

微型电光探针的研制*

李海兰 贾 刚 张晓婷 周志雄 陈占国

(吉林大学电子工程系, 长春 130023)

摘要: 介绍了用湿法化学腐蚀的方法制备 GaAs 晶体微型电光探针。用光学显微镜和扫描电子显微镜观察了探针形貌。微探针为金字塔形, 底座是边长为 $20\mu\text{m}$ 的正方形, 尖端尺寸在 $2\mu\text{m}$ 左右。侧面比较光滑, 棱角分明。微型电光探针整体尺寸很小, 在外电光检测系统中可以显著降低对被测电场的影响, 从而提高测量精度。

关键词: 湿法腐蚀; 电光检测; 电光探针

PACC: 6150J; 4180D; 0630L

中图分类号: TN305.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2002)10-1098-04

1 引言

电光取样技术^[1]是将电光晶体的线性电光效应与超短光脉冲取样技术相结合的一种光子束测试技术。该技术具有无损伤、抗干扰、灵敏度高等特点。近年来, 随着半导体工艺水平的大幅度提高, 电光取样技术已广泛应用于高速光电器件和电子器件的测量^[2]。外电光取样技术的关键在于产生电光效应的探针, 电光探针材料的选择及尺寸大小直接影响测量结果。常用的电光材料有 LiTaO_3 、 GaP 、 AlGaAs 、 LiBaO_3 等。我们选用 GaAs 晶体制作电光探针, GaAs 晶体具有相对较小的介电常数, 同时 GaAs 也是一种稳定的材料, 用它能够形成微小尖端。外电光取样技术是将被测电路的电信号耦合进电光晶体产生电光效应, 使探测光束的偏振态发生变化, 再利用偏振检测技术检测探测光束偏振态的改变从而达到检测被测电路电信号的目的。因而电光探针的几何尺寸会对被测电场产生一定的影响, 用于电光检测的常规探针的尺寸较大, 其对被测电场的作用不能忽略。为了提高测量精度, 我们用 GaAs 晶体制作了金字塔形电光微探针。其底座是边长为 $20\mu\text{m}$ 的正方形, 探针的尺寸很小, 可以大大降低对被测电场的影响, 同时可以获得较高的空间分辨率。

2 微探针的研制

2.1 GaAs 的晶体结构^[3]

GaAs 属于闪锌矿结构, 图 1 为 GaAs 晶体结构图。晶体在受到化学腐蚀剂腐蚀时会显示出明显的各向异性, 最突出的特点是那些低指数的晶面腐蚀

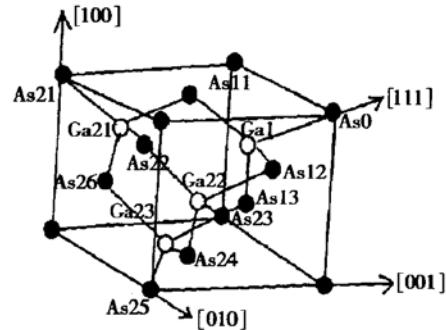


图 1 GaAs 的晶体结构
Fig. 1 Crystal structure of GaAs

速度慢。硅属于金刚石结构, 其腐蚀速度最慢的晶面是 $\{111\}$ 面。GaAs $\{111\}$ 晶面不是等同的, 而是分为砷面和镓面, 多数腐蚀剂对 As 面和 Ga 面的腐蚀速度有很大差异, 即 GaAs 的 $\langle 111 \rangle$ 晶向腐蚀速度具有

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 69676025, 69976013)

李海兰 女, 1974 年出生, 博士研究生, 主要从事微电子与固体电子学研究。

2002-01-13 收到, 2002-05-31 定稿

各向异性,因而不能象硅那样制成侧面是(111)晶面的四棱台.但是GaAs的{100}晶面是等同的,当我们在(100)GaAs晶片上采用适当的掩膜方法,选择合适的腐蚀液即可制成金字塔形的电光微探针.

2.2 湿法腐蚀理论

湿法化学腐蚀在半导体工艺中有广泛的应用.化学腐蚀的过程以公认的氧化-络合理论为基础,即认为腐蚀剂通常包含氧化剂、络合剂、稀释剂三种成分.浸在腐蚀液中的材料首先其表面层被氧化剂氧化,生成的氧化物被络合剂络合溶解,达到腐蚀的目的^[4].腐蚀可以分为两种:选择腐蚀和抛光腐蚀.理想的抛光腐蚀速度与结晶学特性、形变区或化学不均匀性无关.选择性腐蚀描述这样一个过程:同其它的晶面比较起来,腐蚀液对一个特定晶向的晶面腐蚀速度非常快,那么腐蚀最慢的晶面便限定了腐蚀出的沟槽的最终形状,在晶体的各个晶向的腐蚀是各向异性的.利用选择性腐蚀剂对晶体不同晶面具有不同腐蚀速度的特性,达到保留特定晶面的目的.

2.3 实验结果及讨论

由于减小电光探针尺寸可以有效地降低对被测电场的影响,提高测量精度,同时获得较高的空间分辨率,因而我们研制了金字塔形电光微探针.探针的尺寸很小,同时探针不易折断,适于实际应用.选择沿(100)晶面切割的GaAs晶片,解理成侧面是(110)晶面的方形片.在方形的GaAs晶片上形成一个正方形掩膜,使正方形的四条边与晶体的(110)晶面成45°角,如图2所示.从晶片表面看下去,正方形掩膜四条边所延伸下去的四个侧面分别为(010)、

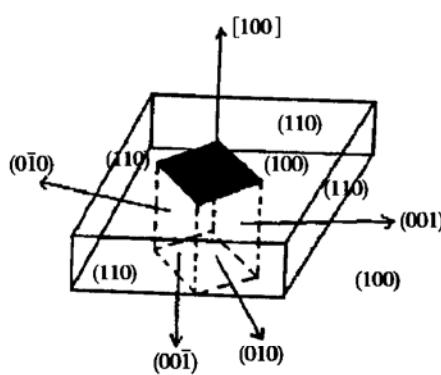


图2 GaAs电光探针的掩膜方法

Fig. 2 Method of covering mask for GaAs electron optic probe

(0̄10)、(001)、(00̄1).由于掩膜形成的四方体所对应的六个晶面是等同的,其化学腐蚀特性也是等同的.对这样作掩膜的GaAs晶片进行腐蚀,纵向和横向的腐蚀速度相同,经过一段时间后便会腐蚀出一个突出晶体表面的四棱锥.实验选用边长为20μm的正方形掩膜,这种掩膜尺寸较小,腐蚀时间相对短,腐蚀过程中影响因素对其影响相对较小.同时小掩膜可以提高四棱锥的高度与底边比,从而使锥角更锐利.

实验选用了H₂SO₄: H₂O₂: H₂O腐蚀液,体积配比为1:1:8,这种腐蚀液的选择性不强,腐蚀速度较快.将GaAs晶片解理成侧面是(110)晶面的1mm×1mm左右的正方形小晶片,经过光刻、坚膜后,放在腐蚀液中腐蚀,腐蚀是在室温非搅拌的情况下进行的.腐蚀后得到的金字塔形电光微探针底座是边长为20μm的正方形,探针尖端尺寸达到2μm左右.探针侧面光滑,棱角分明.如图3、4所示,这是在腐蚀结束后用光学显微镜和扫描电子显微镜对金字塔电光微探针的形貌进行的观测.实验结果表明选用边



图3 微探针的光学显微镜照片

Fig. 3 Optical microscope picture of tiny probe



图4 微探针的扫描电子显微镜照片

Fig. 4 Scanning electron microscopy picture of tiny probe

长为 $20\mu\text{m}$ 的正方形掩膜获得的微探针形貌较好,而且探针整体的尺寸很小,同时制作具有一定的重复性.

实验中采用的掩膜较小, $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 腐蚀液腐蚀速度较快,因此实验中腐蚀的时间较难控制. 腐蚀时间过短,则探针尖端不锐利; 腐蚀时间过长,则锥角及棱被腐蚀圆滑了. 因而实验中必须合理选择腐蚀液配比,精确控制腐蚀时间. 经过多次实验,最佳腐蚀时间在 1min 左右. 我们用 $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 腐蚀液对同样的样品进行了腐蚀,该腐蚀液腐蚀速度很慢,腐蚀出的探针侧面十分光滑,但是锥角不够锐利,因而改用 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 腐蚀液. 此外,光刻胶的掩膜要做得好,否则腐蚀液可能进入胶膜内腐蚀从而影响腐蚀的效果. 同时,由于不同浓度的腐蚀液对光刻胶掩膜均有不同程度的腐蚀作用,这就决定了腐蚀时间不能过长,时间过长光刻胶有可能被腐蚀掉而起不到掩膜的作用,选择腐蚀速度较快的腐蚀液也是基于这点考虑的. 实验制作出的电光微探针,锥体侧面比较光滑,易于形成全反射; 探针尺寸较小,结实耐用.

3 微探针的应用

外电光检测系统中的常规电光探针尺寸较大,因而对被测电场产生一定影响,降低了测量精度. 电光探针是电光晶体,具有线性电光效应. 电光晶体的光场与电场相耦合,感应了电场变化. 当电光晶体接近被测电路表面时,电场由一种介质进入到另一种介质,电位移线传播方向会发生改变,这种现象称为电位移线的折射. 在待测电路上加电场后,电光晶体能够感应电场的变化,电力线穿过电光晶体,电力线分布受到影响,从而改变电场分布. 因而电光探针的尺寸对电场分布有一定的影响. 而当探针尺寸很小时,这种影响很弱,这时电场能充分加到电光探针上. 我们研制的金字塔形电光微探针尺寸很小,大大

降低对被测电场的影响,提高了测量的精度,同时还可以获得较高的空间分辨率. 电光微探针能够用于测量各种衬底的电子器件内部结点电信号及电场分布情况. 目前应用该探针测量实际电路的电光信号,正在实验当中. 随着研究的深入和工艺条件的改善,微型电光探针的尺寸有望进一步减小,获得更高的空间分辨率. 以满足超高密度电子器件和电路的测量要求,适应高速集成电路集成度日益提高的需要,在高速集成电路的研制和生产中具有重要的应用前景.

4 结论

通过光刻化学腐蚀的方法用 $20\mu\text{m}$ 小掩膜制取了金字塔形电光微探针. 该探针可以用于任何电路的外电光检测,与常规探针相比,有效地提高了测量精度. 在制作过程中,由于腐蚀速度较快,探针尺寸小,因而必须精确控制腐蚀液浓度及腐蚀时间. 实验中所用的腐蚀液是一种选择性很小的腐蚀液,理想的情况是找到一种针对特定晶面的选择性腐蚀液,这方面还有待于进一步深入研究.

参考文献

- [1] Valdmanis J A, Moutou G, Cabel C W. Picosecond electro-optic al-sampling system. *Appl Phys Lett*, 1982, 44: 211
- [2] Richard Tokuo Sahara, Hitoshi Takeshita, Kouichi Miwa, et al. Electrooptic sampling evaluation of $1.5\mu\text{m}$ metal-semiconductor-metal photodiodes by soliton compressed semiconductor laser pulses. *IEEE J Quantum Electron*, 1995, 31(1) : 120
- [3] Xu Baokun, Yan Weiping, Liu Mingleng. Crystallography. Changchun: Jilin University Press, 1991: 123[徐宝琨, 阎卫平, 刘明登. 结晶学. 长春: 吉林大学出版社, 1991: 123]
- [4] Xu Zhaopeng. The study of chemical etching of GaAs, GaP, InP, In-GaAsP, AlGaAs, InAlGaAs. Research & Progress of SSE, 1996, 16(1) : 56[许兆鹏. GaAs, GaP, InP, InGaAsP, AlGaAs, InAlGaAs 的化学腐蚀研究. 固体电子学研究与进展, 1996, 16(1) : 56]

Research on Tiny Electro-Optic Probe^{*}

Li Hailan, Jia Gang, Zhang Xiaoting, Zhou Zhixiong and Chen Zhanguo

(Department of Electronic Engineering, Jilin University, Changchun 130023, China)

Abstract: To etching Gallium Arsenide crystal to manufacture tiny electro-optic probe by the wet chemical etching technique is introduced. The shape of tiny probe is observed by optical microscopy and scanning electron microscopy. The tiny probe's shape is pyramidal with bottom size of 20μm square and tip size of about 2μm. The probe's flanks are smooth, moreover edges and corners are very clear. Since the size of tiny electro-optic probe is very small, the probe's influence to the measured electric field can be reduced remarkably. So high measuring precision can be acquired.

Key words: wet etching; electro-optic detection; electro-optic probe

PACC: 6150J; 4180D; 0630L

Article ID: 0253-4177(2002)10-1098-04

* Project supported by National Natural Science Foundation of China (Nos. 69676052 and 69976013)

Li Hailan female, was born in 1974, PhD candidate. She is engaged in the research on microelectronic and solid state electronic.

Received 13 January 2002, revised manuscript received 31 May 2002

©2002 The Chinese Institute of Electronics