

УДК 621.3.049.77.002.5-187.4

І.Р. Завербний¹, Г.Д. Кузьо², І.І. Чегіль³, Г.В. Гринь², Г.Ф. Лаушник²

¹НВП “Карат”

²ТзОВ “Пролог Семікор”

³НТЦ “Мікроелектроніка”

ОСОБЛИВОСТІ ДВОСТОРОННЬОГО ХІМІКО-МЕХАНІЧНОГО ПОЛІРУВАННЯ (ХМП) ПЛАСТИН КРЕМНІЮ

© Завербний І.Р., Кузьо Г.Д., Чегіль І.І., Гринь Г.В., Лаушник Г.Ф., 2001

I.R. Zaverbny, G.D. Kuzio, G.V. Gryn, I.I. Chegil, G.F. Laushnik

ASPECTS OF TWO SIDE CHEMICAL-MECANICAL POLISHING (CMP) FOR SILICON PLATES

© Zaverbny I.R., Kuzio G.D., Gryn G.V., Chegil I.I., Laushnik G.F., 2001

У роботі наведені результати експериментальних досліджень впливу факторів технологічного процесу двостороннього ХМП пластин кремнію орієнтації (111) і (100) n і p-типу на якість поверхні. Показано, що режимом глибокого окислення та пониженого тиску декорується дефектна структура пластин.

Some results of experimental investigation how quality of silicon plates of n and p-type with (111) and (100) orientation depends from CMP technology parameters. It was demonstrated that the deep oxydation and low pressure region decorates the defect structure of the plates.

Вступ. У зв'язку з підвищенням ступеня інтеграції ІС, до пластин кремнію постійно підвищуються вимоги щодо якості поверхні (шорсткості) і до точності макрогеометричних параметрів (паралельності, площинності, прогину), які суттєво впливають на параметри напівпровідникових приладів. Вимоги до якості пластин, а також методів їх контролю сформульовані у міжнародному стандарті SEMI, який є основним регулюючим документом як для виробників, так і для споживачів пластин кремнію.

ХМП є завершальною стадією обробки пластин, на якій формується структура поверхні і геометричні характеристики. У процесі ХМП відбувається окислення пластин іонами гідроксилу (ОН)⁻ і механічного споліровання утвореного окислу за допомогою абразиву, що входить до складу суспензії – алюмосилікату, або дрібнодисперсного SiO₂ [1]. Дефектність пластини, яка виникає під час полірування залежить від товщини окисної плівки – при її малій товщині поверхня буде мати пошкодження у вигляді подряпин, рисок, що зумовлені силовою дією абразивних частинок. З підвищенням товщини окисної плівки, що свідчить про підвищення активності полірувального середовища, спостерігається підвищена шорсткість поверхні пластин у вигляді матовості та макрорельєфу (хвилястості, розтравлених дефектів структури) [2].

Як відомо [3], чим менша зернистість полірувальної суспензії і менше навантаження, тим більше проявляється анізотропія матеріалу, що обробляється. Анізотропія монокристалів кремнію залежить від орієнтації, типу провідності, легуючих домішок, дефектності кристала силових характеристик обробки і температури обробки.

У процесі двостороннього ХМП пластин кремнію марок КДБ10 (100), КДБ12 (100), КДБ10 (111), КДБ4 (111), КЕФ 4,5 (100), КЕМ 0,003 (111) нами виявлені скриті дефекти пакування, включення іншої фази, дефекти обробки, котрі декорувались над поверхнею у вигляді виступів сферичної форми (А-кластерів). У роботі [3]. виступи на поверхні пластин пояснюються аномально більшою мікротвердістю включень SiO_2 або SiC , а автори [4] пояснюють підвищення мікротвердості в окремих точках наведеним електромеханічним ефектом, котрий виникає в процесі ХМП. Електричне поле може викликати рух заряджених дислокацій і тим самим полегшити пластичну деформацію, що і призведе до підвищення мікротвердості. Частинки абразивного SiO_2 , які входять у склад суспензії, мають негативний заряд, підсилюють вплив ефекту зниження поверхневої мікротвердості за рахунок росту анодного струму розчинення. У роботі [5] запропонована методика декорування скритих дефектів за допомогою високотемпературного окислення при $t=1100$ °С, травлення анодного шару з подальшим селективним травленням.

Метою цієї роботи є дослідження механізму декорування дефектів на пластинах Si в умовах двостороннього ХМП.

Методика експерименту

Підготовка пластин. Виготовлення пластин проводили на обладнанні і згідно з технологією, яка застосовується в промисловому виробництві пластин кремнію. Для досліджень були використані кристали, вирощені за методом Чохральського марок КДБ10 (100), КДБ12 (100), КДБ10 (111), КДБ4 (111), КЕФ 4,5 (100), КЕМ 0,003 (111), котрі попередньо пройшли контроль на наявність свірл-дефектів згідно з методикою [6]. З метою мінімального порушеного шару різання кристалів проводили вздовж напрямків, які виявлені найбільш оптимальними. Різали на верстатах TS-23 пилою з внутрішньою різальною кромкою з зернистістю алмазного шару 60 – 40 мкм, клин при цьому не перевищував 10 мкм. Шліфували пластини на верстатах SPEED FAM, котрі забезпечують високу геометричну точність пластин – відхилення товщини не більше 3 – 5 мкм. Як абразив, використовували порошок Al_2O_3 PWA-15 з зернистістю основної фракції 10 – 12 мкм в суспензії. На відміну від порошків M10, M14, котрі традиційно використовують при шліфуванні, порошок PWA-15 – це сукупність плоских частинок з гострими краями, що дає можливість шліфувати при тисках до 300 г/см^2 . Товщина зішліфованого шару становила 60 мкм. Для зняття порушеного шару 30 мкм використовували травлення у 40 % розчині NaOH при $t=120$ °С.

Хіміко-механічне полірування. Традиційно ХМП проводиться згідно з технологією, коли пластину неробочою стороною клеять до полірувальних головок за допомогою клеїв на основі каніфолі при $t=120$ °С. ХМП проводиться у дві стадії: Перше полірування на синтетичній шкірі з об'ємною густиною $0,25 \text{ г/см}^3$ в режимі глибокого окислення ($\text{pH}=10$ – 11 , $t=64$ °С) при використанні порошку алюмосилікату з ефективним діаметром частинок 200 нм і друге короточасне полірування на замші суспензією на основі SiO_2 з розміром частинок 10 – 40 нм при $\text{pH}=9,5$. Під час полірування на першій стадії формується макро- і мікрорельєф робочої поверхні. Основним недоліком цієї технології є те, що під час полірування синтетична шкіра постійно змінює свої властивості внаслідок спрацьовування і перенасичення суспензією, що своєю чергою призводить до появи на пластинах клину більше 15 мкм. Дослідження поверхні пластин на профілометрі ДЕКТAK-11 з радіусом голки ≈ 1 мкм, при роздільній здатності по вертикалі 2 нм показало, що при певному стані полірувальника може виникнути довгохвильова шорсткість з періодом від 200 до 400 мкм з

вертикальним відхиленням R_{\max} до 0,25 мкм (рис. 1 крива 1). При вимірюванні шорсткості на базовій довжині 80 мкм це може підвищити значення R_z від 6 ÷ 8 нм до 20 нм. Застосування двосторонньої ХМП дає можливість ліквідувати довгохвильову шорсткість і довести R_z до 6 ÷ 10 нм (рис. 1. крива 2).

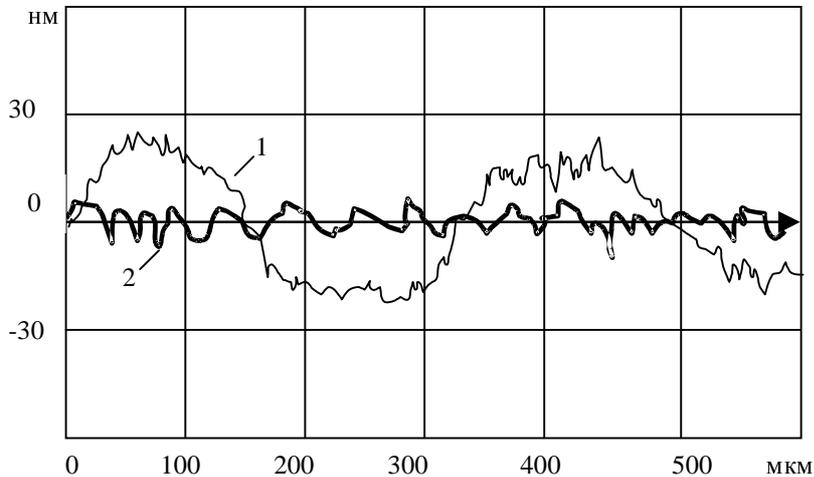


Рис. 1. Профілограми поверхонь пластин Si після ХМП:

- 1 – обробка на верстаті SILTEC 3800 (технологія приклеювання пластин);
2 – обробка на верстаті MDF-750 (SOMOS) (двостороння технологія)

Полірування проводили на верстаті MDF-750 (SOMOS), де пластини різних марок були поміщені у склотекстолітові сепаратори товщиною 400 мкм, робочий тиск був встановлений 1300 Н. При споліруванні 30 мкм протягом 40 хв. на обох сторонах пластин були виявлені виступи (А-кластери) округлої форми з різною густиною як по пластинах, так і по різних сторонах однієї пластини. На деяких пластинах виступи були сконцентровані в одному місці і повторювались на інших пластинах у тій же області. Поява дефектів такого роду є нетиповою для ХМП, як правило, дефекти обробки і структури кристала проявляються у вигляді ямок травлення. Для дослідження декорованих дефектів був використаний скануючий електронний мікроскоп IS1-DC-130С фірми АКАСНІ, профілометр ДЕКТАК-11 та хімічні методи контролю.

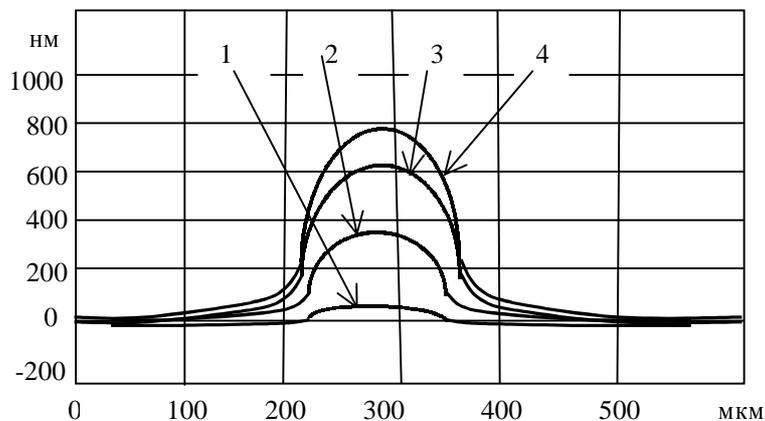


Рис. 2. Профілограми виступів декорованих дефектів:

- 1 – КЕМ 0,003 (111); 2 – КЕФ 4,5 (100), КДБ10 (111), КДБ4 (111) ;
3 – КДБ 10 (100); 4 – КДБ 12 (100)

Обговорення результатів. Оскільки в дослідженнях були використані кристали без свірл-дефектів, то під час ХМП могли декоруватись неконтрольовані дислокації, включення іншої фази та дислокації, що виникли внаслідок пластичної деформації при механічній обробці (на слідах різання і глибоких подряпинах).

Декоровані дефекти є виступами сферичної форми над поверхнею (рис. 2). Дані вимірювань наведені в таблиці.

Дані вимірювань

Марка кристала	Діаметр, мм	Величина зйому, мкм	Наявність дефектів	Висота, мкм	Ширина, мкм	Метод досліджень
КДБ 10 (100)	100	40 60	+ поодинокі	3 ÷ 6	500 – 600	Профілограф РЕМ
КДБ 10 (111)	100	40 60	+ поодинокі	2 ÷ 3	400 – 500	Профілограф РЕМ (рис. 3, а)
КДБ 10 (100)	76	40 60	+ поодинокі	3 ÷ 4	500 – 600	Профілограф РЕМ
КДБ 4 (111)	100	40 60	+ поодинокі	2 ÷ 3	300 – 400	Профілограф РЕМ
КЕФ 4,5 (100)	100	40 60	окремими зонами	2 ÷ 3	200 – 300	Профілограф, (рис. 3, в)
КЕМ 0,003 (111)	100	40 55	+ на подряпині	0,25 ÷ 1	150	Профілограф (рис. 3, б)
КДБ 12 (100)	100	30 60	+ поодинокі	4 ÷ 7	700 – 1000	Профілограф РЕМ

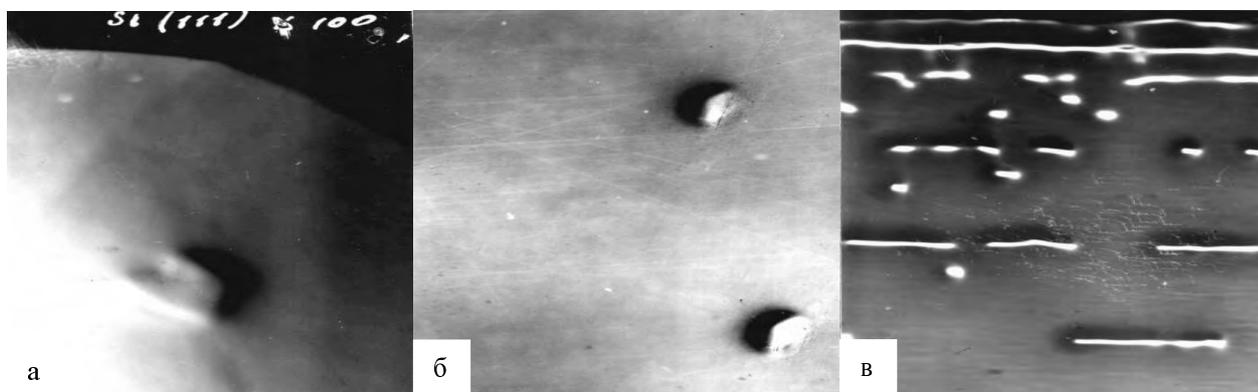


Рис. 3. Зображення декорованих дефектів на пластинах кремнію:
а – включення SiC; б – декоровані внутрішні дислокації;
в – декоровані дислокації пластичної деформації

Пластина КДБ10 (111) з характерним дефектом (рис. 3, а) була досліджена на рентгівському скануючому мікроскопі АКАСНІ з розміром зонду 0,8 мкм, де було встановлено, що в місці дефекту крива рентгівського відбиття від кремнію має характерний спад, що свідчить про наявність в структурі іншого елемента – підрахунки кількості імпульсів показали наявність SiC. Травлення пластини в HF показало відсутність в дефекті оксиду кремнію SiO₂ – характер і розміри виступів після травлення не змінились. Зменшення густини декорованих дефектів з величиною знятого шару свідчить про те, що основна їх кількість внесена пластичною деформацією. Для з'ясування впливу пластичної деформації на ХМП була використана пластина, на котрій була зроблена подряпина шириною ≈ 20 мкм. Після сполірування 55 – 60 мкм (з обох сторін) на місці подряпини були виявленні виступи, розташу-

вання котрих повторювало подряпину. На іншій пластині (рис. 3, б) проявились сліди різання в місці виходу пили з кристала. Якщо врахувати, що товщина знятого шару після різання з однієї сторони досягала ≈ 60 мкм, є підстави вважати, що в процесі двосторонньої ХМП декоруються дуже глибокі рівні пластичної деформації.

Наявність на пластинах КЕФ 4,5 (100) дефектів, що повторювались (по місцю розташування) свідчить про їх ростовий характер (рис. 3, в).

Загальною умовою декорування дефектів при проведенні ХМП є їх підвищена мікротвердість. Різниця висоти декорованих дефектів може бути зумовлена анізотропією мікротвердості з орієнтації, типу і вмісту легуючих домішок, адже відомо, що глибина порушеного шару для кремнію $h_{(100)} > h_{(111)} > h_{(110)}$, напрям росту $\langle 100 \rangle$ є менш дислокаційним, ніж $\langle 111 \rangle$.

Отримані результати знаходять пояснення при розгляданні їх з точки зору наведеного електромеханічного ефекту – коли під дією електричного поля, котрий виникає у пластині в процесі полірування, відбувається рух заряджених дислокацій з послідуною пластичною деформацією і підвищенням мікротвердості у місці виходу дислокацій на поверхню (А-кластерів). Дослідження показали наявність різниці потенціалів ($50 \div 100$ мВ) між верхнім та нижнім полірувальником, котра мінчалась залежно від типу пластин, що оброблялись. При односторонньому поліруванні дислокації, точкові дефекти, дефекти пакування гетерують до зворотної сторони пластини, котра є шліфовано-травлена і має розвинуту поверхню з $R_a = 0,4 - 0,8$ мкм. При двосторонньому поліруванні роль такого гетера може виконати тільки периферійна зона пластини, котра є напружена. Саме цим і можна пояснити підвищену густину дефектів на краю пластини. Обробка пластин кремнію “сендвіч-методом”, коли пластини перед ХМП приклеюються одна до одної і поліруються в тих же режимах, що і при двосторонньому поліруванні, не декорує дефектів – це підтверджує роль зворотної сторони, як гетера.

Висновки. В процесі двостороннього ХМП в режимі глибокого окислення та пониженого тиску декорується дефектна структура пластин, зумовлена дислокаціями, дефектами пакування, включеннями іншої фази (SiO_2 або SiC) і дефектами механічної обробки. Декорування дефектів викликано наведеним електромеханічним ефектом, котрий спричиняє рух заряджених дислокацій, що полегшує пластичну деформацію і веде до підвищення мікротвердості в окремих точках. Декорування дефектів не залежить від типу провідності і від орієнтації, а залежить тільки від товщини знятого шару – при збільшенні товщини знятого шару густина декорованих дефектів зменшується і при товщині > 60 мкм виявляються внутрішні дефекти і дуже глибокі рівні пластичної деформації. Висока активність робочих поверхонь створює умови для адсорбції хімічних і механічних домішок в процесі відмивання у перекисно-аміачних розчинах. Виготовлення пластин кремнію з двостороннім поліруванням супроводжується більшою дефектністю робочих поверхонь, оскільки вимагає більш високих вимог до умов проведення ХМП.

Автори висловлюють свою вдячність канд. техн. наук Круковському С.І. за допомогу в обговоренні результатів досліджень.

1. *Технология СБИС. Под ред. С. Зи, 1986.* 2. *Богданов Е.И., Гринь Г.В., Живов М.Д. // Электронная промышленность. 1989. 12. С. 37.* 3. *Карбань В.Н., Борзаков Ю.И. Обработка монокристаллов в микроэлектронике, М., 1988.* 4. *Кизилов В.Д. // П/п техника и микроэлектроника. 1976. 23. С. 46 – 49.* 5. *Кручинин А.У., Лесовая Ж.К., Рачкова С.В. // Электронная промышленность. 1974. 4. С. 74 – 76.* 6. *Завадская В.Ф., Марин К.Г., Хохлов А.И. // Электронная промышленность. 1990. 4. С. 36 – 38.* 7. *ГОСТ 19658 – 81. Кремний монокристаллический в слитках. Технические условия.*