

硅单晶抛光片边缘亮线研究

王云彪, 杨洪星, 陈亚楠, 张伟才
(中国电子科技集团公司第四十六研究所, 天津 300220)

摘 要: 随着集成电路用晶圆向大尺寸化方向发展, 国内10~15 cm硅抛光片市场竞争日益激烈, 外延及器件厂家对抛光片的表面质量和可利用率要求越来越高。边缘亮线是一种存在于硅片抛光面边缘的腐蚀缺陷, 对抛光片的成品率及后续工艺质量有重要影响。通过对硅片边缘表面形貌进行微观分析, 揭示了“边缘亮线”产生的机理, 分别研究了抛光工艺条件和倒角工艺条件对边缘缺陷的影响, 通过优化抛光工艺条件, 消除了抛光片表面“边缘亮线”缺陷。

关键词: 边缘亮线; 表面形貌; 成品率; 抛光片

中图分类号: TN405 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3474 (2014) 05-0298-05

Research of Light Point Defects on Polished Silicon Wafer Edge

WANG Yun-biao, YANG Hong-xing, CHEN Ya-nan, ZHANG Wei-cai
(The 46th Research Institute of CETC, Tianjin 300220, China)

Abstract: With the development of integrated circuit wafer to the large size, the domestic 10~15 cm silicon wafer market competition is becoming increasingly fierce, the epitaxy and the device manufacturers demand better surface quality and higher availability. Edge Bright Line is corrosion defects existing in the edge of polishing wafer surface, have an important influence on the polishing wafer yield and subsequent process quality. Through the micro analysis of the edge of the wafer surface, revealed the Edge Line mechanism, the influence of polishing process conditions and grinding process conditions on the edge defects were studied, by optimizing the polishing process conditions, eliminated the Edge Bright Line defects on polished wafers.

Key Words: Edge bright line; Surface morphology; Yield; Polishing wafer

Document Code: A **Article ID:** 1001-3474, 2014, 05-0298-05

随着半导体工艺技术的进步, 硅单晶抛光片尺寸不断扩大, 国外30.48 cm硅单晶加工工艺已经非常成熟, 国内主要半导体厂家也在加紧向20.32 cm生产线的转变。在这种形势下, 使得10.16~15.24 cm硅片市场日益萎缩, 产品的市场竞争力和利润率不断下降, 因此, 从硅单晶片抛光到外延以及器件制作工序, 均在不断提高对产品成品率和表面可利用率的要求, 一些原本未曾关注的抛光片表面边缘缺陷逐渐被发现, 并成为影响产品质量和成品率的主要因素, “边缘亮线”正是这类缺陷的一个典型代表。

所谓“边缘亮线”是指通过强光灯目视检测, 存在于抛光面与硅片边缘交界处的连续或断续的亮点缺陷。这些亮点缺陷呈圆弧状, 长短不一, 位置

并不固定, 类似颗粒沾污, 但又清洗不掉, 称为“边缘亮线”。“边缘亮线”的存在使得硅抛光片外延后边缘出现凹坑或凸点、局部粗糙、位错增大等缺陷, 严重影响此区域内制作器件的性能, 我们必须在抛光片最终检验工序对此类缺陷进行严格控制。我们最初在12.7 cm免清洗抛光片加工时发现了“边缘亮线”的存在, 后来在10.16 cm和15.24 cm硅单面抛片加工中均发现了此类缺陷, 不合格比例占到了20%~30%, 严重时几乎一个批次的硅片都存在边缘亮线。因此, 开展抛光片表面“边缘亮线”缺陷研究, 对保障硅抛光片的加工成品率和后续外延以及器件质量具有重要意义。

本文主要通过对比不同批次硅片抛光前后倒

角边缘的表面状况,分析了“边缘亮线”产生的机理,通过对抛光工艺条件和倒角工艺条件进行调整,消除了抛光片表面“边缘亮线”缺陷。

1 缺陷描述

我们采用不二越SPM-19抛光机对12.7 cm N型<111>硅单晶片进行了抛光,单晶电阻率 $(2\sim4)\times 10^{-3}\ \Omega\cdot\text{cm}$,径向电阻率不均匀性 $\leq 10\%$,单面抛光,厚度要求: $(525\pm 15)\ \mu\text{m}$ 。抛光工艺条件如下:抛光布:SUBA600;抛光液:V(BindzilOne液):V(去离子水)=1:15;压力: $2.80\ \text{N}/\text{cm}^2$;转速:55/110 r/min;抛光液流量:1.5 L/min;温度:抛光液25℃,抛光布40℃。

抛光片经清洗后在强聚光灯下目测检验,发现部分抛光片在边缘(1~2) mm内存在类似颗粒沾污的亮点缺陷,即边缘亮线,其他区域无缺陷。我们对有此缺陷的硅片分别进行了重新清洗和返抛,发现此缺陷依然存在。因此,边缘亮线的出现是硅片本身在边缘存在缺陷经抛光后得以显现或抛光过程造成的边缘缺陷,这是一种我们之前没有遇到和关注的新缺陷。

我们采用OLYMPUS BX51M微分干涉显微镜对有边缘缺陷硅片进行了检测,如图1所示。从图1中可以看出抛光片的边缘亮线非常贴近倒角边斜面,距离仅为100 μm 左右。

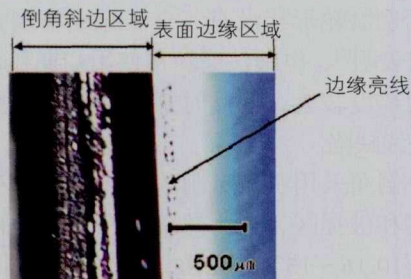


图1 抛光片边缘亮线微观形貌图

2 缺陷机理分析

我们采用XY-1510型影像测量机对抛光前硅片正面和背面的倒角边进行了测量,如图2和图3所示,测量结果发现抛光前硅片正面倒角面宽度比背面倒角面宽度小(100~200) μm 。由于硅片采用对称倒角的方式,两面倒角面宽度差一般小于20 μm ,不可能造成如此大的差距。因此,硅片正面倒角边明显变小的情况是由研磨工序造成的。研磨过程中由于工艺条件和硅片本身弯曲度的影响,容易造成边缘塌边或硅上下两面去除量不一致,使得研磨后硅片表面外延,原来的一部分倒角区域演变为表面。而在这部分演变为表面的倒角区域内若存在机械损伤,经过化学腐蚀后成为较深的腐蚀坑,抛光过程边缘

塌边,使得抛光面向外延伸,原本存在于倒角面上的腐蚀坑呈现在抛光面上,成为边缘亮线。由于此区域过于贴近硅片边缘,设备无法检测,边缘又没有相关的检测标准,一直处于被忽视状态。

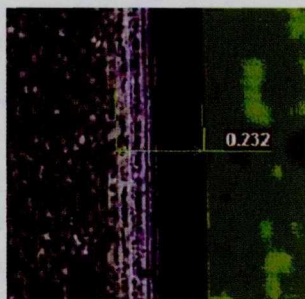


图2 化抛片正面倒角边测试图

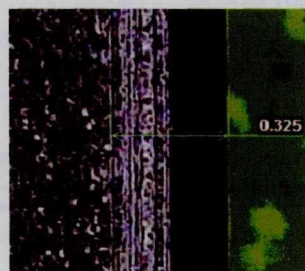


图3 化抛片背面倒角边测试图

硅片研磨后经过化学腐蚀,边缘区域表面相对中心区域要破碎的多,如图4所示,而抛光过程中硅片边缘接触的抛光液又是最多的,强碱性抛光液的各向异性腐蚀导致了较深的腐蚀坑,机械摩擦作用又不能将之去除,在强光灯下观察就形成了连续的亮点缺陷,即亮线。目测检验时,抛光片表面边缘没有去除量,而抛光片本身是有倒角边的,倒角边本身是一个斜面,抛光时是对硅片表面一层一层地去除,斜边不能被抛光,但存在化学腐蚀作用,若斜边表面本身破损,则产生较明显腐蚀坑,轻微时就是我们观察到的边缘亮线,严重了就是边缘面腐蚀。

对于厚度相对较薄(<700 μm)的硅片,边缘腐蚀常出现在表面距边缘(2~3) mm范围内,如图5所示。这是因为由于厚度较薄,倒角边与表面分



图4 化抛片边缘形貌图

界不明显,抛光时又存在边缘“塌边”的问题,这样就使得整个倒角边与表面连为一个平面,若硅片本身在倒角边区域存在损伤,抛光时化学作用明显强于机械作用,便产生了看似在表面边缘区域的亮线缺陷。对于厚度较厚的硅片,尤其是厚度大于1 000 μm 的硅片,硅片的倒角边呈现一个明显的斜面或圆弧面,如图6所示,这是一个多晶向的复杂渐变面,表面的损伤情况完全取决于前道工序的加工水平。抛光时若抛光液腐蚀性太强或者流量过大,倒角面浸泡在抛光液中就会在倒角面上产生腐蚀。另外,倒角面与表面的交界圆周是由倒角工序机械加工而成,若倒角砂轮磨损或硅片本身翘曲、厚度不均、棱线,导致交界圆周是一个破损的表面,再经过化抛的强腐蚀就会产生较深的腐蚀坑,抛光后表面及圆周区域变光亮,交界圆周上的腐蚀坑便以亮点的形式呈现出来。

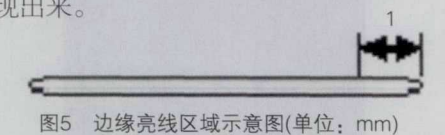


图5 边缘亮线区域示意图(单位: mm)

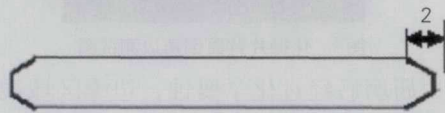


图6 厚片边缘亮线区域示意图(单位: mm)

硅片研磨过程要去除一定的厚度,会造成倒角边一定程度的变化;研磨过程中硅片边缘所接触的研磨液较多、承受的摩擦力也相对较大,必然会造成一定程度的塌边,也会造成倒角边一定程度的变化;另外硅片本身有一定的弯曲度和翘曲度,这样也会造成硅片一面或局部区域倒角边的明显变化。倒角边发生变化的区域若存在机械损伤,抛光后就会形成边缘亮线。改善硅片的弯曲度、翘曲度状况,可以减小研磨工序造成的倒角边变化,从而降低边缘亮线缺陷的比例;但是,若想从根本上消除边缘亮线,只能通过改进倒角工艺以减小硅片的边缘损伤和改进抛光工艺以消除抛光过程造成的边缘深腐蚀来实现。

3 倒角工艺造成影响

硅片倒角是指采用磨削的方式将切割后硅片加工成一定的目标直径和形状,消除边缘的切割应力和机械损伤,防止在后续加工过程中出现崩边、破裂及晶格缺陷的产生等。同时,可以有效降低硅片外延滑移线的产生。目前,我们采用的倒角机为W-GM-4200倒角机,磨轮采用800#砂轮进行粗倒、1200#砂轮精倒。下面图7~图10是几张硅片经过碱腐蚀后的倒角边缘轮廓图,从图中可以看出硅

片的边缘损伤程度是不一致的。其中边缘如图7所示的硅片经抛光后无边缘亮线;边缘如图8和图9所示的硅片经抛光后可能会出现边缘亮线;边缘如图10所示的硅片经抛光后肯定会出现边缘亮线。

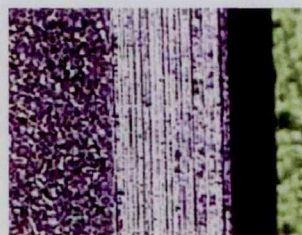


图7 倒角边缘轮廓1

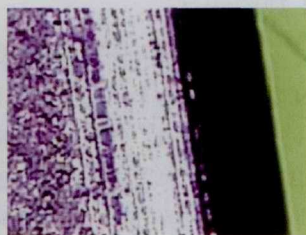


图8 倒角边缘轮廓2



图9 倒角边缘轮廓3



图10 倒角边缘轮廓4

硅片倒角面的质量好坏与倒角磨轮的转速有直接的关系,倒角面上的浅沟是砂轮高速旋转时局部温度过高造成的粘接磨损而形成的^[1],而深坑是磨削条件恶化(砂轮老化、热量积聚、废物堵塞等)导致的局部破碎。同时,硅片部分倒角面较平坦,而有些区域较粗糙,这说明精倒未能将粗倒引起的损伤完全去除,造成这种现象的原因可能是粗倒磨轮形状与精倒磨轮形状没有完全匹配或精倒去除量不够。研究表明^[2],电镀法磨轮在使用初期和晚期磨削表面的粗糙度较大,而此时加工的硅片也更容易出现边缘亮线缺陷。

硅片倒角采用机械磨削的方式,必然存在一定的损伤层和破损区,成为缺陷的产生区和颗粒的附着区,而10.16~15.24 cm由于生产成本的限制不可能进行边缘抛光,而像图8和图9这样的倒角形貌,也是普遍存在的。因此,我们必须通过改进抛光工艺,来进一步提高抛光片的表面质量,减少表面和边缘缺陷,以满足后续外延工艺的需要。

4 抛光工艺造成的影响

硅片抛光是一种化学、机械过程。在抛光加工中,硅片表面与抛光液中碱的化学腐蚀反应生成可溶性的硅酸盐,通过细而柔软、带有负电荷的 SiO_2 胶粒(粒度常为50~70 nm)的吸附作用、同时与抛光布(衬垫)间的机械摩擦作用及时去除反应物。化学腐蚀和机械摩擦两种作用互相、连续、交替、循环进行。当达到化学、机械作用的平衡时,便可获得最佳的光亮“镜面”。碱性二氧化硅胶体化学

机械抛光技术综合了化学抛光无损伤和机械抛光易获平整、光亮表面的特点^[3]。边缘亮线即硅片在抛光过程中形成的边缘腐蚀坑，与硅片本身的边缘状况和抛光工艺条件有直接的关系。一方面，硅片边缘区域相对中心区域存在表面破损，抛光液腐蚀性较强，容易形成边缘的腐蚀坑或亮线缺陷；另一方面，硅片抛光过程中边缘塌边，使得原来一部分倒角区域变为抛光面，而此区域内的机械损伤未能完全去除，形成边缘亮线。

抛光工艺决定着抛光片表面质量的优劣，适宜的抛光工艺条件可以有效降低晶体本身缺陷和前道加工缺陷所带来的影响，从而加工出表面质量高度一致的硅抛光片^[4,5]。在本文中，针对边缘存在损伤和图8、图9所示边缘形貌的硅片抛光，我们主要围绕抛光布、抛光液配比和抛光流量这三项抛光工艺条件开展试验，具体情况见表1。

表1 不同工艺条件抛光试验表

抛光布	抛光液型号	V(BindzilOne液): V(去离子水)	流量 v/(L·min ⁻¹)	一次成品率/%	边缘亮线所占比例/%
SUBA600平布	BindzilOne	1:15	2.0	30~50	30~70
SUBA600平布	BindzilOne	1:15	1.5	40~60	30~60
SUBA600平布	BindzilOne	1:15	1.0	40~60	20~50
SUBA600平布	BindzilOne	1:15	0.5	20~30	20~40
SUBA600平布	BindzilOne	1:30	1.5	40~60	20~40
SUBA600平布	MAZIN SR330	1:30	1.5	60~80	0~15
SUBA600格布	BindzilOne	1:30	1.5	50~70	0~15
SUBA600格布	MAZIN SR330	1:30	1.5	70~85	0~1

4.1 抛光布表面沟槽对边缘缺陷的影响

由表1可以看出，相对于平布抛光，采用格布抛光后硅抛光片产生边缘亮线的几率明显降低。这是因为，在抛光过程中，抛光盘与抛光布由于压力作用紧密结合在一起，抛光盘与抛光布间留给抛光液传导的缝隙很小，一般为几十到几百微米，抛光过程中底盘与抛光盘高速旋转，由于离心力作用使得抛光液很难在抛光布上均匀分布，大量抛光液在抛光盘边缘富集。抛光液在抛光盘边缘的富集使得硅片边缘总是接触大量的抛光液而中心区域接触的抛光液较少，造成边缘与中心区域腐蚀速率的差异，特别是当抛光液腐蚀特性较强时，在边缘损伤区域就容易产生腐蚀缺陷。采用格布抛光，抛光液通过表面的沟槽传导的抛光布的各个区域，减小了硅片不同区域因为接触抛光液多少产生的腐蚀速率差，一方面减小了抛光液对边缘区域的化学腐蚀作用，

降低了边缘腐蚀缺陷的产生；另一方面由于抛光液的均匀分布，使得硅片不同区域的去除速率趋向一致，抛光后硅片的塌边更小，避免了抛光面向边缘外延产生边缘缺陷的可能，提高了抛光片表面质量的一致性。

4.2 抛光液对边缘缺陷的影响

由试验2与实验5的对比可以看出，降低抛光液配比，在一定程度上降低了边缘亮线的产生几率。这是因为抛光液浓度越高，抛光过程中的化学腐蚀作用越强，边缘损伤区域产生腐蚀缺陷的几率越大，同时抛光后表面粗糙度也较大。降低抛光液配比，减弱了抛光过程的化学作用，在一定程度上降低了抛光液各向异性腐蚀造成的边缘腐蚀缺陷，但是随着抛光液配比的降低，抛光速率也由原来的0.75~0.85 μm/min降低到0.5~0.6 μm/min，加工效率明显下降。

由试验5~试验8可以看出，采用不同类型的抛光液，产生边缘缺陷的几率和一次成品率有明显差别。与BindzilOne液相比，MAZIN SR330抛光液代表着目前硅抛光液产品的最新技术，采用15 nm左右的小粒径硅溶胶和氢氧化四甲基铵作为碱添加剂，抛光液的各向异性腐蚀速率更为平缓，抛光后易于清洗，抛光片的表面粗糙度更低，一次成品率更高，更加适用于粗抛、精抛的两步抛光工艺。这说明随着抛光片表面质量要求的不断提高，硅抛光片加工所需要的抛光液、抛光布等主要耗材也需要不断的升级换代。

4.3 流量对边缘缺陷的影响

由试验1~试验4可以看出，抛光液流量的大小对抛光片的一次成品率和边缘缺陷的产生几率有着重要的影响。抛光液流量大，硅片浸泡在抛光液中，化学反应速率快，反应产物能够及时地被抛光液带走，抛光速率很快。但是，较快的化学反应使得边缘损伤区域和其他区域的腐蚀速率差距增加，同时也会加剧硅片的塌边情况，造成抛光面向边缘的延伸，加大了边缘缺陷产生的几率。流量较小时，容易造成抛光液的不均匀分布，若局部硅片与硬质抛光布之间摩擦作用大于抛光液的化学腐蚀作用，使得表面易产生划伤和粗糙不平，降低抛光成品率。我们应当在保证表面质量和抛光速率的前提下，适当减小抛光液流量，来避免边缘腐蚀缺陷的产生。

4.4 其他因素对边缘缺陷的影响

硅片采用化学机械抛光，抛光布、无蜡垫背膜具有一定的可压缩性，硅片边缘相对中心区域线速度较大，旋转时受到的剪切力也较大，抛光后必

然会存在一定程度的塌边,造成抛光表面外延,使得一部分边缘缺陷呈现在抛光面上。抛光布、无蜡垫本身性质、粘贴状况和随使用时间的磨损情况都会造成抛光片TTV不同程度的变大。研究发现,当抛光片TTV $\geq 10\mu\text{m}$,边缘亮线的产生比例在5%~20%,当抛光片TTV $\leq 5\mu\text{m}$,边缘亮线的产生比例低于1%。

5 结论

抛光片表面边缘亮线是由倒角工序造成的边缘损伤引起的,研磨及抛光后硅片表面外延使得损伤缺陷以表面腐蚀坑的形式呈现出来。改进硅片边缘倒角质量,可以极大地提高硅抛光片的边缘质量,

通过优化抛光工艺条件,可以有效消除边缘损伤缺陷带来的影响,有利于批量化生产的开展。

参考文献

- [1] 苗利刚,李战,胡晓亮.工业硅片倒角工艺研究[J].科协论坛,2012,2:49-50.
- [2] 李战,苗利刚,周涛.硅片倒角磨轮的研究[J].科协论坛,2012,5:54-55.
- [3] 张厥宗.硅单晶抛光片的加工技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [4] 刘玉岭.硅片CMP抛光工艺技术研究[J].电子工艺技术,2010,31(5):299-302.
- [5] 杨洪星,陈亚楠.夹具形状对硅抛光片表面质量的影响[J].电子工艺技术,2013,34(2):122-124. (收稿日期:2014-07-19)

(上接第288页)

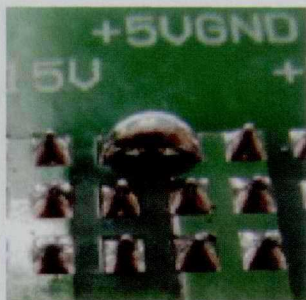


图4 桥连

表4 桥连PFMEA影响分析

失效模式	失效原因	严重度	频度	检测难度	风险级	现行控制措施	备注
桥连	设计不合理,焊盘间距过窄	5	8	9	360	根据PCB具体特点来调整相邻焊盘的距离	高风险级
	元器件引脚不规则或插装歪斜		5	2	50	插装元器件引脚按照板子的孔距及装配要求成型	
	助焊剂活性低		1	9	45	更换助焊剂	
	焊接温度低		2	3	30	调整焊接温度	
	传送带速度快		2	3	30	传送带速度调慢些	
	预热温度低			3	15	按照板子尺寸、板层和元器件多少等合理设置预热温度	



图5 空洞(气泡)

空洞(气泡)PFMEA影响分析见表5。

通过以上分析和计算,确定四种失效模式中高风险级别的故障原因,分别是:焊接温度不当、元器件引线氧化层未清除、焊盘间距过窄和PCB孔内有潮气。同时确定虚焊的风险等级最高,达到512,为

表5 空洞(气泡)PFMEA影响分析

失效模式	失效原因	严重度	频度	检测难度	风险级	现行控制措施	备注
空洞(气泡)	PCB孔内有潮气	7	3	9	189	改善存储条件、装配前除湿	高风险级
	通孔周边氧化		2	8	112	清洁氧化层	
	元器件引线直径与插装孔比例不当		6	2	84	更改印制板孔径大小	
	焊盘局部不清洁		2	2	28	清洁焊盘	
	助焊剂活性低			2	28	更换助焊剂	

高严重度的失效模式。后续需要开展相应的工艺试验,找到针对高风险级和高严重度失效模式的纠正措施,并在纠正后重新进行风险评估,验证纠正措施的可行性与正确性。

3 结论

本文在简要介绍PFMEA分析方法的基础上,将PFMEA与通孔插装元器件的组装过程相结合,描述PFMEA的通用流程,并应用PFMEA对通孔插装元器件的装配过程的潜在失效模式、失效机理以及危害度进行了分析。应用PFMEA分析印制电路板组件装配过程的具体方法,为工程实践过程中一种较为科学、全面的分析手段。

参考文献

- [1] 李麒麟.印制电路装焊工艺与技术[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [2] 曾成,韩依楠.PFMEA在SMT装配中的应用研究[J].电子质量,2007(1):44-46.
- [3] 庄辉迅.波峰焊过程产生板脏问题的分析和解决方法[J].电子工艺技术,2012,33(5):297-299.
- [4] 鲜飞.波峰焊接工艺技术的研究[J].电子工艺技术,2009,30(4):196-199.
- [5] 王卫平.电子工艺基础[M].北京:电子工业出版社,2012.
- [6] 孙德松.通孔波峰焊透锡不良问题研究[J].电子工艺技术,2012,33(5):292-296. (收稿日期:2014-08-18)