

SiC 单晶片研磨过程材料去除率仿真与试验研究

胡海明, 李淑娟, 高晓春, 李言

(西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 分析了 SiC 单晶片研磨过程的材料去除机理, 采用统计方法描述了磨粒粒度的分布规律, 推导出参与研磨过程的活动磨粒数量计算公式。依据 SiC 单晶片—磨粒和研磨盘—磨粒接触处的变形情况, 建立了 SiC 单晶片研磨过程材料去除率 (MRR) 的预测模型。以该模型为基础, 讨论了研磨盘硬度、压力和磨粒粒度等因素对 MRR 的影响, 并进行了相同条件下的研磨试验。理论计算与试验结果对比分析表明: 所建立的模型可以较准确地预测 SiC 单晶片研磨过程的 MRR; 为其他单晶材料研磨过程 MRR 的预测和控制提供了参考依据。

关键词: 机械制造工艺与设备; SiC 单晶片; 研磨过程; 材料去除率; 建模

中图分类号: TH460.25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2013)09-1125-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1093.2013.09.011

Simulation and Experiment of MRR in Lapping Process of SiC Monocrystal Wafers

HU Hai-ming, LI Shu-juan, GAO Xiao-chun, LI Yan

(School of Mechanical and Instrumental Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

Abstract: The material removal mechanism in the lapping process of SiC monocrystal wafer is investigated, the size distribution of abrasive particles is described by using the statistical theory, and the equation of number of active abrasive particles in the lapping process is conducted. According to the deformations of wafer-particle and pad-particle interfaces, a novel model is developed for material removal rate (MRR) in the lapping process of SiC monocrystal wafers. The influences of pad hardness, pressure and particle size on MRR are analyzed based on the model. Compared with the theoretical model, the experiment results show that the model can predict the MRR more accurate than others in the lapping process of SiC monocrystal wafers, which provides a theoretical basis and foundation for predicting and controlling MRR in the lapping process of other monocrystal materials.

Key words: manufacturing processes and equipment; SiC monocrystal wafer; lapping process; material removal rate; modeling

0 引言

SiC 具有大禁带宽, 临界击穿场强、热导率、载流子饱和和漂移速度高等特点, 是目前高温、高频、大功率、光电子及抗辐射等领域最理想的半导体材料。

但由于其高达 9.2 以上的摩尔硬度和高脆性, 使其加工过程中的材料去除非常困难。研磨是保证 SiC 单晶片成品质量的重要光整加工方法。研磨过程的实质是磨粒对工件表面摩擦、切割作用的结果, 其工艺参数对研磨效率有很大的影响。如果参数选择不

收稿日期: 2012-08-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(51175420); 陕西省科技攻关项目(2010K09-01); 陕西省教育厅基金项目(11JK0849/11JS074)

作者简介: 胡海明(1988—), 男, 硕士研究生。E-mail: wyby_haiming@163.com;

李淑娟(1968—), 女, 教授, 博士生导师。E-mail: shujunli2009@gmail.com

当将导致参与研磨过程的磨粒数量减少,影响单颗磨粒的材料去除量,使研磨工艺过程时间加长,影响单晶片成品的生产周期。如何合理确定 SiC 单晶片研磨工艺参数与材料去除率(MRR)之间的关系模型,对 SiC 单晶片研磨过程的 MRR 做出预测,获得研磨过程中各个参数对 MRR 影响的变化规律,这对生产实际中提高加工效率有非常重要的意义。

集成电路(IC)元器件的大批量制造过程中 MRR 模型大多采用普雷斯頓方程 $MRR = K_p p_0 v^{[1]}$, 其中: p_0 为压力; v 为晶片的相对速度; K_p 为常量,代表其余参数的影响。然而 Chauhan 等的研究表明,普雷斯頓方程只反映了工艺参数中压力和相对速度对 MRR 的影响^[2]; Evansa 等研究了磨粒粒度对 MRR 的影响^[3]; Luo 等证实了研磨盘的硬度对 MRR 有一定的影响^[4]; Zhang 等提出了一个 MRR 方程 $MRR = K_p \sqrt{p_0 v^{[5]}}$, 此方程考虑了磨粒和晶片表面接触区域的正应力和剪应力。还有部分研究考虑了晶片表面的变形,推导出更复杂的模型来反映磨粒及晶片硬度对 MRR 的影响^[6]。这些模型的共同问题是:几乎都忽略了许多重要的参数对 MRR 的影响,例如晶片与研磨盘的实际接触面积变化可能会导致去除率的变化,以及研磨盘硬度对 MRR 的影响等。

本文研究 SiC 单晶片研磨过程材料去除机理,根据 SiC 单晶片和研磨盘与磨粒之间的相互作用、磨粒粒度的分布状态以及 SiC 单晶片—磨粒表面、研磨盘—磨粒表面的接触关系,建立 SiC 单晶片研磨过程 MRR 的预测模型,通过 SiC 单晶片研磨试验,研究分析各研磨参数对 MRR 的影响。

1 建立模型

SiC 单晶片研磨原理如图 1 所示,在载料块上的晶片和研磨盘之间的间隙中充以微细磨料研磨液,研磨盘和载料块高速反向运转,研磨液连续流动带动微细磨料冲击晶片表面,从而实现晶片表面研磨和材料去除。研磨时,可通过改变施加在载料块上的压力实现研磨盘和晶片之间接触压力的调整。研磨过程中,大量的磨粒冲击被加工表面,在微裂纹区和晶片表面加工区的作用尤其明显,磨粒的锤击使微细裂纹逐渐地扩展碎裂,最终从加工表面上脱落去除。首先去除的是加工表面原有的损伤层,然后在其下构造新的损伤层,使新的损伤层更薄更均匀,进而获得更好的表面质量来实现 SiC 单晶片的精密研磨。

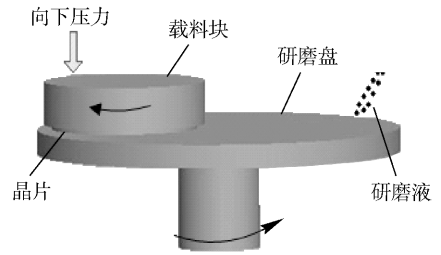


图 1 SiC 单晶片研磨原理

Fig. 1 Lapping mechanism of SiC monocrystal wafers

1.1 研磨盘表面粗糙度

接触力学表明,固体表面之间的接触是不连续的,实际接触面积是外观接触面积的一小部分^[7],实际接触面积取决于压力和两固体接触面的表面形状。由于研磨盘是经过切削或磨削加工形成的粗糙表面,Greenwood 等假设研磨盘表面覆盖着一层顶点为球形的凸起^[8-9](如图 2 所示)。假设单元区域内凸起的分布密度 ρ_d 已知且整个表面上凸起均匀分布,并且所有凸起的顶点有相同的半径 r ,这意味着凸起的高度都相等或者相近,因此所有接触晶片的凸起所受压力和变形均向下。基于这个假设,施加在 SiC 单晶片顶部的压力 p_0 、SiC 单晶片的直径 d 、外观接触面积 A_0 和实际接触面积 A 以及作用在研磨盘表面凸起的平均压力 p 之间的关系^[7]为

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi d^2, \quad (1)$$

$$A = \pi \left(\frac{3r}{4\rho_d} \times \frac{p_0}{E^*} \right)^{\frac{2}{3}} \rho_d A_0 = b_1 \left(\frac{p_0}{E^*} \right)^{\frac{2}{3}} A_0, \quad (2)$$

$$p = \frac{p_0 A_0}{A} = \frac{p_0}{b} = \frac{1}{b_1} (E^*)^{\frac{2}{3}} (p_0)^{\frac{1}{3}}, \quad (3)$$

式中: $b_1 = \pi \left(\frac{3R}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \rho_d^{\frac{1}{3}}$,为一常量; $b = b_1 \left(\frac{p_0}{E^*} \right)^{\frac{2}{3}}$ 为实际接触面积 A 与外观接触面积 A_0 的比值; E^* 为等效弹性模量。

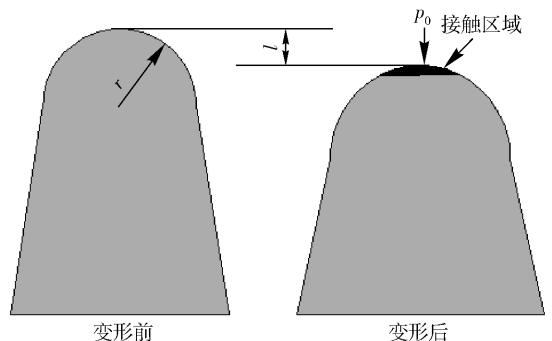


图 2 接触区域内研磨盘上凸起的变形

Fig. 2 Spherical capped asperity in contact zone

1.2 SiC 单晶片—磨粒和研磨盘—磨粒接触处的变形

理论上 SiC 单晶片—磨粒接触处的变形不是纯粹的弹性变形,因为赫兹接触压力远远大于 SiC 单晶片的屈服应力。根据断裂力学的压痕理论,考虑到硬压头决定的半空间滑动所导致的 SiC 单晶片—磨粒接触处的变形,以及较小尺寸的磨粒,因此假设 SiC 单晶片—磨粒接触处的变形是弹性变形。研磨盘的硬度远小于 SiC 单晶片的硬度,磨粒几乎嵌在静态研磨盘中,因此可以假定在研磨盘—磨粒接触处的变形是完全充分的塑性变形(准静态凹痕)^[10-12]。

图3表示单颗磨粒在研磨盘凸起部分的材料去除模型, SiC 单晶片表面和研磨盘之间的距离 l , 其大小取决于施加在磨粒上的力 p 和 SiC 单晶片的硬度 H_w 以及研磨盘的硬度 H_p 。嵌入 SiC 单晶片和研磨盘表面的磨粒深度不仅与单颗磨粒的材料去除机理有关,而且与作用在凸起部分的其他磨粒的材料去除过程有关。施加在磨粒上的压力、嵌入深度、单颗磨粒的材料去除量以及活动磨粒的数量是这个模型中4个最重要的参数。

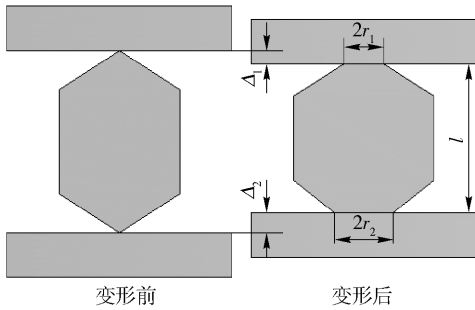


图3 SiC 单晶片、磨粒和研磨盘之间的弹性接触模型

Fig. 3 The plastic contact model among abrasive, wafer and pad

图中: Δ_1 表示晶片与磨粒接触处的变形; Δ_2 表示研磨盘与磨粒接触处的变形; r_1 表示晶片与磨粒接触区域的半径; r_2 表示研磨盘与磨粒接触区域的半径; l 表示晶片表面与研磨盘之间的距离。

SiC 单晶片—磨粒和研磨盘—磨粒接触处的变形可表示为

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 0.25pd \left(\frac{2}{H_w} + \frac{2}{H_p} \right). \quad (4)$$

从上式可以看出,当 SiC 单晶片和研磨盘较软、变形较大时, Δ_1 约等于 SiC 单晶片的最终粗糙度 R_a (R_a 可以通过 Leica DCM 3D 共聚焦显微镜测定)。根据测得的 SiC 单晶片的粗糙度和活动磨粒的粒度

大小,用下式估算研磨盘的压力和接触面积比:

$$p = \frac{\Delta_1 H_w}{0.5d_a} = \frac{R_a H_w}{0.5d_a}, \quad (5)$$

$$b = \frac{p_0}{p} = \frac{0.5d_a p_0}{R_a H_w}, \quad (6)$$

式中: d_a 表示活动磨粒的粒度直径大小, 用来估计接触区域的比值 b , 并且 d_a 与单颗磨粒在单位时间内所去除晶片的体积 V_r 之间的关系为

$$V_r = \Delta_1 r_1 v = \frac{\sqrt{2}}{3} \frac{d_a^2 E_p}{(b_1 H_w)^{3/2}} \sqrt{p_0} v, \quad (7)$$

式中: E_p 表示研磨盘的杨氏模量; v 表示晶片的相对速度。

在研磨过程中,不在接触区域的微小磨粒不会参与磨损过程,同时由其引起的材料去除也可忽略。并且由研磨液中磨粒的粒度大小可知,接触区域里并不是所有的磨粒都参与材料去除过程,如图4所示。

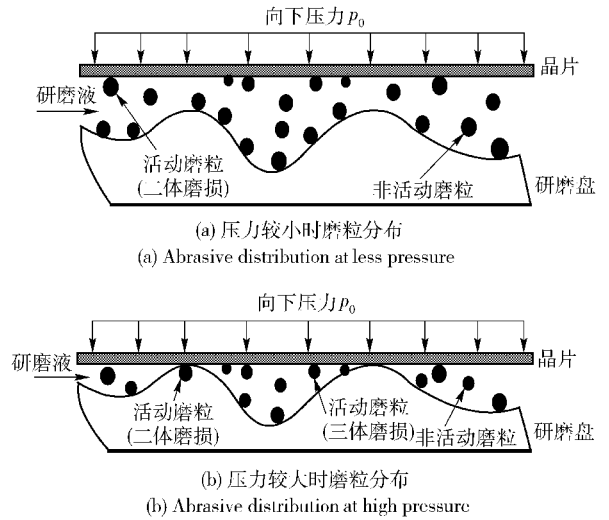


图4 磨粒粒度的正态分布

Fig. 4 Normal distribution of abrasive size

根据统计规律,假定磨粒粒度分布规律(直径)满足正态概率密度函数,则

$$P(d) = \begin{cases} P(d_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{d - d_{avg}}{\sigma} \right)^2 \right], & d = d_a; \\ \Phi \left(\frac{d - d_{avg}}{\sigma} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{d - d_{avg}/\sigma} e^{-(1/2)t^2} dt, & d \leq d_a. \end{cases} \quad (8)$$

式中: d_{avg} 为活动磨粒的平均粒度直径大小; σ 为标准偏差。

因此,活动磨粒数量 N 可表示为

$$N = n \left(\Phi \left(\frac{d_{max} - d_{avg}}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{d_{max} - \Delta - d_{avg}}{\sigma} \right) \right) =$$

$$n \left(\Phi \left(\frac{d_{\max} - d_{\text{avg}}}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{d_{\max} - d_{\text{avg}} - \frac{p}{\pi d} \left(\frac{2}{H_w} + \frac{1}{H_p} \right)}{\sigma} \right) \right), \quad (9)$$

式中: n 为所有磨粒的数量, 包括 SiC 单晶片与研磨盘接触区域的活动磨粒和非活动磨粒; d_{\max} 为最大磨粒直径。结合图 2, 根据磨粒的浓度、晶片的面积、研磨盘表面单位面积内凸起的波峰密度以及波峰经过变形后的空间, 计算研磨区域内所有磨粒数量 n 为

$$n = GA_0 \rho_d A_{\text{avg}} h, \quad (10)$$

式中: A_{avg} 为单颗凸起接触区域的平均面积; h 为单颗凸起的平均变形高度; G 为磨粒的浓度, 可按下式计算:

$$G = \frac{D\rho_1 C}{\rho_2 V_{\text{avg}}} = \frac{d\rho_1 C}{\rho_2 \frac{\pi}{6} d_a^3}, \quad (11)$$

式中: D 为研磨液的稀释比率; ρ_1 为稀释前研磨液的密度; C 为稀释前研磨液的浓度; ρ_2 为磨粒的密度; V_{avg} 为单颗磨粒的平均体积。结合 (8 式) ~ (11) 式, 可以求得活动磨粒的数量公式:

$$N = \frac{D\rho_1 CA_0}{\rho_2 \frac{\pi}{6} d_a^3} \rho_d A_{\text{avg}} h \cdot \left(\Phi \left[3 - \frac{0.25 \times \left(\frac{4}{3} \right)^{\frac{2}{3}} (d_{\text{avg}} + 3\sigma) \left(\frac{2}{H_w} + \frac{1}{H_p} \right) E_p^{\frac{2}{3}}}{\sigma b_1 p_0^{\frac{1}{3}}} \right] \right). \quad (12)$$

(12) 式实现了 SiC 单晶片的硬度、研磨盘的硬度与活动磨粒数量的结合。

1.3 改进的 MRR 模型

基于上述分析, 用质量表示的 m 可表示为

$$MRR_m = \rho_w n V_w, \quad (13)$$

式中: ρ_w 为晶片材料的密度; n 为活动磨粒的数量; V_w 为单颗磨粒单位时间所去除晶片体积。

多数情况下, 用单位时间内去除材料的厚度来描述 MRR, 所以 MRR 的最终公式可以表示为

$$MRR = \frac{MRR_m}{\rho_w A_0}. \quad (14)$$

把 (7) 式、(12) 式和 (13) 式带入 (14) 式, 可以获得改进的最终 MRR 公式为

$$MRR = \frac{3\sqrt{2}}{2} \rho_w \frac{d\rho_1 C \rho_d A_{\text{avg}} h}{\rho_2 \pi d_{\text{avg}}} \frac{1}{(bH_w)^{\frac{3}{2}}}.$$

$$\left(\Phi \left[3 - \frac{0.25 (d_{\text{avg}} + 3\sigma) \left(\frac{2}{H_w} + \frac{1}{H_p} \right) p_0}{\sigma b} \right] \right) p_0^{\frac{3}{2}} v. \quad (15)$$

由 (15) 式可见, SiC 单晶片的 MRR 与磨粒粒度大小及分布、研磨盘硬度、晶片硬度、研磨盘转速、接触面积比、压力等参数有关。

2 数值模拟

利用 Matlab 软件对 SiC 单晶片研磨过程 MRR 进行模拟计算, 以获得各因素对 MRR 的影响规律。根据实际使用的试验材料和参数, 分别给出研磨过程中各工艺参数的取值如表 1 所示。

表 1 研磨过程中的工艺参数取值
Tab. 1 Process parameters of lapping process

参数	取值
研磨液的稀释比率 D	0.1
稀释前研磨液的浓度 C	4.5
稀释前研磨液的密度 $\rho_1 / (\text{g} \cdot \text{mm}^{-3})$	1×10^{-3}
SiC 单晶片的密度 $\rho_w / (\text{g} \cdot \text{mm}^{-3})$	3.22×10^{-3}
SiC 单晶片的面积 A / mm^2	7.86×10^3
SiC 单晶片的硬度 H_w / Pa	$2.84 \times 10^{10} \sim 3.32 \times 10^{10}$
研磨盘的硬度 H_p / Pa	$30 \times 10^6, 50 \times 10^6, 100 \times 10^6$
实际接触面积与外观接触面积比 b	1/1 800
SiC 单晶片的相对速度 $v / (\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	520 000
压力 p / Pa	6 890
单颗凸起的平均高度 h / mm	58×10^{-3}

实际加工中, 接触面积比 b 很难直接测量, 可根据 (6) 式进行估算, 带入 $H_w = 3.1 \times 10^{10} \text{ Pa}$, $R_a = 0.1 \text{ nm}$, $p_0 = 6 890 \text{ Pa}$, $d_{\text{avg}} = 0.5 \text{ } \mu\text{m}$, b 值可估算为 1/1 800, 因此作用在磨粒上的实际压力 p 是压力 p_0 的 1 800 倍。把以上数据代入 (15) 式, 选择某一参数为自变量, MRR 为因变量, 其他参数的值保持不变, 研究单个参数与 MRR 的变化规律, 仿真结果如图 5 ~ 图 8 所示。

图 5 为不同接触面积比下研磨盘硬度与 MRR 的关系, 当接触面积不变时, 软研磨盘容易产生较大的 MRR 。这和实际生产经验是一致的, 如果研磨盘长期使用, 它将变得更硬更光滑 (加载和老化), MRR 就随之减少。

图 6 为不同压力下速度与 MRR 的关系, 当压力不变时, MRR 随着研磨盘转速的增大而增大, 这是因为随着研磨盘转速的提高, 磨粒的动能增加, 晶片

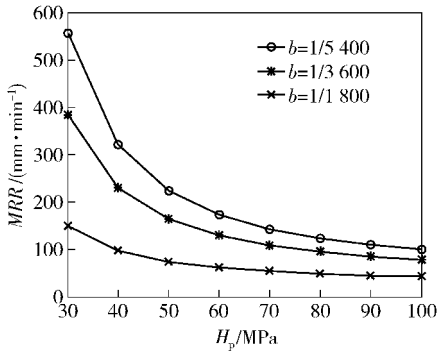


图5 不同接触面积比下研磨盘硬度对 MRR 的影响

Fig. 5 The influence of pad hardness on MRR for different contact area ratios

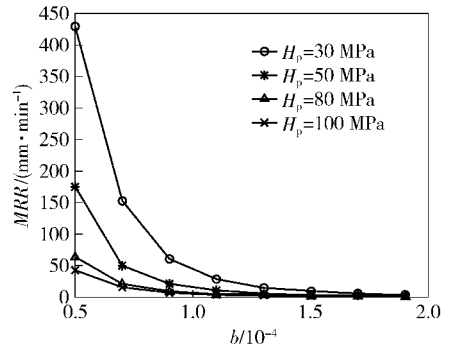


图7 不同研磨盘硬度下接触比对 MRR 的影响

Fig. 7 The contact ratio influence on MRR under different pad hardnesses

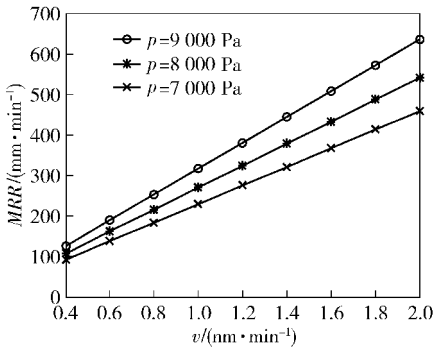


图6 不同压力下晶片相对速度对 MRR 的影响

Fig. 6 The influence of speed on MRR at different pressures

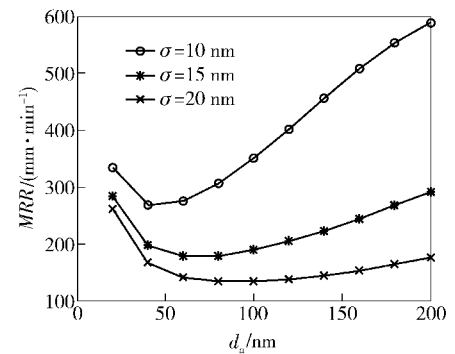


图8 不同标准偏差下平均磨粒粒度对 MRR 的影响

Fig. 8 The influence of mean abrasive size on MRR under different standard deviations

表面与磨粒碰撞时容易发生破碎,使得单位时间内磨粒的利用率提高;同时研磨盘转速越大,单位时间内活动磨粒的数量和材料的切削量就越大,因此 MRR 也显著提高。

图7为不同研磨盘硬度下接触比与 MRR 的关系,可以看出当研磨盘硬度不变时,较大的接触比易产生较小的 MRR ,这是因为当接触比 b 较大时,作用在每个磨粒上的力将会减少,同时单颗磨粒所去除的体积也将减小。

图8为不同平均磨粒粒度和尺寸分布标准偏差下 MRR 的变化曲线,当平均磨粒粒度保持不变时, MRR 随着标准偏差的增大而减少,这是因为尺寸分布标准偏差较大使活动磨粒的数量减少。当标准偏差保持不变时,较大的平均磨粒粒度将导致较大的 MRR 。因此,磨粒大小的均匀分布是影响 MRR 的关键因素。

值得一提的是,在同样的稀释比率和浓度的情况下,当磨粒的平均磨粒粒度大于一定值时,较大的磨粒并不会产生较大的 MRR ,这是由于晶片和研磨盘之间的磨粒数量减小所致。

3 试验验证

3.1 试验设备与方法

试验采用物理气相沉积法沿籽晶方向生长的6H-SiC单晶体,经固结金刚石磨粒线锯切割的单晶片。采用如图9所示的ZYP280型旋转摆动重力式研磨抛光机,研磨盘为直径280 mm的球墨铸铁盘,表面开宽1 mm、深3 mm、截面呈矩形的网络槽,磨

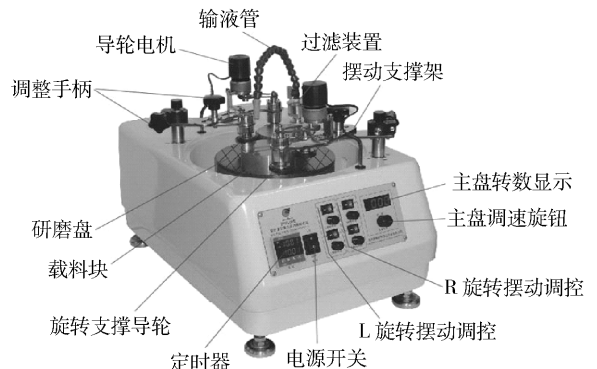


图9 ZYP280型研磨抛光机

Fig. 9 ZYP280 lapping-polishing machine

料是粒度为 W0.5 的金刚石微粉。由于研磨加工的材料去除量极小,所以采用塞多利斯 BS/BT 系列(精度为 0.1 mg)电子天平测量 SiC 单晶片的质量变化,在 SiC 单晶片表面面积不变的条件下,计算出 SiC 单晶片的厚度变化,并以此评价研磨加工效率。

试验 1:在压力和其他研磨条件不变的情况下

改变研磨盘转速进行试验,研磨时间为 4 h。试验结束后用电子天平测量 SiC 单晶片的质量变化,并计算其厚度的变化。每个试样测量 3 次,结果取平均值,预测去除率用(15)式计算。试验中研磨盘转速、试验去除率和预测去除率以及相对误差如表 2 所示。

表 2 不同转速下的 MRR 试验

Tab. 2 MRR experiments at different pad speeds

参数	研磨盘转速/($r \cdot \min^{-1}$)					
	50	70	90	110	130	150
试验去除率/($\text{nm} \cdot \min^{-1}$)	156.632 5	225.935 2	291.235 7	345.543 7	406.712 6	468.374 6
预测去除率/($\text{nm} \cdot \min^{-1}$)	158.783 1	222.296 4	285.809 6	349.322 9	412.836 1	476.349 4
相对误差/%	1.37	1.61	1.86	1.10	1.51	1.70

试验 2:在转速和其他研磨条件不变的情况下改变压力进行试验,研磨时间为 4 h。以同样的测试

和计算方法获得压力、试验去除率和预测去除率以及相对误差的结果如表 3 所示。

表 3 不同压力下的 MRR 试验

Tab. 3 MRR experiments at different pressures

参数	压力/6.89 kPa					
	5	6	7	8	9	10
试验去除率/($\text{nm} \cdot \min^{-1}$)	170.352 5	222.835 4	279.443 5	340.256 3	409.721 0	478.600 4
预测去除率/($\text{nm} \cdot \min^{-1}$)	166.545 6	218.929 9	275.883 2	337.064 7	402.200 0	471.062 2
相对误差/%	2.23	1.75	1.27	0.94	1.84	1.58

3.2 试验结果与分析

研磨过程中影响 MRR 的因素有很多,如研磨盘转速、压力、磨粒粒度和研磨时间等。本试验主要研究当研磨盘转速和压力发生变化时 SiC 单晶片 MRR 的变化规律。

表 2 和图 10 表示试验 1 中 MRR 的试验结果。图 10 为当压力恒定,研磨盘转速从 50 ~ 150 r/min 变化时获得的试验数据,而虚线表示相同条件下去除率模型的预测结果。

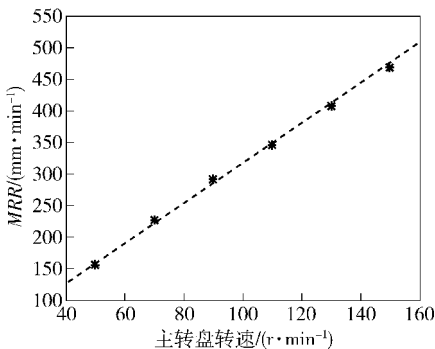


图 10 试验 1 中预测值与试验值

Fig. 10 The prediction and experiment results for Experiment 1

表 3 和图 11 表示试验 2 中 MRR 的试验结果,图 11 表示当研磨盘转速恒定,压力从 34.45 ~ 68.9 kPa 变化时获得的试验数据,而虚线表示相同条件下去除率模型的预测结果。

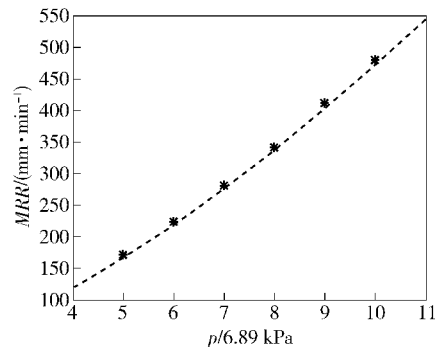


图 11 试验 2 中预测值与试验值

Fig. 11 The prediction and experiment results for Experiment 2

通过对预测模型的计算结果与试验结果对比分析发现,理论分析与试验结果具有很好的一致性,其相对误差最小值为 0.94%,最大值为 2.23%,12 组数据的平均相对误差为 1.56%。考虑到测量误差和

影响试验结果的其他因素,试验结果和预测结果相比,预测模型预测值的相对误差在可以接受的范围之内,因此验证了预测模型的正确性。

4 结论

基于 SiC 单晶片—磨粒和研磨盘—磨粒接触变形理论、磨粒粒度的正态分布等假设,建立了一种新的 SiC 单晶片研磨过程 MRR 的理论预测模型,通过试验对预测模型进行了验证。研究结论如下:

1) 预测模型在重点考虑压力和速度对 MRR 影响的同时,引入了 SiC 单晶片硬度、研磨盘硬度、研磨盘表面粗糙度、磨粒粒度及分布情况参数,使模型更加完善,更接近实际。

2) 预测模型将 MRR 的来源分为 2 个部分,即活动磨粒的数量和单颗磨粒的去除体积,这样划分有利于对问题实质的表述。

3) 利用 Matlab 软件对预测模型的正确性进行了初步分析,获得研磨盘转速和压力对 MRR 的影响规律,与试验结果一致性较好,可以初步判定预测模型的正确性。

4) MRR 与压力呈非线性关系,这里有磨粒粒度分布的影响,也有研磨盘弹性变形的影响,使压力通过影响活动磨粒的数量和单颗磨粒的去除体积间接影响 MRR。

5) 预测 MRR 和试验 MRR 的平均相对误差为 1.56%,说明该模型可以对 SiC 单晶片研磨过程的 MRR 进行有效预测。

参考文献 (References)

- [1] Preston F. The theory and design of plate glass polishing machines [J]. Journal of Society of Glass Technology, 1927, 11: 214 - 256.
- [2] Chauhan R, Ahn Y, Chandrasekar S, et al. Role of indentation fracture in free abrasive machining of ceramics[J]. Wear; Part A, 1993, 162 - 164A: 246 - 257.
- [3] Evans C J, Paulb E, Dornfelds D, et al. Material removal mechanisms in lapping and polishing[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2003, 52(2): 611 - 633.
- [4] Luo J F, Dornfeld D A. Material removal regions in mechanical planarization for submicron in tegrated circuit fabrication coupling effects of slurry chemicals, abrasive size distribution and wafer-pad contact area[J]. Semiconductor Manufacturing, 2003, 16(1): 45 - 46.
- [5] Zhang F, Busnainab A A, Ahmadi G. Partide adhesion and removal in chemical mechanical polishing and post-CMP cleaning [J]. Journal of Electrochemical Society, 1999, 146(7): 2665 - 2669.
- [6] Liu C W, Dai B T, Tseng W T, et al. Modeling of the wear mechanism during chemical-mechanical lapping[J]. Journal of Electrochemical Society, 1996, 143: 716 - 721.
- [7] Johnson K L. Contact Mechanics [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- [8] Greenwood J A, Williamson J B. Contact of nominally flat surfaces [J]. Proceedings of the Royal Society A, 1966, 295: 300 - 319.
- [9] Xin J, Cai W, Tichy J A. A fundamental model proposed for material removal in chemical-mechanical polishing[J]. Wear, 2010, 268(5 - 6): 837 - 844.
- [10] 姜守振, 徐现刚, 李娟. SiC 单晶生长及其晶片加工技术的进展[J]. 半导体学报, 2007, 28(5): 810 - 814.
JIANG Shou-zhen, XU Xian-gang, LI Juan. Recent Progress in SiC Monocrystal Growth and Wafer Machining[J]. Chinese Journal of Semiconductors, 2007, 28(5): 810 - 814. (in Chinese)
- [11] 周忆, 梁德沛. 超声研磨硬脆材料的去除模型研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(8): 664 - 666.
ZHOU Yi, LIANG De-pei. Study on the theoretic model of ultrasonic lapping [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(8): 664 - 666. (in Chinese)
- [12] 庞滔, 郭大春, 庞楠. 超精密加工技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
PANG Tao, GUO Da-chun, PANG Nan. Ultra-precision machining technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2000. (in Chinese)