

文章编号: 0258-7025(2003)05-0454-03

# 激光刻蚀硅磁敏三极管发射区引线槽的研究

温殿忠

(黑龙江大学电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘要** 提出了一种激光与微电子机械加工系统(MEMS)相结合刻蚀硅磁敏三极管发射区引线槽的方法。实验结果表明,利用这种新方法刻蚀的硅磁敏三极管发射区引线槽具有刻蚀速率大、质量好的优点,并且可以实现对<111>晶向硅片无掩膜加工。

**关键词** 激光技术;激光刻蚀;微电子机械加工系统;磁敏三极管;引线槽

**中图分类号** TN 249 **文献标识码** A

## Study on Laser Etching emitter Region-groove Approach of Magnetic-Sensitive Silicon Transistor

WEN Dian-zhong

(Electronic Engineering Institute, Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

**Abstract** A new method to etching emitter region-groove approach of magnetic-sensitive transistor was proposed by combine laser with MEMS technique. The results from the experiment show that new method can etch emitter region-groove approach of magnetic-sensitive transistor with high quality and high etching rates of Si, and process Si of <111> without mask.

**Key words** laser technique; laser etching; MEMS; magnetic-sensitive transistor; groove approach

### 1 引言

微电子机械加工系统(MEMS)是近几年有长足发展的新技术,已在微电子技术领域得到广泛的应用<sup>[1,2]</sup>,并越来越受到国内外专家学者的普遍重视。激光对材料表面处理的应用研究已有很多报道<sup>[3,4]</sup>。本文在介绍采用MEMS技术研制硅磁敏三极管结构的基础上,进一步研究激光与MEMS技术中的硅各向异性腐蚀技术相结合刻蚀硅槽的方法,并利用这一新方法刻蚀硅磁敏三极管发射区的引线槽。

### 2 硅磁敏三极管结构

用MEMS技术与反外延技术相结合在弱P型、电阻率 $\rho \geq 100 \Omega \cdot \text{cm}$ 的高阻硅片表面,要实现

具有矩形板状立体结构的 $N^+I-N^+$ 型硅磁敏三极管,必须预先在硅片上进行发射区的掩埋扩散,然后在掩埋扩散后的钝化膜 $\text{SiO}_2$ 上面进行多晶硅外延生长,为了保证多晶硅外延层的支撑强度,其厚度至少要在 $200 \mu\text{m}$ 以上。将多晶硅外延生长加工后硅片中高阻硅单晶部分用金刚砂减薄至 $30 \mu\text{m}$ 左右,进行集电区、基区扩散,再采用激光与MEMS技术中的硅各向异性腐蚀技术相结合刻蚀掩埋发射区的引线槽,并向引线槽内扩散引出掩埋的发射区,最后在高阻单晶硅表面制造发射极、集电极和基极。设计的硅磁敏三极管结构如图1所示。

图1(a)为器件剖示图, $d = 30 \mu\text{m}$ 为高阻硅单晶经减薄后的厚度,基极 $b$ 与集电极 $c$ 之间的距离为 $150 \mu\text{m}$ , $\text{SiO}_2$ 的厚度为 $0.6 \mu\text{m}$ ,将在 $\text{SiO}_2$ 上面外延生长的多晶硅作为基底,其厚度在 $200 \sim 300 \mu\text{m}$

收稿日期:2002-03-05;收到修改稿日期:2002-05-13

基金项目:国家自然科学基金(编号:60076027)资助项目。

作者简介:温殿忠(1949—),男,河北省抚宁县人,黑龙江大学电子工程学院教授,加拿大阿尔伯塔大学研究生院特别研究生,主要研究方向为敏感元器件MEMS。E-mail:wendianzhong@0451.com

之间,以保证器件在加工过程中的强度。由于外延生长多晶硅的时间较长,温度较高,在高阻硅单晶表面与  $\text{SiO}_2$  之间形成了大量的界面态和热缺陷,这种界面态对载流子的复合速率非常大,完全可以满足磁敏晶体管对复合区的要求。图 1(b)为器件的表面俯视图。可见,发射区引线槽的制作能确保预掩埋的发射区引到硅片表面,对硅磁敏三极管的制造是非常重要的。

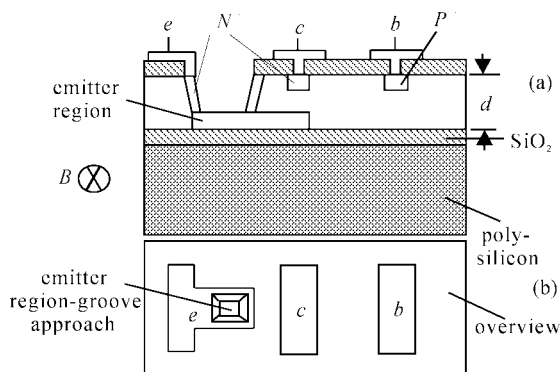


图 1 硅磁敏三极管结构图

(a) 器件剖视图;(b) 器件表面俯视图

Fig. 1 Structure of magnetic-sensitive transistor

(a) cross section;

(b) overview of a magnetic-sensitive transistor

### 3 刻蚀引线槽的方法与设备

在硅片表面刻蚀引线槽有很多方法<sup>[5,6]</sup>,本实验将用 MEMS 技术与反外延技术相结合制备的硅磁敏三极管待加工的硅片放在一个直径 120 mm, 高为 100 mm 的圆柱形压力容器内的中间隔网上,圆柱形压力容器的上表面为光学窗口,右侧面插入一个具有自动放气装置的冷却回流装置,其下底面放在磁力加热搅拌器上,而磁力加热搅拌器放在可以在  $x-y$  水平面自由运动的工作台上。实验前压力容器内充满浓度为 40% 的 KOH 溶液,加热搅拌使 KOH 溶液的温度达到 90℃。实验用 COHERENT INNOVR 70 型连续激光器,波长为 514.5 nm。发出的激光经过一组透镜聚焦成半径  $r = 0.3$  mm 的光斑垂直入射到硅片表面。载有磁力加热搅拌器并可以在  $x-y$  水平面自由运动的工作台由一台联想 Pentium4 计算机自动控制。整个加工系统如图 2 所示。

在压力容器上方使用视频数码相机做辐射过程的光控信号,该信号经计算机自动控制系统可实现在直角坐标  $xy$  水平面内控制工作台的扫描运动和

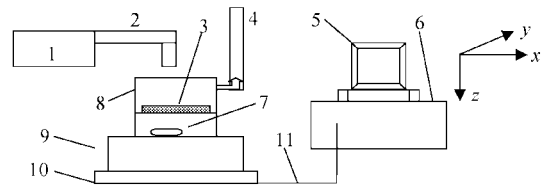


图 2 激光刻蚀系统示意图

1: 氟离子激光器;2: 透镜系统;3: 硅片;4: 冷凝装置;5: 计算机;6: 计算机工作台;7: 磁力搅拌子;8: 压力容器;9: 磁力加热搅拌器;10: 载物工作台;11: 控制线

Fig. 2 Schematic diagram of laser etching system

1: laser; 2: light system; 3: silicon; 4: cooling chamber; 5: computer and control system; 6: computer table; 7: stirrer; 8: solution chamber; 9: magnetic-heater stirrer; 10: work table; 11: control cable

光束照射在硅片上的工作时间。

### 4 结果与讨论

Ar 离子激光通过 KOH 溶液垂直照射到待加工的硅片上,起到了定向加热的效果,在入射光强为 4.6 W, KOH 溶液温度为 90℃ 的实验条件下,对  $\langle 100 \rangle$  硅片刻蚀速率可达  $21 \mu\text{m}/\text{min}$ 。实验中在 KOH 溶液浓度保持恒定的情况下,通过改变不同的激光入射光强,发现刻蚀速度随入射光强的增加呈线性增加。图 3 给出的是实验样品的形貌,加工硅槽结构底面平整度和粗糙度指标如表 1 所示。

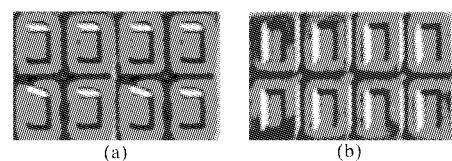


图 3 实验制备的硅槽形貌

(a) 有激光腐蚀的样品;(b) 无激光腐蚀的样品

Fig. 3 Silicon-groove sampler

(a) sample of laser etching; (b) sample of anisotropic etching

表 1 硅槽参数表

Table 1 Parameters of Si-groove approach

	$\langle 100 \rangle$ crudeness / $\mu\text{m}$	$\langle 111 \rangle$ crudeness / $\mu\text{m}$	degree of level / $\mu\text{m}$
(a)	$\pm 0.04$	$\pm 0.03$	$\pm 0.45$
(b)	$\pm 0.03$	$\pm 0.02$	$\pm 0.41$

由表 1 中有激光照射(a)所示的硅槽结构底面平整度和粗糙度指标可以看出,与无激光照射时

(b)的硅各向异性腐蚀技术相比相差无几,这是因为激光通过 KOH 溶液后对硅片表面进行处理,热影响区不局限于激光光斑的结果。

在上述情况下,将被处理材料硅视为热物性参数为常量的半无限体,设硅样品表面为坐标  $x-y$  的平面,硅片厚度方向为  $z$  方向,若  $Q$  为硅片上激光光斑中心温度与参考点  $T_0 = 90^\circ\text{C}$  之差,即  $Q = T(x, y, z, t) - T_0$ ,  $T_0$  为  $t = 0$  时两种介质的初始温度,则硅片上的热传导可用热传导方程来描述

$$k_1 \nabla^2 Q = (\rho'c') \frac{\partial Q}{\partial H} \quad (1)$$

式中  $k_1 = 1.45 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$  为硅材料的导热系数;  $\rho' = 2.238 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$  为硅材料的密度;  $c'$  为硅材料的比热;  $H$  为硅材料的厚度。假设热流密度  $F$  ( $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{s}$ ) 在整个硅片上均匀分布,由于  $F$  与温度梯度成正比,故有

$$\frac{\partial Q}{\partial z} = -\frac{F}{k_1} \quad (2)$$

硅片的热阻  $R_T = H/k_1 A$ ,  $A$  为硅片的面积,考虑到硅片浸在 KOH 溶液中,在给定激光功率密度  $p(x, y, t)$  的光束照射在材料表面时导出的瞬态温度场<sup>[7]</sup> 公式应改为

$$Q = (\rho_1 + \rho_2) \int_0^t dt' \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \times \exp\left[\frac{-(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2}{4(a_1 + a_2)(t-t')}\right] \times \frac{P(x', y', t')}{4(k_1 + k_2)(a_1 + a_2)^{1/2} [\pi(t-t')]^{3/2}} dx' dy' \quad (3)$$

式中  $\rho_1$  为硅表面对光能的吸收系数,  $\rho_2$  为 KOH 溶

液对光能的吸收系数。实验中,  $a_1, a_2$  分别为硅材料和 KOH 溶液的热扩散系数;  $k_2 \approx 0.55 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$  为 KOH 溶液的导热系数;  $\pi$  为圆周率。

由(3)式可以看出,在 KOH 溶液中硅材料表面在激光照射下形成瞬态温度场的温度梯度由于 KOH 溶液的存在明显变小,热影响区远远大于激光光斑所覆盖的范围,在激光功率恒定的情况下,极大地提高了确保质量情况下对硅片的腐蚀速度。

致谢 感谢黑龙江大学电子工程学院电子信息科学系光电子技术教研室张国生副教授和敏感技术研究所硕士研究生赵晓峰对本工作的支持。

### 参 考 文 献

- 1 Dianzhong Wen. Sensitivity analysis of junction field-effect pressure-halltron [J]. *Rev. Sci. Instr.*, 1995, **66** (1):251~255
- 2 Dianzhong Wen. An IC chip of magneto-sensitive silicon transistors sensor [C]. *Solid State and Integrated Circuit Technology*, 2001. 831~834
- 3 J. Wang, W. C. K. Wong. CO<sub>2</sub> laser cutting of metallic coated sheet steels [J]. *Journal of Material Processing Technology*, 1999, **95**:164~168
- 4 H. Kaebernick, D. Bicleanu, M. Brandt. Theoretical and experimental investigation of pulsed laser cutting [J]. *Annals of the CIRP*, 1999, **48**(1):163~166
- 5 J. C. Greenwood. Etched silicon vibrating sensor [J]. *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1984, **17**(8):650~652
- 6 Wen Dianzhong. Study on Ar-ion laser enhanced anisotropic etching rate of Si [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1995, **A22**(3):202~204 (in Chinese)
- 7 Li Junchang. The Optimal Control of the Laser Heat Treatment [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1995 (in Chinese)