

дов / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. – Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. – С.129 – 134. 4. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

УДК 621.923.75

Романюк С.И.

## ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДЫ ДЛЯ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Химико-механическое полирование (ХМП, или chemical-mechanical polishing, CMP) является одной из отделочных операций, обеспечивающих высокую плоскостность и практически идеальную зеркальную поверхность. ХМП в последнее время широко применяется в производстве подложек интегральных микросхем. Однако область применения этого метода обработки может быть значительно шире благодаря универсальности, эффективности и прежде всего простоте реализации.

ХМП представляет из себя метод обработки, при котором используются абразиво-содержащие химически активные суспензии, наносимые на специальные полировальники. Схема обработки выглядит следующим образом (рис.1).

На вращающемся рабочем столе крепится полировальник. На его рабочую поверхность в процессе обработки подается суспензия таким образом, чтобы на поверхности инструмента стабильно сохранялся слой суспензии. Обрабатываемая деталь крепится на

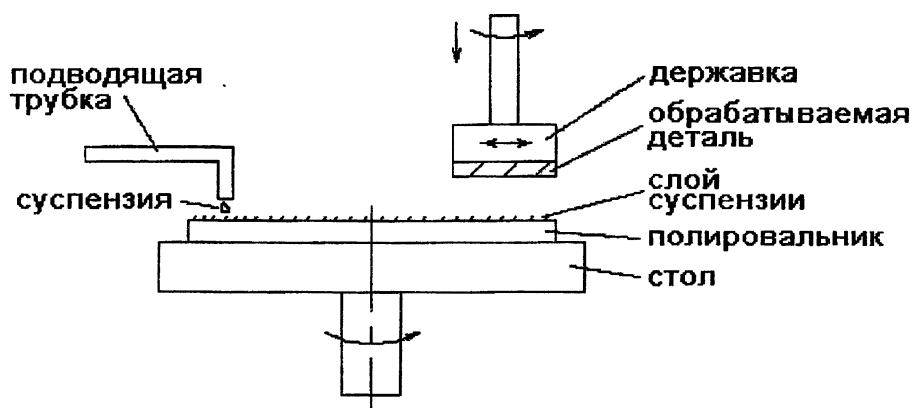


Рис.1. Схема ХМП

вращающейся державке и приводится в соприкосновение с полировальником, обеспечением некоторого усилия прижима. Кроме вращения державка совершает перемещения вдоль поверхности полировальника [1]. Полирующий эффект возникает при совместном действии трех факторов: относительного дви-

жения обрабатываемой поверхности и полировальника, механического воздействия абразивных частиц и химических реакций в процессе обработки.

Универсальность и эффективность ХМП базируется на локализации воздействия механических и химических факторов в наномасштабной приповерхностной области обрабатываемой поверхности. При этом с толщинами удаляемых слоев соизмеримы размеры твёрдых частиц суспензии, величина шероховатости рельефа, а также размеры продуктов износа [2].

Процесс ХМП зависит от многих факторов, среди которых суспензия и полировальник являются наиболее существенными.

Суспензия представляет из себя взвесь абразивных частиц в водном растворе щелочи или кислоты. Качество обработанной поверхности в наибольшей степени зависит от размеров частиц. Аномально большие частицы, даже в чрезвычайно малой концентрации, оставляют царапины и другие механические дефекты. Поэтому средний диаметр частиц в суспензии для полирования, например, подложек интегральных микросхем не должен превышать 0,13 мкм [3, 4]. Частицы с размером 1 и более микрон уже приводят к появлению недопустимых царапин.

Конкретный состав суспензии зависит от вида обрабатываемого материала. Например, при полировании кремния или оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) суспензия представляет из себя взвесь абразивных частиц кварца или оксида церия ( $\text{CeO}_2$ ) в водном растворе щелочи (например,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ) [5]. При полировании металлических пленок используется взвесь абразивных частиц в кислотном растворе. Ионы гидроксида (в первом случае) или ионы водорода (во втором), вступая в реакцию с обрабатываемым материалом, ускоряют процесс полирования.

Авторами работы [5] доказано, что в качестве активного химического компонента вместо щелочи или кислоты можно использовать ионизированную воду. Положительно ионизированная вода содержит ионы водорода, а отрицательно ионизированная вода – ионы гидроксида. Ионы участвуют в окислительно-восстановительной реакции с обрабатываемой поверхностью, в результате которой происходит ее растворение. Применение ионизированной воды позволяет избежать появления загрязнения на обработанной поверхности, источником которого являются металлы, образующиеся в результате окислительно-восстановительной реакции со щелочами или кислотами. С другой стороны применение ионизированной воды позволяет легко регулировать кислотно-щелочной баланс суспензии в зависимости от вида обрабатываемого материала (металл или неметалл). Дополнительное преимущество, которое дает применение ионизированной воды – это получение электрически стабилизированной поверхности после полирования.

Одним из важных аспектов достижения высокого качества обработки является полировальник. Он изготавливается из войлока, различных типов полиуретановых пластиков или комбинированным на войлочной или полиэфирной

основе с полиуретановым покрытием [3, 4]. Полировальники для ХМП имеют форму тонкой круглой пластины толщиной около 1–1,5 мм и различного диаметра. Сообщается о применении полировальника в виде ленты длиной 2 м [6]. В этом случае процесс полирования реализуется без применения суспензии и по сути не является химико-механическим полированием. По функциональному назначению полировальники делятся на основные, непосредственно выполняющие процесс полирования, и опорные, несущие на себе основной полировальник.

Чтобы повысить однородность полирования за счет улучшения распределения суспензии по поверхности полировальника, их выполняют текстурированными. Характер текстурирования является, пожалуй, наиболее важным параметром полировальника. В этой области ведутся интенсивные разработки, выливающиеся в патентуемые решения.

Текстуры полировальников различаются по следующим признакам: 1) по масштабному фактору (макротекстура, микротекстура и нанотекстура); 2) по способу получения текстуры; 3) по преобладающей форме и направлению полостей.

К макротекстуре относится текстура, размеры которой (шаг, глубина, высота) различимы невооруженным глазом. Размеры макронеровностей составляют примерно 0,1–0,5 мм. Макротекстуру образуют различные канавки, выступы, углубления правильной геометрической формы, например, канавки – в виде прямых линий, окружностей, спиралей; углубления – в виде цилиндрических отверстий; выступы – в виде параллелепипедов, образованных прямыми канавками, и т.д. Характерные примеры макротекстуры приведены на рис.2 [7, 8]. Выступающая часть поверхности заштрихована, углубления показаны белым цветом.

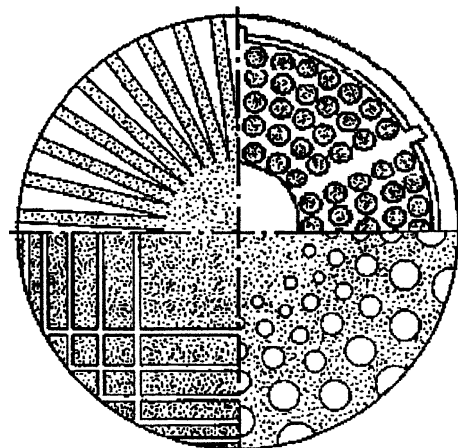


Рис.2. Примеры макротекстуры

Размеры элементов, формирующих микротекстуру, составляют приблизительно 0,01–0,1 мм. Микротекстура формируется на поверхности полировальника либо совместно с макротекстурой [9], либо самостоятельно [10]. Она может быть регулярной (правильной формы и расположения) и нерегулярной. Примеры нерегулярной текстуры приведены на рис. 3 [10]. Здесь же указаны торговые наименования некоторых полировальников, выпускаемых в США.

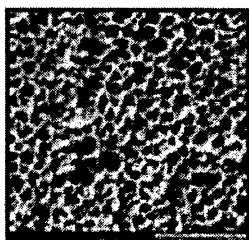
Полировальники семейства Politex с торговым названием Politex Prima и Politex Supreme состоят из пористого полимерного покрытия, нанесенного на войлочное основание. Покрытие состоит из вертикально ориентированных пор большего размера, расположенных над слоем с порами меньшего размера. Основание может упруго сжиматься под действием усилий в процессе полирова-

ния и быстро восстанавливаться при снятии усилий. В пропитанном суспензией полировальнике сжимающееся-разжимающееся основание создает нагнетающее действие, выталкивающее суспензию на поверхность. Эти полировальники сохраняют оптимальную стойкость и обеспечивают высокую скорость полирования в широком диапазоне температуры обработки. Их пористая структура хорошо подходит для окончательного полирования кремния, стекла, металлов (в частности, лучше всего вольфрама и меди).

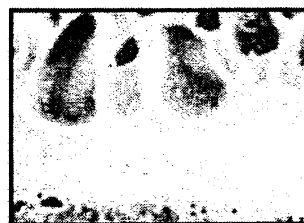
Полировальники Suba имеют основу в виде полиэфирного войлока, пропитанную полиуретаном. Они имеют открытую пористую структуру с ярко выраженным нерегулярным характером. Расположение пор случайное, обусловленное хаотичной природой уплотнения полиэфирных волокон. Используются для предварительного полирования широкой гаммы материалов: полупроводниковых пластин, стекла, керамики, металлов, пластмасс.



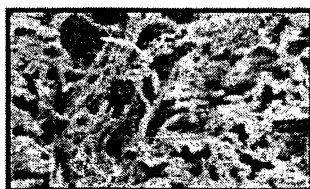
**Politex™ Prima**  
(поперечное сечение)



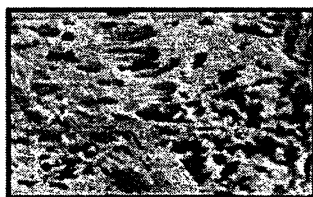
**Politex™ Prima**  
(вид сверху)



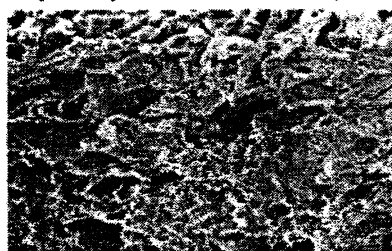
**Politex™ Supreme**  
(поперечное сечение)



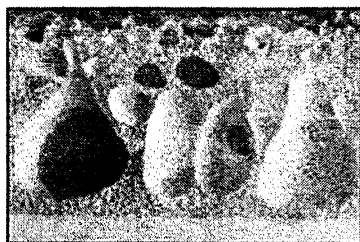
**Suba™ 500**  
(вид сверху)



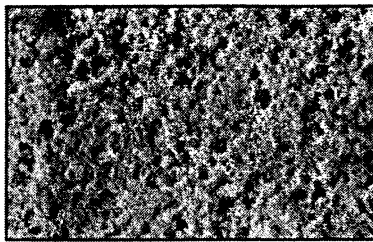
**Suba™ 1200 и 1250**  
(вид сверху)



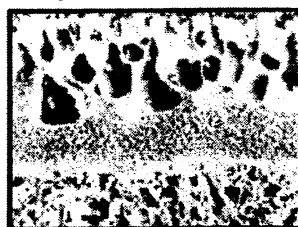
**TWI 511**  
(вид сверху)



**SPM3100**  
(поперечное сечение)



**SPM3100**  
(вид сверху)



**DPC6350**  
(поперечное сечение)

Полировальник SPM3100 имеют патентованное пористое покрытие, выращенное непосредственно на подложке в виде майларовой (полиэтилентерефталатной) пленки. Как отмечается, благодаря уникальной пористой структуре полировальники отличаются стабильностью физико-механических свойств. Они рекомендуются для окончательного полирования, когда предъявляются высокие требования к отсутствию микроцарапин, матовости и световых точечных дефектов.

Полировальник DPC6350 имеет комбинированное строение, включающее пористый материал, нанесенный на пропитанную уретаном подложку. Их микроструктура в виде вертикально ориентированных пор сходна с микроструктурой полировальников Politex, но основание менее сжимаемое и более тонкое. Рекомендуются для окончательного полирования.

Полировальник TWI511 (Thomas West, Incorporated) представляет из себя спутанные полиэфирные волокна, покрытые полиуретаном. Текстура в виде вытянутых в произвольном направлении пор.

Для обеспечения получения высокоточной плоскостности предлагается использовать полировальник, выполненный из вспененного полиуретана [1]. Такой полировальник обладает твердостью, превосходящей твердость традиционных полировальников, выполненных на тканевой основе. Это обстоятельство обуславливает его применимость для полирования изделий со вставками из более мягкого материала. Разная степень обрабатываемости материалов приводит к существенному отклонению от плоскостности. Более мягкие полировальники "копируют" форму поверхности и не устраняют неплоскостность. При полировании более твердым полировальником из вспененного полиуретана сохраняется стабильной плоскостность самого полировальника и этим достигается выравнивание условий полирования на различных участках обрабатываемой поверхности (рис.3).

Таблица. Характеристики полировальников

	Толщина, мм	Твердость (Shore A)	Сжимаемость, %	Упругость, %
Politex	1,4–1,5	–	–	–
SPM3100	0,7	–	–	–
DPC63500	1,025	–	5	–
TWI511	1,1	51–57	2,2	75
TWI711	1,25	52	1,8	85
Suba1200	–	84	6	–
Suba500	–	74	8	–
SubaIV	–	67	17	–

**Примечание:** "–" – данные отсутствуют

В работе [4] предложено использовать полировальник, текстурированный таким образом, чтобы на его поверхности были образованы нанонеровности, размеры которых соизмеримы с размерами полирующих частиц в традиционных полирующих суспензиях (~0,1 мкм). Такой полировальник применяется в сочетании с реактивным жидким полирующим раствором свободным от абразивных частиц. Полирующее действие нанонеровностей объясняется следующим эффектом. Контакт нанонеровностей полировальника и полируемой поверхности приводит к локальному (только

вблизи нанонеровности) увеличению давления на полируемую поверхность и соответствующему локальному увеличению температуры раствора. При увеличении температуры раствора локально усиливается его химическая активность. Это в свою очередь обеспечивает избирательное локальное удаление полируемого материала в ближайшей окрестности контакта нанонеровности и полируемой поверхности. При совокупности таких наноконтактов и обеспечивается полирующее действие.

Одним из возможных вариантов полировальника с нанонеровностями является полировальник, изготовленный из полимерного листа, содержащего твердые частицы в качестве наполнителя [4].

Полировальники характеризуются рядом физико-механических параметров, оказывающих влияние на процесс ХМП и срок службы полировальника. К таким параметрам относятся твердость, плотность, сжимаемость, упругость. В таблице приведены значения некоторых параметров полировальников, выпускаемых фирмами США.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kubo, Akira. Chemical mechanical polishing method suitable for highly accurate planarization // United States Patent 6132292. – October 17, 2000.
2. Артемов А.С. Химико-механическое полирование – универсальная технология получения совершенной поверхности кристаллов // XI Национальная конференция по росту кристаллов. Тезисы докладов, 13-17 декабря 2004 г., Москва [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://ns.crys.ras.ru/nccg/REPORTS/aas1\\_1.html](http://ns.crys.ras.ru/nccg/REPORTS/aas1_1.html).
3. Cook; Lee M.; Roberts et al. Polishing pads and methods for their use // United States Patent 5489233. – February 6, 1996.
4. Cook, Lee Melbourne, James et al. Apparatus and methods for recirculating chemical-mechanical polishing of semiconductor wafers // United States Patent 5932486. – August 3, 1999.
5. Shimomura, Mariko, Miyashita et al. Chemical-mechanical polishing (CMP) method for controlling polishing rate using ionized water, and CMP apparatus // United States Patent 5922620. – July 13, 1999.
6. Rohm and Haas electronic materials. CMP technologies. 3M Slurry-Free CMP [Electronic resource]. – 2005. – Mode of access: <http://electronicmaterials.rohmhaas.com/products/brochures/3M%20Slurry-Free%20CMP.pdf>.
7. Tuttle, Mark E. Polishing pad // United States Patent 5177908. – January 12, 1993.
8. Wiand, Ronald C. Injection molded abrasive pad // United States Patent 5209760. – May 11, 1993.
9. Breivogel, Joseph R., Blanchard et al. Polishing pad conditioning apparatus for wafer planarization process // United States Patent 5216843. – June 8, 1993.
10. Rohm and Haas electronic materials. Solutions and processes to the electronic and optoelectronic industries [Electronic resource]. – 2005. – Mode of access: <http://electronicmaterials.rohmhaas.com/>.