

УДК 620.182.25+ 621.923.12

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

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

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

²Филиал «Камертон» ОАО «ИНТЕГРАЛ»
Пинск, Республика Беларусь

³ГО «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.¹, Mikhalenok E.¹, Dubovik I.², Gayko M.¹, Serokurova A.³

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

²Kamerton Branch of OJSC Integral
Pinsk, Republic of Belarus

³State 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-

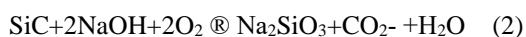
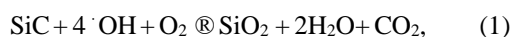
нишная полировки проводились на станках SpeedFam PW50Spaw-III «1500 SSP», СДП-100 и экспериментальном оборудовании для ХМП, разработанном на базе станка METAPOL 1000X, с использованием полировальных кругов Siegal и Hasonor EB (HS). Геометрические параметры пластины (клин, изгиб и толщина) измерялись 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 20×20 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 ± 25 мкм с средней СУМ $6\text{--}12$ мкм/ч., минимизировать величину приповерхностного структурно-нарушенного слоя до $3\text{--}5$ мкм и получить шероховатость Ra до $1\text{--}2$ нм. Дальнейшее уменьшение размеров абразивного материала, использование водной суспензий с использованием ультрадисперсных детонационных наноалмазов размером $8\text{--}30$ 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 SiO₂ Nalco PS 2360, PS 2358, SD10040 (pH 10,5–12,0, щелочи в качестве окислителя, температуры суспензии $40\text{--}45$ °C) не дали заметного результата в измерении морфологии поверхности пластин 4H-SiC. Добавление в суспензию алмазных порошков, порошков SiC (7/10) и Al₂O₃ 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 (H₂O₂), перманганат калия (KMnO₄) 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 KMnO₄ с добавлением NaNO₂ (pH = 11–12). В качестве абразива использовались SiO₂, алмазный порошок 3/2 и порошок Al₂O₃. Суспензии подавались на полировальник со скоростью 1 капл/с. По отдельному каналу подавалась H₂O₂ 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 – $0,5\text{--}0,8$ кг/см², 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 $1\text{--}2$ 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 $400\text{--}600$ эВ и плотностью тока пучка ионов до $0,5$ мА/см². 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 Т23РНФ-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.