

抛光液中离子浓度对化学机械抛光过程的影响^{*}

林广川, 郭 丹, 解国新, 潘国顺

(清华大学 摩擦学国家重点试验室, 北京 100084)

摘 要: 在化学机械抛光过程中, 抛光液中的离子浓度对化学机械抛光的速率和表面质量影响显著。为了解释化学机械抛光过程中抛光液中离子浓度的作用, 利用荧光观察试验及实际抛光试验, 研究抛光液中离子浓度对抛光过程的影响, 并使用白光形貌仪观察抛光后表面质量。结果表明: 颗粒运动速度随着抛光液中的硫酸钾浓度的增加而下降, 材料去除率随硫酸钾浓度上升而提高。但是过高的离子浓度会导致表面质量下降。当硫酸钾浓度大于 175 mmol/L 时, 抛光后晶片表面出现明显缺陷。为了兼顾完成质量和去除速率, 应当选用硫酸钾浓度为 150 mmol/L 左右的抛光液。

关键词: 化学机械抛光; 二氧化硅颗粒; 离子浓度; 双电层

中图分类号: TN305.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9289(2015)04-0054-08

Influence of Ionic Concentration of Slurry on Process of Chemical Mechanical Polishing

LIN Guang-chuan, GUO Dan, XIE Guo-xin, PAN Guo-shun

(State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: In the process of chemical mechanical polishing, the ionic strength of the slurry has significant effect on the material removal rate and surface quality. To illustrate the effect of ionic strength on the chemical mechanical polishing, the experiments were conducted with a self-developed fluorescence device and chemical mechanical polishing apparatus. The results show that with the increase of the ionic strength of the slurry, the velocities of polishing particles decrease and the material removal rate increase. The surface quality becomes worse when the ionic strength is high. When the concentration of K_2SO_4 is over 175 mmol/L, there are obvious scratches on the surface of the wafer. To compromise both removal rate and surface quality, the slurry with 150 mmol/L concentration of K_2SO_4 will be appropriate in the chemical mechanical polishing process.

Keywords: chemical mechanical polishing; silica particle; ionic concentration; electrical double layer

0 引 言

为了满足电子元件日益提高的性能需求, 必须保证电子元件加工过程中的高精度。要实现高精度的半导体加工, 首先要对半导体原料表面进行全局平坦化。化学机械抛光是唯一能同时实现局部和全局表面平坦化的技术^[1]。化学机械抛光是电子元件加工过程中表面处理的重要工艺, 已被广泛用于中央处理器、硬盘、LED 基

板等各种电子元器件的生产过程中^[2]。其加工过程如下: 待抛光晶片固定在抛光头上, 抛光头以一定压力把晶片压在表面附有抛光垫的抛光盘上, 抛光头与抛光盘以一定速度旋转, 并在两者之间加入含有抛光颗粒以及各种化学成分的抛光液。晶片与抛光液中的化学成分接触并发生反应, 表面生成一层相对容易去除的反应膜。参与抛光过程的颗粒与这层反应膜发生机械去

收稿日期: 2015-03-24; **修回日期:** 2015-05-28; **基金项目:** * 国家自然科学基金 (51375255, 91223202)

通讯作者: 潘国顺(1967—), 男(汉), 副研究员, 博士; **研究方向:** 化学机械抛光机理; **Tel:** (010) 6277 3129; **E-mail:** pangsg@mail.tsinghua.edu.cn

网络出版日期: 2015-06-23 17:06; **网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20150623.1706.004.html>

引文格式: 林广川, 郭丹, 解国新, 等. 抛光液中离子浓度对化学机械抛光过程的影响 [J]. 中国表面工程, 2015, 28(4): 54-61. Lin G C, Guo D, Xie G X, et al. Influence of ionic concentration of slurry on process of chemical mechanical polishing [J]. China Surface Engineering, 2015, 28(4): 54-61.

除作用,表面膜被去除,新的表面又与化学物质反应。由于在表面的不同形貌处去除率不同,所以经过若干循环后,整个表面会趋向平面,实现整体平面化。在抛光过程中,机械去除和化学腐蚀协同作用,共同完成晶片材料的去除。由于这个过程非常复杂、影响因素众多、且各因素之间又存在相互作用,对化学机械抛光的机理研究仍不是非常完善,导致对抛光去除率及质量的预测难以实现^[3-4]。

抛光液在化学机械抛光过程中扮演了重要角色,目前许多学者研究了抛光液中的成分对抛光结果的影响。王婕等发现在抛光液中加入咪唑会降低钨的抛光速率,但是可提高表面质量^[5]。汤丽娟^[6]等发现抛光液中阴离子浓度会影响金属表面的腐蚀速率和氧化成膜速率,从而影响抛光去除速率。Ramarajan^[7]等发现抛光过程中钼的去除率受 pH 值影响极大,这表明了 pH 值在抛光过程中起了重要作用。U. Mahajan 等^[8]设计了一套在线测量抛光过程中摩擦力的装置,发现摩擦力也受 pH 值的影响。Choi 等^[9]通过试验证明了盐浓度对颗粒之间以及颗粒与晶片之间的作用力有很大影响,当盐浓度上升后,表面之间的斥力减少,所以颗粒与晶片之间接触面积增大,去除率上升。但是如果盐浓度太高,颗粒会发生团聚,影响抛光质量。Lagudu 等^[10]发现在抛光液中加入一些盐之后碳化硅去除率有明显的上升。

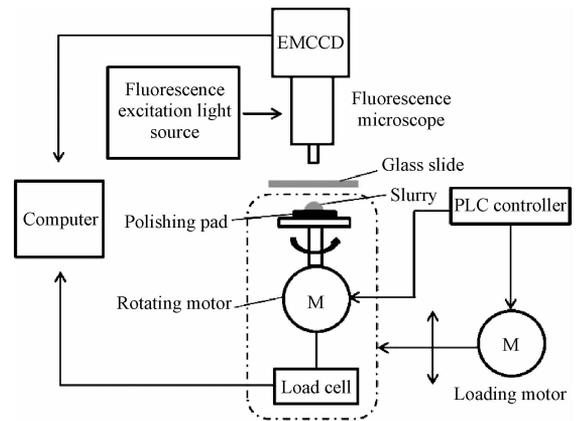
抛光过程中抛光液成分对抛光结果的影响十分复杂,由于现有研究缺乏对抛光过程在线观测,仅仅局限于对最后抛光结果进行分析。作者在前期工作中用荧光颗粒示踪技术搭建了一个化学机械抛光观测系统,用于观察模拟化学机械抛光过程中荧光二氧化硅颗粒的运动与形态^[11]。文中利用自制观测系统观察抛光液中离子浓度对荧光二氧化硅颗粒运动的影响,并在抛光机上进行对应条件下的实际抛光试验。对比两者结果,提出了抛光微间隙中纳米颗粒运动的理论模型,解释说明抛光液离子强度对抛光过程中抛光颗粒运动以及去除速率的影响。

1 材料及方法

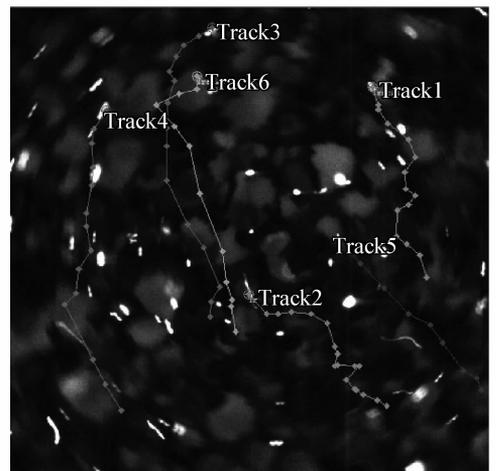
1.1 试验设备

试验所用荧光颗粒观测系统如图 1 所示,这个试验台由 BX-51 荧光显微镜、自制的运动系

统、定位系统和加载系统组成。试验中运动平台下装有压力传感器,可以测量抛光过程中的下压力。通过运动系统模拟化学机械抛光过程并使用荧光显微镜观察颗粒的分布与运动,详细功能可见文献^[11]。图 1(b)展示了试验中观察到的一个典型画面,将焦面放在抛光垫的上表面,黑色部分是抛光垫的突起,明亮部分是抛光垫上存有抛光液的凹坑,亮点则是自由移动的抛光颗粒。试验中,显微镜使用的是 10 倍物镜,视场范围为 $800\ \mu\text{m} \times 800\ \mu\text{m}$ 。显微镜上加装的 EMCCD 可以采集视频,采集帧率为 31 帧/秒,分辨率为 $512(\text{H}) \times 512(\text{W})$ 像素。



(a) Schematic diagram of the experimental system



(b) A typical snapshot taken out from the video

图 1 试验系统和试验中的典型画面示意图

Fig. 1 Schematic diagrams of the experimental system and a typical snapshot taken out from the video

试验中使用白光干涉仪对抛光后的蓝宝石晶片表面进行观察。该仪器使用光学干涉法对表面形貌进行定量测量,测量精度高。用绘图分

析软件可获得详细的表面形貌参数,并生成三维干涉断面图。

1.2 材料

在模拟化学机械抛光试验中,使用荧光二氧化硅颗粒(天津倍思乐色谱技术开发中心),粒径为 $1\ \mu\text{m}$,原始浓度为 $10\ \text{g/mL}$,稀释 100 倍并进行超声分离后用于荧光观测。用 $56\ \text{mm} \times 26\ \text{mm} \times 1\ \text{mm}$ 普通载玻片以及相同尺寸的蓝宝石晶片作为待抛光材料。把 Politex Reg. 20. E. II 聚氨酯抛光垫(Rohm Hass 公司)剪成直径为 $2\ \text{mm}$ 的小圆片,并粘在运动装置上,如图 1 所示。试验中使用硫酸钾改变抛光液中的离子浓度,使用盐酸和氢氧化钾改变溶液的 pH 值。分别配制 pH 值为 5、7、10 以及硫酸钾浓度为 50、100、200 和 $250\ \text{mmol/L}$ 的溶液。

实际抛光试验使用 CP4 抛光试验机(美国 CETR 公司),抛光材料为 $\Phi 50.8\ \text{mm}$ (2 inch) 的 LED 基材蓝宝石片,抛光液为自主配制的二氧化硅抛光液。

1.3 方法

荧光观察试验中抛光压力为 $13.78\ \text{kPa}$ ($2\ \text{psi}$),抛光垫旋转速度为 $7.2 \sim 14.4\ \text{r/min}$ 。

试验中主要观察抛光垫的中心部分,从不同条件下采集的视频图像中各选取 30 个颗粒,标记每个颗粒的运动轨迹,计算颗粒运动平均速度,作为这个条件下颗粒运动速度。

使用的抛光液 $\text{pH}=10.7$,抛光压强为 $34.45 \sim 13.78\ \text{kPa}$,抛光头转速 $120\ \text{r/min}$,抛光垫转速 $160\ \text{r/min}$,抛光液流量 $100\ \text{mL/min}$,抛光时间为 $3\ \text{min}$ 。

2 结果与讨论

2.1 模拟化学机械抛光试验

图 2 是抛光垫转速为 $7.2 \sim 14.4\ \text{r/min}$ 时, pH 分别为 5、7 和 10 时的颗粒运动速度随硫酸钾浓度变化趋势。

图 2(a)为 $\text{pH}=5$,硫酸钾浓度不同时颗粒运动速度的统计结果,颗粒运动速度的分布范围是 $400 \sim 1\ 400\ \mu\text{m/s}$,颗粒运动速度随溶液中硫酸钾浓度提高而降低,变化范围为 3 种 pH 值下最小,而且最高速度也比另外两种 pH 条件下的低。 $\text{pH}=7$ 时,颗粒运动速度的变化范围为 $600 \sim 1\ 600\ \mu\text{m/s}$ 。 $\text{pH}=10$ 时,颗粒运动速度的范围是 $600 \sim 2\ 000\ \mu\text{m/s}$ 。

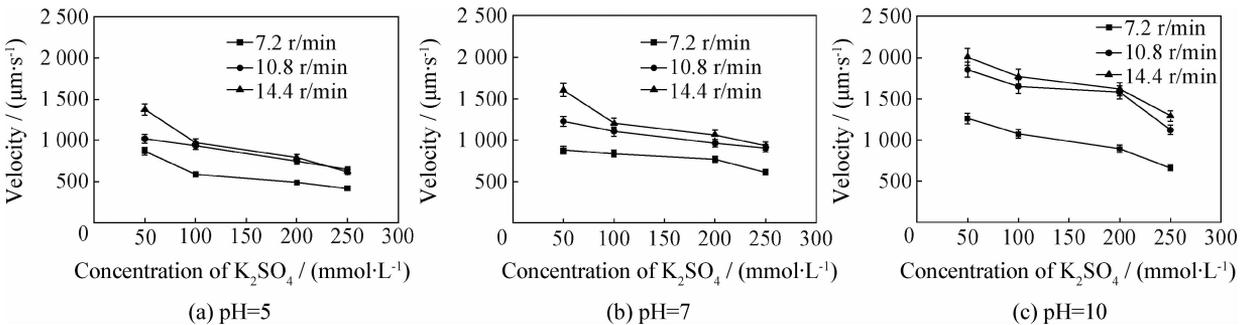


图 2 不同 pH 值条件下颗粒运动速度随硫酸钾浓度的变化

Fig. 2 Variation curves of the particle's velocity with pH and concentration of K_2SO_4

从结果可以看出,在相同 pH 值时,颗粒运动速度随抛光垫转速增大而增大。但在相同转速下,随着 pH 值上升,最低速度略微增加,最高速度有较大幅度提高。在相同 pH 值和转速时,颗粒运动速度随硫酸钾浓度增加而减小。

试验中观察了抛光过后载玻片和抛光垫表面的颗粒吸附状况(如图 3 和图 4 所示)。由图 3 可知,随着溶液中硫酸钾浓度上升,抛光后载玻片下表面吸附的荧光抛光颗粒数量明显增加,并

且团聚后的大颗粒所占比例也明显增加。抛光垫的表面形貌如图 4 所示,抛光垫在荧光显微镜下呈黑色,黑色表面的白色亮点为吸附在抛光垫表面的抛光颗粒。可以发现,随着硫酸钾浓度增多,抛光垫表面吸附的颗粒也增加,同时粒径较大的吸附颗粒团聚也更明显。

除了使用载玻片进行试验,还使用同样尺寸的蓝宝石片进行试验,得到的试验结果与载玻片结果较为相似。

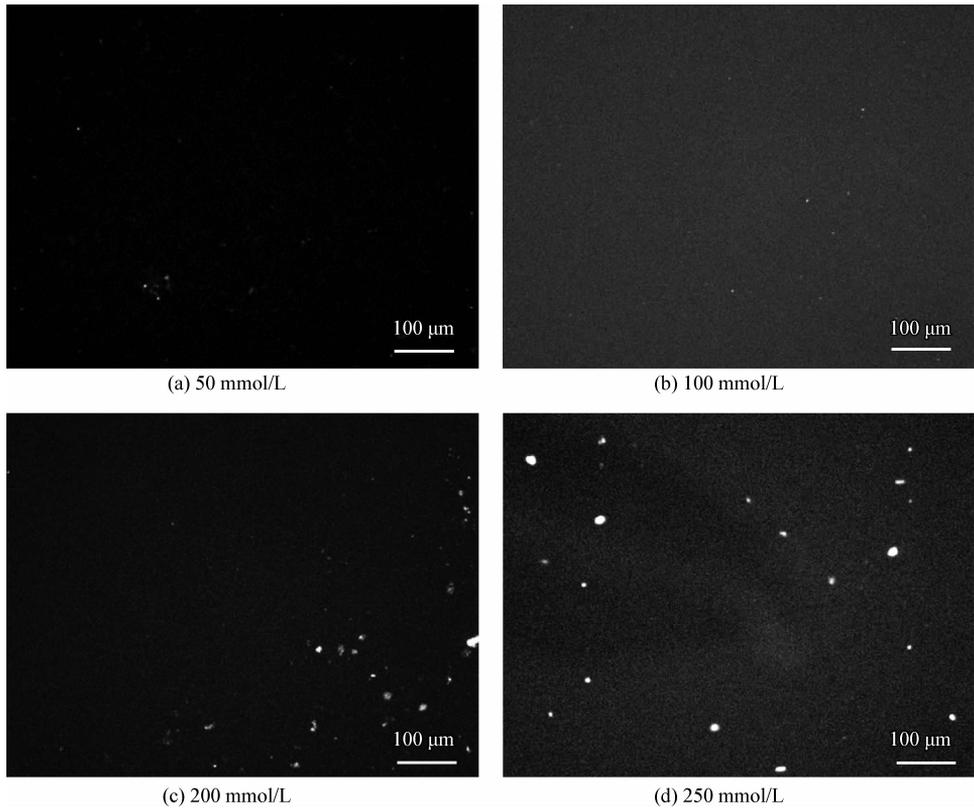


图 3 不同硫酸钾浓度下抛光后玻璃表面残留颗粒状况

Fig. 3 Residual polishing particles on the surface of glass slide with different K_2SO_4 concentrations

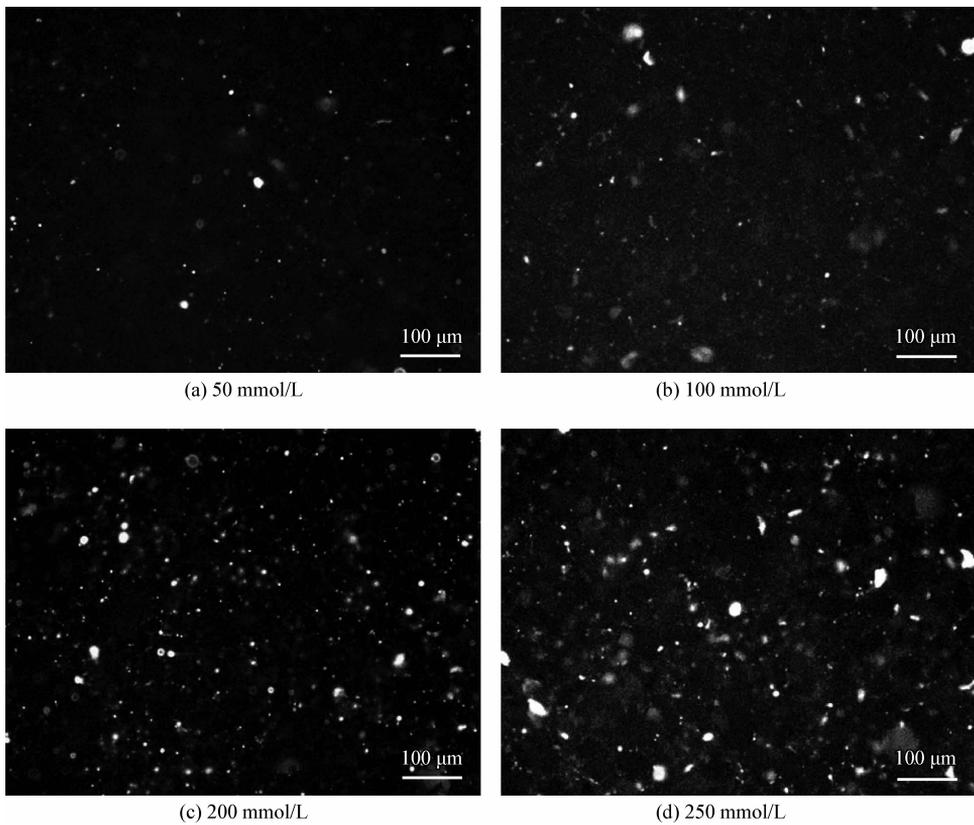


图 4 不同硫酸钾浓度下抛光后抛光垫表面形貌

Fig. 4 Surface morphologies of the polishing pad with different concentrations of K_2SO_4

2.2 实际抛光试验

在实际抛光试验中使用9种硫酸钾浓度不同的抛光液(50~250 mmol/L),测试的压力为13.78、20.67、27.56和34.45 kPa(2、3、4和5 psi),试验结果见图5。

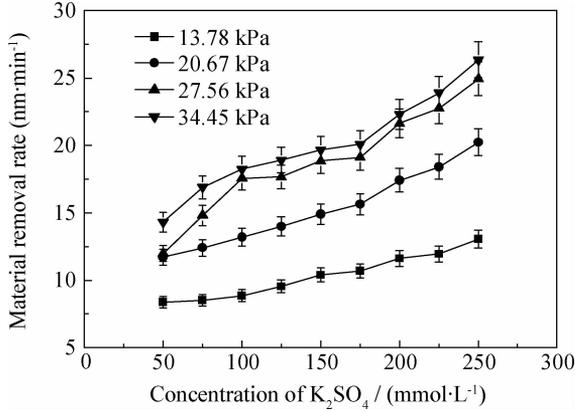


图5 实际抛光试验中不同压力下材料去除率随硫酸钾浓度变化

Fig. 5 Variation of the material removal rate with different pressures and concentrations of K_2SO_4

由图可知,材料去除率随压力增加而增大,压力从13.78 kPa增加到20.67 kPa时,去除率增加幅度较大;压力较大时的增幅明显降低,压力从27.56 kPa增加到34.45 kPa后去除率增幅已明显减少。另外,材料去除率随硫酸钾浓度增加呈线性增大趋势。

抛光后蓝宝石表面形貌结果见图6和图7,粗糙度数据见表1。硫酸钾浓度为50~150 mmol/L的抛光液抛光后的晶片表面粗糙度为1 nm左右,并且表面较为平整,没有明显缺陷。硫酸钾浓度为175~250 mmol/L的抛光液抛光后晶片表面粗糙度为8 nm左右,不如使用较低硫酸钾浓度抛光液抛光后的晶片表面质量高,且表面会出现划痕,凹坑等缺陷。这些晶片的表面缺陷见图7。

2.3 结果分析

这些现象可用颗粒、抛光垫和晶片之间的静电作用力来解释。抛光中使用的二氧化硅颗粒是胶体,胶体在液体中时表面会吸附电荷。抛光垫和蓝宝石晶片表面也会吸附电荷,吸附电荷的

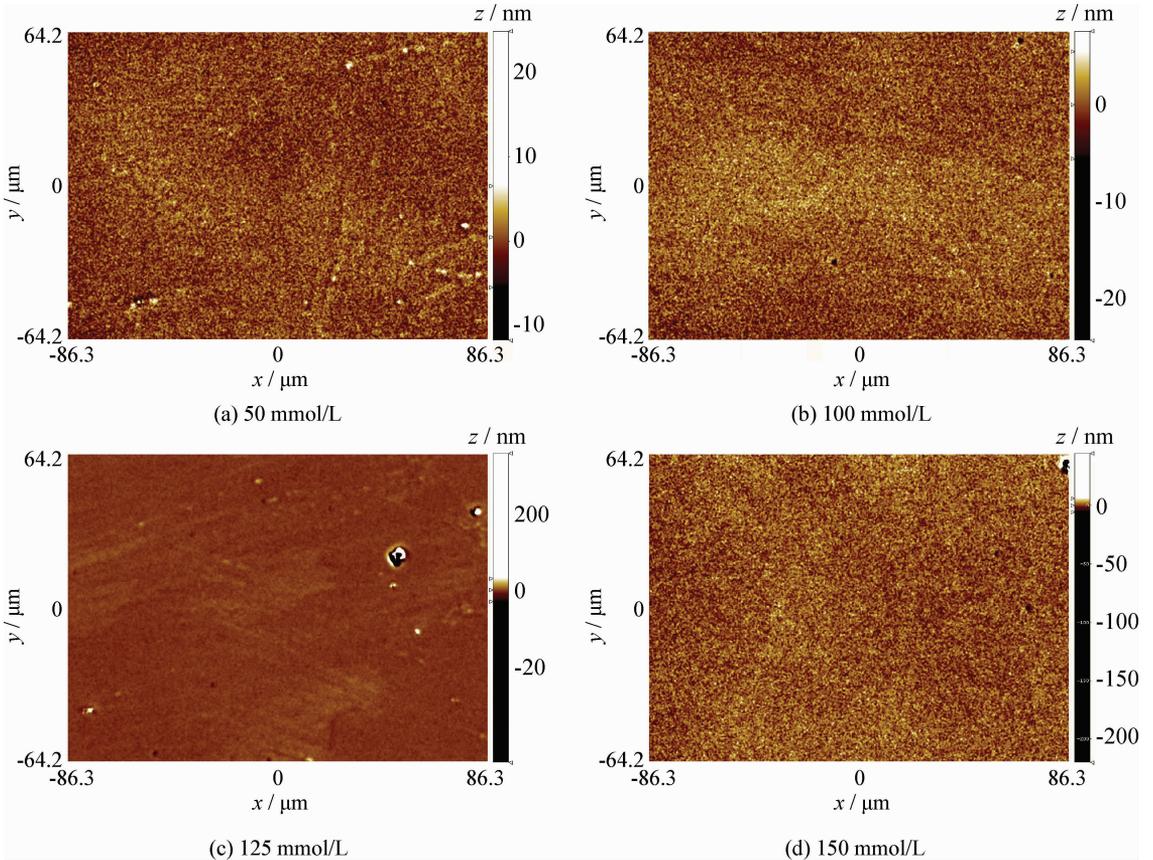


图6 低硫酸钾浓度抛光液抛光后蓝宝石晶片表面的白光形貌

Fig. 6 Topographies of the surfaces of polished sapphire wafers with slurries of low concentrations of K_2SO_4

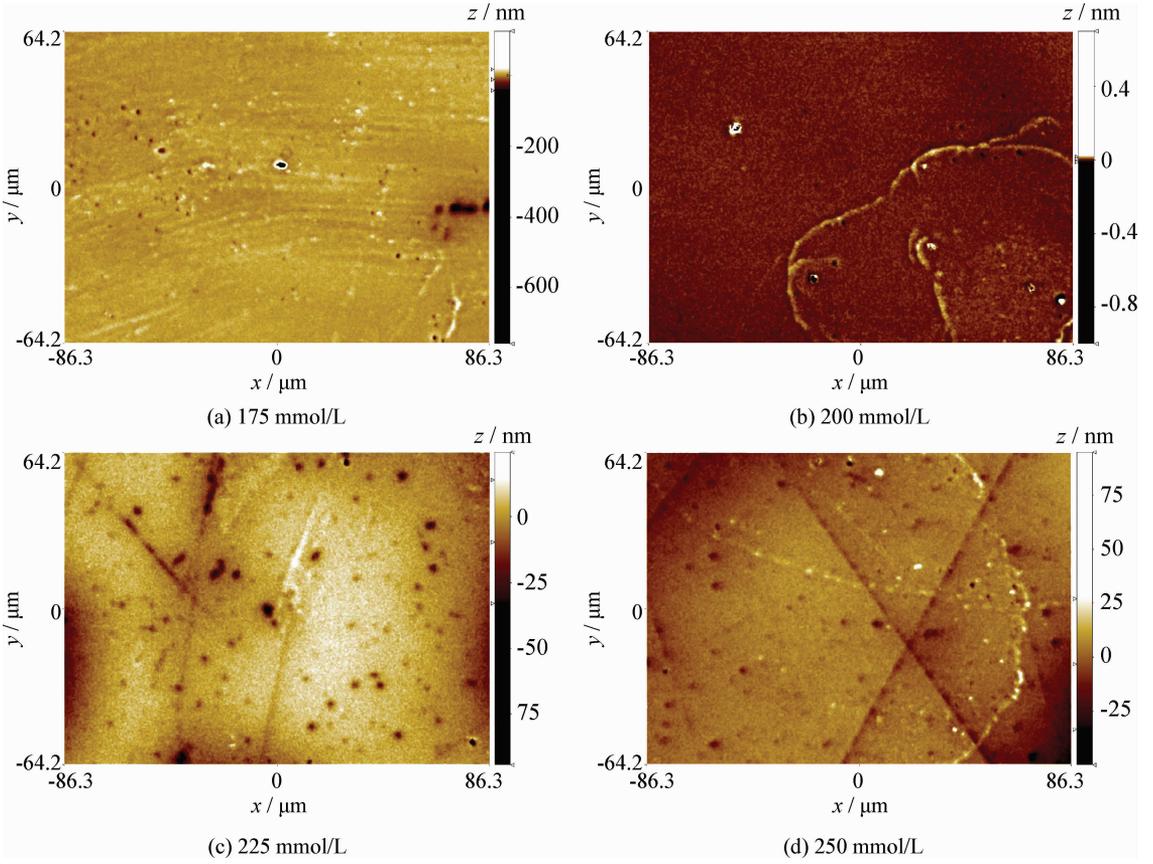


图 7 高硫酸钾浓度抛光液抛光后蓝宝石晶片表面缺陷的白光形貌

Fig. 7 Topographies of the scratches on the surfaces of polished sapphire wafers with slurries of high concentration of K_2SO_4

表 1 不同硫酸钾浓度下抛光后晶片的表面粗糙度

Table 1 Roughness of the polished wafer surfaces with different concentration of K_2SO_4

Concentration of $K_2SO_4 / (mmol \cdot L^{-1})$	50	75	100	125	150	175	200	225	250
Roughness/nm	1.25	1.15	1.31	1.21	1.81	1.23	3.57	4.54	8.40

表面之间就会存在静电作用力。DLVO 理论对胶体系统中的静电作用情况给出了定量分析。胶体系统中的静电作用力可分为范德华力和双电层作用力两种^[12-13]。

其中颗粒与表面范德华力可由公式(1)得:

$$F_{vdW} = -\frac{AR}{6d^2} \quad (1)$$

颗粒与颗粒之间的范德华力可由公式(2)得:

$$F'_{vdW} = -\frac{AR}{12d^2} \quad (2)$$

其中 A 是哈梅克常数, J; R 为颗粒半径, m;

d 为颗粒到表面的距离, m。

颗粒与表面之间的双电层力可由公式(3)得:

$$F_{EDL} = \kappa R Z e^{-\kappa d} \quad (3)$$

颗粒与颗粒之间的双电层作用力可由公式(4)得:

$$F'_{EDL} = \frac{\kappa R Z}{2} e^{-\kappa d} \quad (4)$$

κ 为德拜长度的倒数, m^{-1} , 计算公式为:

$$\kappa = \sqrt{\frac{e^2 \sum_i n_i z_i^2}{\epsilon \epsilon_0 k_b T}} \quad (5)$$

n_i 为离子摩尔浓度, mol/L; z_i 为离子电荷数; e 为 1.6×10^{-19} C; ϵ 为水的相对介电常数, 这是一个无量纲量, 值为 78.5; ϵ_0 为真空介电常数 8.85×10^{-12} F/m; k_b 为玻尔兹曼常数, $1.380\ 650\ 5 \times 10^{-23}$ J/K; T 为开尔文温度, 这里取为 298 K。该值仅与温度和溶液中离子浓度有关。 Z 为作用常数, J/m, 计算方法为:

$$Z = 64\pi\epsilon\epsilon_0 \left(\frac{k_b T}{e} \right)^2 \tanh\left(\frac{ze\varphi_1}{4k_b T}\right) \tanh\left(\frac{ze\varphi_2}{4k_b T}\right) \quad (6)$$

φ_1 为颗粒表面电势, φ_2 为表面的表面电势, 两者单位均为 mV, z_i 为表面离子电荷数。可以看出, 该值仅与材料的表面势能有关。

试验中主要的改变因素是溶液中的硫酸钾浓度, 进而改变溶液的离子浓度。由公式(3)、(5)和(6)可以看出, 当溶液的离子浓度上升时, 德拜长度减少, 双电层作用力减少。二氧化硅颗粒与抛光垫的 zeta 电势在试验条件范围内都是负值。载玻片主要成分也为二氧化硅, 可以认为其 zeta 电势与二氧化硅颗粒相似, 也为负值^[14]。蓝宝石的等电点在 pH=5 左右, 所以在试验范围内其 zeta 电势为负数^[15]。由于 3 个物体表面的 zeta 电势均为负值, 可以认为三者之间的双电层力为斥力, 所以双电层力减小意味着斥力减小, 而范德华力为吸引力, 并且不受溶液中离子浓度影响, 所以从整体作用力来说为斥力减小了。

在颗粒观测试验中, 随着硫酸钾浓度增加, 颗粒之间的斥力减小, 颗粒运动速度减少, 同时颗粒团聚几率增加。颗粒与载玻片(蓝宝石晶片)之间的斥力和颗粒与抛光垫之间的斥力减少, 导致颗粒更容易吸附在抛光垫表面和晶片表面, 这与荧光试验观察结果一致。试验中另外一个现象是颗粒运动速度随 pH 值下降而减小, 这是由于 pH 值下降后颗粒表面的 zeta 电势绝对值变小, 颗粒间斥力也会减小, 颗粒运动速度下降。

在实际抛光试验中, 可以发现材料去除率一方面随压力上升而增加, 另一方面随着硫酸钾浓度上升而增加。使用的抛光液 pH 值为 10~11, 从测得的 zeta 电势来看, 蓝宝石和二氧化硅颗粒之间为斥力作用, 硫酸钾浓度上升导致颗粒与晶片表面的斥力下降, 颗粒与表面的接触频率增加, 去除几率增加, 所以总体去除率增加。但是

较高的硫酸钾浓度同时也会导致颗粒间斥力下降, 颗粒难以保持稳定, 易发生团聚。粒径较大的团聚容易在晶片表面造成缺陷。浓度为 175 mmol/L 以上的抛光液抛光后, 晶片表面出现凹坑和划痕, 而在其他浓度的抛光试验中并没有出现此情况, 可以认为这些缺陷是高浓度硫酸钾影响下的产物所致。

3 结论

(1) 在荧光观察试验中发现随着抛光液中硫酸钾浓度提高, 抛光颗粒运动速度减小, 同时颗粒容易发生团聚和吸附。提出抛光体系中各物体之间的双电层斥力随离子强度增加而减少的观点。

(2) 在抛光试验中获得了含有不同浓度硫酸钾抛光液的抛光速率, 发现随着硫酸钾浓度提高, 抛光速率也随着提高。抛光后的晶片表面经白光形貌仪观察, 发现抛光后表面粗糙度在纳米级别, 高硫酸钾浓度条件下抛光后晶片表面质量不佳, 有划痕凹坑等缺陷。

(3) 综合来看, 要取得较好的去除率以及表面质量, 应当选用 pH=10, 硫酸钾浓度为 150~175 mmol/L 的抛光液, 抛光压力选用 34.45 kPa (5 psi), 高转速下材料去除率较高。这样既保证了抛光的速率较高, 同时抛光后表面质量也较好。

参考文献

- [1] 张志坚, 张凡, 邱光文, 等. 硅抛光片(CMP)市场和技术现状[J]. 云南冶金, 2012(1): 40-44.
Zhang Z J, Zhang F, Qiu G W, et al. Market and technical status of polished silicon wafer[J]. Yunnan Metallurgy, 2012(1): 40-44 (in Chinese).
- [2] 郭玉龙, 郭丹, 潘国顺, 等. 布线图案导致的集成电路平坦化损伤研究[J]. 电子元件与材料, 2014(7): 60-65.
Guo Y L, Guo D, Pan G S, et al. Research on the damages of integrated circuit (IC) chip induced by wiring pattern in planarization[J]. Electronic Components and Materials, 2014(7): 60-65 (in Chinese).
- [3] 赵之雯, 牛新环, 檀柏梅, 等. 蓝宝石衬底材料 CMP 抛光工艺研究[J]. 纳米材料与结构, 2006, 43(1): 16-19, 46.
Zhao Z W, Niu X H, Tan B M, et al. Research of sapphire substrate CMP[J]. Nanomaterial and Structure, 2006, 43(1): 16-19, 46 (in Chinese).
- [4] 宗思邈, 刘玉岭, 牛新环, 等. 蓝宝石衬底材料 CMP 去除速率的影响因素[J]. 显微、测量、微细加工技术与设备,

2009, 46(1): 50-54.

Zong S M, Liu Y L, Niu X H, et al. Analysis of influencing factors of sapphire substrate CMP removal rate [J]. *Microscope, Measurement, Microfabrication & Equipment*, 2009, 46(1): 50-54 (in Chinese).

- [5] 王婕, 储向峰, 董永平, 等. 咪唑对钨化学机械抛光的影响 [J]. *中国表面工程*, 2013, 26(3): 25-30.

Wang J, Chu X F, Dong Y P, et al. Effect of imidazole on the chemical mechanical planarization of ruthenium [J]. *China Surface Engineering*, 2013, 26(3): 25-30 (in Chinese).

- [6] 汤丽娟, 储向峰, 董永平, 等. 阴离子对铜化学机械抛光的影响 [J]. *加工、测量与设备*, 2011, 48(9): 596-599, 605.

Tang L J, Chu X F, Dong Y P, et al. Effect of anion on copper chemical mechanical polishing [J]. *Processing, Measurement and Equipment*, 2011, 48(9): 596-599, 605 (in Chinese).

- [7] Ramarajan S, Li Y, Hariharaputhiran M, et al. Effect of pH and ionic strength on chemical mechanical polishing of tantalum [J]. *Electrochemical and Solid State Letters*, 2000, 3(5): 232-234.

- [8] Mahajan U, Biemann M, Singh R K. Dynamic lateral force measurements during chemical mechanical polishing of silica [J]. *Electrochemical and Solid State Letters*, 1999, 2(2): 80-82.

- [9] Choi W, Mahajan U, Lee S, et al. Effect of slurry ionic salts at dielectric silica CMP [J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 2004, 151(3): G185-G189.

- [10] Lagudu U R K, Isono S, Krishnan S, et al. Role of ionic strength in chemical mechanical polishing of silicon carbide using silica slurries [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2014, 445: 119-127.

- [11] Lei J, Guo D, Luo J, et al. Probing particle movement in CMP with fluorescence technique [J]. *Journal of The Electrochemical Society*, 2011, 158(6): H681-H685.

- [12] Verwey E. Theory of the stability of lyophobic colloids [J]. *Journal of Physical and Colloid Chemistry*, 1947, 51(3): 631-636.

- [13] Derjaguin B, Landau L. Theory of the stability of strongly charged lyophobic sols and of the adhesion of strongly charged particles in solutions of electrolytes [J]. *Progress in Surface Science*, 1993, 43(1/2/3/4): 30-59.

- [14] Sokolov I, Ong Q K, Shodiev H, et al. AFM study of forces between silica, silicon nitride and polyurethane pads [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2006, 300(2): 475-481.

- [15] Franks G V, Meagher L. The isoelectric points of sapphire crystals and alpha-alumina powder [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2003, 214(1): 99-110.

(责任编辑: 常青)

• 学术动态 •

第二十次全国焊接学术会议将在兰州召开

第二十次全国焊接学术会议拟定于2015年10月在兰州理工大学召开。会议由中国机械工程学会焊接学会及其切割专业委员会、压力焊专业委员会、高能束及特种焊接专业委员会、熔焊工艺及设备专业委员会、计算机辅助焊接工程专业委员会及机器人与自动化专业委员会、唐山开元电器集团、昆山京群焊材科技有限公司、成都熊谷加世电器有限公司主办,由兰州理工大学、甘肃省焊接学会承办。

会议的主题是先进焊接制造及控制技术。征文专题包括:切割技术的发展与应用,智能化切割技术;压力焊制造工艺及新进展,压力焊设备及控制新技术,新材料压力焊机理及过程模拟;高能束及特种焊接新方法、新工艺及其应用,高能束及特种焊接智能化制造,高能束及特种焊接构件在复杂服役环境下的性能评估;先进焊接工艺及过程测控技术,焊接生产线与数字化车间,焊接结构及其质量控制,各类新型焊接工艺的物理机制;基于数值模拟与实验测试的焊接信息化与可视化技术,计算机辅助焊接工程的新进展;机器人焊接质量控制与智能化技术,焊接机器人应用技术问题,特殊环境下机器人焊接技术、新型特种焊接机器人技术、遥控与网络机器人焊接技术等。

论文全文截止日期:2015年8月15日。联系人:黄彩艳,电话:(0451) 8632 2012, E-mail: cws86322012@163.com。

(摘自中国焊接信息网)