

单砝码配重法在调节硅片研磨均匀性上的应用研究

杨争雄, 席凯伦, 程伟, 左文佳, 杜晓辉, 王凌云

(厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要 为提高硅片研磨的均匀性, 提出了一种通过改变调节砝码位置的新方法。对单砝码配重法的原理、步骤及物理模型进行了详细的论述, 并基于 LabVIEW 软件对该方法进行了可视化。在精密研磨抛光机上进行实验, 并用膜厚仪进行均匀性测量。结果表明, 在给定的条件下使 9.9 cm 硅片的均匀性从单靠自重研磨的 20 μm 提高到用配重法调节后的 3 μm , 显著提高了硅片研磨的均匀性。单砝码配重法为解决硅片研磨均匀性问题提供了一种既精确又简便的方法。

关键词 研磨; 压强分布; 均匀性; 硅片; 配重法

中图分类号 TN305.1

文献标识码 A

文章编号 1004-244X(2012)04-0071-04

Application of single poise counterweight method in adjusting grinding uniformity of silicon wafer

YANG Zhengxiong, XI Kailun, CHENG Wei, ZUO Wenjia, DU Xiaohui, WANG Lingyun

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract To improve the grinding uniformity of silicon wafer, this paper proposed a new approach by changing the position of poise. The principle, procedure and physical model of the single poise counterweight method were described in detail, and then the visualization of this method basing on LabVIEW software was realized. Experiment was carried out on a precision grinding and polishing machine, and the thickness uniformity was measured on the thickness monitor. Experimental results show that the uniformity of three inches silicon wafer is improved from 20 μm to 3 μm comparing to conventional deadweight grinding, so the grinding uniformity of silicon wafer is enhanced markedly. Therefore, the single poise counterweight method provides a precise and convenient way to solve the grinding uniformity problem of silicon wafer.

Key words grinding; pressure distribution; uniformity; silicon wafer; counterweight method

MEMS 是将微型传感器、执行器、信号处理和控制系统^[1]。MEMS 技术是一项具有广阔发展前景的军民两用技术^[2], 目前已在航空航天、电子、交通、通讯等领域广泛应用^[3]。随着 MEMS 技术的飞速发展, 作为 MEMS 最理想衬底材料^[4]的硅晶片的加工要求相应的也越来越高。而硅片研磨是 MEMS 器件衬底加工过程中的一个重要工序, 研磨质量的好坏对后道工序的加工甚至 MEMS 器件的质量起决定性的作用, 因此, 如何提高研磨质量成为硅片超精密加工技术的关键问题, 而 MEMS 器件对研磨质量的重要要求之一就是提高硅片的均匀性。根据 Preston 方程可知硅片研磨面与研磨盘接触压强的分布不均所引起的材料去除速率分布不均匀是导致研磨过程中均匀性下降的重要原因之一^[5]。

为改善研磨过程中的压强分布, 现有调节压强分布的方法主要有: 1) 边界悬伸法^[6], 即通过调节压头变

形板的悬伸长度和厚度来改变硅片表面压强分布, 但该方法不能对研磨过程进行动态调节; 2) 偏心砝码块加载法^[5], 通过在载样盘上安装一个斜切圆柱砝码作为偏心载荷来修正压强分布, 但该方法斜切砝码放置的位置及角度不易确定, 常常只能凭经验操作; 3) 多砝码配重块法^[5], 即将 6 个配重块置于载样盘背面的轨道上, 配重块可以沿轨道移动。通过控制配重块的位置, 加上或移除配重块或改变配重块的重量调节压强分布。由于这种方法需要计算 6 个砝码的位置, 算法十分复杂, 因而操作上也难以实现; 4) 多区域压强调整法^[5], 通过调节硅片与研磨盘之间的压强分布改善硅片表面压强分布, 即将硅片调整环划分成若干同心环区域, 每个区域内的压强都独立控制。由于这种方法需要制造结构复杂的多区域背压可调夹持器, 需要分别控制薄膜气压腔中的压强来实现多区域压强调整, 同样有制造困难、造价较高、系统庞大的不足。针对现有方法的

收稿日期: 2012-05-22; 修回日期: 2012-06-17

基金项目: 航空科学基金(20110868001)

作者简介: 杨争雄, 男, 本科生。E-mail: 569289865@qq.com。

通信作者: 王凌云, 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为微惯性器件的设计、制备工艺和测试以及微制造技术。E-mail: rabbitwangly@yahoo.com.cn。

技术不足与问题,提出了一种用单砝码精确调节硅片表面研磨压强来提高硅片研磨均匀性的方法,该方法系统简单,易于实现,造价低廉且通过实验证明其调节效果良好。

1 单砝码配重法的调节原理

基于载样盘自重的硅片研磨原理,如图1所示。将硅片用石蜡贴于载样盘表面,放置在研磨盘上,硅片受载样盘重力作用与研磨盘压紧,通过研磨盘的旋转和载样盘受其带动旋转使硅片和研磨盘做相对运动,从而实现材料去除的目的。

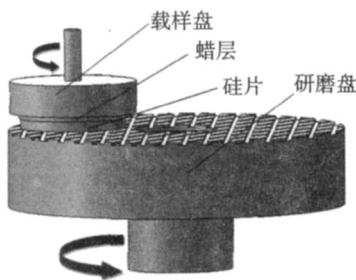


图1 基于载样盘自重的硅片研磨原理图

Fig.1 Schematic diagram of grinding based on loading plate deadweight

根据 Preston 方程^[7],材料去除速率可表示为:

$$\frac{h}{t} = kvp \quad (1)$$

式中: Δh 为硅片材料去除厚度; t 为研磨时间; $\Delta h/t$ 为材料去除速率; p 为硅表面的研磨压强; v 为研磨盘相对硅片的线速度; k 为 Preston 系数。决定材料去除速率的因素主要有研磨压强 p 和相对速度 v ,如果控制研磨盘和载样盘的速度均恒定,此时虽然硅片同一圆周上各点的瞬时速度并不相同^[8],但是同一圆周上各点在一个研磨回转周期内的平均速度是相同的。由 Preston 方程可知,此时同一圆周上各点的材料去除速率与压强成正比,故可以通过测量各点的材料去除速率求得各点的压强。由于采用自重研磨,压强来自于硅片研磨面上方物体的重力,在受力面积相同的情况下,则压强取决于硅片研磨面上方物体的质量分布,因此,在如图2所示硅片研磨面选取均匀分布在同一圆周上的8个测量点,分别记为第 i 个测量点($i=1, 2, \dots, 8$,下同)来表征硅片研磨过程中硅片研磨面所受压强的分布情况。根据作用在各点上方的质量与各点的材料去除速率成正比的结论,且对于同一阶段,由于时间相同,故作用在各点上方的质量与各点材料的去除厚度成正比,再根据调节需要得出各点应分配的调节砝码的质量,即可求得调节砝码应安装的位置,通过安装调节砝码并改变安装的位置便可精确调节作用在8个

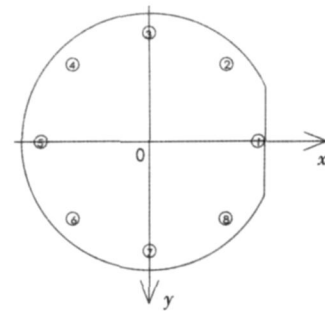


图2 测量点在硅片研磨面上的分布图

Fig.2 Distribution graph of measured points on the surface of silicon wafer

测量点上方的质量分布即压强分布,继而控制每个测量点的材料去除速率以提高硅片表面的均匀性。

2 单砝码配重法的步骤及模型的建立

2.1 单砝码配重法的步骤

为实现调节砝码的精确定位,在载样盘背面钻137个 $\phi 4$ mm的孔,即从圆心开始每隔6 mm钻一圈孔,各圈从里到外依次均布有1、8、16、16、32、32、32个孔,称为多孔载样盘,通过定位销与其配合来实现定位调节砝码的目的。多孔载样盘在初始阶段和调节阶段及等速阶段的工作图,如图3所示。

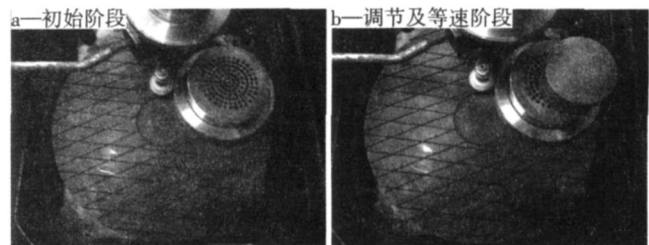


图3 多孔载样盘在不同阶段的工作图

Fig.3 Working status of multiaperture loading plate at different stage

整个研磨调节流程如图4所示。具体步骤如下:

1)初始阶段如图5所示。硅片研磨面只在多孔载样盘、蜡层、以及硅片本身重力的作用下研磨,其质量分别为 m_1 、 m_2 、 m_3 ,记 $M_a = m_1 + m_2 + m_3$ 。本阶段研磨掉的厚度为 Δh_i ,根据上文推导,对于同一阶段有 $M_i \propto \Delta h_i$,可以求得作用在每个测量点上的等效质量 M_i ,由质心公式可以求得初始阶段 M_a 的质心坐标 (x_c, y_c) 。

2)调节阶段如图6所示。硅片研磨面在调节砝码、定位销、多孔载样盘、蜡层以及硅片本身重力的作用下研磨,其调节的目的是为了消除前一阶段8个测量点的厚度差,即提高硅片的均匀性。调节砝码及定位销的质量分别为 m_4 、 m_5 ,记 $M_{in} = m_4 + m_5$,第 n 次调节前第 i 个测量点的厚为 h_{ni} , μ_n 为第 n 次研磨调节后8个测量点的预期厚度,则第 i 个测量点在第 n 阶段需研磨的

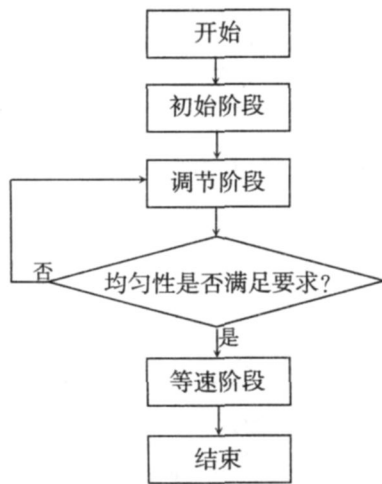


图4 单砝码配重法流程图

Fig.4 Flow chart of single poise counterweight method

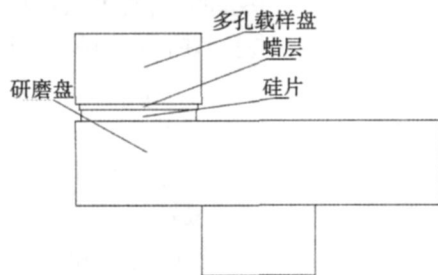


图5 初始阶段示意图

Fig.5 Schematic of initial stage

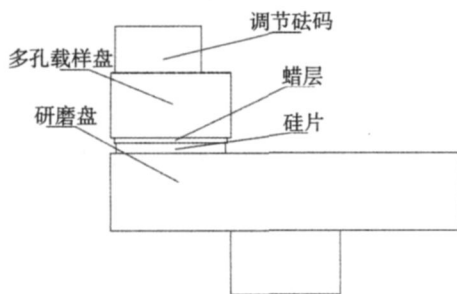


图6 调节阶段及等速阶段示意图

Fig.6 Schematic of adjustment and uniform rate stage

厚为 $h_{ni}-a_n$ 。根据上文推导,对于同一阶段有 $(M_i + \Delta M_{ni}) \propto (h_{ni}-a_n)$,可求得安装调节砝码及定位销后第 i 个测量点相对于初始阶段应增加分配的质量 ΔM_{ni} ,因此根据质心公式可求得调节砝码及定位销应安装的位置 (x_{nz}, y_{nz}) 。每当一次研磨调节完成后,测出8个测量点的最大厚度差,即硅片的均匀性。如果均匀性超出要求的范围,则重新进行再一轮的研磨调节,直到均匀性满足要求才进入等速阶段。

3)等速阶段。经过前面阶段的研磨,此时8个测量点的均匀性已经控制在所要求的范围之内,故本阶段的目的是使8个测量点的压强相同以使各点的材料去除速率相等。即应将调节砝码安装在使得8个测量

点压强相同的位置 (x_g, y_g) ,保证各点以相同的材料去除速率,最终研磨到要求厚度。

2.2 单砝码配重法的建模

硅片粘片均匀性、载样盘材质分布不均匀以及硅片与载样盘不完全同心等因素均影响硅片研磨均匀性。为了建立研磨压强调节模型,简化计算作如下假设:

- 1)在整个研磨调节过程中,硅片非研磨面与载样盘表面始终平行,即蜡层始终均匀。
- 2)调节砝码及其定位销材质均匀,质心均在几何轴线上。
- 3)研磨盘的转速和载样盘的转速保持恒定。

设初始阶段的时间为 t_0 ,初始阶段研磨前第 i 个测量点厚度为 h_{0i} ,初始阶段研磨后第 i 个测量点厚度为 h_{1i} ,可得初始阶段研磨掉的厚度 $\Delta h_i = h_{0i} - h_{1i}$,作用在第 i 个测量点等效质量为 M_i ,根据上文推导,同一阶段有 $M_i \propto \Delta h_i$,则作用在第 i 个测量点的等效质量:

$$M_i = \frac{\Delta h_i}{\sum_{i=1}^8 \Delta h_i} M_a \quad (1)$$

根据质心公式和式(1)可求得 M_a 的质心坐标:

$$\begin{cases} x_c = \frac{\sum_{i=1}^8 M_i x_i}{M_a} \\ y_c = \frac{\sum_{i=1}^8 M_i y_i}{M_a} \end{cases} \quad (2)$$

第 n 次调节研磨时间为 t_n ,该次调节后8个测量点的预期厚度为 a_n ,该次调节前第 i 个测量点的厚度为 h_{ni} ,则第 i 个测量点在第 n 次调节中需研磨的厚度为 $h_{ni}-a_n$,安装调节砝码和定位销后作用在第 i 个测量点上的等效质量相对初始阶段增加 ΔM_{ni} 。根据推导,同一阶段有 $(M_i + \Delta M_{ni}) \propto (h_{ni}-a_n)$,所以作用在第 i 个测量点上的等效质量为:

$$M_i + \Delta M_{ni} = \frac{h_{ni}-a_n}{\sum_{i=1}^8 (h_{ni}-a_n)} (M_a + M_{cu}) \quad (3)$$

根据质心公式和式(3)即可求得第 n 次调节时调节砝码和定位销应该安装的位置 (x_{nz}, y_{nz}) 为:

$$\begin{cases} x_{nz} = \frac{\sum_{i=1}^8 \Delta M_{ni} x_i}{M_{cu}} \\ y_{nz} = \frac{\sum_{i=1}^8 \Delta M_{ni} y_i}{M_{cu}} \end{cases} \quad (4)$$

对于等速阶段,根据质心公式和式(2)得该阶段调节砝码及定位销应该安装的位置:

$$\begin{cases} x_g = -\frac{\sum_{i=1}^8 M_i x_i}{M_{cu}} \\ y_g = -\frac{\sum_{i=1}^8 M_i y_i}{M_{cu}} \end{cases} \quad (5)$$

2.3 基于LabVIEW软件的可视化

为操作方便,用LabVIEW编程实现调节砒码及定位销安装位置的自动计算并显示,软件界面如图7所示。输入数据后该软件可以根据上面的模型求出调节砒码应安装的坐标,并以此为圆心,从0开始以0.000 01 mm的增量为半径,逐个判断137个孔的坐标是否在圆内,当有一个孔的坐标在圆内即停止判断,并将该坐标对应的灯点亮,该孔即为调节砒码应该放置的位置。该软件还可以对实验数据进行记录,供后续的实验数据分析和过程检查。

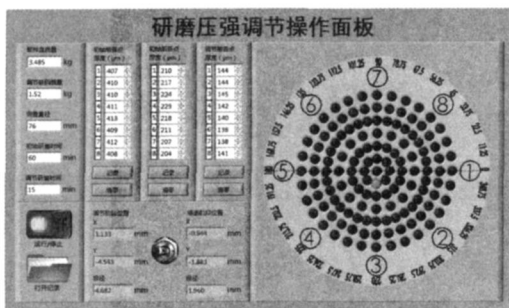


图7 软件界面图

Fig.7 Interface diagram of software

3 实验与结果分析

3.1 条件及装置

实验是在UNIPOL-1260型精密研磨抛光机上采用单面自重研磨方式进行,研磨盘尺寸为 $\phi 320$ mm,材料为铸铁,转速为60 r/min;多孔载样盘尺寸为 $\phi 110$ mm,厚为50 mm,转速为60 r/min;硅片为直径9.9 cm,厚400 μm 的双面抛光硅片,ITV小于5 μm ,研磨过程中使用颗粒直径为7~15 μm 的氧化铝溶液作为研磨液,供液量为15 mL/min,初始阶段研磨60 min,第1、2、3次调节分别研磨15、5、5 min,等速阶段研磨7 min,每次研磨前都修盘8 min。在实验中使用精度为 ± 1 μm 的膜厚仪测量各个测量点的厚度。

3.2 结果分析

表1为各阶段各个测量点的厚度。可以看出,经过3次调节,硅片的均匀性从初始阶段研磨后的20 μm 提高到3 μm ,因此在给定的实验条件下应用该方

表1 研磨结果数据表

Table 1 Data sheet of the grinding result

阶段	测量点厚/ μm								均匀性/ μm
	1	2	3	4	5	6	7	8	
初始阶段研磨前	407	410	410	411	413	409	412	408	6
初始阶段研磨后	210	217	224	223	218	211	207	204	20
第1次调节后	144	144	145	142	140	138	138	141	7
第2次调节后	111	114	115	113	111	110	109	110	6
第3次调节后	87	89	89	89	88	86	87	88	3
等速阶段	55	55	54	52	52	52	52	55	3

法可以使硅片研磨的均匀性显著提高,且研磨后的硅片厚度达到了一般MEMS器件结构层厚度的要求。

4 结论

1) 通过改变调节砒码的位置,可以量化控制研磨压强分布,从而使硅片表面获得适当的材料去除速率分布。

2) 在给定的实验条件下,采用单砒码配重法可以使9.9 cm硅片的均匀性从单靠自重研磨的20 μm 提高到采用配重法调节后的3 μm 。

3) 该方法可以为解决实际生产和科学实验当中遇到的硅片研磨均匀性问题提供一种可供借鉴的方法。

致谢:本研究工作得到了惯性技术航空科技重点实验室的支持,在此表示感谢!

5 参考文献

- [1] 朱健. MEMS技术的发展与应用[J]. 半导体技术, 2003, 28(1): 29-32.
- [2] 董志义, 赵晓东. 国内外MEMS器件现状及发展趋势[J]. 电子工业专用设备, 2002, 31(4): 200-206.
- [3] 薛佳伟, 赵权, 杨洪星. MEMS用低应力硅片的研制[J]. 天津科技, 2008(2): 73-75.
- [4] Mohamed Gad-el-Hak. 微机电系统设计与加工[M]. 张海霞译. 北京: 机械工业出版社, 2010: 6-8.
- [5] 孙禹辉. 硅片化学机械抛光中材料去除非均匀性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [6] 王军, 孙军, 吕玉山. 硅片边界悬伸法研磨和抛光技术的研究[J]. 机械设计与制造, 2000(5): 47-48.
- [7] Preston F W. The theory and design of plate class polishing machine[J]. Journal of the Society of Glass Technology, 1927, 11: 214-256.
- [8] 陈真, 杨炜, 郭隐彪. 快速抛光技术接触压力建模与仿真[J]. 厦门大学学报, 2012, 51(2): 215-21.