掩膜板。三维移动平台用于激光光束中心点的对准,可以自由调节半导体基片上任何点与激光光束中心对齐。通过两步腐蚀法实验装置中掩膜板与三维移动平台的配合作用,可以灵活控制腐蚀基片上各个区域的激光功率和腐蚀时间。

两步腐蚀法将激光化学腐蚀分为两步完成,第一

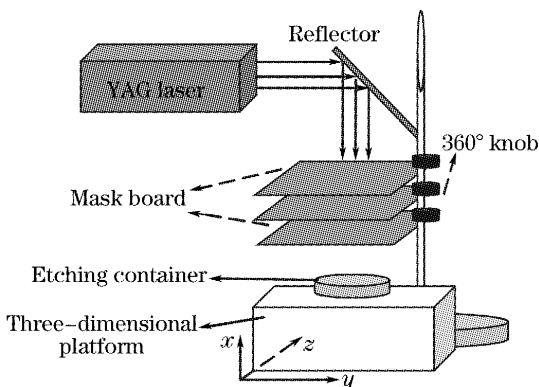


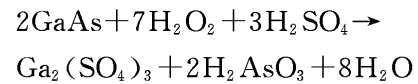
图 1 激光诱导液相两步腐蚀法实验装置

Fig. 1 Apparatus of laser-assisted wet two-step etching

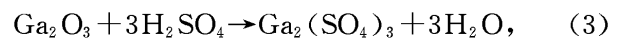
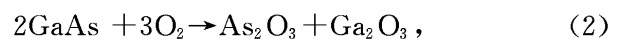
步利用掩膜板控制激光形状,直接制作腐蚀图像;第二步再根据需要,通过掩膜板和三维平台的控制,对垂直晶向方向适当延长腐蚀时间,以达到与晶向方向相同的腐蚀效果。

### 2.2 两步腐蚀法的理论基础

$\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  激光化学腐蚀 GaAs 的反应机理为



实际上分为了 GaAs 的氧化过程和氧化物的溶解过程。反应方程式为



由于 GaAs 基片晶体取向的影响,在激光功率等外在条件均相同的情况下,平行于晶体取向的腐蚀速率将大于垂直于晶体取向的腐蚀速率。另一方面,由于光生电子-空穴对是由大于半导体禁带宽度的入射光所激发,光生电子-空穴对的产生速度依赖于入射光的光功率密度。对于一定的光功率密度,腐蚀时间越长,腐蚀表面产生的电子-空穴对也就越多,而光功率密度增加,电子-空穴对的产生率也增加,必然加快腐蚀的速率。

如果能够自由控制基片表面各区域的激光腐蚀功率和时间,在垂直晶向方向适当加长腐蚀时间,便有可能去除晶向取向影响,得到需要的腐蚀图像。

## 3 实验结果及讨论

### 3.1 半导体激光化学液相腐蚀晶体取向的影响

制作直径为 50  $\mu\text{m}$  的全对称图形激光化学腐蚀圆孔。在实验前先不考虑晶体的取向,根据第一步得到的图形形状特点,可对其快慢轴进行有效判断,并进而确定后一步腐蚀的方向。

图 2(a)是制作腐蚀圆孔第一步时采用的圆孔形掩膜板,图 2(b)是相应得到的半导体激光化学液相腐蚀圆孔。通过反复实验,最终选择的腐蚀液体积比为  $V(\text{H}_2\text{SO}_4):V(\text{H}_2\text{O}_2):V(\text{H}_2\text{O})=3:1:10$ ,激光功率为 700 mW,激光光斑为圆形,直接照射在基片上时直径为 5 mm,掩膜板透光圆孔直径为 30  $\mu\text{m}$ ,腐蚀时间为 5 min。从图 2 可以看到,因晶体取向影响,得到的腐蚀图样为杏仁形,长边平行于晶体取向方向,约为 50  $\mu\text{m}$ ,短边垂直于晶体取向方向,约为 30  $\mu\text{m}$ 。

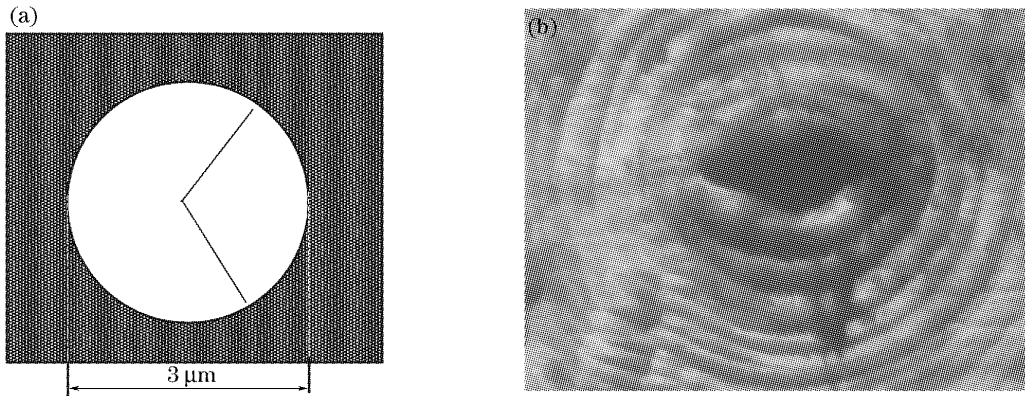


图 2 半导体激光化学液相腐蚀晶体取向的影响。(a)圆孔掩模板,(b)杏仁形腐蚀孔  
 Fig. 2 Influence of crystal tropism of semiconductor in laser chemical wet etching. (a) Round-hole mask board, (b) almond-shaped etching hole

### 3.2 激光化学液相两步腐蚀法去除单边晶体取向影响

为了将图 2 中的杏仁形腐蚀孔变为圆形腐蚀孔, 首先研究了如何将杏仁单边尖角转变为圆弧, 以寻找适合的工艺参量。通过反复实验研究, 最终确定掩模板透光孔形状为弓形, 弦长为 40 μm, 如图 3(a) 所示。在第二步腐蚀中, 激光功率降为 300 mW, 腐蚀液浓度降为  $V(H_2SO_4):V(H_2O_2):V(H_2O)=5:1:20$ , 腐蚀时间为 10 min, 并通过三维移动平台与旋转光学架

的调节, 将激光光束中心点与弦长中心点重合。图 3(b) 是所得到的腐蚀孔形状。可以看出, 通过第二步腐蚀, 将杏仁形的腐蚀孔的单边尖角消除, 转变为圆弧, 另一边的尖角保持不变, 长边仍约为 50 μm, 短边为 30 μm。说明通过二步腐蚀的确可以消除晶体取向影响。二步腐蚀时, 腐蚀液的配比浓度需要下调, 这主要是因为第一步腐蚀中, GaAs 基片实质上已经受到酸性腐蚀液的预处理, 腐蚀速率在第二步腐蚀时将有所提高<sup>[9]</sup>。

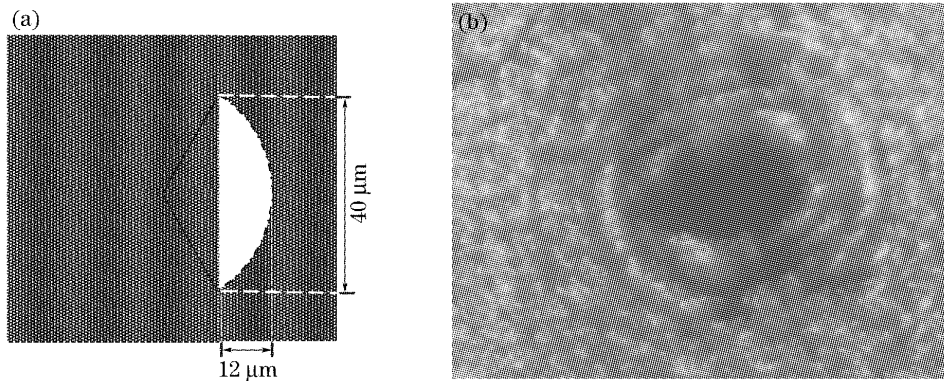


图 3 去除单边半导体激光化学液相腐蚀晶体取向影响。(a)扇形孔掩模板,(b)水滴形腐蚀孔  
 Fig. 3 One side wipe of influence of crystal tropism of semiconductor in laser chemical wet etching. (a) Sector hole shaped, mask board, (b) drip-shape etching hole

### 3.3 激光化学液相两步腐蚀法去除双边晶体取向影响

通过去除单边晶向影响的实验研究, 得到了较理想的第二步腐蚀所需要的激光功率和腐蚀液浓度仍然保持激光功率为 300 mW, 腐蚀液浓度为  $V(H_2SO_4):V(H_2O_2):V(H_2O)=5:1:20$ , 腐蚀时间

为 10 min, 掩模板采用对称的弓形, 弦长均为 40 μm, 如图 4(a) 所示。图 4(b) 是所得到的腐蚀圆孔。从图 4(b) 可以看出, 通过二步腐蚀, 将杏仁形的腐蚀孔的双边尖角均消除, 转变为圆弧, 得到了较理想的直径约为 50 μm 的腐蚀圆孔。

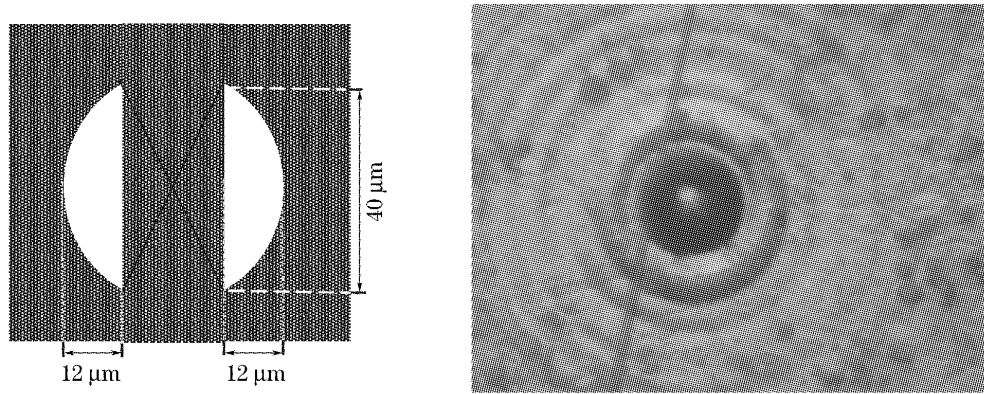


图 4 去除双边半导体激光化学液相腐蚀晶体取向影响。(a)对称扇形孔掩模板,(b)腐蚀圆孔

Fig. 4 Two sides wipe of influence of crystal tropism of semiconductor in laser chemical wet etching. (a) Symmetric sector hole shaped mask board, (b) etching hole

## 4 结 论

提出了一种消除激光化学诱导液相腐蚀晶体取向影响的新方法——两步腐蚀法,克服了常规方法的诸多弊端,达到去除晶向影响的目的,在特殊结构光电器件和光电集成中具有广泛的应用前景。如果需要腐蚀多孔阵列,需要对实验进行相应改进,采用汞灯等大面积光源和孔阵列掩模板相结合的方法,课题组将在下一步对该方法的多孔成形技术进行深入研究。

## 参 考 文 献

- 1 Kawaguchi Yoshizo, Sato Tadate, Narazaki Aiko *et al.*. Etching a micro-trench with a maximum aspect ratio of 60 on silica glass by laser-induced backside wet etching[J]. *Japanese J. Applied Physics, Part 2: Letters*, 2005, **44**(1~7): L176~L178
  - 2 L. W. Hrubesh, M. A. Norton, W. A. Molander *et al.*. Chemical etch effects on laser-induced surface damage growth in fused silica[C]. *Proc. SPIE*, 2001, **4347**: 553~559
  - 3 Elin Steinsland, Terje Finstad, Anders Hanneberg *et al.*. Etch rates of (100), (111) and (110) single-crystal silicon in TMAH measured in situ by laser reflectance interferometry[J]. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 2000, **86**(1~2): 73~80
  - 4 T. Oishi, M. Goto, Y. Pihosh *et al.*. Silicon microstructure fabricated by laser micro-patterning method combined with wet etching process [J]. *Appl. Sur. Sci.*, 2005, **241** (1~2): 223~226
  - 5 Yokouchi Noriyuki, Nanner Aaron. J, Choquette Kent. D *et al.*. Etching depth dependence of the effective refractive index in two-dimensional photonic-crystal-patterned vertical-cavity surface-emitting laser structures[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **82**(9): 1344~1346
  - 6 Lussara Azevedo Manhaes, Denise Cerqueira Oliveira, Marcia Martins Marques *et al.*. Influence of Er: YAG laser surface treatment and primer application methods on microtensile bond strength self-etching systems [J]. *Photomedicine and Laser Surgery*, 2005, **23**(3): 304~312
  - 7 S. Mailis, G. W. Ross, L. Reekie *et al.*. Fabrication of surface relief gratings on lithium niobate by combined UV laser and wet etching[J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(21): 1801~1803
  - 8 Liu Lin, Zhao Suying, Liu Juanxiu *et al.*. Laser etching holes diameter controlling and transverse etching [J]. *J. Optoelectronics Laser*, 2005, **16**(7): 841~844 (in Chinese)
  - 9 Liu Lin, Ye Yutang, Liu Juanxiu *et al.*. A new order-selective etching method in laser induced wet-chemical etching[J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, **33**(1): 49~52 (in Chinese)
  - 10 Zhang Song, Zhang Chunhua, Wen Xiaozhong *et al.*. Cavitation erosion performance of laser surface cladding MMC of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> on AA6061 aluminum alloy [J]. *Chin. J. Lasers*, 2003, **30** (2): 185~188 (in Chinese)
  - 11 Li Changan, Liu Zhanhui, Sun Yongkang *et al.*. Fabrication of optical fiber probes by dynamic chemical etching based on siphon principle[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(11): 1441~1444
- 刘霖,赵素英,刘娟秀等. 激光化学腐蚀孔直径控制与横向腐蚀特性[J]. *光电子激光*, 2005, **16**(7): 841~844
- 刘霖,叶玉堂,刘娟秀等. 激光化学液相次序选择腐蚀新方法[J]. *中国激光*, 2006, **33**(1): 49~52
- 张松,张春华,文效忠等. AA6061Al合金表面 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>激光熔覆层的空泡腐蚀性能张[J]. *中国激光*, 2003, **30**(2): 185~188 (in Chinese)
- 李昌安,刘战辉,孙永康等. 虹吸动态化学腐蚀法制备近场光学显微镜光纤探针的研究 [J]. *光学学报*, 2004, **24** (11): 1441~1444