

КИРДЯШКИН Н. Н., ИВЕНИН С. В.

**ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ПЛАСТИН КАРБИДА КРЕМНИЯ**

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния параметров шероховатости монокристаллических пластин карбида кремния на эффективность их очистки с помощью химической и мегазвуковой обработки. Показано, что эффективность очистки возрастает с увеличением качества полировки (с уменьшением значений параметров шероховатости).

Ключевые слова: карбид кремния, полировка, химическая очистка, мегазвуковая обработка, шероховатость, эффективность очистки.

KIRDYASHKIN N. N., IVENIN S. V.

**SURFACE ROUGHNESS EFFECTS ON CLEANING EFFICIENCY
OF SILICON CARBIDE WAFERS**

Annotation. The paper presents the study results of the effects of roughness parameters of single crystal silicon carbide wafers on the efficiency of their cleaning by chemical and megasonic processing. It is shown that the cleaning efficiency increases with the increasing of polishing quality, i.e. with the decreasing of roughness parameters.

Keywords: silicon carbide, polishing, chemical cleaning, megasonic processing, roughness, cleaning efficiency.

Очистка поверхности пластин карбида кремния перед проведением таких операций как эпитаксия, окисление, фотолитография заключается в удалении с поверхности остатков от предыдущего технологического процесса (шлифовка, полировка и т. д.). При этом следует различать грубую очистку от остатков абразивного монокристалла, тонкую и сверхтонкую очистку после химико-механической обработки.

При выборе технологического процесса очистки пластин карбида кремния следует исходить из требований по чистоте поверхностей, которые диктует та технологическая операция, на которую поступают пластины.

Чтобы правильно определить технологический процесс очистки пластин карбида кремния, необходимо знать какие загрязнения имеются на поверхности, как они могут повлиять на работу приборов, изготовленных на основе этих пластин, как можно удалить эти загрязнения с поверхности и какими методами можно проконтролировать чистоту поверхности пластин [1].

В общем случае процесс очистки пластин карбида кремния является комплексной и достаточно сложной процедурой, для реализации которой требуется соответствующий комплекс оборудования.

Методы очистки и контроля поверхности пластин. В настоящее время используются следующие методы очистки полупроводниковых пластин.

- Отмывка в растворителях, которую применяют для удаления с поверхности жиров растительного и животного происхождения и других органических и неорганических загрязнений. При отмывке в растворителях используют горячие и кипящие растворители и их пары.
- Отмывка в кислотах применяется для удаления с поверхности атомов и ионов металлов, а также оксидов, сульфатов, нитратов и других соединений, растворимых в них.
- Отмывка в щелочах используется для удаления жирных и некоторых других трудноудаляемых загрязнений (графит и полимерные пасты).

После отмывки в кислотах, щелочах или других растворителях на поверхности пластин остается некоторое количество загрязненного моющего раствора, который удаляют отмывкой в деионизированной воде в различных вариантах.

Вариант 1. Отмывка в многокаскадных ваннах, где пластины переносятся из одной ванны в другую в направлении, противоположном движению воды.

Вариант 2. Струйная промывка струей жидкости, направленной под давлением на очищенную поверхность.

Вариант 3. Гидромеханическая отмывка, которая обеспечивает удаление загрязнений с поверхности пластин проточной водой и мягкими вращающимися щетками и кистями.

Вариант 4. Отмывка в ультразвуковых ваннах значительно повышает эффективность обезжиривания, травления и очистки пластин в моющих растворах и воде.

Вариант 5. Мегазвуковая обработка значительно повышает эффективность очистки за счет того, что уменьшается граничная толщина акустического слоя до микрон и менее [2].

Для контроля качества очищенных пластин используются следующие группы методов.

1. Микроскопические методы анализа частиц на поверхности пластин, включая электронную и оптическую микроскопию [3].

2. Методы анализа органических загрязнений основанные на смачивании поверхности пластин жидкостями, включая методы погружения, пульверизации, конденсации воды [3].

3. Методы исследования рельефа поверхности пластины с помощью профилометра или сканирующего зондового микроскопа, например, атомного силового микроскопа, который исследует свойства поверхности на атомном уровне [4].

Эксперимент. В качестве объекта исследования влияния шероховатости на эффективность очистки были взяты 2 пластины 4H-SiC диаметром 76,26 мм, полированные с двух сторон. Исследовалась плоскость (0001). Предыстория пластин такова, что они после полировки длительное время хранились в негерметичной таре.

Эксперимент проводился в следующей последовательности:

- контроль качества поверхности пластин до финишной очистки;
- химическая обработка с использованием различных растворителей;
- отмывка в потоке деионизированной воды;
- контроль качества поверхности после химической обработки;
- мегазвуковая обработка в различных средах;
- контроль качества поверхности пластин.

Контроль качества поверхности осуществляется с помощью оптического микроскопа, путем визуального осмотра и подсчета количества загрязнений, а параметры шероховатости поверхности определялись на стилусном профилометре [5].

Подсчет количества загрязнений и измерение шероховатости на рабочей стороне образцов проводился на пяти участках по схеме, показанной на рисунке 1.

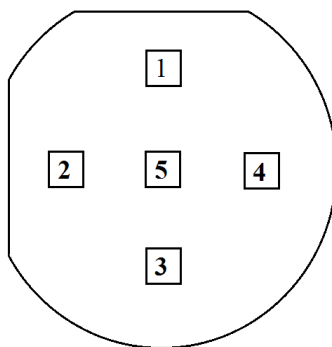


Рис 1. Схема расположения областей для подсчета количества загрязнений и измерения шероховатости.

Результаты контроля качества поверхности пластин до очистки по схеме рисунка 1 представлены на рисунках 2–4.

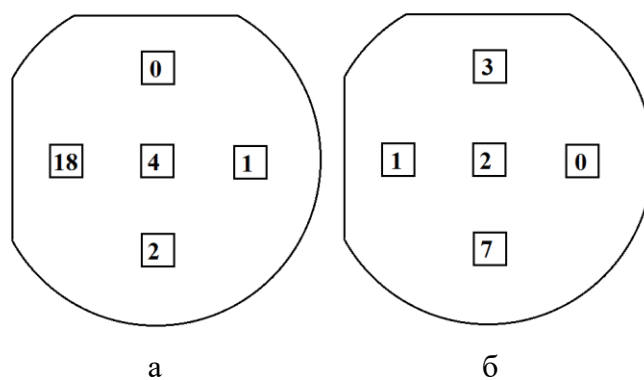


Рис. 2. Количество загрязнений пластин SiC до очистки (цифры – количество загрязнений в тестовых областях): а – первая пластина, б – вторая пластина.

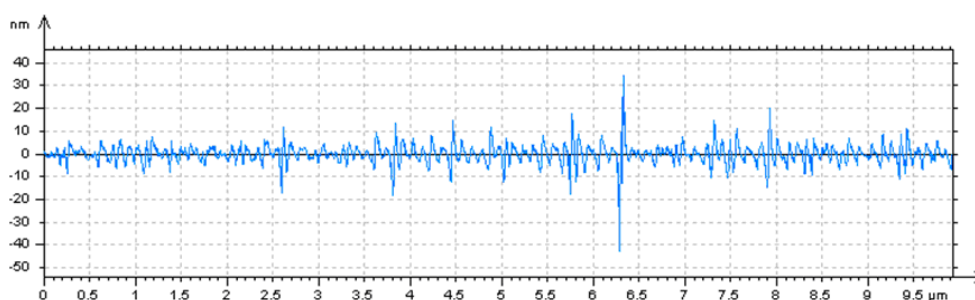


ISO 4287		
Amplitude parameters - Roux		
Rp	0.598	nm
Rv	0.568	nm
Rz	1.17	nm
Rc	0.475	nm
Rt	1.17	nm
Ra	0.0789	nm
Rq	0.124	nm
Rsk	-0.038	
Rku	6.75	
Material Ratio parameters - F		
Rmr	100	%
Rdc	0.121	nm

а

б

Рис 3. а – двумерный профиль первой пластины SiC до очистки, б – результаты измерения шероховатости в центре пластины.



ISO 4287		
Amplitude parameters - Roux		
Rp	30.9	nm
Rv	42.9	nm
Rz	73.8	nm
Rc	13.2	nm
Rt	73.8	nm
Ra	2.98	nm
Rq	4.42	nm
Rsk	-0.633	
Rku	15.5	
Material Ratio parameters - I		
Rmr	100	%
Rdc	5.30	nm

а

б

Рис 4. а – двумерный профиль второй пластины SiC до очистки, б – результаты измерения шероховатости в центре второй пластины.

Параметры шероховатости представлены в таблице 1 согласно [6]:

Ra – среднеарифметическое отклонение величины выступов и впадин;

Rq – среднеквадратичное отклонение профиля шероховатости от средней линии;

Rp – максимальная высота пика профиля;

Rv – максимальная глубина профиля.

Измерение шероховатости на периферийных областях первой и второй пластины дало результаты не сильно отличающиеся от измерений в центре пластин. Из полученных данных видно, что общее количество загрязнений на первой пластине почти в два раза больше, чем на второй (25 и 13). В то же время параметры шероховатости (Ra, Rq, Rp, Rv) на первой пластине существенно меньше (см. таблицу 1 и рис. 2).

Затем обе пластины были последовательно обработаны в перекисно-аммиачном и перекисно-соляном растворах (75 °С, 5 мин в каждом растворе). Далее они отмывались в потоке деионизированной воды. После сушки определялось количество загрязнений и шероховатость на пяти участках.

Таблица 1

Параметры шероховатости

Образец	Тестовые области	Ra, нм	Rq, нм	Rp, нм	Rv, нм
№1	1	0,10	0,15	0,62	0,52
	2	0,07	0,12	0,60	0,53
	3	0,08	0,11	0,58	0,57
	4	0,07	0,13	0,56	0,50
	5	0,08	0,12	0,59	0,56
№2	1	2,95	4,40	31,1	44,0
	2	3,24	4,10	29,9	40,9
	3	3,15	5,20	30,0	41,8
	4	3,3	4,50	30,5	42,7
	5	2,98	4,42	30,9	42,9

Заключительный этап обработки включал следующие процедуры.

- 1) Мегазвуковая очистка пульсирующей струей воды в течение 40 с, число оборотов центрифуги 200 об / мин, частоты 1 МГц.
- 2) Сушка ИК-лампой в потоке азота, время процесса 40 с, число оборотов центрифуги – 1 000 об / мин и контроль качества пластин по ранее описанной методике.

Из результатов измерений, приведенных в таблице 1, видно, что параметры шероховатости первой пластины почти в 40 раз меньше, чем у второй пластины, а количество загрязнений на начальном этапе очистки почти в два раза больше.

Результаты всех обработок и контроля представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты всех обработок и контроля

Контроль параметров	Параметры шероховатости пластины (в центре) Ra, Rq, Rp, Rv, нм		Количество дефектов на пластине	
	первая	вторая	первая	вторая
Виды обработки	0,08	2,98	25	13
	0,12	4,42		
	0,59	30,9		
	0,56	42,9		
после химической обработки	0,07	2,54	10	7
	0,12	3,59		
	0,7	15,1		
	0,56	18,3		
после мегазвуковой обработки	0,08	1,89	3	4
	0,13	2,49		
	0,57	11,0		
	0,53	10,4		

В результате всех обработок (и химической, и мегазвуковой), одинаковых для обеих пластин, число загрязнений на первой пластине уменьшилось более, чем в 8 раз, а на второй – более, чем в 3 раза. В то же время параметры шероховатости на первой пластине практически не изменились, а на второй пластине параметры Ra, Rq, Rp, Rv уменьшились почти на 40%.

Таким образом, пластины с высоким качеством полировки ($Ra < 0,1$ нм) более эффективно очищаются в процессе финишной обработки монокристаллических пластин карбида кремния по сравнению с пластинами, шероховатость которых превышает 1–2 нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Запорожский В. П., Лапшинов В. А. Обработка полупроводниковых материалов. – М.: Высш. шк., 1988. – 184 с.
2. Карбань В. И., Кой П., Рогов В. В., Хофман Х. Обработка полупроводниковых материалов / Под ред. Н. В. Новикова, В. Бертольди. – Киев: Наукова думка, 1982. – 236 с.
3. Бутурлин А. И., Голубская И. Э., Чистяков Ю. Д. Методы исследования и контроль чистоты поверхности. – М.: МИЭТ, 1989. – 315 с.
4. Емельянов В. А., Базанов В. В. Методы контроля параметров твердотельных структур СБИС. – Минск: Изд-во Бестпринт, 1992. – 58 с.
5. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Стандартиформ, 2006. – 7 с.
6. ISO 4287:1997 Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iso.org/iso/ru/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=10132.