

Технология пескоструйной обработки кремниевой пластины при изготовлении полупроводниковых транзисторов

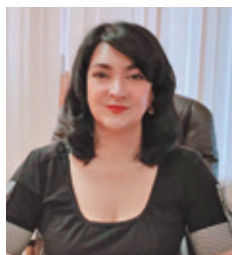
Process for sandblasting silicon slabs as part of semiconductor transistor manufacture

Шахмаева А.Р.¹, Кардашова Г.Д.¹, Казалиева Э.^{1*}, Евдулов Д.В.¹
Shakhmaeva A.R.¹, Kardashova G.D.¹, Kazalieva E.^{1*}, Yevdulov D.V.¹

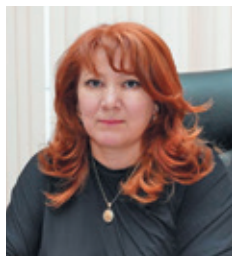
¹Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Российская Федерация

¹Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russian Federation

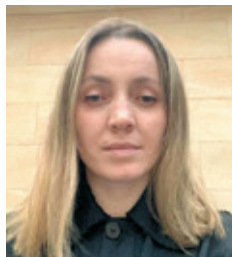
*kazanova.em@mail.ru



Шахмаева А.Р.



Кардашова Г.Д.



Казалиева Э.



Евдулов Д.В.

Резюме. Цель. Целью работы является разработка технологии обработки обратной стороны кремниевых пластин и получение рельефа поверхности пластин для хорошей адгезии к напыляемым металлам с равномерной толщиной и с отсутствием механических напряжений, трещин и сколов. Поставленная цель достигается предварительной подготовкой поверхности пластин перед напылением контактных материалов методом пескоструйной обработки поверхности с использованием в качестве абразивного материала карбида кремния (SiC) с размером частиц песка не более 6 мкм. **Методы.** Предложенный метод пескоструйной обработки способствует улучшению качества посадки кристалла за счет исключения появления напряженности поверхности, образования микротрещин и кристаллитов в структуре кристалла. Исследования проводились с использованием установки пескоструйной обработки с проведением контроля на электронном микроскопе. **Результаты.** Показано, что нанесение металлов при формировании контакта к коллекторной области транзисторной структуры после проведения пескоструйной обработки улучшает адгезию поверхности полупроводниковой подложки. При этом не появляются механические напряжения и микротрещины по сравнению с процессами шлифовки, полировки и химобработки, которые обычно проводят перед созданием контакта операциями сборки транзистора к корпусу. **Выводы.** Технология напыления тонких пленок металла в процессе изготовления полупроводниковых приборов влияет на надежность их работы. Обработка и подготовка обратной стороны кремниевых пластин с готовыми транзисторными структурами являются одними из ключевых операций технологического процесса изготовления транзистора, влияющими на адгезионные свойства поверхности перед напылительными процессами, выходные характеристики полупроводникового прибора, выход годных изделий, себестоимость.

Abstract. Aim. The paper aims to develop a process for treating the back side of silicon slabs and giving them a surface texture that enables good adhesion with printed metal with an even thickness and no mechanical stress, cracks or chipping. That is achieved by sandblasting slabs before contact material application. Silicon carbide (SiC) with particle size not exceeding 6 μm is used as the abrasive material. **Methods.** The proposed method of sandblasting improves chip bonding by eliminating surface stress, formation of microcracks and crystal grain within the chip. The research was conducted using a sandblaster and electronic microscope. **Results.** It was shown that, after sandblasting, metal coating in the process of transistor collector area contact delineation improves the adhesion of the substrate semiconductor. Additionally, no mechanical stress was observed as compared to grinding, polishing and chemical treatment that are normally done before transistor contact encapsulation. **Conclusions.** The process of thin metal film evaporation as part of semiconductor-based device manufacture affects their dependability. The treatment and preparation of the back side of the silicon slab with finished transistor configurations is one of the key operations as part of transistor manufacturing process that affects the adhesive properties of the surface before evaporation, output characteristics of the semiconductor-based devices, yield and cost.

Ключевые слова: пескоструйная обработка, кремниевая пластина, адгезия, надежность, кристалл, транзистор, карбид кремния.

Keywords: sandblasting, silicon slab, adhesion, dependability, chip, transistor, silicon carbide.

Для цитирования: Шахмаева А.Р., Кардашова Г.Д., Казалиева Э., Евдулов Д.В. Технология пескоструйной обработки кремниевой пластины при изготовлении полупроводниковых транзисторов // Надежность. 2022. №4. С. 23-27. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-23-27>

For citation: Shakhmaeva A.R., Kardashova G.D., Kazalieva E., Yevdulov D.V. Process for sandblasting silicon slabs as part of semiconductor transistor manufacture. Dependability 2022. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-23-27>

Поступила 17.09.2022 / После доработки 24.10.2022 / К печати 15.12.2022
Received on: 17.09.2022 / Revised on: 24.10.2022 / For printing: 15.12.2022.

Введение

В технологии изготовления полупроводниковых транзисторов, при формировании металлизации к коллекторной области, обычно для улучшения адгезии к поверхности обратной стороны кремниевой структуры используются такие методы механической обработки, как шлифовка и полировка, но эти методы часто способствуют образованию «напряженной поверхности», микротрещин. В процессе формирования структуры прибора такие дефекты способствуют возникновению паразитных емкостей в изготавливаемом приборе, а появление более глубоких трещин может вызвать сколы отдельных участков и все это, в свою очередь, приводит к ухудшению выходных характеристик и надежности работы прибора.

Для повышения адгезии поверхности полупроводниковых пластин с сформированной структурой полупроводниковых приборов часто используют химическую обработку различными травителями. Одним из таких методов химической обработки является метод с использованием в качестве полировки химических растворов или растворов щелочей калия и натрия [1].

При использовании этих способов в кристаллической решетке полупроводника появляются нежелательные примеси с последующим образованием кристаллитов за счет химических реакций, что приводит к ухудшению электрофизических параметров и характеристик прибора [2–3].

Задачей данного исследования является улучшение адгезии поверхности кремниевых транзисторных структур для формирования качественной металлизации к коллекторной области транзистора методом пескоструйной обработки с целью улучшения качества посадки кристалла за счет исключения появления напряженности поверхности, образования микротрещин и кристаллитов в структуре кристалла.

Методика эксперимента

Для проведения процесса пескоструйной обработки использовалась установка DBS-200 с функцией выработки струи песка, направляемой на обратную сторону полупроводниковой пластины, с готовыми структурами транзистора, закрепленными на вращающем столе установки. При этом задавалась скорость вращения стола и скорость подачи абразивного материала из пескоструйного сопла.

Процесс проводят при следующих технологических режимах: частота вращения стола – 22 ± 2 об/мин, время проведения процесса – $6 \pm 0,5$ минут, давление подава-

емого воздуха – $2,6 \pm 0,2$ кг/см². В случае если скорость вращения стола с пластинами более 22 об/мин, то на поверхности возникают микротрещины, а при частоте вращения стола менее 22 об/мин и меньшем давлении подаваемого воздуха адгезионные свойства ухудшаются. Этим обусловлен выбор вышеуказанных технологических режимов. По окончании процесса останавливают подачу абразива и сопла и после полной остановки стола выгружают пластины в кассету. Остатки с поверхности полупроводниковых пластин удаляются раствором фтористоводородной кислоты [4–7].

В качестве абразивного материала был выбран песок из карбида кремния с размером частиц не более 6 мкм.

Металлизация коллекторной области транзисторных структур недостаточно исследована в научных литературных источниках, в связи с чем исследование технологии обработки обратной стороны пластины с готовой структурой транзистора для качественной адгезии напыляемых металлов предоставляет большой интерес [8–9].

Результаты и их обсуждение

Для металлизации обратной стороны полупроводниковых пластин со структурами транзисторов, обработанными пескоструйным способом, в исследованиях была выбрана четырехслойная композиция металлов: хрома, никеля, олова и серебра; металлизация проводилась магнетронным напылением с применением установки LEYBOLD AGZ-600. При этом контролировались следующие параметры оборудования: скорость движения полета, мощность катода, давление вакуума в камере [10–11].

Толщина пленки металлов измерялась профилометром марки Alpha-Step.

При проведении экспериментов для определения технологических режимов получения заданных толщин металлов контролировались следующие параметры процесса: скорость движения подноса с пластинами, давление вакуума в камере и мощность катода с металлом.

На установке магнетронного распыления были установлены соответствующие катоды, рассчитанные на следующие мощности: из хрома – 2 кВт, из никеля – 10 кВт, из олова – 2 кВт, из серебра – 4 кВт.

До процесса напыления производилась предварительная очистка поверхности пластин в блоке плазмотравления установки. Время предварительной очистки составило 1 мин. Расход аргона – $200 \dots 220$ см³/ч, давление вакуума в камере 5×10^{-3} мбар.

Результат экспериментов и анализ данных показал, что для создания надежного контакта и отвода тепла

от коллекторного перехода полупроводниковых транзисторов на обратной стороне пластин необходимо сформировать послойную металлизацию из четырех металлов за один технологический цикл. Выбраны оптимальные толщины каждого слоя металла, которые обеспечивают надежное качество монтажа кристалла на основание рамки: первый слой – хром с толщиной $650 \pm 50 \text{ \AA}$, второй слой – никель с толщиной $5500 \pm 500 \text{ \AA}$, третий слой – олово с толщиной $700 \pm 250 \text{ \AA}$, четвертый слой – серебро с толщиной $4500 \pm 500 \text{ \AA}$.

Сочетание напыляемых слоев обеспечивает получение надежного контакта к коллекторной области при посадке кристалла на основание корпуса, что приводит к уменьшению сопротивления омического перехода [12–13].

Согласно экспериментально полученным данным толщина слоя из пленок металлов также зависит от задаваемых значений мощности катода и скорости движения подноса с пластинами. Чем больше мощность катода и меньше скорость подноса с пластинами, тем больше толщина пленки (возрастает) и наоборот, чем меньше мощность катода и больше скорость движения подноса с пластинами, тем меньше толщина пленки металла (уменьшается).

В этих условиях выбран интервал значений, при которых мощность катода не превышает 50% от максимально возможной.

Скорость движения подноса с пластинами выбрана оптимальной, при которой получается качественное напыление с минимальными затратами времени на процесс.

Для проверки надежности и точности адгезии четырехслойной металлизации «хром – никель – олово – серебро» обратной стороны пластин применялся наиболее распространенный метод контроля – процарапывание металлической иглой. Контроль адгезии четырехслойной металлизации показал отличное качество адгезии, игла проскальзывала по поверхности контролируемой пластины.

Согласно технологии, после проведения металлизации обратной стороны была проведена посадка кристалла на основание корпуса.

При проведении процесса сборки кристаллов транзистора качество посадки контролировалось методом отрыва с определенным усилием и визуально под микроскопом. При проведении контроля посадки кристалла с четырехслойной металлизацией кристалл не отрывается от основания при приложении соответствующего усилия, и при приложении большего усилия разламывается сам кремний. Это объясняется тем, что посадка кристалла на основание – качественная. При визуальном контроле под рентгеновским микроскопом со всех сторон кристалла по периметру проступал припой на 0,5–1,0 мм от края, что показывает удовлетворительное распределение припоя по всей площади кристалла (рис. 1). Кроме того, контроль площади распределения припоя по основанию кристалла с помощью рентгеновского

микроскопа показал 100% распределение припойного слоя по площади кристалла без повреждений и трещин, что улучшает термодинамические свойства прибора. Контроль выходных характеристик показал увеличение процента выхода годных приборов на 5,5% [14–15].



Рис. 1. Посадка кристалла на основание корпуса

Заключение

В работе показана возможность воспроизводимого технологического процесса формирования методом пескоструйной обработки поверхности кремниевой подложки областей, в которых нанопоры равномерно заполняются послойно металлами в кристаллической фазе. Такая технология обеспечивает получение на поверхности пластин хорошей адгезии поверхности к напыляемым металлам, равномерной по толщине, с разбросом толщины по поверхности $0,5 \text{ мкм} \pm 5\%$ без механических напряжений, кристаллитов и микротрещин.

Способ может быть применен при производстве полупроводниковых приборов и микросхем.

Библиографический список

1. Никифорова-Денисова С.Н. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. В 10 книгах. Книга 4. Механическая и химическая обработка. М.: Высшая школа, 1989, 96 с.
2. Шахмаева А.Р., Шангереева Б.А., Алиев Ш.Д. Метод удаления кристаллитов с поверхности кремниевой пластины // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2004. Т. 47. № 7. Спец. вып. С. 63–65.
3. Способ обработки подложек в жидкостном травителе: пат. 2419175 Рос. Федерация. № 2009124736/28 / Исмаилов Т.А., Саркаров Т.Э., Шангереева Б.А., Шахмаева А.Р.; заявл. 29.06.2009; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1. 4 с.
4. Способ обработки поверхности кремниевых пластин: пат. 2352021 Рос. Федерация. № 2007127110/28 / Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Шангереева Б.А.; заявл. 16.07.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10. 3 с.
5. Sandblasting agent, wafer treated with the same, and method of treatment with the same: Pat. EP 1053831 A1 EU. No. 99970350.7 / Otaka T. Fukami T.; Date of filling 12.10.1999; Date of publication 22.11.2000, Bull. 2000/47. 8 p.
6. Method of removing impurities on a grinding surface of a semiconductor wafer, equipment of removing impurities on a grinding surface of a semiconductor wafer,

process of manufacture of semiconductor wafer, process of manufacture of semiconductor chip and semiconductor device: Pat. P2008-85016A Japan. No. P2006-262-057 / Hozawa K.; Date of filling 27.09.2006; Date of publication 10.04.2008. 15 p.

7. Method for microstructuring solid surfaces: Pat. DE 102006003604 A1 Germany. No. 102006003604.2 / Mayer K., Kray D., Baumann S., Kolbesen B.; Date of filling 25.01.2006; Date of publication 23.11.2006. 5 p.

8. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р. Методы моделирования, технологии и конструкции приборов микроэлектроники. СПб.: Политехника, 2019. 292 с.

9. Технология изготовления транзисторных структур силовой электроники / Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Саркаров Т.Э., Шангереева Б.А. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. № 1. Т. 40. С. 31-37.

10. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Шангереева Б.А. Технология наноразмерных слоев металлов для формирования надежного контакта к стоковой области кремниевых транзисторов // Микроэлектроника. 2020. Т. 49. № 6. С. 409-412.

11. Методы монтажа кристаллов при производстве кремниевых транзисторных структур / Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Саркаров Т.Э., Шангереева Б.А. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т. 63. № 1. С. 61-69. DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-1-61-69

12. Шахмаева А.Р., Казалиева Э. Технология монтажа кристаллов полупроводниковых приборов // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXVIII международной научно-практической конференции, 12 марта 2021 г. Тула, 2021. С. 164-166.

13. Способ формирования контакта к стоковой области полупроводникового прибора: пат. 2534439 Рос. Федерация. № 2013100562/28 / Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р.; заявл. 09.01.2013; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 14. 4 с.

14. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Шангереева Б.А. Исследование параметров, влияющих на пробивное напряжение биполярного транзистора со статической индукцией // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2017. № 2. С. 23-27.

15. Шахмаева А.Р., Казалиева Э. Исследование физических процессов на границе раздела металл-полупроводник // Сборник материалов XLI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ, 13-18 апреля 2020 г. Махачкала, 2020. С. 108.

References

1. Nikiforova-Denisova S.N. [Semiconductor and electronics technology. In 10 volumes. Book 4. Mechanical and chemical treatment]. Moscow: Vysshaya Shkola; 1989. (in Russ.)

2. Shakhmayeva A.R., Shangereeva B.A., Aliev Sh.D. [Method for removing crystallites from the surface of a silicon slab]. *Journal of Instrument Engineering* 2004;47(7);63-65. (in Russ.)

3. Ismailov T.A., Shakhmayeva A.R., Sarakatov T.E., Shangereeva B.A. [Method for treating substrates with a liquid etcher]. Russian patent no. 2419175; 2009. (in Russ.)

4. Ismailov T.A., Shakhmayeva A.R., Shangereeva B.A. [Method for treating the surface of silicon slabs]. Russian patent no. 2352021; 2009. (in Russ.)

5. Toshiaki O., Teruaki F. Sandblasting agent, wafer treated with the same, and method of treatment with the same. Pat. 1053831A1 EU; 2000.

6. Hozawa K. Method and device for removing impurity on ground surface of semiconductor wafer, method for manufacturing semiconductor wafer and semiconductor chip, and semiconductor device. Pat. 200885016A JP; 2008.

7. Mayer K., Kray D., Baumann S., Kolbesen B. Method for microstructuring solid surfaces. Pat. WO2006097241A1 WIPO; 2006.

8. Ismailov T.A., Shakhmayeva A.R. [Simulation methods, processes and designs of microelectronic devices]. Saint-Petersburg: Politekhnik; 2019. (in Russ.)

9. Sarkarov T.E., Shangereeva B.A., Shakhmayeva A.R. Technology of manufacturing of transistor structures power electronics. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences* 2016;40(1):31-37. (in Russ.)

10. Ismailov T.A., Shakhmayeva A.R., Shangereeva B.A. [Technology of nanodimensional layers of metal for a reliable contact with the drain area of silicon transistors]. *Mikroelektronika* 2020;49(6):409-412. (in Russ.)

11. Ismailov T.A., Shakhmayeva A.R., Sarkarov T.E., Shangereeva B.A. [Methods of chip mounting in the process of silicon transistor manufacture]. *Journal of Instrument Engineering* 2020;63(1):61-69. DOI 10.17586/0021-3454-2020-63-1-61-69.

12. Shakhmayeva A.R., Kazaliyeva E. [Process of chipping in semiconductor devices]. In: [Proceedings of the XXVIII International Research and Practice Conference Priority Focus Areas of Science and Technology]. Tula; 2021. Pp. 164-166. (in Russ.)

13. Ismailov T.A., Shakhmayeva A.R., Zakharova P.R. [Method for drain part contact delineation in a semiconductor device]. Russian Patent no. 2344339; 2014. (in Russ.)

14. Ismailov T.A., Shakhmayeva A.R., Shangereeva B.A. [Research of the parameters that affect the breakdown voltage of bipolar-mode static induction transistors]. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics* 2017;2:23-27. (in Russ.)

15. Shakhmayeva A.R., Kazaliyeva E. [Research of physical processes at the metal-semiconductor interface]. In: [Proceedings of the XLI Concluding Research and Engineering Conference of the Teachers, Members, Postgraduate and Undergraduate Students of the DSTU]; 2020. P. 108. (in Russ.)

Сведения об авторах

Шахмаева Айшат Расуловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета, пр. И. Шамиля, 70, Махачкала, Российская Федерация, 367015, e-mail: fpk12@mail.ru.

Кардашова Гюльнара Дарвиновна – кандидат физико-математических наук, Дагестанского государственного технического университета, пр. И. Шамиля, 70, Махачкала, Российская Федерация, 367015, e-mail: fpk12@mail.ru.

Казалиева Эльмира – аспирант кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета, пр. И. Шамиля, 70, Махачкала, Российская Федерация, 367015, e-mail: kazonova.em@mail.ru.

Евдулов Денис Викторович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета, пр. И. Шамиля, 70, Махачкала, Российская Федерация, 367015, e-mail: 79634051239@yandex.ru.

About the authors

Ayshat R. Shakhmayeva, Candidate of Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer, Department of Theoretical and General Power Engineering, Dagestan State Technical University, 70 Imama Shamilia ave., 367015, Makhachkala, Russian Federation, e-mail: fpk12@mail.ru.

Gulnara D. Kardashova, Candidate of Physics and Mathematics, Dagestan State Technical University, 70 Imama Shamilia ave., 367015, Makhachkala, Russian Federation, e-mail: fpk12@mail.ru.

Elmira Kazaliyeva, postgraduate student, Department of Theoretical and General Power Engineering, Dagestan State Technical University, 70 Imama Shamilia ave., 367015, Makhachkala, Russian Federation, e-mail: kazonova.em@mail.ru.

Denis V. Yevdulov, Candidate of Engineering, Associate Professor, Senior Teacher, Department of Theoretical and General Power Engineering, Dagestan State Technical University, 70 Imama Shamilia ave., 367015, Makhachkala, Russian Federation, e-mail: 79634051239@yandex.ru.

Вклад авторов в статью

Автором **Шахмаевой А.Р.** был предложен способ пескоструйной обработки кремниевой пластины для улучшения адгезионных свойств поверхности полупроводниковой подложки.

Автором **Кардашовой Г.Д.** были подобраны абразивные материалы (карбид кремния) и рассчитан размер песочного материала для обработки кремниевой подложки.

Автором **Казалиевой Э.** были рассчитаны технологические режимы и проведены экспериментальные исследования.

Автором **Евдуловым Д.В.** была изготовлена установка для пескоструйной обработки и подобраны предварительные режимы обработки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.