

文章编号 1004-924X(2010)12-2616-08

双面二维硅微条探测器的沾污失效分析及修复

韩励想^{1,2}, 李占奎¹, 鲁 皖^{1,2}, 胡 钧^{1,2}, 杨彦云¹, 王柱生¹

(1. 中国科学院 近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:硅微条探测器通过微电子工艺制作, 易因沾污导致性能下降甚至失效; 裸露的键合引线, 也易因机械力形成隐性或显性失效。对上述现象的研究可用于修复、维护探测器并在设计和工艺流程中改进其性能。本文通过光学、电气手段分析其结构和制作工艺, 根据沾污性质在不同条件下清洗探测器, 中测后根据芯片图形、封装方式和电气要求修复探测器, 最后采用同位素 α 能谱测试修复效果。对一块沾污后失效(无法加载偏压)的硅微条清洗后在大气环境, N 面接地, P 面加载负偏压条件下进行了测试, 结果显示: 170 V 全耗尽, 平均漏电流 2.94 μ A, 5.486 MeV 的 α 峰能量分辨率约 1.28%。失效键合所在条的另一面各条能谱观测到假峰, 键合修复后消除。因沾污失效的硅微条探测器经过合适的清洗、修复, 部分可以恢复性能, 但清洗对表面和结构有损伤, 须谨慎。另外, 键合失效后, 因信号不能引出导致的电荷积累会通过电容效应影响其它灵敏区。文章提示, 探测器应存放于洁净, 恒温, 低湿度, 避光, 避强电磁干扰的环境, 以提高能量和位置分辨率, 并增加工作稳定性, 延长使用寿命。

关键词: 半导体探测器; 硅微条 P-N 结; 沾污; 修复

中图分类号: TN36 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101812.2616

Contamination failure analysis and repairing for double side two dimensional silicon microstrip detectors

HAN Li-xiang^{1,2}, LI Zhan-kui¹, LU Wan^{1,2}, HU Jun^{1,2}, YANG Yan-yun¹, WANG Zhu-sheng¹

(1. *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;*

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Silicon micro-strip detectors are fabricated by a micro-electronic process. Their performance will become worse, even failure when they suffer from various contaminations. Moreover, the naked bond wires are also easily disabled by external forces. The research for above mentioned events is available to repair and maintain these detectors, and to improve their performance. This paper analyses the detectors' structure and fabrication process, and cleans them in different conditions according to the characters of contamination. After a measurement, it repairs them based on the chip graphics, packaging means and the electronics demand. Finally, the α isotope energy spectrum is used to measure the repaired detectors. A repaired detector shows that when the N-side is earthed and the P-side is biased negative 170 V, the detector is depleted and its average leakage current is 2.94 μ A. By bonding again, the ghost peaks in the energy spectra caused by the strips whose bond wire is invalid on the

收稿日期: 2010-04-30; 修订日期: 2010-06-05.

基金项目: 中科院重要方向支持资助项目

other side are eliminated. The results also indicate that most disabled detectors can be revived by reasonable cleaning and repairing, but the cleaning might damage the surface or structure of the detector, so it must be careful and not frequently. Furthermore, when a bond wire is invalid, the electric charge could not be led out, so they are accumulated and influence other sensitive region by charge effect. It points out that the detector should be stored a place in cleaning, thermostatic and low-humidity conditions and without light and strong electromagnetic waves. these methods would be beneficial to improving their energy resolution, position resolution, stability and working life.

Key words: semiconductor detector; silicon microstrip; P-N junction; contamination; repairing

1 引言

硅微条探测器是一种性能优良的半导体位置灵敏探测器^[1],它结构精细、复杂,位置分辨率、能量分辨率高,线性范围宽,响应时间短,而且体积小,能够自身支撑,便于组装成大的探测阵列,在粒子物理、核物理实验、空间探测、医疗影像及工业检测中应用广泛。其结构精细、复杂,主要使用微电子平面工艺的技术和设备制作,对材料和工艺要求严格^[2]。很多高能物理实验室的大型谱仪采用硅微条作为顶点探测器,如 FERMILAB 的 CDF 和 D0, SLAC 的 BaBar, CERN 的 L3、ALEPH、DELPHI、OPAL, NASA 等机构的 GLAST 望远镜。中科院近代物理研究所的 HIRFL-CSR 外靶实验终端 γ 球谱仪靶区周围,拟采用两层硅微条装配阵列,每层 32 块双面硅微条,每块 P 面和 N 面各 96 条,负责 $\Delta E-E$ 测量,并参与径迹测量。

硅微条探测器的缺点是对辐射损伤敏感,而且价格昂贵。在此环境下,近代物理研究所建造了国内第一条专用于此类探测器研制的小型柔性微电子工艺线,并制作了国内第一块硅微条探测器,同时在半导体探测器的使用、维护、改进方面进行研究。因为死层厚度的要求,此类探测器在绝大多数场合采用开放式管壳,芯片裸露在外,极易受到沾污,导致性能下降甚至失效,且不易察觉原因。另外,其键合引线也大部分裸露(因结构、用途等原因很多不适合制作胶衣),容易因机械力形成隐性或显性失效。但由于沾污很大一部分是人为造成的,因此可以通过合适的清洗工艺进行修复和维护。本文对上述现象进行了研究,通过了解探测器的结构和制作工艺,制定了清洗和修复方案,最后对修复效果进行了分析。

2 硅微条探测器的典型结构及制作工艺

硅微条探测器芯片采用 $5\ 000\sim 20\ 000\ \Omega\cdot\text{cm}$ 以上的高阻硅片制作,多数以 N 型硅为基底,由 P^+ 注入形成的灵敏区所在面为 P-N 结面(P 面),由 N^+ 注入(便于信号引出和闭锁电极)形成的读出条所在面为欧姆面(N 面)。典型的工艺流程如下:

- (1) 在表面生长一层 800 nm 左右的 SiO_2 ;
- (2) 通过光刻工艺在氧化层上形成掩蔽图形(图 1);
- (3) 在氧化层上根据光刻胶图形刻蚀出条状凹槽(也有环形或由中心沿径向分布的),去除 SiO_2 的部分在后续的注入工艺中形成掺杂区,保留下来的 SiO_2 成为将来的厚氧栅墙,用来隔离金属电极;
- (4) 再次氧化生成 30~50 nm 的薄氧化层作为注入掩蔽层(减弱沟道效应);
- (5) 注入中能离子,形成灵敏区掺杂;
- (6) 退火消除注入损伤,并激活载流子;
- (7) 刻蚀灵敏区表面的薄氧化层^[3],裸露掺杂过的硅基底;
- (8) 光刻,掩蔽图形覆盖厚氧栅墙的大部分面积(金属层外扩),裸露灵敏区及外扩部分;
- (9) 表面溅射金属薄膜(厚度根据探测器死层要求),与灵敏区欧姆接触;
- (10) 湿法剥离,去除光刻胶掩蔽及胶上方的金属层,剩余部分为引出电极,电极形状根据需要设计。

电极兼有保护作用,并且使 P, N 面间电场分布均匀,特别是角隅位置。每一步工艺之前,都需要经 SPM、DHF、RCA-1、RCA-2^{II} 等多道工序严格清洗^[4](等离子体干法清洗、激光清洗等新技术

综合采用会有更好效果^[5])。实际工艺流程包括多次的氧化、光刻、刻蚀、清洗、退火、金属化等工艺,反复对薄膜进行操作^[6-7]。工艺之间还要有检测步骤,如清洗质量使用光学显微镜检查,刻蚀质量使用表面形貌仪检测等^[8],以决定后续工艺的继续进行或者终止。以上工艺仅为 DC 耦合引出信号型硅微条探测器 P 面的主要工艺,N 面工艺与之相似。

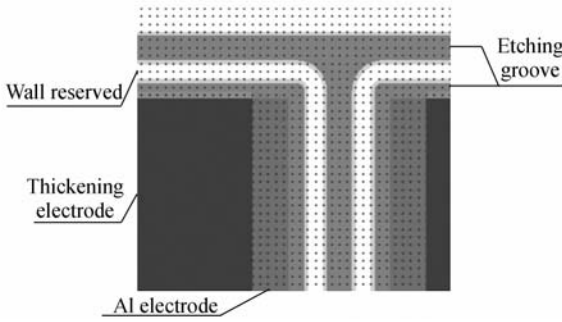


图 1 掩模板图局部

Fig.1 Part of mask graphics

P 面的条形灵敏区彼此独立,表面的金属薄膜之间通常仅由 SiO₂ 栅墙隔开;N 面的读出条之间除 SiO₂ 栅墙外必须有条间绝缘设计。P,N 两面除以上主要结构外,还要有保护环(Guard-ring)等辅助设计。探测器 P,N 两面最外围都有多层环状 P-N 结包围,N 面另有多层 N⁺注入区包围,统称为保护环。工作时通过独立的电源和地线,向各环加载合适的渐变电压。P-N 结的构造可以:(1)提高边缘的绝缘性能;(2)收集暗电流;(3)使边缘电场更均匀,提高耐压值;N⁺注入构造仅用于 N 面的均压作用。保护环可以降低漏电流和噪声水平,提高能量分辨率,工作稳定性和器件耐辐射强度。保护环的宽度、间隙和过渡电压,应使从灵敏区到器件边缘的电场尽量均匀分布,充分利用绝缘距离(图 2)。有时为最内层保护环配置放大电路,以监控漏电流。保护环的效果对于厚度较大,耗尽电压高的探测器较明显;而对于厚度较小,耗尽电压较低的探测器保护环则可以采用悬浮电位^[9]。P 面保护环和灵敏区通常同时注入形成,掺杂浓度相同。

N 面条间绝缘目前较多采用 P-stop 技术,每个读出条都由环形 P-N 结包围。P-stop 环由单独 P⁺注入形成,表面金属化并欧姆接触,与读出条的金属层之间由 SiO₂ 隔离。双面 DC 耦合硅

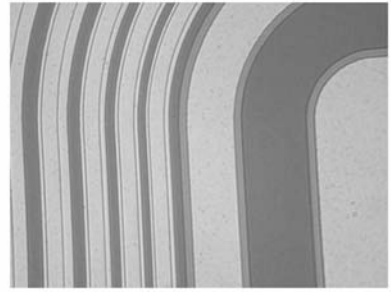
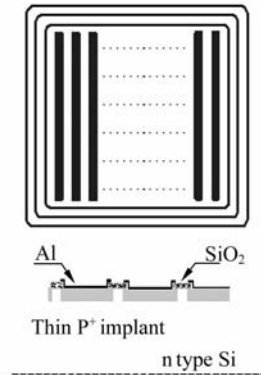


图 2 保护环

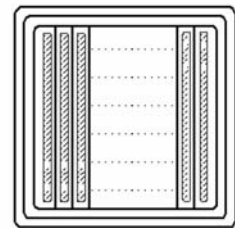
Fig.2 Guard rings

微条探测器的典型结构如图 3,根据不同的要求、用途和设计,结构和工艺都会不同。AC 耦合型通过灵敏区与引出电极间的电容结构引出信号,工艺更加复杂,需要单独的偏压加载线。AC 耦合型偏压加载方式有本底穿透(Punch-through)、MOS 控制的场效应沟道(FOXFET)、



(a) P 面

(a) P side



(b) N 面

(b) N side

图 3 P 面与 N 面的平面、截面示意图

Fig.3 Schematic graphics of planes, sections of P side and N side

多晶硅动态电阻等几种主要方式。

封装主要工艺流程如下:(1)划片、制作管壳;(2)在 PCB 板上钎焊连接器;(3)用微电子级粘合剂固定芯片,有效区域露出;(4)键合引线;(5)根据实际要求制作胶衣。粘合剂主要成分为环氧树脂,不溶于水,凝固后短时间也不会溶于多数有机溶剂;性质稳定,不易挥发,如有少量气体挥发也不易附着且无腐蚀。引线通常使用 $20 \sim 50 \mu\text{m}$ 的铝或金丝,通过超声波楔形键合,强度在 5 g 左右。

3 沾污后的失效分析

沾污的主要作用机制有:

(1)沾污使电极间电阻变小,电极面积变大,导致漏电、击穿,电场形状畸变。

(2)沾污中带电粒子或腐蚀性物质通过 SiO_2 网络的间隙、氧化层中缺陷、氧化层与金属层结合部位的缺陷等途径进入器件内部,这会导致氧化层电阻率降低以致过早击穿,P-N 结反向电阻减小甚至失效,少数载流子寿命缩短,噪声增加;它们也会在一定条件下被激活,易于移动和聚集,在基底近表面处感应出电荷,使表面有反型趋势,产生表面沟道、击穿电压蠕变等效应。

(3)带电粒子聚集在器件表面,同时在氧化层下方感应出电荷,形成互相绝缘区域间的导电沟道^[11]。

(4)氧化层、金属层边缘自身存在一定密度缺陷,而湿气、腐蚀性气体、沾污物质、机械力会增加和扩大这些缺陷。

以上这些作用都会严重影响探测器的稳定性、耐压值、分辨率、耐辐射强度、使用寿命等。

表面电荷密度是影响探测器性能的重要因素^[12],探测器使用中的沾污是除工艺过程中引入的杂质之外表面电荷的最主要来源。表面结构中的一些关键部位对沾污尤其敏感,在这些位置上沾污的作用效果会被加强,直接造成失效甚至物理损坏,以不同电位电极间或不同掺杂类型之间的导通为主。作用方式和探测器的结构、工作条件及偏压加载方式有关,而保护环、P-stop 等设计会使问题更加复杂。例如,N 面读出条与 P-stop

环之间距离很小,如果在此位置存在较严重沾污,两者间电阻下降,当 P-stop 环加载负偏压时,将直接造成探测系统短路;当 P-stop 环悬浮时,导通后 P-N 结内建电场变弱,客观上相当于器件内产生由 N 面指向 P 面的附加电场,于是对外界耐压值降低,容易发生击穿。长时间的击穿会导致过热损坏,探测器的工作会像一个基区较厚的 P-N-P 型三极管(图 4)。因此,探测器使用环境要尽量清洁,操作时人员佩戴口罩和手套;存放时应尽量屏蔽光线和强电磁场,保持恒温,降低湿度。

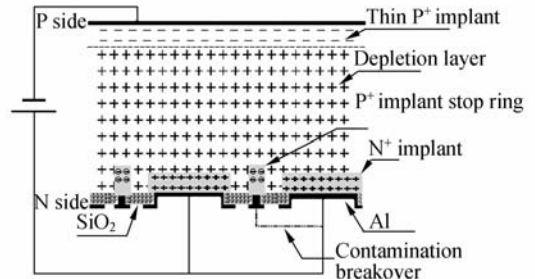


图 4 导通截面示意图

Fig. 4 Section schematic diagram of breakover

4 典型修复过程与测试结果

图 5 是一块实验中因液冷管道意外破裂被大面积污染的探测器,偏压不能加载。污染物是作为前置放大器冷却介质的壳牌汽车防冻液,其成分复杂以乙醇为主,并含有多种添加剂;污染后,放置超过 6 个月。显微镜下观察,电极表面被沾污处有一定的腐蚀,沾污痕迹有很多跨过 SiO_2 栅墙。由于液体有腐蚀性,可以推断离子含量较多,电阻率较低。此探测器表面电极为铝溅射形成,

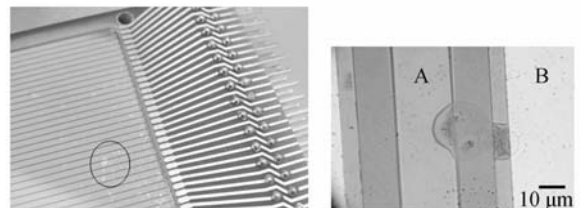


图 5 沾污探测器 N 面(右图为圆圈区域显微图,A 为 P-stop 环,B 为灵敏区电极)

Fig. 5 N side of contaminated detector (right is the micrograph of the circle zone, A zone is the P-stop strip, B zone is the sensitive region pole)

外围保护环和 P-stop 环都没有引线,工作时采用悬浮电位。

基底厚度 1 000 μm,正常耗尽电压在 180 V 左右。键合盘位没有局部加厚,判断金属层较厚,这有利于修复操作,必要时可以适当擦拭;键合采用楔形超声焊,丝径 20~30 μm,探测器键合时不宜加热底盘,所以键合强度相对较低,超声清洗过程中褶皱部位易断裂。

通过以上显微观察和分析^[13],修复方案如下:

(1)用高纯丙酮在兆声(或超声)条件下,短时间多次反复清洗沾污处;(2)局部顽固痕迹可用无尘纤维棉谨慎擦拭(氧化较严重位置不可过分擦拭);(3)用高纯乙醇清洗丙酮,再用去离子水冲洗,最后在洁净间内自然晾干;(4)用显微镜观察键合损坏情况,通过调整清洗时的摆放位置,可以使 P 面(未沾污面)损坏几率很小;如果 N 面有键合已经断裂,即使没有失效也认为不再可靠,而那些实际已经虚接引线(图 6),则需要全部重新键合。将原有键合位置用剔针小心剔除,以免高压下打火。因为铝膜较厚,盘位宽度在 300 μm 以上,故操作是安全的。

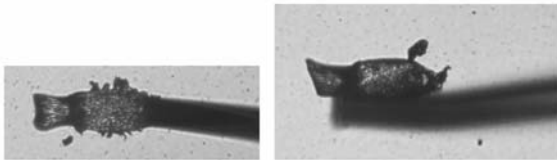


图 6 有效(左)与虚接(右)的楔形键合

Fig. 6 Good (left) and cracked (right) bonding wedges

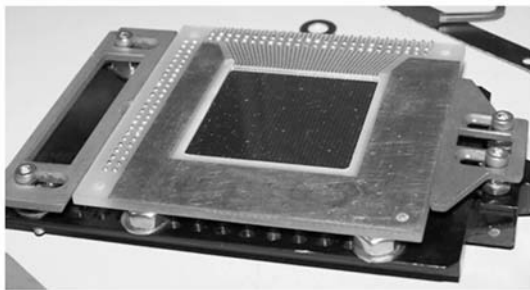


图 7 键合用临时夹具

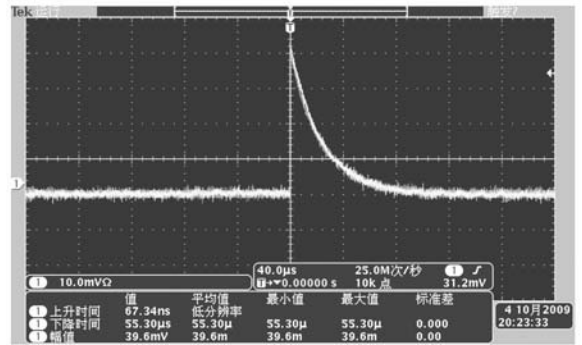
Fig. 7 Temporary fixture for bonding

探测器键合引线之前尽量先焊接好连接器,无论修复还是首次封装,键合都应为最后步骤。此种封装流程需要根据探测器的几何尺寸设计制

作专用夹具,并使用垂直工作距离较大的键合机。常规的 IC 键合通常对垂直工作距离要求较小,如果选用键合机不当,修复过程就需要拆除所有连接器之后再键合,然后手工钎焊连接器,这是一个效率很低而且风险很大的过程,容易带来新的沾污,不建议采用。

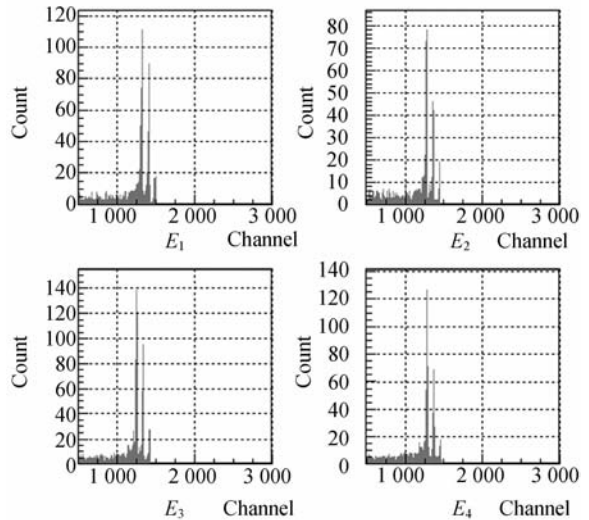
经以上方法修复后的探测器,前放、主放、高压插件使用 Mesyttec 公司的 MPR-32/STM-16 +/MHV-4,分别测量²³⁹Pu, ²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm 三组分源的 α 能谱。α 粒子能量分别为 5. 157, 5. 486, 5. 805 MeV,真空度为 8. 4 Pa。N 面接地,P 面负偏压 170 V 时达到全耗尽,漏电流为 2. 94 μA,测试结果如图 8 所示:

图 8(c)纵坐标为一次事件 E₁ 条输出信号的能量值,横坐标为同一事件相邻条信号输出的能



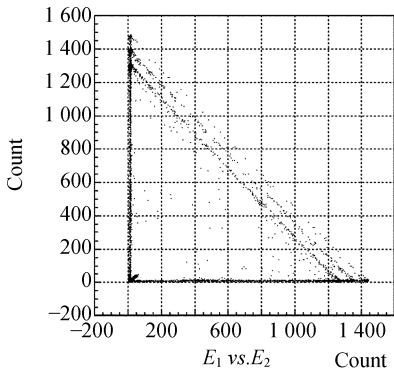
(a) 某一条的前放输出波形

(a) Output from preamplifier of some one strip



(b) 四条 α 能谱图

(b) α energy spectra of four strips



(c) 相邻的二条二维能谱图

(c) Two dimensional spectra of two strips next to each other

图 8 α 能谱测试结果Fig. 8 Results of α energy spectrum

量值,横坐标与纵坐标之和即为此次入射粒子的总能量值。Y轴与X轴截距相等,由电荷分配原理,根据入射粒子能量在相邻两条之间的分配,可以得知此离子在两条间的相对位置^[14]。图8(a)中5.486 MeV的 α 峰能量分辨率约为1.28%。

当一面的引线有少部分断掉时,在另一面能谱上可以观测到一种假峰现象。图9是一块P面

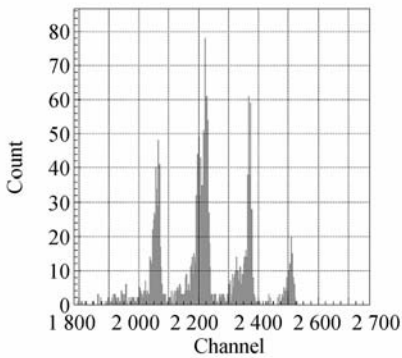


图 9 有一个假峰的能谱

Fig. 9 α energy spectrum with a ghost peak

边缘断掉一条引线的双面二维硅微条探测器三组分源(^{239}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm)的 α 能谱,P面加载10 V负电压,道数最高的一个矮峰为假峰。推测其原因为:引线断掉的电极对应灵敏区无法加载电压,电场强度较小,电荷收集速度较慢,收集率也较低,一次事件的信号一部分会在移动过程中被复合掉,余下部分叠加到其它事件的信号上从对面电极输出,因此会出现一个能量较高,峰值较小的假峰。这种现象在反向偏压值较低时容易观测到,而且假峰位置较容易分开。假峰的峰值、峰位与条宽和密度有关,加载偏压较高时,峰位较接近真实峰,会影响能量分辨率。

5 结 论

硅微条探测器极易受到各种沾污导致性能下降甚至失效,其键合引线也容易被外力损坏。本文根据探测器的制作工艺和结构,正确分析损坏原因,通过适当方法,对损坏探测器进行了修复。结果表明,失效键合所在条的另一面各条能谱上可以观测到假峰,修复后消除。修复后测量探测器5.486 MeV的 α 峰能量,其分辨率约为1.28%。另外,清洗有助于提高探测器的实际使用性能,但也会产生不同程度的潜在损伤,因此清洗要适当而且谨慎,尽量由有此方面经验人员操作。如果沾污时间较长,表面会被腐蚀,痕迹难以清除,因此应尽快清洗。前放等电子学插件的冷却介质应尽量使用高纯乙醇等成分单纯、无腐蚀、易清洗、电阻率高的液体,存放环境要避光,避强电磁干扰,洁净,恒温,低湿度。

参考文献:

- [1] BERTOLINI G, COCHE A. *Semiconductor Detectors* [M]. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1968.
- [2] 谢一冈,孟祥承,陈昌,等. 粒子探测器与数据获取 [M]. 北京:科学出版社,2003.

- XIE Y G, MENG X CH, CHEN CH, *et al.*. *Particle Detector and Data Acquisition* [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)
- [3] 任延同. 离子刻蚀技术现状与未来发展[J]. 光学精密工程,1998,6(2):7-14.
- REN Y T. Presence and future developing tendency

- of ion-etching technology [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1998, 6(2):7-14. (in Chinese)
- [4] 储佳, 马向阳, 杨德仁, 等. 硅片清洗研究进展[J]. 半导体技术, 2001, 26(2):17-19.
CHU J, MA X Y, YANG D R, *et al.*. Silicon wafer cleaning[J]. *Semiconductor Technology*, 2001, 26(3):17-19. (in Chinese)
- [5] 吴东江, 许媛, 王续跃, 等. 激光清洗硅片表面 Al_2O_3 颗粒的试验和理论分析[J]. 光学精密工程, 2006, 14(5):764-771.
WU D J, XU Y, WANG X Y, *et al.*. Experimental and theoretical study on laser cleaning Al_2O_3 particle on silicon wafer surface[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 14(5):764-771. (in Chinese)
- [6] QUIRK M, SERDA J. *Semiconductor Manufacturing Technology*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.
- [7] 达道安. 真空手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
DA D A. *Vacuum Manual*[M]. Beijing: Defence industry Press, 2004. (in Chinese)
- [8] 周明宝, 林大键. 微结构表面形貌的测量[J]. 光学精密工程, 1999, 7(3):7-13.
ZHOU M B, LIN D J. Measurement of microstructures topography[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1999, 7(3):7-13. (in Chinese)
- [9] AVSET B S, EVENSEN L. The effect of metal field plates on multiguard structures with floating p + guard rings[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1996, A377:397-403.
- [10] HARPER C A. *Electronic Materials and Processes Handbook*[M]. America: McGraw-Hill Companies, 2004.
- [11] 庄同曾, 张安康, 黄兰芳. 集成电路制造技术[M]. 北京: 电子工业出版社: 1987.
ZHUANG T Z, ZHANG A K, HUANG L F. *Microfabrication Technology of Integrated Circuits*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1987. (in Chinese)
- [12] BLUMENFELD Y, AUGER F, SAUVESTRE J E. A silicon strip detector array for radioactive beam experiments[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 1999, A421:471-491.
- [13] 韩励想, 李占奎, 靳根明. 用于半导体探测器研制的数字摄影显微系统[J]. 核电子学与探测技术, 2009, 29(5):945-949.
HAN L X, LI ZH K, JIN G M, *et al.*. The system of digital-image optical microscope in semiconductor particle detector development[J]. *Nuclear Electronics and Detection Technology*, 2009, 29(5):945-949. (in Chinese)
- [14] 王勇, 张继盛, 费圭甫. 硅微条粒子探测器[J]. 核电子学与探测技术, 1997, 17(3):161-164.
WANG Y, ZHANG J SH, FEI G F. Silicon microstrip detector for particles[J]. *Nuclear Electronics and Detection Technology*, 1997, 17(3):161-164. (in Chinese)

作者简介:



韩励想(1978—),男,吉林人,博士研究生,2001年于吉林大学获学士学位,主要从事半导体探测器的研制。E-mail: lixiang-han@impcas.ac.cn



鲁皖(1985—),男,安徽五河人,硕士研究生,2007年于安徽大学获学士学位,主要从事实验核物理研究。E-mail: luwan@impcas.ac.cn



胡 钧(1982—),男,云南思茅人,博士研究生,研究实习员,2004 年于兰州大学获得学士学位,主要从事实验核天体物理方面的研究。E-mail: hujun82@gmail.com



杨彦云(1984—),男,宁夏盐池人,硕士,研究实习员,2005 年于兰州大学获得学士学位,2008 年于中科院近代物理研究所获得硕士学位,主要从事实验核物理方面的研究。E-mail: yangyanyun@impcas.ac.cn



王柱生(1955—),男,甘肃天水人,高级工程师,1978 年于兰州大学获学士学位,主要从事核辐射半导体探测器的研制工作。E-mail: wangzhsh@impcas.ac.cn

导师简介:



肖国青(1962—),男,河北承德人,研究员,博士研究生导师,1983 年于四川大学获学士学位,1987 年于中国科学院近代物理研究所获硕士学位,1996 年于柏林自由大学物理系获博士学位,现为中国科学院近代物理研究所所长,主要从事重离子与固体的相互作用研究及核技术应用工作。E-mail: xiaogq@impcas.ac.cn



李占奎(1968—),男,河南南阳人,研究员,博士研究生导师,1990 年于清华大学获学士学位,1999 年于中科院近代物理研究所获博士学位,现为中科院近代物理研究所传感器室副主任,主要从事实验核物理、小丸内靶实验终端建造、半导体探测器研制等方面的工作。E-mail: lizhankui@impcas.ac.cn

● 下期预告

多模式组合抛光技术在光学加工中的应用

宣 斌^{1,2},谢京江¹,李俊峰^{1,2},王 朋^{1,2},陈晓莘^{1,2},宋淑梅¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院光学系统先进制造技术重点实验室,吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

将经典抛光方法与数控加工技术有机结合,产生了多模式组合抛光(MCM)技术。作为 MCM 的关键技术之一,本文详细叙述了 MCM 技术的材料去除率仿真模型建立方法。通过设置抛光盘因子和元件因子,MCM 技术的材料去除模型不仅包含抛光模式、速度等加工参数,还可以将抛光模形状、边角效应、元件面形误差等因素对材料去除的影响一并考虑入内。根据抛光阶段的不同,可以选择不同的仿真精度。实验发现,MCM 可以显著提高加工效率,并且具有较好的对中频误差的抑制和修正能力。MCM 目前的应用水平大致达到球面、平面元件的面形误差为 20 nm(rms),非球面元件为 30~40 nm(rms)左右。MCM 在大口径元件的光学加工方面具有较强的适用性和很大的发展空间。