

# 适用于硅晶体多线切割的线切割液研制

熊次远, 李庆忠, 钱善华, 闫俊霞

(江南大学机械工程学院, 无锡 214122)

**摘要:** 本文通过硅片旋转磨损试验模拟线切割过程, 以评价切割液的切割性能。首先, 通过对比试验选出线切割液的主要组份; 接着, 通过正交试验优化各组份的含量并得到最优配方; 最后, 在相同条件下将最优配方与某市场切割液进行比较。结果表明: 自制最优配方切割液 MRR 为 7820 nm/min,  $Ra$  为 9.12 nm。与市场切割液相比 MRR 稍低, 但表面粗糙度要好。分析原因是由于新配方切割液在分散性和润滑性方面有所提高, 而且碱性变强, 加大了化学作用, 有效的提高了晶片表面质量。

**关键词:** 硅片; 多线切割; 线切割液; 材料去除率(MRR)

中图分类号: O786

文献标识码: A

文章编号: 1000-985X(2012)06-1726-06

## New Wire Cutting Fluid Suitable for Multi-wire Saw of Silicon Crystals

XIONG Ci-yuan, LI Qing-zhong, QIAN Shan-hua, YAN Jun-xia

(College of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

(Received 18 July 2012, accepted 15 October 2012)

**Abstract:** In this paper, through the silicon wafer wear test simulation wire cutting process, to evaluate the liquid's cutting performance. Firstiy, selecting the main components of wire cutting fluid from the contrast experiment; then, optimization of the content of the components by orthogonal experiment and optimal formula was obtained; finally, the optimal formula and a market cutting fluid were compared under the same conditions. The results showed that MRR was 7820 nm/min and  $Ra$  was 9.12 nm under the optimal formula. Compared with the market cutting fluid, MRR was a little less, but obtained better surface roughness. The reason is that new cutting fluid improved the dispersity and lubricity. More alkaline increased the chemical actions and effectively improved the wafer surface quality.

**Key words:** silicon wafer; multi-wire sawing; wire cutting fluids; material removal rate(MRR)

## 1 引言

制备超薄超大的太阳能硅片是光伏产业的关键核心技术之一。目前,多线切割以其高产率、高质量及低损耗等优点已成为制备太阳能硅片的主要方法<sup>[1]</sup>。现今太阳能硅片的尺寸是 156 mm × 156 mm,厚度 200 μm,而光伏行业下一阶段的目标为 210 mm × 210 mm,厚度 100 μm,同时还要提高切割效率和表面质量<sup>[2]</sup>。随着硅片尺寸的变大和厚度的降低,势必对切片工序提出更高的要求。而现今多线切割普遍采用的是游离磨料的线切割液,切割过程复杂,工艺参数众多,成品率较低<sup>[3,4]</sup>。解决这些问题的途径是深入研究线切割

收稿日期: 2012-07-18; 修订日期: 2012-10-15

基金项目: 国家自然科学基金(51175228); 2011年度江苏省研究生创新工程项目

作者简介: 熊次远(1988-)男,江西省人,硕士研究生。E-mail: xiongyuan@sina.com

通讯作者: 李庆忠,教授。E-mail: qingzhongli@163.com

材料去除机理和加强新型高性能的线切割液的研究和开发。

线切割液主要由磨粒、分散剂、有机碱、表面活性剂及其他添加剂组成。在线切割过程中线切割液对硅片加工有机械和化学的双重作用,对切割过程有重要的影响<sup>[5,6]</sup>。具有良好润滑渗透、分散均匀的磨粒、适当的 pH 值和粘度等特性的线切割液能够有效降低硅片表面应力,提高加工质量和精度<sup>[7,8]</sup>。国内主流的线切割液是聚乙二醇型,普遍存在分散悬浮能力欠佳、效率低、表面吸附严重不利用清洗等问题<sup>[9]</sup>,切片质量有待提高,迫切需要研制出高性能的新型线切割液。

## 2 实 验

### 2.1 硅晶片制备

实验将直径 125 mm,厚度 0.6 mm 的单晶硅片切割成大小 30 mm × 30 mm 的试件,数量若干。

### 2.2 线切割液的配置

线切割液中主要物质如表 1 所示,第一组线切割液配方如下:1 号分散剂为 50wt%; 1 号有机碱为 5wt%; 1 号表面活性剂 4wt%; 消泡剂 4wt%; 螯合剂 2wt%; 悬浮液与 1 号磨粒质量比为 1:0.4,余量用去离子水补齐。第二组线切割液只有第一种配方的化学成分,无磨粒。然后,在含量相同的情况下,分别改变第一组线切割液中的分散剂、有机碱、表面活性剂和磨粒的种类为 2 号,配置出四组线切割液。

表 1 线切割液中主要物质种类及名称

Table 1 Main material name in the wire cutting fluid

Type	1#	2#
Dispersant	Polyethylene glycol 400( PEG 400)	Polyethylene glycol 200( PEG 200)
Organic alkali	Diethanolamine	Trolamine
Surfactant	Sodium dodecyl benzene sulfonate( SDBS)	Sodium dodecyl sulfate( SDS)
Grits	800# SiC( 14μm)	320# SiC( 40μm)
Defoaming agent		Silicone oil
Chelating agent	Ethylene diamine tetraacetic acid disodium salt	

### 2.3 切割液分散悬浮性测量

分散悬浮能力用悬浮率  $\theta$  来表示。常温下,将配置好的切割液缓慢加入至 100 mL 的具塞量筒中,静置若干时间,按公式(1)计算出悬浮率。

$$\theta = \frac{H - h}{H} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\theta$  为悬浮率,  $H$  为切割液总高度,  $h$  为磨粒沉淀的高度。

### 2.4 硅片磨损试验

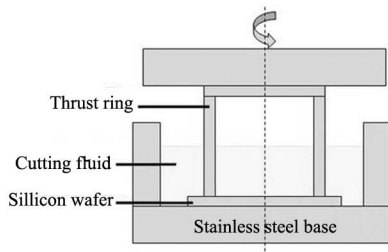


图 1 晶片磨损装置示意图

Fig. 1 The wafer wear device schemes

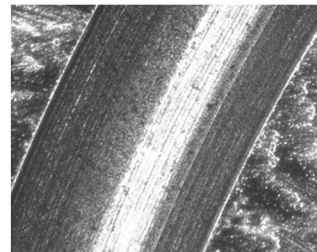


图 2 晶片表面磨损处形貌

Fig. 2 The wafer surface morphology after the wear

在 MMW-1A 型立式摩擦磨损机上进行实验。实验前后将晶片用超声波清洗并烘干,确保试件洁净。用石蜡将晶片粘在不锈钢底座上,底座安装在试验机下摩擦副盘上,调节晶片与止推圈的距离为 1~2 mm,倒入搅拌均匀的线切割液,加载,启动。止推圈在主轴的带动下相对于晶片旋转,线切割液浸没晶片存在于摩

擦副之间构成三体摩擦磨损环境,如图 1 所示。具体试验条件如下:

试验力: 20 N; 主轴转速: 60 r/min; 摩擦副: 小止推圈摩擦副; 试验时间: 30 min。

### 2.5 材料去除率和表面粗糙度测量

用材料去除率表征加工效率,表面粗糙度来表征加工质量。用 XS205 DU 梅特勒精密电子天平称量晶片磨损前后的质量,称量 3 次取平均值,按公式(2)计算材料去除率。

$$\text{MRR} = \frac{m_2 - m_1}{\rho st} = \frac{m_2 - m_1}{\rho t \pi (r_2^2 - r_1^2)} \quad (2)$$

式中  $m_2$ -磨损前质量;  $m_1$ -磨损后质量;  $\rho$ -硅的密度;  $t$ -时间;  $r_2$ -止推圈外圆半径;  $r_1$ -止推圈内圆半径。用 CSPM5000 原子力显微镜测量磨损处 4 个点的粗糙度取平均作为最终的粗糙度。

## 3 结果与讨论

### 3.1 磨粒尺寸对材料去除率和粗糙度的影响

图 2 为用 800# SiC 磨粒磨损后的晶片表面形貌图,从图上可看出磨损处有均匀的划痕,这是由于在一定的压力下,较硬的 SiC 磨粒嵌入到较软的工件中,再由止推圈的带动,使材料产生裂纹,从而产生脆性断裂去除。线切割液中均匀分散的磨粒是获得高去除率和低粗糙度表面的关键因素之一。

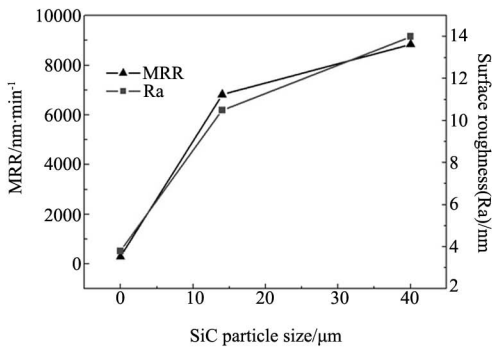


图 3 不同磨粒尺寸下的材料去除率与粗糙度

Fig. 3 MRR and Ra of different size of grits

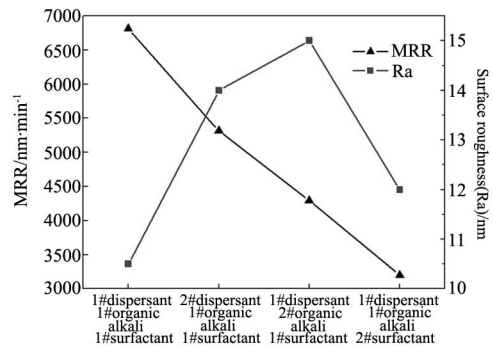


图 4 不同分散剂,有机碱及活性剂下的 MRR 和 Ra

Fig. 4 MRR and Ra of different dispersant, organic alkali and surfactant

图 3 显示了磨粒尺寸对晶片材料去除率和粗糙度的影响。可以看出晶片材料去除率随磨粒尺寸的增加而增加。磨粒尺寸为 0 代表切割液中无磨粒,此时去除率很小,有磨粒时,去除率显著增加。这是因为材料的去除主要靠的是磨粒与工件的相互作用以及磨粒本身的动态行为,无磨粒时,仅靠纯化学液体与晶片产生缓慢化学反应生成低强度产物,再由机械作用去除,类似于抛光,其去除率很低。而有磨粒时,依靠化学和机械的双重作用,其去除率显著提升。随着磨粒尺寸的增加,磨粒的机械作用变强,嵌入工件变深,单个磨粒产生的切屑体积变大,增加了材料去除率;而且大尺寸的磨粒会造成切割线振动加剧,提高加工效率<sup>[10]</sup>。但是材料去除率的增大带来的后果是表面粗糙度也跟着增大。这是由于磨粒尺寸越大,其比表面积越小,提供给切割液中分散剂和表面活性剂吸附的空间越小,磨粒之间的静电斥力和空间位阻变小,使得线切割液中磨粒的分散性变差,容易产生相对粗糙的表面。这点通过实验得到证实,分别测量两种不同磨粒尺寸的切割液在 6 h、12 h、24 h 的悬浮率,800#磨粒悬浮率分别为 60%、54%、45%,320#磨粒的悬浮率分别为 50%、43%、35%,这表明用 800#SiC 磨粒的线切割液的分散性更好。

图 5、6 分别为两种不同粒径磨粒切割液磨损表面微观形貌,可以看出 800#磨粒切割液磨损表面均匀致密,无凸起和凹坑产生,而 320#磨粒切割液表面出现大量的凸起和凹坑,表面疏松,严重影响磨损表面质量。合理控制磨粒的尺寸是研制高效低损伤线切割液的关键所在。综上,使用 800#SiC 磨粒可以在保证表面低粗糙度的前提下得到较高的材料去除率,适合作为新型线切割液的磨粒。

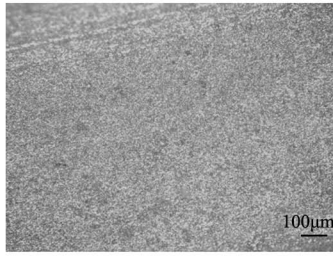


图 5 800# SiC 磨粒切割液磨损表面( ×250)

Fig. 5 Surface morphology of 800# SiC cutting fluid ( ×250)

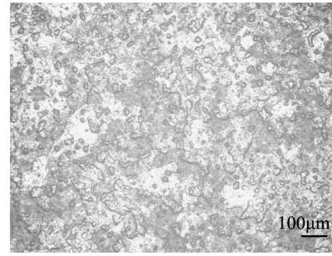


图 6 320# SiC 磨粒切割液磨损表面( ×250)

Fig. 6 Surface morphology of 320# SiC cutting fluid ( ×250)

### 3.2 分散剂、有机碱及活性剂种类对去除率和粗糙度的影响

图 4 对比了不同分散剂、有机碱及表面活性剂的材料去除率和粗糙度。从图中可知 1 号分散剂、有机碱及表面活性剂的材料去除率明显都要高于 2 号,而表面粗糙度都稍低于 2 号。

聚乙二醇作为粘度适当分散剂,能够吸附与磨粒表面而产生位垒,如图 7,不仅能够阻碍颗粒团聚,而且能产生熵斥力及渗透水化力使颗粒团微裂缝间的强度降低,有利于颗粒团开裂。另外,还能渗透到切割区域前沿裂缝中形成化学能的劈裂作用,有利于切割效率的提高。PEG 400 相对于 PEG 200,分子量更大,聚合度高。同系物质,分子结构类似,较大分子量的分散剂具有更长的碳链,在磨粒表面产生更大的位垒,从而能够提高线切割液中磨粒的分散悬浮性能。而且,PEG 400 粘度大,能够携带更多磨粒进入切割区域提高切割效率。故 PEG 400 更适合作为新型线切割液的分散剂。

有机碱能使切割液呈碱性,与硅发生化学反应,使单一的机械作用转变为均匀稳定的化学机械作用,可有效降低表面损伤和应力。研究表明,当 pH 值大于等电点( pH = 3.9 附近)时, SiC 表面的 Zeta 电位随 pH 值的升高而升高<sup>[11]</sup>。相对于三乙醇胺,二乙醇胺碱性更强(二乙醇胺切割液 pH = 10.52,三乙醇胺切割液 pH = 9.16)。与硅发生化学反应的速度越快,并能够提高磨粒表面的 Zeta 电位,使磨粒之间的静电斥力增加,提高线切割液的分散稳定性。故二乙醇胺更适合作为新型线切割液的有机碱。

表面活性剂具有降低表面张力、增强润滑、清洗等作用。除此之外,离子型活性剂还能使磨粒表面因带有同种电荷而相互排斥,从而有利于颗粒的分散,如图 7。SDBS 的临界胶束浓度 CMC = 0.0012 mol/L 小于 SDS 的 0.008 mol/L,具有更高的表面活性,能够更好的吸附与颗粒表面和降低液体表面张力,提高分散性。故 SDBS 更适合作为新型线切割液表面活性剂。

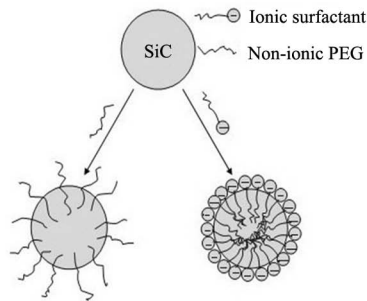


图 7 SiC 磨粒的分散过程

Fig. 7 Dispersion process of SiC abrasive particle

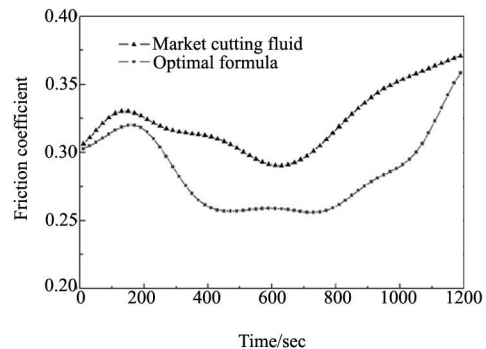


图 8 两种线切割液摩擦系数随时间的变化

Fig. 8 Change of two cutting fluids' friction coefficient with time

### 3.3 正交试验结果及讨论

表 2 为针对选定的分散剂、活性剂、有机碱及磨粒含量优化的正交试验结果,表中  $T_i (i = 1 \sim 4)$  为水平  $i$  的四次 MRR 之和,  $R$  为极差,从表中可知  $R_A > R_D > R_C > R_B$ ,而表面粗糙度区别不大。表明 PEG 400 是影响

MRR 的主要因素,其次是磨粒、二乙醇胺、SDBS。从正交试验的水平趋势发现,MRR 随分散剂及活性剂含量的增加先升高后降低,随有机碱及磨粒含量的增加逐渐升高但趋势渐缓。这是因为随分散剂和活性剂浓度增加,吸附在磨粒和液体表面的基团数增加,能够提高磨粒表面的位垒和电垒,降低液体的表面张力,更利于磨粒分散均匀,提高去除率,但增加到一定量时,磨粒表面吸附达到饱和形成紧密排列的单分子膜。浓度再增加时,磨粒和液体表面不再吸附,反而造成溶液中的胶团数目增加,使线切割液的性质发生突变,导致去除率降低;随有机碱浓度增加,溶液的碱性变强,化学反应加快,并提高了磨粒的 Zeta 电位,使磨粒间的静电斥力变大,提高了磨粒的分散稳定性,故能提高去除率。但这种作用是有限的,因为切割过程是以机械作用为主,化学作用为辅,化学作用对去除率的增幅有限,而且过高的碱性会加速机床的腐蚀;随磨粒浓度增加,参与切割的磨粒数量增加,能够有效提高去除率,但当浓度增加到一定量时,线切割液的分散、流动、冷却等性能会受到影响限制了去除率进一步增大。

表 2 正交实验结果

Table 2 The results of orthogonal experimental

Number	Dispersant A/wt%	Surfactant B/wt%	Organic alkali C/wt%	Grits D/ $m_{\text{fluid}}:m_{\text{sand}}$	MRR/ $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$	Ra/nm
1	1 (40%)	1 (2%)	1 (6%)	1 (1:0.4)	4877	13.56
2	1	2 (4%)	2 (8%)	2 (1:0.5)	3799	10.33
3	1	3 (6%)	3 (10%)	3 (1:0.6)	5013	9.04
4	1	4 (8%)	4 (12%)	4 (1:0.7)	7631	10.89
5	2 (50%)	1	2	4	3439	10.76
6	2	2	1	3	6759	11.37
7	2	3	4	2	4551	12.94
8	2	4	3	1	4021	11.55
9	3 (60%)	1	3	2	6553	10.63
10	3	2	4	1	6228	9.87
11	3	3	1	4	7631	9.95
12	3	4	2	3	6143	8.80
13	4 (70%)	1	4	3	5869	13.58
14	4	2	3	4	7067	10.65
15	4	3	2	1	4124	9.05
16	4	4	1	2	5989	9.21
T <sub>1</sub>	21320	20738	19266	19249		
T <sub>2</sub>	18770	23852	19369	20892		
T <sub>3</sub>	26556	21320	22654	23783		
T <sub>4</sub>	23048	23784	24280	25769		
R	7785	3114	5013	6519		

第 11 号试验的 MRR 最大,为 7631 nm/min,而从水平趋势分析  $A_3B_2C_4D_4$  为可能好的组合,表中未包括此组合,故需追加实验。按  $A_3B_2C_4D_4$  组合配置线切割液,并加入 4wt% 的消泡剂和 2wt% 的螯合剂。实验条件下,此切割液 MRR 达到 7820 nm/min,超过了最高的 7631 nm/min,为最优配方。

### 3.4 最优配方与某市场线切割液对比分析

表 3 对比了自制切割液与某市场切割液的性能,图 8 为两种切割液的摩擦系数随时间的变化。自制切割液与市场切割液相比,MRR 稍低,但表面粗糙度要好。分析原因是由于自制切割液通过成分选择和优化,在分散悬浮性和润滑性方面有所提高,而且碱性变强,加强了切割过程的化学作用,这些都是自制切割液形成低粗糙度表面的重要原因。图 9、10 为最优配方和市场切割液磨损处表面扫描形貌。

表 3 最优配方与某市场切割液性能比较

Table 3 The comparison with optimal formula and a market cutting fluid

	pH	$\theta$ ( after 6 h)	MRR/ $\text{nm} \cdot \text{min}^{-1}$	Ra/nm
Optimal formula	11.4	68%	7820	9.12
Market cutting fluid	8.4	62%	8179	11.6

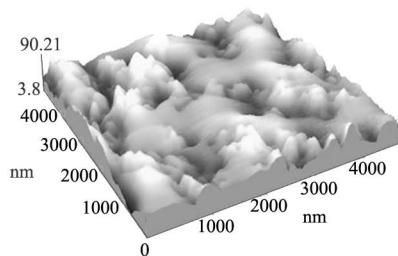


图 9 最优配方下磨损处形貌

Fig. 9 Surface morphology under optimum formula

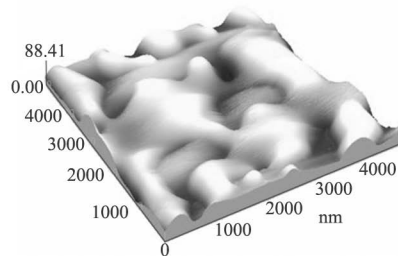


图 10 某市场切割液磨损处形貌

Fig. 10 Surface morphology under a market cutting fluid

## 4 结 论

研究表明: 选择合适的线切割液成分和优化成分的含量, 可使线切割液具有合适的 pH 值、良好的润滑及分散性能, 从而提高材料去除率并降低表面粗糙度。通过实验本文得到如下结论:

(1) PEG 400、二乙醇胺、SDBS、800#SiC 适合作为新型切割液的分散剂、有机碱、活性剂及磨粒;

(2) 分散剂和磨粒是影响去除率最主要的因素, 其次是有机碱及活性剂。在实验条件下, 最优配方为: PEG 400 含量 60wt%, 二乙醇胺 12wt%, SDBS 4wt%, 硅油 4wt%, 螯合剂 2wt%, 悬浮液与磨料质量配比为 1:0.7;

(3) 最优配方与某市场切割液相比, MRR 稍小, 但是表面粗糙度要好。分析原因是由于最优配方案具有更强的碱性, 并在分散性和润滑性方面有所提高。加强线切割液的研究和开发对降低太阳能发电成本有重要的意义。为了满足超大规模集成电路和太阳能行业对硅片越来越高的要求, 相应的线切割浆料及机理还有待进一步的研究。

## 参 考 文 献

- [1] Moller H J. Basic Mechanisms and Models of Multi-wire Sawing[J]. *Advanced Engineering Materials* 2004 **6**(7): 501-513.
- [2] Wang W, Liu Z X, Zhang W, et al. Abrasive Electrochemical Multi-wire Slicing of Solar Silicon Ingots Into Wafers [J]. *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 2011 **60**(1): 255-258.
- [3] 任 丽, 李彦林, 羊建坤, 等. 超薄太阳能硅片线切割工艺中悬浮液特性研究[J]. *太阳能学报* 2008 **29**(3): 324-327.  
Ren L, Li Y L, Yang J K, et al. The Characteristic Research of Suspending Liquid in Multi-wire-saw of Super Thin Solar Wafers [J]. *Acta Energiae Solaris Sinica* 2008 **29**(3): 324-327( in Chinese ).
- [4] 高玉飞, 葛培琪, 李绍杰. 往复式电镀金刚石线锯切割单晶硅片特性研究[J]. *人工晶体学报* 2009 **38**(2): 372-377.  
Gao Y F, Ge P Q, Li S J. Study on the Machining Performance of Single Crystal Silicon Wafer Cut by Using Reciprocating Electroplated [J]. *Journal of Synthetic Crystals* 2009 **38**(2): 372-377( in Chinese ).
- [5] Bhagavat M, Prasad V, Kao I. Elasto-hydrodynamic Interaction in the Free Abrasive Wafer Slicing Using a Wiresaw: Modeling and Finite Element Analysis [J]. *Journal of Tribology* 2000 **122**: 394-404.
- [6] 富 扬, 刘兆滨, 宋恩军, 等. 硬脆性材料线切割液组成的组成和发展[J]. *半导体技术* 2008 **33**(4): 292-295.  
Fu Y, Liu Z B, Song E J, et al. Composition and Development of Wire Cutting Fluids Used for Hard and Brittle Materials [J]. *Semiconductor Technology* 2008 **33**(4): 292-295( in Chinese ).
- [7] 贺敬良, 王学军, 童 亮, 等. 太阳能电池用 Si 片切割过程中浆料作用研究[J]. *半导体技术* 2010 **35**(10): 976-979.  
He J L, Wang X J, Tong L, et al. Research on Slurry in the Cutting Process of Si Wafer for Solar Cell [J]. *Semiconductor Technology* 2010 **35**(10): 976-979( in Chinese ).
- [8] Oishi H, Asakawa K, Matsuzaki J, et al. Development of Water-Soluble Coolant for Multiwire Saw Slicing of 400 mm Diameter Silicon [J]. *Journal of the Japan Society for Precision Engineering* 2000 **66**(6): 912-916.
- [9] 袁艳蕊, 魏 昕, 丁 寅. 游离磨料线切割的切割液行为综述[J]. *金刚石与磨料磨具工程* 2009 **6**(174): 43-48.  
Yuan Y R, Wei X, Ding Y. Development of Slurry Actions Duri ng Free Abrasive Multi-wire sawing [J]. *Diamond & Abrasives Engineering* 2009, **6**(174): 43-48( in Chinese ).

(下转第 1736 页)

- [8] 高信, 洪广言, 刘书珍.  $\text{LaP}_3\text{O}_9:\text{Ce}, \text{Tb}$  磷光体的合成与光谱特性[J]. 应用化学, 1993, **10**(2): 70-72.  
Gao X, Hong G Y, Liu S Z. Preparation and Spectroscopic Properties of  $\text{LaP}_3\text{O}_9:\text{Ce}, \text{Tb}$  Phosphors[J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 1993, **10**(2): 70-72( in Chinese ).
- [9] Wang D, Wang Y H, Wang L L. UV and Vacuum Ultraviolet Luminescence Properties of  $\text{LaP}_3\text{O}_9:\text{Eu}^{3+}$  [J]. *J. Electrochem. Soc.* 2007, **154**(1): J32-J34.
- [10] 杨定明. 纳米级稀土发光材料的制备及发光性能研究[D]. 成都: 四川大学, 2005. 46.  
Yang D M. Study on Preparation and Luminescent Properties of Nano-scale Rare Earth Luminescent Materials[D]. Sichuan: Sichuan University, 2005( in Chinese ).
- [11] 郭凤瑜, 刘念红.  $\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$  激活的  $\text{LaBO}_3$  的发光性能和能量传递[J]. 北京大学学报, 1990, **26**(2): 191-199.  
Guo F Y, Liu N H. Luminescence and Energy Transfer of  $\text{Ce}^{3+}$  and  $\text{Tb}^{3+}$  in  $\text{LaBO}_3$  [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 1990, **26**(2): 191-199( in Chinese ).
- [12] 张世英, 魏坤. 纳米晶  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  红色荧光体的发光性质研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, **24**(4): 407-410.  
Zhang S Y, Wei K. Study on Luminescence Property of Nanocrystalline  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  Red Phosphor[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis* 2004, **24**(4): 407-410( in Chinese ).

(上接第 1731 页)

- [10] 李言, 王肖焯, 李淑娟, 等. 超声辅助线锯切割 SiC 单晶实验研究[J]. 人工晶体学报, 2012, **41**(4): 1076-1081.  
Li Y, Wang X Y, Li S J, et al. Experiments of Ultrasonic-assisted Wire Sawing of SiC Single Crystal[J]. *Journal of Synthetic Crystals* 2012, **41**(4): 1076-1081( in Chinese ).
- [11] 刘付胜聪, 肖汗宁, 李玉平, 等. 纳米  $\text{TiO}_2$  表面吸附聚乙烯二醇及其分散稳定性的研究[J]. 无机材料学报, 2005, **20**(2): 311-315.  
Liu F S C, Xiao H N, Li Y P, et al. Polyethylene Glycol Adsorption Behavior on Nanoparticulate  $\text{TiO}_2$  and Its Stability in Aqueous Dispersions [J]. *Journal of Inorganic Materials* 2005, **20**(2): 311-315( in Chinese ).

## 欢迎订阅 2013 年《硅酸盐通报》

邮发代号: 80-774

《硅酸盐通报》是中国硅酸盐学会和中材人工晶体研究院联合主办的有关无机非金属材料领域的学术期刊。刊登内容涉及陶瓷、水泥、玻璃、耐火材料、混凝土、无机涂层、无机半导体、玻璃钢/复合材料、人工晶体及非金属矿等多个领域。报道磁性材料、纳米材料、生物材料等新型材料的研究、制备、性能、设计、应用、化学分析、性能测试方法及其相关设备等方面具有创造性、高水平的最新研究成果, 为促进国内外无机材料领域的学术交流搭建互动平台。

《硅酸盐通报》是中文核心期刊, 被美国化学文摘(CA)检索收录, 是《中国期刊网全文收录数据库》和《万方数据库》的收录期刊, 在国内外无机非金属材料行业具有重大影响。

2013 年起, 《硅酸盐通报》将改为月刊出版, 大 16 开, 每期约 20 万字, 定价 50 元/期, 全年 12 期共 600 元, 邮发代号 80-774。全国各地邮局均可订阅, 也可通过银行或邮局汇款向本刊编辑部订阅。欢迎广大从事和关注无机材料事业的科研、教学、设计、试验、生产和应用等方面的大专院校、科研院所、科研管理部门、相关公司、厂矿、各类图书馆、文献中心订阅。

### 1. 银行汇款:

收款单位: 北京中材人工晶体研究院有限公司

开户银行: 工行管庄支行

帐号: 0200006809006830924

### 2. 邮局汇款:

地址: 北京 733 信箱《硅酸盐通报》编辑部

邮编: 100018

电话: 010-65494890(杨小姐); 65492968

传真: 010-65493320

网址: www.jtxb.cn

E-mail: gsytb1982@126.com