

УДК 620.182.25+ 621.923.12

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ПОЛИРОВАЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ПРОЦЕСС ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ ПОДЛОЖЕК SiC

Корякин С. В.<sup>1</sup>, Михаленок Е. В.<sup>1</sup>, Дубовик И. Н.<sup>2</sup>, Гайко М. И.<sup>1</sup>, Серокурова А. И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Филиал «Камертон» ОАО «ИНТЕГРАЛ»  
Пинск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению»  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В работе рассмотрен вопрос влияния состава полировальной суспензии на ХМП поверхности пластин 4H-SiC. Показано, что использование сильных окислителей в составе коллоидной суспензии позволяют увеличить эффективность обработки и улучшения качество обработки поверхности пластин 4H-SiC.

**Ключевые слова:** пластины SiC, химико-механическое полирование, окисление поверхности.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE COMPOSITION OF THE POLISHING SUSPENSION ON THE PROCESS OF CHEMICAL-MECHANICAL POLISHING OF SiC WAFERS

Koriakin S.<sup>1</sup>, Mikhalenok E.<sup>1</sup>, Dubovik I.<sup>2</sup>, Gayko M.<sup>1</sup>, Serokurova A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Kamerton Branch of OJSC Integral  
Pinsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>State Scientific and Production Association "Scientific and Practical Center of the NAS of Belarus for Materials Science"  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The article considers the effect of the composition of the polishing suspension on the process of chemical-mechanical polishing of the surface of 4H-SiC wafers. It is shown that the use of strong oxidizing agents in the composition of a colloidal suspension can increase the processing efficiency and improve the surface treatment quality of 4H-SiC wafers.

**Keywords:** 4H-SiC wafers, chemical-mechanical polishing, surface oxidation.

Адрес для переписки: Корякин С. В., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь  
e-mail: nil28@mail.ru

В работе рассмотрен вопрос влияния состава полировальной суспензии на процесс химико-механического полирования (ХМП) поверхности пластин монокристаллического карбида кремния 4H-SiC, что позволяет увеличить эффективность обработки и способствует улучшению качества поверхности ХМП практически всегда используется в процессе финишной обработки поверхности полупроводниковых подложек с целью уменьшения шероховатости поверхности и минимизации дефектов в приповерхностном слое. Во время ХМП поверхность подвергается циклам химического окисления и механического удаления поверхностных слоев при взаимодействии между пластиной, полировальной суспензией и полировальником [1]. Учитывая высокую твердость и сильную химическую инертность 4H-SiC, ХМП пластин 4H-SiC сталкивается с проблемами длительного времени обработки, высокой стоимости и низкой технической гибкостью [2].

Известно, что качество финишной обработки поверхности пластин зависит от методов и способов обработки, используемых на предыдущих этапах. В данной работе предварительная и фи-

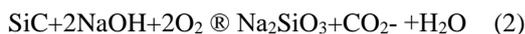
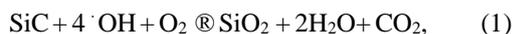
нишная полировки проводились на станках SpeedFam PW50Spaw-III «1500 SSP», СДП-100 и экспериментальном оборудовании для ХМП, разработанном на базе станка METAPOL 1000X, с использованием полировальных кругов Siegal и Hasonor EB (HS). Геометрические параметры пластины (клин, изгиб и толщина) измерялись индукционным методом с применением измерителя толщины, клина и прогиба 09ЭР-2,5-004. Параметр глубина нарушенного слоя  $h$  определяли по ступеньке на профилометре после полного удаления нарушенного слоя химическим травлением в щелочи. Параметр шероховатости  $R_a$  измерялся методом АСМ с использованием сканирующего зондового микроскоп NanoEducator NT-MDT с полем сканирования  $20 \times 20$  мкм.

Скорость удаления материала (СУМ) при полировании напрямую зависит от используемой суспензии, абразивного материала, применяемых полировальных кругов, режимов обработки. На этапе предварительной полировки (станок СДП-100, METAPOL 1000X), использовались суспензии на основе глицерина с применением алмазных порошков различной зернистостью (10/7, 5/3, 3/2,

1/0) в качестве абразива. Такой подход позволил быстро сформировать геометрию подложки, выйти на требуемую толщину пластины  $500 \pm 25$  мкм с средней СУМ 6–12 мкм/ч., минимизировать величину приповерхностного структурно-нарушенного слоя до 3–5 мкм и получить шероховатость Ra до 1–2 нм. Дальнейшее уменьшение размеров абразивного материала, использование водной суспензий с использованием ультрадисперсных детонационных наноалмазов размером 8–30 нм (УДА), не привели к заметному изменению морфологии поверхности и толщины пластин. Дальнейшая обработка пластин 4H-SiC требует использования химических реактивов.

Традиционные методы ХМП при производстве полупроводниковых пластин с использованием растворов суспензий на основе SiO<sub>2</sub> Nalco PS 2360, PS 2358, SD10040 (pH 10,5–12,0, щелочи в качестве окислителя, температуры суспензии 40–45 °C) не дали заметного результата в измерении морфологии поверхности пластин 4H-SiC. Добавление в суспензию алмазных порошков, порошков SiC (7/10) и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в качестве абразивного материала позволяют получить приемлемые для готовых пластин 4H-SiC параметры шероховатости, глубины нарушенного слоя и количество царапин на поверхности.

Предлагаемая в [2] модель ХМП основана на том, что окислитель в полировальной суспензии сначала окисляет 4H-SiC, образуя переходное состояние окисления Si-C-O на поверхности. Оксид имеет более низкую твердость, чем 4H-SiC, что гарантирует его удаление абразивами в суспензии посредством механического воздействия. На основе циклирования окисления и механического удаления реализуется планаризация пластины 4H-SiC. При реализации данной модели используются окислители такие как пероксид водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), перманганат калия (KMnO<sub>4</sub>) и катализатор FeO в реакции Фентона [2]. Основная химическая формула, описывающая процесс окисления поверхности пластин 4H-SiC выглядят следующим образом (1), где важную роль в эффективности процесса окисления играет концентрация гидроксидрадикалов (OH) формируемых в суспензии при химическом взаимодействии реагентов. Также возможно протекание реакции по формуле (2).



Нами проведены исследования и предложены суспензии, позволяющие увеличить эффективности процесса ХМП. Для окисления поверхности

4H-SiC были изготовлены коллоидные смеси, в которых реализована реакция Фентона с использованием CuO в качестве катализатора. Основой суспензий являлся водный раствор Nalco PS 2360 1:10. В качестве окислителя использовался водный раствор KMnO<sub>4</sub> с добавлением NaNO<sub>2</sub> (pH = 11–12). В качестве абразива использовались SiO<sub>2</sub>, алмазный порошок 3/2 и порошок Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Суспензии подавались на полировальник со скоростью 1 капл/с. По отдельному каналу подавалась H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> со скоростью 1 капл/с. Во всех вариантах ХМП скорость вращения полировального диска была равна 30 об/мин, скорость вращения диска с образцами 80 об/мин, давление на пластины – 0,5–0,8 кг/см<sup>2</sup>, вращение кругов в противоположных направлениях. Время процесса ХМП ~ 1,5 ч. Использование коллоидных суспензий, обогащенных окислителем, позволили достигнуть минимальные значения шероховатости (~ 0,5 нм) при скорости удаления материала 1–2 мкм/ч, возможно, являются предельными значениями для этих методов полирования.

Так же был реализован способ окисления поверхности пластин 4H-SiC облучением поверхности низкоэнергетическими пучками ионов кислорода с энергией ионов 400–600 эВ и плотностью тока пучка ионов до 0,5 мА/см<sup>2</sup>. Данный процесс был реализован на установке вакуумного напыления-облучения, оснащенный источником ионов кислорода самостоятельного двухкаскадного разряда с холодным полым катодом [3]. В процессе облучения на поверхности произошло сглаживание микровыступов, планаризация поверхности и формирование окисленного слоя толщиной десятки нанометров. Это позволило снизить время обработки до 30 мин при дальнейшей обработке пластин методом ХМП и получить шероховатость менее 1 нм.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет средств Научно-технической программы Союзного государства «Компонент Ф» и гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований T23PHФ-010.

#### Литература

1. Ивенин, С. В. Обработка пластин монокристаллического карбида кремния / С. В. Ивенин // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 4. – С. 37–50.
2. Chemical-Mechanical Polishing of 4H Silicon Carbide Wafers / Wantang Wang [et al.] // Adv. Mater. Interfaces. – 2023. – V. 10.
3. Stognij, A. I. A Wide-Aperture Source of Oxygen Ions with a Hollow Cold Cathode and Magnetic Multicast / A. I. Stognij, S. V. Koryakin // Instruments and Experimental Techniques. – 2000. – V. 43. – P. 783–786.