

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.11.006

水膜吸附夹持方式在蓝宝石抛光中的可行性研究^{*}

陈振华, 陈芝向, 高 涛, 袁巨龙^{*}, 赵天晨, 杭 伟

(1. 浙江工业大学 超精密加工研究中心, 浙江 杭州 310004; 2. 中国联合工程公司, 浙江 杭州 310052)

摘要:针对目前蓝宝石抛光加工中所使用的石蜡粘贴夹持方式和抛光抛光吸附垫吸附夹持方式在抛光质量和成本等方面所存在的问题,提出了水膜吸附夹持方式,对水膜吸附环境下,吸附表面对蓝宝石晶片的法向吸附力和切向吸附力进行了测量,并分别与抛光吸附垫对蓝宝石晶片的法向吸附力和切向吸附力进行了比较,将切向吸附力作为主要评价指标,判断在蓝宝石晶片抛光加工中使用水膜吸附夹持方式的可行性。实验结果表明:单从吸附能力的层面考虑,在蓝宝石晶片抛光加工中使用水膜吸附夹持方式是可行的;45#钢比玻璃更适合作为吸附表面材料;确定吸附表面的粗糙度时应考虑蓝宝石晶片的表面粗糙度。

关键词:蓝宝石;抛光;夹持方式;水膜吸附夹持

中图分类号:TH16;TG680、692

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)11-1259-05

Feasibility of water film adsorption positioning in sapphire polishing

CHEN Zhen-hua, CHEN Zhi-xiang, GAO Tao, YUAN Ju-long, ZHAO Tian-chen, HANG Wei

(1. Ultra-precision Machining Center, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

2. China United Engineering Company, Hangzhou 310052, China)

Abstract: Aiming at the problems on polishing quality and cost in sapphire polishing which uses paraffin pasted clamping and polishing adsorption pad clamping, water film clamping was put forward. The tangential adsorption force and normal adsorption force of the adsorption surface on sapphire wafer were measured, and compared with the tangential adsorption force and normal adsorption force under polishing adsorption pad respectively. And the tangential force was used as the main evaluation quota. The feasibility of using water film adsorption clamping for sapphire polishing was judged. The results indicate that only from the perspective of the adsorption ability, it is feasible to use water film clamping; 45#steel is more suitable to be the substrate material than glass; the surface roughness of the sapphire wafer should be considered when the surface roughness of the substrate is identified.

Key words: sapphire; polishing; clamping method; water film adsorption

0 引 言

蓝宝石单晶(Sapphire, $-Al_2O_3$)具有优异的光学性能、物理性能和化学稳定性,已经被广泛地应用于工业、国防、航空航天等领域,如用作固体激光器的窗口零件、红外窗口、半导体芯片的衬底片等^[1-3]。要想获

得高光亮、高平整度的蓝宝石晶片表面,必须对蓝宝石晶片进行抛光加工。目前,抛光过程中,对蓝宝石晶片的夹持方式有石蜡粘贴夹持和抛光吸附垫吸附夹持两种^[4-5]。石蜡粘贴夹持方式通过石蜡层将蓝宝石晶片进行固定,实践表明,其存在蜡污染、抛光精度低,以及易发生碎片等问题,已经无法满足当下的需求^[6];抛光吸附垫吸附夹持方式通过具有微孔的聚氨酯材料吸

收稿日期:2017-03-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51575492,51275476,51605440);浙江省自然科学基金资助项目(LY15E050022)

作者简介:陈振华(1991-),男,浙江台州人,硕士研究生,主要从事超精密加工技术方面的研究。E-mail:wyzbzd@126.com

通信联系人:袁巨龙,男,教授,博士生导师。E-mail:jlyuan@zjut.edu.cn

附蓝宝石晶片并通过限位板限制蓝宝石晶片在抛光过程中发生切向移动,实践表明,其虽相对有蜡抛光具有操作方便、无公害的特点,在抛光精度和碎片率方面也具有一定的进步,但其也存在吸附垫材料容易磨损、成本较高,抛光加工后的蓝宝石晶片厚度偏差(TTV)较大等问题^[7-9]。

为了克服上述吸附垫吸附夹持方式所存在的诸多问题,考虑到水膜的厚度易控制,且成本几乎可以忽略,本研究提出在抛光过程中直接用水膜吸附夹持蓝宝石晶片,同时设置限位片限制晶片在抛光过程中发生切向移动。水膜吸附夹持方式与抛光吸附垫吸附夹持方式的区别在于用水取代了抛光吸附垫。在水膜吸附环境下,吸附表面对蓝宝石晶片的吸附能力(阻止蓝宝石晶片在抛光过程中发生移动的能力)是决定水膜吸附夹持方式是否可行的一个重要指标。

本研究旨在从吸附能力层面探究水膜吸附夹持方式的可行性。

1 实验

蓝宝石晶片抛光技术中,对晶片进行夹持需要考虑两个方面:法向夹持和切向夹持^[10-12]。对于法向夹持,要求蓝宝石晶片在整个抛光过程中不能发生掉落的现象;对于切向夹持,要求蓝宝石晶片在抛光过程中不能发生切向位移。

因此,本研究用切向吸附能力和法向吸附能力两个指标来综合衡量吸附表面通过水膜对蓝宝石晶片的吸附能力;把将蓝宝石晶片沿吸附面法向拉离吸附表面所需的力定义为法向吸附力,并用来表征吸附表面对蓝宝石晶片的法向吸附能力;把将蓝宝石晶片沿吸附面切向拉动所需的力为切向吸附力,并用来表征吸附表面对蓝宝石晶片的切向吸附能力。所以,实验分为测量法向吸附力的法向吸附能力实验和测量切向吸附力的切向吸附能力实验。本研究将吸附垫的吸附能力作为评判水膜吸附夹持方式是否可行的依据,因此,法向吸附能力实验和切向吸附能力实验中还设置了抛光吸附垫吸附能力实验作为对比实验。

1.1 实验设备及材料

法向吸附能力实验和切向吸附能力实验均在拉压力试验机上进行,设备型号 EGER-3010。

实验材料包括:从 1~10 编号的 10 块直径为 60 mm 的 45#钢基板;1~3 号基板的表面在实验中作为吸附表面用,记为 G1、G2、G3;4~6 号基板上粘贴有与基板同等大小的玻璃片,玻璃片的表面在实验中也

作为吸附表面用,记为 B1、B2、B3;7 号基板上粘贴有抛光吸附垫,记为 X;8~10 号基板上粘贴有直径为 2 英寸的蓝宝石晶片,文中记为 L1、L2、L3。

实验材料的具体情况如表 1 所示。

表 1 实验材料

材料	材质	表面粗糙度/nm
G1	45#钢	47
G2	45#钢	209
G3	45#钢	514
B1	玻璃	51
B2	玻璃	191
B3	玻璃	496
L1	蓝宝石	17
L2	蓝宝石	95
L3	蓝宝石	207
X	吸附垫	

1.2 法向吸附能力实验

法向吸附能力实验原理如图 1 所示。

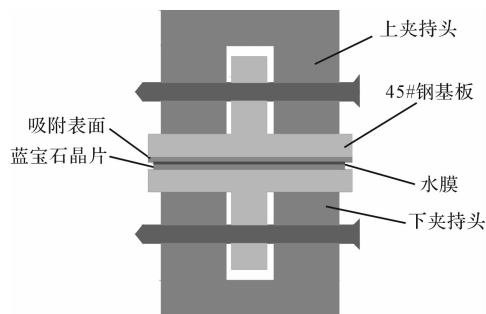


图 1 法向吸附能力实验原理图

实验按照如下步骤进行:(1)按照图 1 所示,将贴有蓝宝石晶片的基板固定在拉压力试验机的下夹持头上,将带有吸附表面的基板固定在拉压力试验机的上夹持头上;(2)在蓝宝石晶片的表面中央区域滴 2 ml 的纯净水;(3)控制上夹持头向下运动,在吸附表面即将接触到蓝宝石晶片表面的纯净水时,控制吸附表面以 0.02 mm/min 的速度压向蓝宝石晶片,直至压力达到 10 N 时停止加压;(4)控制吸附表面以 0.02 mm/min 的速度向上移动,直至吸附表面与蓝宝石晶片完全分离,并记录此过程中的最大拉力作为法向吸附力。法向吸附能力实验一共 21 组,分别对 45#钢表面(G1、G2、G3)、玻璃表面(B1、B2、B3)和抛光吸附垫 X 对蓝宝石晶片(L1、L2、L3)的法向吸附力进行了测量。为保证实验结果准确可靠,每组实验进行 3 次,结果取平均值。

1.3 切向吸附能力

切向吸附能力实验的原理图如图 2 所示。

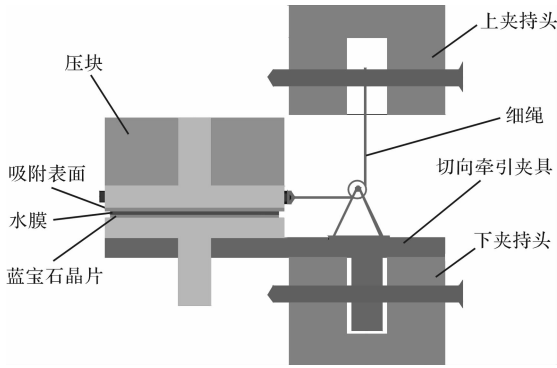


图 2 切向吸附能力实验原理

实验时,先按照图 2 所示安装各实验材料,然后控制拉压力试验机的上夹持头以 0.02 mm/s 的速度向上移动,直至拉动粘贴有蓝宝石晶片的基板,记录该过程的最大拉力作为切向吸附力。实验所用压块的质量为 500 g,每组实验均在吸附表面滴 2 ml 的纯净水。切向吸附能力实验也一共 21 组,分别对 45#钢表面(G1、G2、G3)、玻璃表面(B1、B2、B3)和抛光吸附垫 X 对蓝宝石晶片(L1、L2、L3)的法向吸附力进行了测量。为保证实验结果准确可靠,每组实验进行 3 次,结果取平均值。

2 实验结果及分析

2.1 法向吸附能力实验结果及分析

45#钢表面(G1、G2、G3)对蓝宝石晶片(L1、L2、L3)的法向吸附力如图 3 所示。

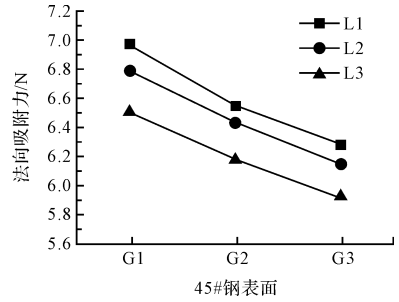


图 3 45#钢表面的法向吸附力

由图 3 可知:45#钢表面粗糙度越大,其对蓝宝石晶片的法向吸附力就越小,即,45#钢表面 G1 的法向吸附能力最强;玻璃表面(B1、B2、B3)对蓝宝石晶片(L1、L2、L3)的法向吸附力如图 4 所示。

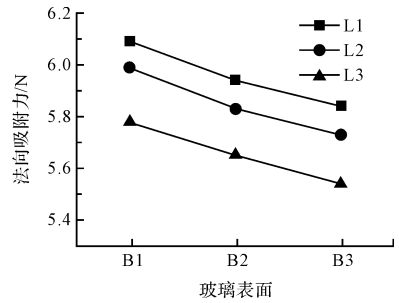


图 4 玻璃表面的法向吸附力

由图 4 可知:玻璃表面粗糙度越大,其对蓝宝石晶片的法向吸附力就越小,即,玻璃表面 B1 的法向吸附能力最强。

表面粗糙度相当的 45#表面和玻璃表面的法向吸附力如图 5 所示。

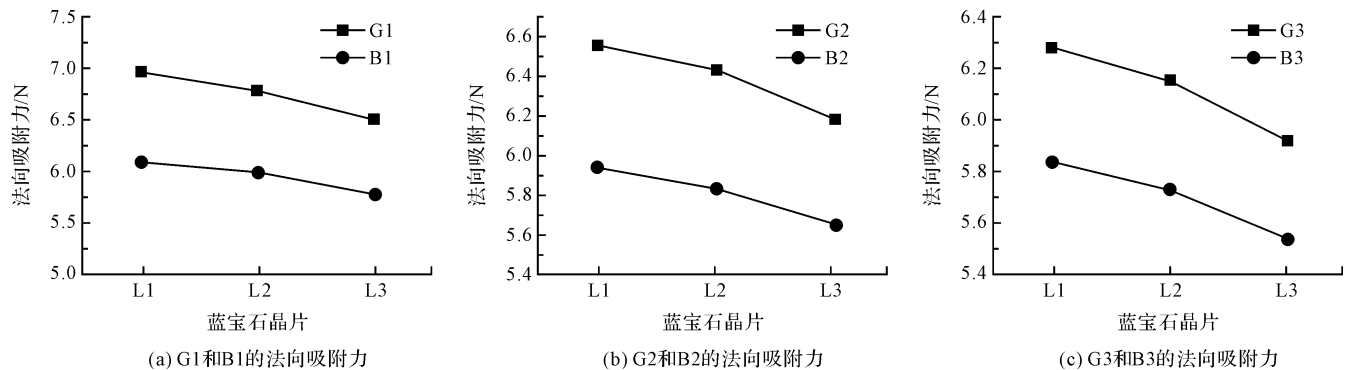


图 5 表面粗糙度相当的吸附表面的法向吸附力

图 5(a)表明:45#钢表面 G1 对蓝宝石晶片的法向吸附力要比与其表面粗糙度相当的玻璃表面 B1 大。图 5(b)表明:45#钢表面 G2 对蓝宝石晶片的法向吸附力要比与其表面粗糙度相当的玻璃表面 B2 大。图 5(c)表明:45#钢表面 G3 对蓝宝石晶片的法向吸附力要比与其表面粗糙度相当的玻璃表面 B3 大。可见,

45#钢表面的法向吸附能力要比与其表面粗糙度相当的玻璃表面要强。

45#钢表面 G1 和抛光吸附垫 X 对蓝宝石晶片的法向吸附力如图 6 所示。

图 6 表明:对于蓝宝石晶片(L1、L2、L3),45#钢表面 G1 的法向吸附能力虽然比抛光吸附垫 X 要弱一

些,但差距很小,只有 0.1 N 左右。

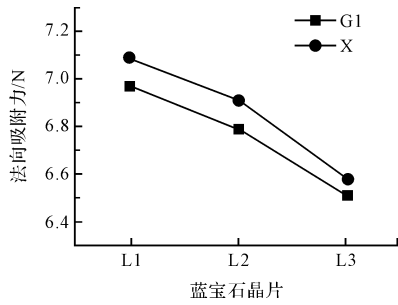


图 6 G1 和 X 的法向吸附力

2.2 切向吸附能力实验结果及分析

45#钢表面 (G1、G2、G3) 对蓝宝石晶片 (L1、L2、L3) 的切向吸附力如图 7 所示。

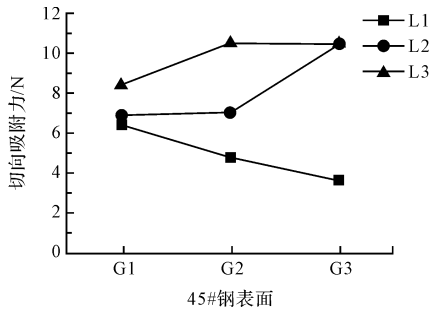
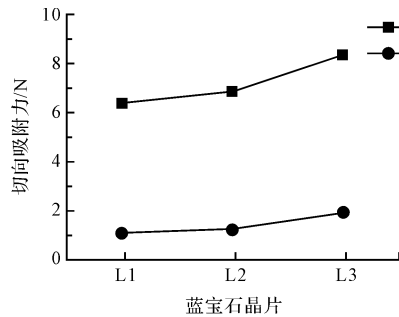
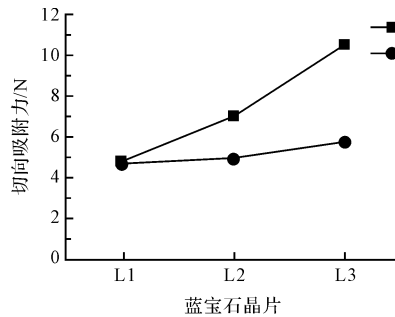


图 7 45#钢表面的切向吸附力

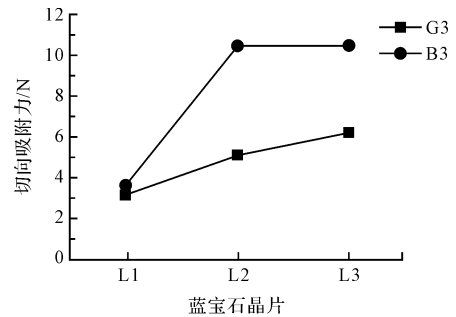
从图 7 中可知:对于蓝宝石晶片 L1,45#钢表面 G1 的切向吸附力最大,45#钢表面 G2 次之,45#钢表面 G3 最小,即对于蓝宝石晶片 L1,45#钢表面 G1 的切向吸附能力最强;对于蓝宝石晶片 L2,45#钢表面 G1 和 45#钢表面 G2 的切向吸附力相当,45#钢表面 G3 的切



(a) G1和B1的切向吸附力



(b) G2和B2的切向吸附力



(c) G3和B3的切向吸附力

图 9 表面粗糙度相当的吸附表面的切向吸附力

从图 9(a)中可知:45#钢表面 G1 对蓝宝石晶片的法向吸附力明显比与其表面粗糙度相当的玻璃表面 B1 大。从图 9(b)中可知:对于蓝宝石晶片 L1,45#钢表面 G2 的切向吸附力比玻璃表面 B2 略大;对于蓝宝石晶片 L2 和 L3,45#钢表面 G2 的切向吸附力明显比玻璃表面 B2 大。从图 9(c)中可知:对于蓝宝石晶片 L1,45#钢表面 G3 的切向吸附力比玻璃表面 B3 略大;

向吸附力明显大于 45#钢表面 G1 和 45#钢表面 G2 的切向吸附力,即对于蓝宝石晶片 L2,45#钢表面 G3 的切向吸附能力最强;对于蓝宝石晶片 L3,45#钢表面 G2 和 45#钢表面 G3 的切向吸附力相当,且明显比 45#钢表面 G1 的切向吸附力大,即对于蓝宝石晶片 L3,45#钢表面 G2 和 G3 的切向吸附能力相当,且明显比 45#钢表面 G1 强。

玻璃表面 (B1、B2、B3) 对蓝宝石晶片 (L1、L2、L3) 的切向吸附力如图 8 所示。

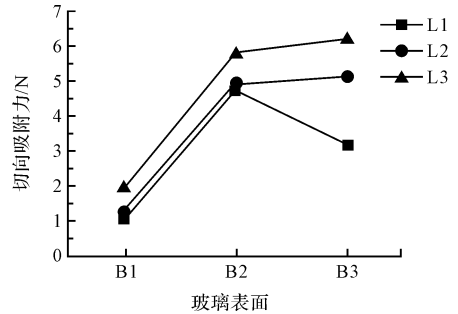


图 8 玻璃表面的切向吸附力

从图 8 中可知:对于蓝宝石晶片 (L1、L2、L3),玻璃表面 B1 的切向吸附力小于玻璃表面 B2 和 B3 的切向吸附力,可见玻璃表面 B1 的切向吸附能力是最弱的;对于蓝宝石晶片 L1,玻璃表面 B2 的切向吸附力最大,即玻璃表面 B2 对其的切向吸附能力最强;对于蓝宝石晶片 L2 和 L3,玻璃表面 B3 的切向吸附力最大,但只是略大于玻璃表面 B2 的切向吸附力。

表面粗糙度相当的 45#钢表面和玻璃表面的切向吸附力如图 9 所示。

对于蓝宝石晶片 L2 和 L3,45#钢表面 G3 的切向吸附力明显比玻璃表面 B3 大。

45#钢基板 G1、G3 和抛光吸附垫 X 对蓝宝石晶片 (L1、L2、L3) 的切向吸附力如图 10 所示。

从图 10 中可以看出:对于蓝宝石晶片 L1,抛光吸附垫 X 的切向吸附力虽明显比 45#钢表面 G3 大,但只比 45#钢表面 G1 略大;对蓝宝石晶片 L2,抛光吸附垫

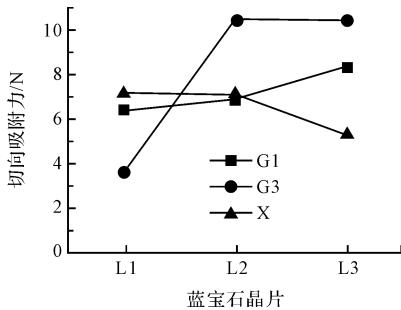


图 10 G1、G3 和 X 的切向吸附力

X 的切向吸附力与 45#钢表面 G1 相当,且明显小于 45#钢表面 G3;对于蓝宝石晶片 L3,45#钢表面 G3 的切向吸附力最大,45#钢表面 G1 次之,抛光吸附垫 X 最弱。

3 结束语

从法向吸附性能实验结果看,45#钢表面 G1 对蓝宝石晶片的法向吸附力与抛光吸附垫 X 相当,可见,水膜吸附夹持方式在蓝宝石晶片抛光中是可行的;45#钢表面比玻璃表面更适合作为吸附表面。

从切向吸附性能实验结果看,由于存在比抛光吸附垫 X 切向吸附能力更强的吸附表面,水膜吸附夹持方式在蓝宝石抛光中是可行的;45#钢表面比玻璃表面更适合作为吸附表面;对于蓝宝石晶片 L1,45#钢表面 G1 可以作为吸附表面;对于蓝宝石晶片 L2,45#钢表面 G3 可以作为吸附表面;对于蓝宝石晶片 L3,45#钢表面 G2 和 G3 可以作为吸附表面。

综上所述,蓝宝石抛光中,水膜吸附夹持方式是可行的。实际加工时,对工件的法向夹持只要保证拆装机过程中不掉落即可,切向夹持会对加工质量产生影响。因此,在评判水膜吸附夹持方式是否可行应主要

考虑切向吸附力。切向吸附能力实验结果表明,确定吸附表面的粗糙度时应考虑蓝宝石晶片的表面粗糙度。

参考文献(References):

- [1] ZHOU S, LIU S. Study on sapphire removal for thin-film LEDs fabrication using CMP and dry etching[J]. *Applied Surface Science*, 2009, 255(23): 9469-9473.
- [2] PINKAS M, LOTEM H, GOLAN Y. Thermal healing of the sub-surface damage layer in sapphire [J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2010, 124(1): 323-329.
- [3] 聂 辉,陆炳哲. 蓝宝石及其在军用光电设备上的应用[J]. *舰船电子工程*, 2005, 25(2): 131-133, 142.
- [4] 王金普. 硬脆材料(蓝宝石、微晶玻璃)晶片化学机械抛光研究[D]. 马鞍山:安徽工业大学化学与化工学院, 2016.
- [5] 孙禹辉,康仁科. 化学机械抛光中的硅片夹持技术[J]. *半导体技术*, 2004, 29(4): 10-14.
- [6] 王云彪,陈亚楠. 超薄硅片贴膜抛光技术研究[J]. *电子工艺技术*, 2011, 32(1): 48-50.
- [7] 天津西美科技有限公司. 一种双镶嵌层无蜡研磨抛光模板[P]. 中国专利:ZL2012100944610, 2012-07-18.
- [8] 天津西美科技有限公司. Gg 硅片无蜡抛光垫[P]. 中国专利:ZL872025071, 1989-03-02.
- [9] 电子工业部第四十七所切磨抛组无蜡抛光工艺技术[J]. *微处理机*, 1988(1): 46-50.
- [10] 袁文强,魏 昕. 超薄不锈钢基板 CMP 抛光头的改进[J]. *机械设计与制造*, 2016(9): 143-146.
- [11] 田 欣. SiC 单晶片超精密化学机械抛光的关键技术研究[D]. 济南:山东大学机械工程学院, 2014.
- [12] 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:大连理工大学机械工程学院, 2011.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

陈振华,陈芝向,高 涛,等. 水膜吸附夹持方式在蓝宝石抛光中的可行性研究[J]. *机电工程*, 2017, 34(11): 1259 - 1263.

CHEN Zhen-hua, CHEN Zhi-xiang, GAO Tao, et al. Feasibility of water film adsorption positioning in sapphire polishing[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2017, 34(11): 1259 - 1263.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>