文章编号:1007 - 4252(2024)01 - 0001 - 048　　DOI: 10.20027/j.gncq.2024.0001

半导体用石英舟指标规范及制备技术研究

商健宁[1],刘晓光[2],秦卫光[3],谷巨明[4],王　帅[5]
(久智光电子材料科技有限公司,河北 廊坊 065000)

摘要:本研究通过针对半导体制程不同环节对石英制品性能要求分析、高精度机械加工工艺优化、石英制品热成型组立技术、石英制品抛光退火工艺等多方面研究,制备出符合半导体制程工艺要求的石英制品。本研究的成果有效替代进口产品,提升国产化率、振兴民族工业,促进我国半导体集成电路和国家电子信息产业的健康发展。

关键词:半导体、石英舟、指标规范、制备技术
中图分类号:TB321　　**文献标志码**:A

Research on index specification and preparation technology of quartz boat for semiconductor

SHANG Jianning[1] LIU Xiaoguang[2] QIN Weiguang[3] GU Jvming[4] WANG Shuai[5]
(Quick Gem Optoelectronic S&T Co., LTD, LangFang 065000, China)

Abstract: In this study, through the analysis of the performance requirements of quartz products in different links of the semiconductor process, the optimization of high-precision machining processes, the thermoforming technology of quartz products, the polishing and annealing process of quartz products, etc. Quartz products. The results of this research can effectively replace imported products, increase the localization rate, revitalize the national industry, and promote the healthy development of my country's semiconductor integrated circuits and the national electronic information industry.

Key words: Semiconductor, Quartz boat, Index specification, Preparation technique

0　引言

石英制品主要用于制备石英舟、扩散管、支架、石英环、基板等,是半导体制程中氧化、扩散、外延、刻蚀等工序中不可替代的关键产品,在纯度、耐高温、抗析晶、低羟基、高强度、耐腐蚀和尺寸精度等方面要求愈加严苛[1]。

目前全球半导体步入成熟期,已经形成基础庞大的产业规模主要制造商集中在 WONIK、永信、金钢、黑沃(美国)、贺利氏;国内石英制造商有杭州大和、贺利氏(沈阳)及沈阳汉科,约占据 67%的市场份额。中国市场对石英制品的需求量,取决于国内晶圆代工厂的发展水平与趋势,受晶圆市场需求和晶圆制造设备市场的变化而变化。半导体产业的高速发展和国家政策的大力支持,为石英材料和制品

收稿日期:2023-11-08;　　**修订日期**:2024-01-22
作者简介:商健宁(1996-),男,学士,主要研究方向为材料工程 E-mail:18531698988@163.com).

提供了广阔的市场空间。面对良好的市场需求和产业政策引导,我们开展了半导体制程不同环节对石英制品性能要求分析、高精度机械加工工艺优化、石英制品热成型组立技术工艺等多方面研究,制备出符合半导体制程工艺要求的石英制品,提升国产化率、振兴民族工业,促进我国半导体集成电路和国家电子信息产业的健康发展[2-4]。

1　半导体用石英舟规模化生产中的指标规范

1.1　尺寸偏差规范

我们将半导体用石英舟的尺寸偏差分为 A、B、C 三个级别,对于有特殊要求的执行 A 级标准,无特殊要求的执行 C 及标准,其他未标注尺寸偏差范围的执行 B 级标准。

具体规范要求如下表所示。

表 1　长度、宽度、高度偏差　　单位:mm

尺寸 / 级别	≥1 <3	≥3 <6	≥6 <18	≥18 <30	≥30 <80	≥80 <120	≥120 <250	≥250 <400	≥400 <1000	≥1000 <2000	≥2000
A	±0.1	±0.1	±0.2	±0.2	±0.3	±0.3	±0.3	±0.5	±0.5	±1.0	±1.5
B	±0.1	±0.1	±0.2	±0.4	±0.5	±0.7	±1.0	±1.2	±1.5	±2.0	±3.0
C	±0.5	±0.5	±0.8	±1.0	±1.2	±1.5	±2.0	±3.0	±3.0	±4.5	±6.0

表 2　厚度尺寸偏差　　单位:mm

尺寸 / 级别	≥0.5 <1	≥1 <1.5	≥1.5 <2	≥2 <2.5	≥2.5 <3	≥3 <6	≥6 <12	≥12
A	±0.06	±0.06	±0.1	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.8
B	±0.08	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.5	±0.8	±1.2

表 3　直径尺寸偏差　　单位:mm

尺寸 / 级别	<φ6	≥φ6 <φ10	≥φ10 <φ15	≥φ15 <φ30	≥φ30 <φ50	≥φ50 <φ100	≥φ100 <φ150	≥φ150
A	±0.1	±0.2	±0.2	±0.2	±0.3	±0.3	±0.5	±1.0
B	±0.1	±0.2	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0
C	±0.3	±0.5	±0.8	±1.0	±1.5	±2.0	±3.0	±5.0

1.2　石英棒开槽加工公差

石英棒开槽示意图见图 1,其槽部尺寸偏差见表 4。

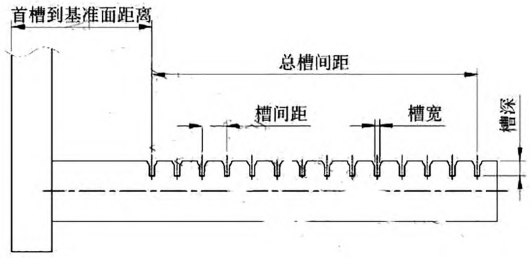

图 1　槽部示意图

表 4　槽部尺寸偏差　　单位:mm

开槽部位	槽宽		槽间距	总槽间距	槽深	开槽棒磨平后尺寸
级别	两棒舟	四棒舟				
A	+0.05	+0.05	±0.05	±0.2	±(0.05 −0.1)	±0.1
B	+0.1	+0.1	±0.1	±0.5	±(0.1 −0.2)	±0.2

1.3 形位偏差

表 5 形位偏差

单位:mm

形位偏差类别	名称	垂直度	平行度	平面度	对称度
	符号	⊥	//	◇	≡
制品偏差	A 级	0.15	0.2	0.1	0.1
	B 级	1	0.5	0.2	0.6

1.4 外观质量

表 6 外观质量

项目	要求			
气泡、破皮气泡、气线、破皮气线	尺寸范围	宽度(mm)	长度(mm)	允许数量(个/m)
		≤1.0	≤5	≤2
		≤0.5	≤3	≤3
		≤0.3	≤1	≤5
	通气气线和破皮气泡、破皮气线不允许存在。焊口处气泡聚力表面 1mm 深以上时,允许小于 0.5mm,每个焊接处数量不多于 3 个,气泡大小在皮厚方向尺寸不得超过壁厚的 1/3,直径或宽度小于 0.1mm 的气泡或气线数量不计。			
色线、色斑	色斑颜色	直径尺寸(mm)	允许数量(个/m)	
	白点	≤2.0	≤1	
		≤1.0	≤3	
		≤0.5	≤4	
	黑色	≤0.5	≤2	
		≤0.3	≤4	
	其他颜色	不允许		
划伤	宽度不大于 0.3mm,深度不大于 0.1mm,长度不大于 10mm,经抛光处理的划伤是允许的。			
析晶	片状析晶不允许,点状析晶按白点计。			
云雾	允许不明显的云雾存在。			
炸裂、晶纹、生料颗粒、桔皮、暗疤	不允许			
透明颗粒	每 100 平方厘米最多允许 20 个。			

1.5 杂质元素含量及热应力

表 7 杂质元素含量(最大值)

单位:μg/g

等级	杂质元素含量												
	Al	Na	K	Li	Mg	Cu	Mn	Ca	Fe	Ti	B	Co	Ni
S 级	20	2.5	2	1.5	1	0.5	0.24	2	0.8	1.5	0.8	0.8	0.8
H 级	16	0.3	1	1	1	0.5	0.24	1.5	0.8	1	0.2	0.5	0.5

注:等级划分参考 JC/T 2372-2016 集成电路用石英舟,S 级为标准级,H 级为高纯级。

通过多次试验确定,石英制品的热应力在应力仪(可检测检偏镜消失转动角)下检测的检偏镜消失转动角度应小于 15 度。

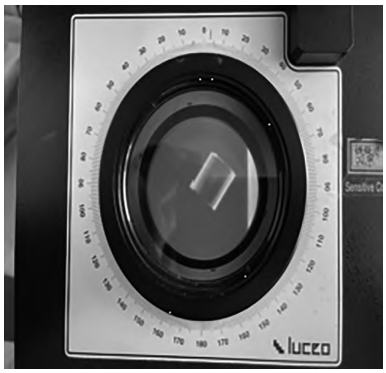

图 2　应力检测示意图

2　高精度机械冷加工工艺应用

2.1　与石英材料机械冷加工相关的材料特性

石英材料的机械性能比硬质玻璃和陶瓷都好,唯脆性较差,属于难加工材料范畴。其与机械加工工艺有关的性能数据见表 8。石英材料的抗拉强度弹性模量和泊松比比淬火钢要低很多,而其抗压强度却很高,这清楚地表明了石英材料的脆硬程度、石英材料的强度随着温度的升高而增加,接近退火温度时达到最大值,石英玻璃的剪切模量、杨氏模量、阻尼、泊松比一般均随着温度的升高而增加,硬度则随着温度的升高而降低[5]。

表 8　石英材料相关数据

项目	透明石英玻璃	合成石英玻璃
密度/(g/cm^3)	2.203	2.201
弹性模量/Mpa	7.25 * 104	7 * 104
泊松比	0.17	0.17
抗压强度/MPa	1150	1150
抗拉强度/MPa	50	50
抗弯强度/MPa	67	67

根据石英材料的机械特性决定了材料的主要加工方法是磨削加工,而不是切削加工。当磨粒与材料滑动接触时,向材料表面施加垂直的和切向的力,对材料产生摩擦和挤压,当应力超过材料的断裂极限时,开始产生裂缝。裂缝沿着与主应力垂直的方向延伸,同时主应力降到临界值以下,最终裂缝扩展停止,材料发生剥离,完成磨削过程。

2.2　石英制品冷加工设备选择

石英制品应用于半导体领域,对其表面质量、洁净度等都有着较高的要求,所以对设备中的加工刀具也有着要求。由于石英材料的硬度较高,所以选用具有高硬度、高耐磨性以及高导热性的金刚石刀具,包括可以开各种槽型的开槽用刀具,铣孔,铣端面用的数控铣刀具,磨削外圆,内圆,锥面的数控车刀具。当产品无特殊要求时一般选择粒度在 120-170 目的刀具,当产品标签要求较高时采用粒度 200 目或 320 目的刀具进行精磨,以保障产品的表面质量。

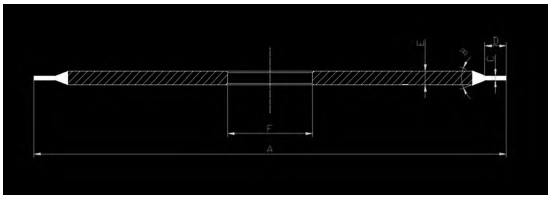

图 3　开槽刀具设计图

3　石英制品组立技术研究

现有技术中,一般选用石墨块和垫片来搭接槽棒和试片,使得槽棒和试片的位置符合产品要求,搭接后在槽棒和试片的接触位置假接;然后将假接形成的石英制品初步进行产品尺寸测量,如符合要求则进入下一步的焊接工序,如不符合要求则重新调整搭接石墨块和垫片,再次假接,直至测量符合要求。

由于实际生产中石英制品的种类较多,单独活动的石墨块和垫片在假接过程中容易移位,造成假接的石英制品的次品率很高;另外,当一款产品需要批量生产的时候,搭接的方式效率很低,浪费人力、物力。

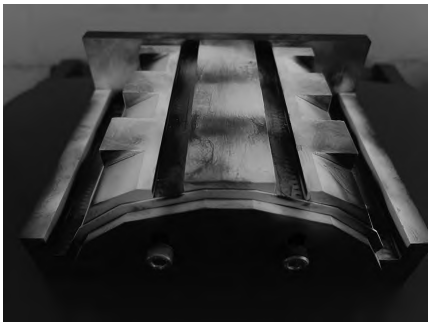

图 4　石英舟用模具

该研究中应用多种拥有自主知识产权的组立模具,提高了石英制品生产中假接、定位和焊接的效率,有效提高了石英制品的生产效率。

4 石英制品抛光设备及工艺

抛光设备采用了自主设计的数控抛光机床,该机床具有火焰均匀、稳定性高、精度高等特点,可以根据不同的石英制品选用不同的抛光工艺,有效特高了生产效率、降低了生产成本。

表 9 抛光机机床主要技术参数表

项目名称	单位	规格
火焰喷嘴规格	mm	ø0.5 至 ø3
B 轴喷嘴摆动角度范围	角度	-10°到+10°
工作台尺寸	mm	1500×400
X 轴行程	mm	1600
Y 轴拖板行程	mm	400
Z 轴滑枕行程	mm	150
主轴鼻端距离工作台高度	mm	260
X/Y/Z 轴伺服电机	N.M	8
X、Y、Z 轴快移速度	m/min	8
机床净重	KG	500
机床外型(长×宽×高)	mm	2200×1500×1600

5 结论

(1)根据不同的尺寸规格,确定了不同级别的石英制品的长度、宽度、高度、厚度尺寸、直径尺寸、槽部尺寸、形位等一系列指标的偏差范围以及外观质量、杂质含量、应力等技术指标,明确了产品的检验标准。

(2)结合石英材料的相关数据,确定了石英材料的加工方法为磨削加工,相关高精度加工设备。加工刀具根据产品的加工要求进行选择,当产品无特殊要求时一般选择粒度在 120-170 目的刀具,当产品标签要求较高时采用粒度 200 目或 320 目的刀具进行精磨,以保障产品的表面质量。

(3)在本研究中,由于石英制品类别众多,单独活动的石墨块和垫片在假接过程中容易移位,造成假接的石英制品的次品率很高;另外,当一款产品需要批量生产的时候,搭接的方式效率很低,浪费人力、物力。研究组应用多种拥有自主知识产权的组立模具,提高了石英制品生产中假接、定位和焊接的效率,有效提高了石英制品的生产效率。

参考文献:

[1]谷巨明,张春林,樊立强,等.光通讯集成电路制备用国内外高端石英材料的性能比较研究[J].光电通信,2020(07):30-33.

[2]张倩.集成电路产业的发展现状与趋势研究[J].集成电路应用.2019,(9):1-3.

[3]谷巨明,樊立强,陈春明,等.集成电路制程用高低端石英承载器退火工艺比较研究[J].玻璃.2020,(11):37-41.

[4]王龙兴.2018 年全球半导体市场的展望[J].集成电路应用.2018,(1):9-12.

[5]王玉芬,刘连城.石英玻璃[M].北京:化学工业出版社,2006:95-96.