

Исследование процессов обработки

УДК 621.623

**В. В. Рогов, Н. Д. Рублев, Т. Л. Кротенко,
А. В. Троян** (г. Киев)

Исследования интенсивности трибохимического контактного взаимодействия полировального состава и сапфира при его обработке

Представлены результаты исследования интенсивности трибохимического контактного взаимодействия сапфира ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) и полировального состава на основе коллоидного кремнезема SiO_2 , имеющего место при полировании прецизионных деталей электронной техники и оптических систем. Установлено, что основным фактором, интенсифицирующим это взаимодействие, является ускорение химической реакции между Al_2O_3 и SiO_2 при увеличении температуры в зоне контакта, экспериментально подтверждающее химическую природу процесса трибохимического полирования и позволяющее значительно снизить его трудоемкость.

Ключевые слова: трибохимия, полирование, сапфир, кремнезем.

О гипотетическом химическом взаимодействии между оксидами Al_2O_3 и SiO_2 и использовании его при полировании деталей электронной техники и оптических систем из сапфира (монокорунда) водной суспензией на основе коллоидного кремнезема SiO_2 (с прохождением этого процесса по уравнению $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{SiO}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$) известно из ряда информационных источников [1—5]. Однако в этих материалах подтверждения химической природы рассматриваемого процесса нет. В то же время он обеспечивает высокое качество поверхности, хотя и является трудоемким. Проведенные в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины исследования [6, 7] взаимодействия Al_2O_3 с SiO_2 с использованием методов термодинамического, спектрального, рентгено-флуоресцентного анализа, а также ИК спектроскопии и метода многократного нарушенного полного внутреннего отражения реальных доказательств существования взаимодействия не дали, но показали его возможность. Единственным экспериментальным доказательством является убыль массы обрабатываемого сапфира при трибохимическом полировании его суспензией на основе коллоидного кремнезема SiO_2 [8]. Углублению исследований в этом направлении, выявле-

нию факторов, влияющих на интенсивность указанного процесса, и возможности повышения производительности полирования посвящена данная работа. В качестве таких факторов использовали:

— температуру полировальной водной суспензии на основе коллоидного кремнезема SiO_2 с температурным градиентом согласно правилу Вант-Гоффа [9], по которому после каждого повышения температуры на 10°C скорость химической реакции увеличивается в 2—4 раза;

— номинальное давление p_a прижима обрабатываемого образца сапфира к полировальнику;

— концентрацию коллоидного кремнезема SiO_2 в водной суспензии полировального состава.

Для выполнения исследований на базе инструментального узла шлифовально-полировального станка мод. 6ШП-100М был смонтирован лабораторный стенд, схема которого приведена на рис. 1.

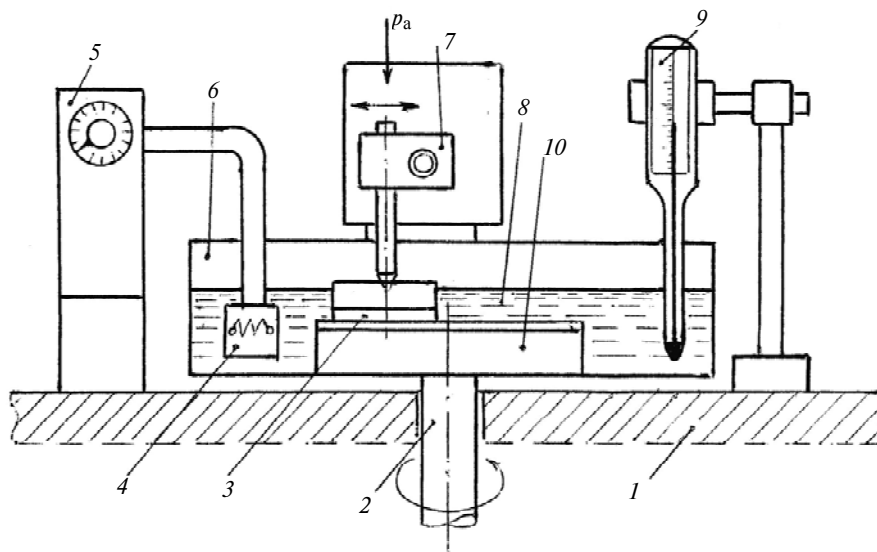


Рис. 1. Схема лабораторного стенда на базе станка 6ШП-100М для исследования процесса трибохимического полирования сапфира ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$): станина станка (1), инструментальный шпиндель станка (2), обрабатываемый образец сапфира (0001) Ø 50 мм (3); электронагреватель (4), регулятор напряжения (5), емкость для полировального состава (суспензии) (6), поводок станка 6ШП-100М для осуществления осциллирующих движений (7), полировальный состав (8), термометр (9), полировальный инструмент (10) с подложкой из замши марки 6Ж.

Работа указанного устройства происходила при частоте вращения полировального инструмента $n_{\text{и}} = 100$ об/мин, числе двойных осциллирующих движений поводка $n_{\text{дв. ход/мин}} = 50$, давлениях прижима обрабатываемого образца сапфира $p_a = 0,02$ и $0,034$ МПа, температурах полировального состава, возрастающих последовательно ($20, 30, 40, 50^\circ\text{C}$) в зоне обработки, регулируемых электронагревателем с помощью регулятора напряжения и контролируемых термометром. Обрабатываемый образец и полировальный инструмент в процессе полирования постоянно находились в среде полировальной суспензии. Поверхность исходного образца сапфира с шероховатостью по $Ra \approx 0,002$ мкм предварительно обрабатывали по плоскости на операциях грубого, тонкого, доводочного шлифования и алмазного полирования по технологии ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. После трибохимического

полирования в течение 300 мин образец тщательно промывали, высушивали и с помощью аналитических весов АДВ-200 II класса фиксировали убыль его массы в миллиграммах. Результаты исследования представлены в таблице.

Влияние различных факторов на интенсивность взаимодействия Al_2O_3 с SiO_2 при трибохимическом полировании сапфира

Факторы влияния	Интенсивность убыли массы сапфира J , мг/ч			
	20	30	40	50
Температура в зоне обработки, °С	20	30	40	50
Номинальное давление p_a , МПа	0,02	2,76	3,28	3,84
	0,03	2,00	3,40	3,92
Концентрация C , %, коллоидного кремнезема в водной суспензии	11	2,76	3,28	3,84
	16	2,10	1,92	2,88

Из данных таблицы следует, что последовательное повышение температуры от 20 до 50 °С (при $p_a = 0,02$ МПа) увеличивает интенсивность J убыли массы соответственно в 1,19, 1,17, 1,15 раза, т. е. менее чем в два раза, и, таким образом, не согласуется с правилом Вант-Гоффа. Видимо, энергия E_a активации реакции Al_2O_3 с SiO_2 мала [10] и ее скорость слабо зависит от температуры в исследованном интервале. Повышение номинального давления p_a до 0,03 МПа не увеличивает J . Увеличение концентрации коллоидного кремнезема SiO_2 в составе полировальной суспензии, так же как и давления, не увеличило интенсивность реакции взаимодействия Al_2O_3 и SiO_2 . Указанное, прежде всего, является подтверждением того, что главным фактором интенсивности убыли массы (съема материала) сапфира при данном виде полирования является скорость химического взаимодействия Al_2O_3 с SiO_2 . Это подтверждается также результатами поэлементного анализа (“CamScan-4DV”) образующейся на поверхности образца сапфира после трибохимического полирования пленки (налета) из продуктов реакции (предположительно каолинита — $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$), содержащих элементы Al и Si. В целом же увеличение температуры в зоне полирования до 50 °С увеличивает интенсивность съема материала при полировании в 1,6 раза. При этом средние значения параметров шероховатости полированной поверхности, измеренные на атомно-силовом микроскопе “Nanoscop-IIIa”, составили $\bar{R}_a = 0,14$ нм, $\bar{R}_q = 0,25$ нм, $\bar{R}_{\max} = 9,42$ нм (рис. 2).

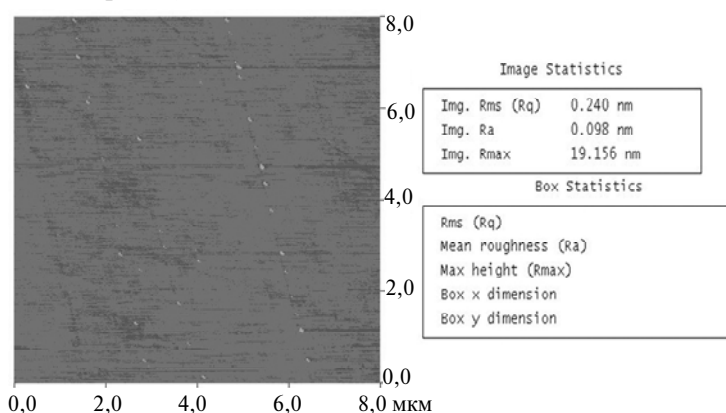


Рис. 2. Фрагмент сканирования поверхности образца сапфира после трибохимического полирования; $\times 10000$.

Таким образом, результаты выполненных исследований подтвердили химическую природу взаимодействия $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с коллоидным кремнеземом SiO_2 в процессе трибохимического полирования деталей из сапфира. Основным фактором, интенсифицирующим процесс снятия материала при полировании, является увеличение скорости реакции между Al_2O_3 и SiO_2 при увеличении температуры в зоне обработки за счет подогрева полирующего состава в интервале температур 20—50 °С. Это позволяет значительно повысить производительность процесса и снизить его трудоемкость.

1. *Новый способ полировки поверхности кристаллов.* — Densoken Nyusu (News in Electro-technical Lab.). — 1973. — **230**. — P. 5. (яп.).
2. *Yasunaga N., Imanaka O.* Polishing hart crystals with soft powder // Technocrat. — 1975. — **8**, N 9. — P. 15—21.
3. *Gütsche H. W., Moody J. W.* Polishing of sapphire witch colloidal silica // I. Electrochem. Soc. Solid State Sci. Technol. — 1978. — **125**, N 1. — P. 136—138.
4. *ОСТ 11.054.267—80.* Изделия электронной техники. Пластины из лейкосапфира. Технологические процессы.
5. *Айлер Р.* Химия кремнезема: В 2 ч. / Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — Ч. 1. — 416 с.; Ч. 2. — 712 с.
6. *Исследование закономерностей процессов диспергирования и формирования оптических поверхностей деталей из синтетического монокорунда ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) при их финишной обработке: (Отчет) / ИСМ НАН Украины.* — № ГР 0100U004915. — Киев, 2002. — 108 с.
7. *Разработка и оптимизация технологии финишной прецизионной обработки оптических деталей и элементов нанoeлектроники из монокорунда ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$): (Отчет) / ИСМ НАН Украины.* — № ГР 0103U006666. — Киев, 2005. — 108 с.
8. *Рогов В. В., Рублев М. Д., Троян А. В. и др.* Развитие технологии финишной, прецизионной обработки функциональных поверхностей оптических и электронных деталей из синтетического монокорунда // Сверхтв. материалы. — 2002. — № 5. — С. 83—87.
9. *Практикум по физической химии / Под ред. В. В. Буданова, Н. К. Воробьева.* — М.: Химия, 1986. — 382 с.
10. *Леенсон И.* Вант-Гоффа правило. — <http://www.krugosvet.ru/articles/115/1011506/1011506a1.htm>

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 22.02.08