

# GaAs、AlAs、DBR 反应离子刻蚀速率的研究\*

刘文楷 林世鸣 武 术 朱家廉 高俊华 渠 波 陆建祖 廖奇为 邓 晖 陈弘达

(中国科学院半导体研究所 集成光电子国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 采用  $\text{BCl}_3$  和  $\text{Ar}$  作为刻蚀气体对 GaAs、AlAs、DBR 反应离子刻蚀的速率进行了研究, 通过控制反应的压力、功率、气体流量和气体组分达到对刻蚀速率的控制。实验结果表明: 在同样条件下 GaAs 刻蚀的速率高于 DBR 和 AlAs, 在一定条件下 GaAs 刻蚀的刻蚀速率可达  $400\text{nm/min}$ , AlAs 的刻蚀速率可达  $350\text{nm/min}$ , DBR 的刻蚀速率可达  $340\text{nm/min}$ , 刻蚀后能够具有光滑的形貌, 同时能够形成陡直的侧墙, 侧墙的角度可达  $85^\circ$ 。

**关键词:** 反应离子刻蚀; 刻蚀速率; GaAs; AlAs; DBR

**EEACC:** 2860; 2610F

**中图分类号:** TN 305. 7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2001)09-1222-04

## 1 引言

随着图形的微细化对刻蚀分辨率的要求不断提高, 干法刻蚀以其可控性好、精确度高、较好的表面形貌、宜批量生产等特点受到普遍重视, 目前国内有的研究工作者已将干法刻蚀应用到 PZT 薄膜的制备上<sup>[1]</sup>。

干法刻蚀主要利用气体辉光放电产生化学活性基、原子、离子等多种化学成分和被腐蚀物质表面发生作用, 是一复杂的物理、化学过程。干法刻蚀主要包括: 物理溅射或离子刻蚀、等离子体刻蚀、反应离子刻蚀、离子束刻蚀。

III-V 族化合物如 GaAs、AlAs、InP、AlGaInP 等广泛应用于电子器件和光子器件。随着器件的微型化和高度集成化, III-V 族化合物的干法刻蚀引起了广大研究人员的重视。

垂直腔面发射激光器作为一种新型的半导体激光器在光互连、光通信、光信息处理等方面有着广泛的应用前景。面发射激光器的 F-P 腔由上下两个交替生长的 AlAs 和  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  堆积而成的分布布

喇格反射镜(Distributed Bragg Reflector DBR)组成。目前, 国内对面发射激光器的制作采用传统的湿法刻蚀工艺, 限制了器件性能的改进和集成度的提高。我们在用干法刻蚀 AlAs 和 GaAs 的同时, 对这种交替生长的 DBR 的刻蚀工艺进行了摸索。

目前, 国外对 AlAs、GaAs 的干法刻蚀大多采用  $\text{SiCl}_4/\text{Cl}_2$ <sup>[2]</sup>,  $\text{BCl}_3/\text{Cl}_2$ <sup>[3]</sup>,  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$ <sup>[4,5]</sup>,  $\text{SiCl}_4/\text{CH}_4/\text{Ar}$ <sup>[6]</sup>,  $\text{SiCl}_4$ <sup>[7]</sup>,  $\text{BCl}_3/\text{Cl}_2/\text{Ar}$ <sup>[8]</sup> 作为刻蚀气体, 本文采用  $\text{BCl}_3$  和  $\text{Ar}$  作为刻蚀气体对 GaAs、AlAs 和 DBR 刻蚀的速率进行了研究, 主要研究了几种因素对反应离子刻蚀速率的影响。

## 2 实验结果及分析

实验是在英国 Plasma Technology 公司生产的 RIE-80 平行板电极系统中进行的, 放置样品的下电极为直径 17cm 的阴极, 射频电源的工作频率为 13. 56MHz, 真空系统由罗茨泵和机械泵组成, 反应室本底真空为 0.13Pa, 采用  $\text{BCl}_3$  和  $\text{Ar}$  作为刻蚀气体, 气体流量由质量流量计控制, 采用厚度为  $3\mu\text{m}$  的 S1400-37 正胶作为掩模。我们所使用的 AlAs 和

\* 国家自然科学基金项目(批准号: 69896260, 69937010)。

刘文楷 男, 1968 年出生, 博士研究生, 从事半导体光电子器件的研究。

林世鸣 男, 1945 年出生, 研究员, 从事半导体光电子器件的研究。

武 术 男, 1975 年出生, 硕士研究生, 从事半导体光电子器件的研究。

2000-12-02 收到, 2001-02-16 定稿

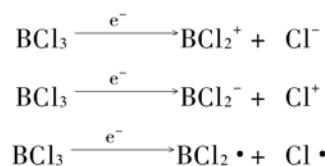
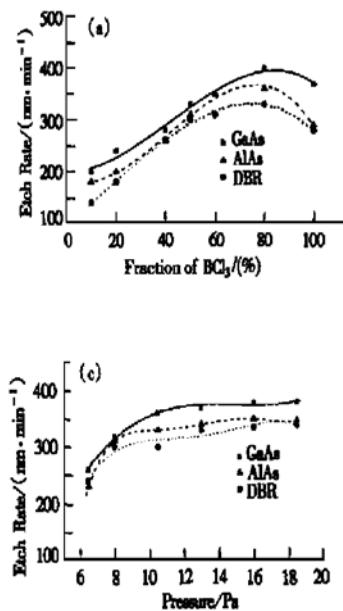
©2001 中国电子学会

DBR 是不同温度下在 GaAs 衬底上用分子束外延方法生长的, 其中 AlAs 厚度为  $2.8\mu\text{m}$ , 表面有  $10\text{nm}$  GaAs 层; DBR 由 21 对 P 型 ( $\text{Be}: 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ) 掺杂的 AlAs ( $72\text{nm}$ )– $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$  ( $61\text{nm}$ ) 组成, 其表面被  $10\text{nm}$  的 GaAs 所覆盖。用光学显微镜和 SEM 对刻蚀剖面和表面进行观察和测量。为了防止 GaAs、AlAs、DBR 表面可能的氧化物对刻蚀产生的影响, 刻蚀前用稀硫酸对样品表面进行处理。刻蚀过程中活性基对光刻胶的腐蚀作用可以忽略, 但光刻胶表面不可避免地受到离子轰击作用, 造成光刻胶边缘的刻蚀<sup>[2]</sup>, 对器件尺寸产生一定的影响。

影响反应离子刻蚀的因素很多, 我们主要从以下几个方面进行摸索。

#### (1) 气体组分对刻蚀速率的影响

图 1(a) 是  $\text{BCl}_3$  组分对速率的影响, 由图中可以看出, 在保持气体总流量不变的情况下, 在  $\text{BCl}_3$  所占百分比较低时, 随着  $\text{BCl}_3$  组分的增加刻蚀速率增大。当  $\text{BCl}_3$  所占百分比达到 80% 左右时, 速率达到最大, 这是因为在等离子体中存在下列过程<sup>[9]</sup>:



其中  $\text{BCl}_2 \cdot$  和  $\text{Cl} \cdot$  代表化学活性基。这表明随着  $\text{BCl}_3$  组分的增加, 离子的轰击能力和化学反应作用都有所提高, 所以刻蚀速率增加。当  $\text{BCl}_3$  所占组分比较高时, 可能是由于当较高浓度的  $\text{BCl}_3$  各种化学成分重新聚合导致离子轰击能力减弱, 化学反应能力降低使刻蚀速率降低。

#### (2) 气体总流量对刻蚀速率的影响

图 1(b) 是气体总流量与刻蚀速率关系曲线, 由图中可以看出, 气体总流量对刻蚀速率的影响不大。有的实验结果表明: 随着气体总量的增加, 刻蚀速率增加<sup>[7]</sup>。我们认为, 根据我们设备条件, 此功率下气体离化已经达到饱和。增加气体总量不会引起离子和活性基的增加, 所以刻蚀速率变化不大。如果射频功率能够继续增加, 气体总量与刻蚀速率关系曲线可能会发生变化。

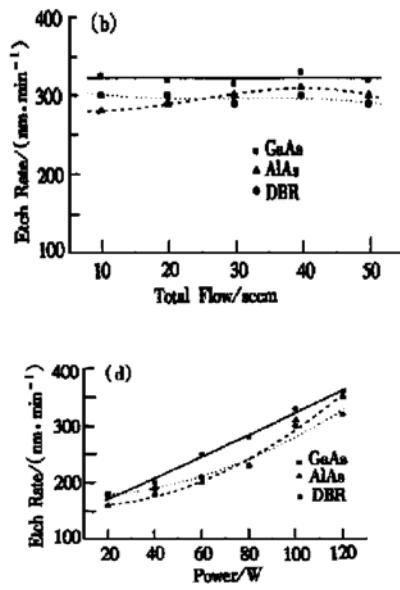


图 1 (a) 气体组分对刻蚀速率的影响 气体流量为 40sccm, 射频功率 100W, 压强为 8Pa, 刻蚀时间为 10min; (b) 气体总流量与刻蚀速率关系 射频功率为 100W,  $\text{BCl}_3$  的组分为 50%, 压强为 8Pa, 刻蚀时间为 10min; (c) 压强与刻蚀速率关系 射频功率为 100W,  $\text{BCl}_3$  的组分占 50%, 气体流量为 40sccm, 刻蚀时间为 10min; (d) 射频功率与刻蚀速率关系 压强为 8Pa,  $\text{BCl}_3$  的组分占 50%, 气体流量为 40sccm, 刻蚀时间为 10min。

FIG. 1 (a) Etch Rates as a Function of Fraction of  $\text{BCl}_3$  Flow rates= 40sccm, RF power= 100W, Pressure = 8Pa, Etch time= 10min; (b) Etch Rates vs Total Flow RF power= 100W,  $\text{BCl}_3$  concentration= 50%, Pressure = 8Pa, Etch time= 10min; (c) Etch Rates vs Pressure RF power= 100W,  $\text{BCl}_3$  concentration= 50%, Flow rates= 40sccm, Etch time= 10min; (d) Etch Rates vs RF Power Pressure= 8Pa,  $\text{BCl}_3$  concentration= 50%, Flow rates= 40sccm, Etch time= 10min.

### (3) 压强对刻蚀速率的影响

图 1(c)是压强对刻蚀速率的影响,由图中可以看出,在压强较低的情况下,刻蚀速率随着压强的增加而增加,压强增加到一定程度速率逐渐趋于饱和。我们认为,在低压情况下,随着压强的增大各种活性原子数量增加化学作用增强,引起了刻蚀速率增加,但是随着压强的增加,气体碰撞频繁导致离子的物理轰击作用减小,刻蚀速率减小,后者在较高压强下表现才显著,这两方面的因素存在互相竞争,因此导致实验中刻蚀速率先随压强增加而增加,而后渐趋饱和。

### (4) 射频功率对刻蚀速率的影响

图 1(d)是射频功率对刻蚀速率的影响,由图中可以看出,随着射频功率的增加刻蚀速率几乎是线性增加,这是因为功率增加,气体的离化率增加,离子的物理轰击作用和化学作用增加,导致刻蚀速率随功率增加。

由以上各图注意到: GaAs 的刻蚀速率高于 AlAs 和 DBR, 这是由于反应离子刻蚀涉及参与反应的粒子的产生、输运以及反应产物的脱逸等过程, 在反应产物中含 Al 元素的化合物挥发性相对较弱, 所以 GaAs 的刻蚀速率高于 AlAs 和 DBR。

刻蚀后的截面和表面形貌是衡量刻蚀结果的重要标志。图 2(a)–(d)是功率为 100W,  $\text{BCl}_3$  的组分占 50%, 气体总量为 40sccm, 压强为 8Pa 时, 刻后样品的截面或表面形貌的 SEM 相片, 各图中样品表面的光刻胶还没有去除。

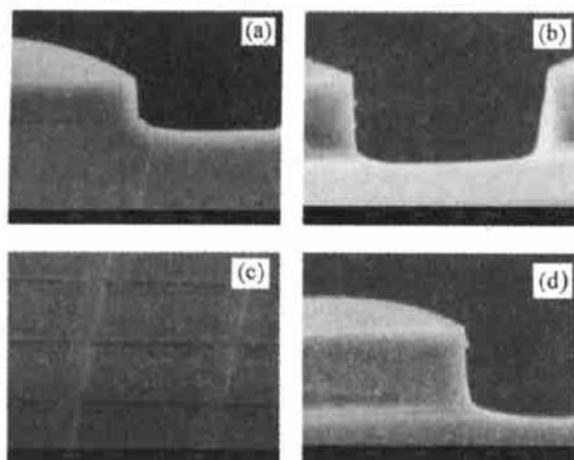


图 2 刻蚀截面和表面形貌

FIG. 2 Etch Profile and Surface

图 2(a)是 AlAs 刻蚀 10min 后的截面(衬底为 GaAs), 图 2(c)–(d)是另一种用金属有机化合物汽相沉淀(MOCVD)方法生长的 DBR(衬底为 GaAs), 刻蚀 15min 后的刻蚀截面和表面形貌, 该 DBR 由 28 对 N 型掺杂( $\text{Si}: 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )的 GaAs (70nm)– $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$  (81.5nm)组成, 由于掺杂成分和组分的不同, 其刻蚀速率与 MBE 方法生长的 DBR 刻蚀速率有所不同, 但表面形貌和刻蚀截面基本没有差别。图 2(b)两个台之间的原始间隔为 8μm, 刻蚀后两个台的间隔大于 8μm, 这是因为, 在刻蚀过程中离子对光刻胶表面的轰击, 造成胶边缘的刻蚀, 导致两个图形尺寸缩小。图 2(c)是刻蚀后含有多个图形的俯视图, 由图中可以看出干法刻蚀后的表面形貌比较光滑, 由图 2(d)可以分辨出 DBR 的交替结构。由以上各图可以看出我们使用反应离子刻蚀能够形成较为陡直的侧墙, 侧墙的角度可达 85°, 刻蚀后的表面比较平滑。

## 3 结论

我们采用  $\text{BCl}_3$  和 Ar 作为刻蚀气体对 GaAs、AlAs、DBR 反应离子刻蚀工艺进行了研究。在实验过程中射频功率和气体组分对刻蚀速率存在较大影响, 气体总量和压强对刻蚀速率影响不大, 一定条件下对 GaAs 的刻蚀速率可以大于 400nm/min, AlAs 的刻蚀速率可达 350nm/min, DBR 的刻蚀速率可达 340nm/min。刻蚀后表面较为光滑, 能够形成较为陡直的侧墙, 侧墙的垂直程度可达 85°。

## 参考文献

- [1] CHEN Zheng, TANG Tingao and ZOU Sixun, Chinese Journal of Semiconductors, 1999, **20**(2): 172[陈峥, 汤庭鳌, 邹斯洵, 半导体学报, 1999, **20**(2): 172].
- [2] S. Salimian *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B, 1987, **5**(6): 1606.
- [3] S. J. Pearton *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B, 1993, **11**(2): 152.
- [4] J. W. Lee *et al.*, J. Electrochem. Soc., 1996, **143**(6): 2010.
- [5] Y. B. Hahn *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B, 1999, **17**(2): 366.
- [6] C. V. J. M. Chang *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B, 1994, **12**(2): 536.
- [7] Kent. D. Choquette *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B, 1995, **13**(1): 40.
- [8] K. J. Nordheden *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. B, 1999, **17**(1): 138.
- [9] Gerhard Franz and Charlotte Hoyler, J. Vac. Sci. Technol. B, 1996, **14**(1): 126.

## Research on Etch Rate of Reactive Ion Etching of GaAs, AlAs and DBR<sup>\*</sup>

LIU Wen-kai, LIN Shi-ming, WU Shu, QU Bo, ZHU Jia-lian, GAO Jun-hua,  
LU Jian-zu, LIAO Qi-wei, DENG Hui and CHEN Hong-da

(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors,  
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The reactive ion etching of GaAs, AlAs and DBR are developed by using a gas mixture of  $\text{BCl}_3$  and Ar. Controlling the process parameters such as total gas flow, radio-frequency power, pressure and gas flow ratio, the etching rate can be controlled. The experiments indicate that under the same condition, the etching rate of GaAs is higher than those of AlAs and DBR. In the experiments, the etching rates of GaAs, AlAs and DBR can reach 400, 350 and 340 nm/min, respectively. Meanwhile by changing reactive parameters, smooth enchant profiles can be obtained and the gradient of the side-wall can reach 85°.

**Key words:** reactive ion etching; etch rates; GaAs; AlAs; DBR

**EEACC:** 2860, 2610F

**Article ID:** 0253-4177(2001)09-1222-04

\* Project Supported by National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 69896260 and 69937010).

LIU Wen-kai was born in 1968. He is presently working towards his PhD degree with the interest focused on optoelectronics.

LIN Shi-ming professor, was born in 1945. Now his major interest includes design and fabrication of optoelectronic devices.

WU Shu was born in 1975. He is working towards his Master degree with the interest focused on the simulation of optoelectronic devices.

Received 2 December 2000, revised manuscript received 16 February 2001

© 2001 The Chinese Institute of Electronics