

04;05;06.2;12

ЭРОЗИОННАЯ РЕПЛИКАЦИЯ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

© О.Г.Баженов, В.А.Карачинов

1. Для создания ряда датчиков физических величин на основе карбида кремния требуются монокристаллы не только заданной степени легирования, структурного совершенства, но и определенной геометрии [1-3]. Прямые методы формообразования, основанные на механохимической обработке исходных кристаллов SiC, вследствие дефицитности материала и трудоемкости его обработки, не обладают воспроизводимым качеством. А сублимационное профилирование SiC оказывается эффективным при воспроизведении относительно простых форм [4-6].

Известно, что задача точного копирования деталей сложной формы на основе тугоплавких и сверхтвердых материалов часто решается методами эрозионной обработки [7-9]. Причем метод электроэрозии токопроводящих материалов в жидкой диэлектрической среде при несложной и относительно дешевой технологии профилирования обеспечивает не только воспроизводимость, но и весьма высокую точность. Так, для некоторых материалов она может достигать значений несколько микрометров при температурной стабилизации процесса [9].

В настоящем сообщении приводятся результаты экспериментального изучения процессов размерной обработки кристаллов карбида кремния, осуществляемых с помощью импульсных электрических разрядов в жидкой среде.

2. Электроэрозионная резка (ЭРР) осуществлялась на промышленной установке ЭВ.00.000МЧ (генератор ГКИ-300-200А). В качестве рабочего электрода использовалась латунная проволока повышенной точности изготовления диаметром 100 мкм, а технологической средой являлась проточная вода.

Исходным материалом для исследований служили: пластинчатые монокристаллы карбида кремния, полученные методом Лели политипа 6H, 15R, 4H с $N_d - N_a \approx 5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3} - 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; объемные монокристаллы 6H политипа с $N_d - N_a \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и поликристаллические спекки. Работа экспериментальной установки по заданной программе позволяла формировать необходимую статистику и исследовать технологические возможности формообразования. Результаты экспериментов показали (рис. 1), что при

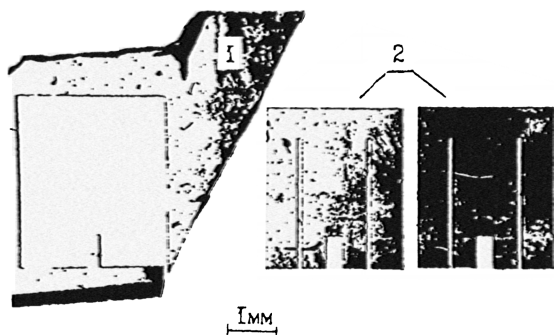


Рис. 1. Термоанемометрический преобразователь на основе SiC (фотография): 1 — исходный монокристалл 6H-SiC(N) ($d = 430 \text{ мкм}$, $N_d - N_a \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$); 2 — структура преобразователя (электроэрозия в воде, время обработки 30 мин; точность воспроизведения габаритных размеров “—” 1.5%).

правильном выборе режимов резки отсутствуют какие-либо ограничения на воспроизведение сложных форм, а также их репликацию. В то же время оптимальным образом используется площадь исходных кристаллов SiC, что является актуальным при проведении исследований на нестандартных кристаллах (типа Лели), либо кристаллах с явно выраженными очагами дефектов [10].

Геометрические характеристики реза отличались параллельными кромками, а профиль в пределах толщины образцов не содержал клиновидности. Средняя ширина реза с учетом исходного диаметра проволоки при стабильном процессе составляла $\sim 125 \text{ мкм}$.

Исследования морфологии кристаллов SiC в области реза оптическими методами (металлографический микроскоп) и растровой электронной микроскопией позволили установить, что эрозионные явления обусловлены в значительной степени тепловыми эффектами. Это приводит к структурным изменениям поверхностных слоев кристаллов до некоторой глубины.

Преимущественно наблюдались результаты двух процессов: 1) устойчивое науглероживание поверхности; 2) образование окислов.

Первый процесс свидетельствует о том, что в режиме эрозии, по-видимому, реализуются механизмы, аналогичные диссоциативному испарению монокристаллов SiC при простом нагреве [11]. Важно отметить, что ни на одном из образцов SiC не было обнаружено следов расплава кремния либо других продуктов эрозии, что говорит о существенном отличии электроэрозии карбида кремния от металлов и сплавов [9].

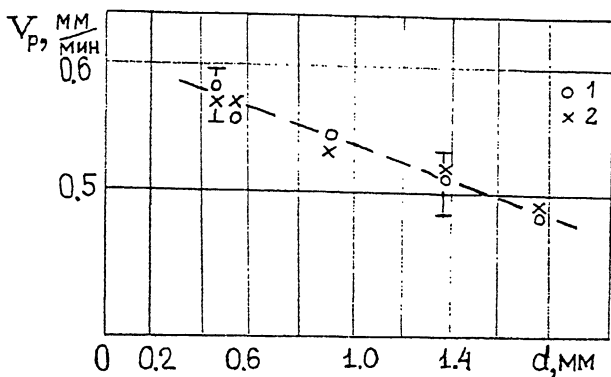


Рис. 2. Экспериментальная зависимость скорости съема материала от толщины кристалла $6H-SiC(N)$, ($N_d - N_a \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $U_{xx} = 0.5 \text{ кВ}$, $f = 18 \text{ кГц}$). Кристаллографическое направление резки: 1 — $[10\bar{1}0]$; 2 — $[11\bar{2}0]$.

Второй процесс напрямую связан с наличием окислительной среды в виде кислорода, а также паров воды, которые в условиях электрического поля и высоких температур стимулируют образование собственных окислов карбида кремния типа SiO_2 [12]. При неоптимально выбранных режимах резки наблюдалось формирование волнистой структуры реза по длине и обнаруживались частичные микросколы верхней кромки кристаллов. Травление кристаллов в расплаве KOH и рентгенографические исследования не зафиксировали образования протяженных либо специфических дефектов в области реза.

3. Экспериментальные зависимости скорости резки от толщины исходных кристаллов, степени легирования азотом и кристаллографического направления, определяющие в целом производительность процесса, не выявили аномалий для различных политипов. Как следует из рис. 2, зависимость скорости резки от толщины пластинчатого кристалла $6H-SiC$ имеет монотонно спадающий характер. В этих условиях увеличение напряжения холостого хода приводило к быстрому насыщению скорости резки, после которого, как правило, наблюдался обрыв электрода за счет превышения предела тепловой прочности.

Увеличение степени легирования кристаллов SiC азотом в диапазоне значений $N_d - N_a \approx 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3} - 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ при фиксированной толщине вызывало незначительный рост скорости резки в пределах $\sim (3-5)\%$. При этом заметное влияние кристаллографического направления на скорость резки проявлялось только в полярных направлениях.

Электроэрозионная обработка поликристаллических спеков отличалась плохой воспроизводимостью и требовала грубых режимов.

4. В заключение приведем основные результаты работы: а) размерная обработка кристаллов SiC методом электроэрозии не содержит ограничений на воспроизведение и репликацию сложных геометрических форм; б) ЭРР в воде вызывает структурные изменения поверхностных слоев кристаллов SiC в виде науглероживания и образования окислов; в) политипный состав кристаллов SiC не влияет на скорость съема материала в процессе ЭРР.

Список литературы

- [1] Водаков Ю.А., Ломакина Г.А., Могов Е.Н. // Легирование полупроводников. М.: Наука, 1982. С. 230–233.
- [2] Ильин В.А., Карачинов В.А., Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 12. С. 749–752.
- [3] Карачинов В.А. // Тез. докл. международного семинара “Полупроводниковый карбид кремния и приборы на его основе”. Новгород, 1995. С. 72–73.
- [4] Долотов Н.И., Левчук В.И., Макаров В.В., Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. // Физика и химия обраб. материалов. 1986. № 4. С. 69–71.
- [5] Карачинов В.А. // Межвузовский сборник. Новгород: НПИ, 1989. С. 81–86.
- [6] Максимов А.Ю., Мальцев А.А., Юшин Н.К., Бараш И.С. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. Вып. 10. С. 20–24.
- [7] Розенберг Л.Д. Физические основы ультразвуковой технологии. М.: Наука, 1970. 685 с.
- [8] Григорьянц А.Г. // Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. 243 с.
- [9] Мицкевич Н.К., Некрашевич И.Г. Электроэрозионная обработка металлов. М.: Наука и техника, 1988. 216 с.
- [10] Андреев А.Н., Трегубова А.С., Шеглов М.П., Растегаев В.П., Дорожжкин С.И., Челноков В.Е. // ФТП. 1995. Т. 29. В. 10. С. 1828–1832.
- [11] Цветков В.Ф. / Изв. ЛЭТИ. Науч. тр. 1984. В. 338. С. 3–8.
- [12] Suzuki A., Matsuami H., Tanaka T. // J. Electrochemical Society. 1978. V. 125. P. 1896–1897.

Поступило в Редакцию
14 июня 1996 г.