

06.2;12

©1995

## КОРПУСИРОВАННЫЙ ЭПИТАКСИАЛЬНО-ДИФфуЗИОННЫЙ ДИОД НА ОСНОВЕ SiC-6H

*А.Н.Андреев, А.А.Лебедев, В.В.Зеленин,  
А.А.Мальцев, М.Г.Растегаева, Н.С.Савкина,  
Т.В.Соколова, В.Е.Челноков*

Значительное число работ свидетельствует о том, что SiC-6H  $p-n$  структуры имеют высокие потенциальные возможности для использования в качестве высокотемпературных выпрямителей [1-5], стабилитронов [6-8] и других функциональных элементов. Однако в полной мере эти возможности не могут быть реализованы в полупроводниковой электронике без изготовления корпусированных приборов на их основе. Сложность этой задачи обусловлена особенностями карбидокремниевых приборных структур (возможность использования при высоких температурах, особенности приготовления омических контактов и т. д.). В настоящей работе сделана попытка комплексного решения проблем, связанных с изготовлением корпусированных диодов на основе SiC-6H, рассчитанных на напряжения пробоя не менее 500-550 В, пропускающих в прямом направлении токи до 1 А и способных функционировать при температуре окружающей среды 400 °С. Поставленная задача предполагает решение следующих технологических и технических проблем.

1) Максимальное снижение вероятности необратимого поверхностного пробоя  $p-n$  структур при сохранении требуемых характеристик прибора.

2) Подбор корпуса, параметры которого не ухудшают характеристик приготовленной  $p-n$  структуры при высоких температурах.

3) Разработка технологии корпусировки отдельных чипов, совместимой с технологией изготовления омических контактов к  $p-n$  структуре.

**Изготовление  $p-n$  структур.** На подложках, выращенных методом Лэли, с ориентацией (0001)Si, методом вакуумной сублимации в открытой ростовой системе [9,10] последовательно формировались эпитаксиальные слои  $n$ - и  $p$ -типа проводимости с концентрацией некомпенсированной примеси  $N_d - N_a = (4-20) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и  $N_a - N_d = (7-8) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

Концентрация нескомпенсированной донорной примеси в базовом эпитаксиальном слое (до проведения диффузии бора), см <sup>-3</sup>	Температура диффузии, °С
$(1 - 3) \cdot 10^{18}$	2100-2200
$(0.5 - 1) \cdot 10^{18}$	2000-2100
$(1 - 3) \cdot 10^{17}$	1900-2000

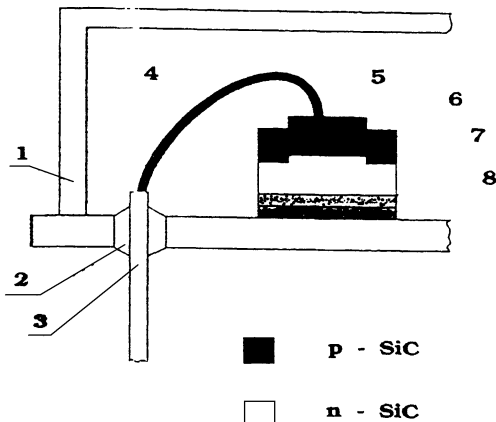
Затем в *n*-базу через слой *p*-типа проводимости осуществлялась импульсная диффузия бора (время диффузии 8 мин при температуре 1900–2200 °С). Конкретное значение температуры диффузии, при которой получают *p*–*n* структуры с требуемыми параметрами (т. е. при увеличении напряжения пробоя сопротивление диода увеличивается не очень существенно) зависит от концентрации нескомпенсированной донорной примеси в исходном базовом эпитаксиальном слое диода (см. таблицу). Мезаструктуры формировались методом реактивного ионно-плазменного травления [11]. Омические контакты к слою *p*-типа проводимости изготавливались на основе системы молибден–золото–алюминий (аналогично [12,13]), к обратной стороне структуры — на основе никеля. Для защиты периферии мезаструктуры на поверхность фаски наносился слой SiO<sub>2</sub>. Рабочая площадь структур составляла 600 мкм.

Исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) полученных *p*–*n* структур показало, что вероятность поверхностного пробоя резко уменьшилась по сравнению со структурами, в которые диффузия бора не производилась. Большинство структур входили в обратимый резкий пробой при напряжении 550–650 В. Сопротивление *p*–*n* структур на линейном участке прямой ВАХ составляло 10–50 Ом. Величины сопротивления больше, чем полученные в [3,4] при примерно одинаковой величине напряжения пробоя, однако в [3,4] у части *p*–*n* структур при напряжениях, больших 300–400 В, пробой развивался по поверхности. При повышении температуры до 500 °С в полученных эпитаксиально-диффузионных *p*–*n* структурах сопротивление уменьшалось в 2–3 раза, напряжение пробоя — в 1.1–1.2 раза. Для использования в дальнейших технологических операциях, связанных с корпусировкой, пластины с мезаструктурами разрезались на отдельные чипы.

**Корпус.** Корпус прибора должен обеспечивать электрическую изоляцию токопроводящих выводов, поэтому пригодность корпуса для высокотемпературных диодов определяется прежде всего величиной утечек между выводами и корпусом при высоких температурах. С этой точки зрения были выбраны металлостеклянные корпуса фланцевой конструкции КТ-8 (по ГОСТ 18472-82 или ТО-66 по международной классификации) [14]. Утечки в этих корпусах отсутствовали вплоть до температур 200 °С. Максимальные утечки 25 мкА (при напряжении 500 В) наблюдались при температуре 400 °С и, как показали последующие исследования на корпусированных диодах, существенно не влияли на их параметры. При изготовлении корпусированных диодов, рассчитанных на более высокие температуры, более перспективно, вероятно, использование металлокерамических корпусов.

**Корпусировка.** Технология посадки чипа в корпус должна быть совместима с технологией изготовления омических контактов к обратной стороне структуры ((0001) С в нашем случае). Три типа омических контактов, обеспечивающих удельные контактные сопротивления  $(1 - 5) \cdot 10^{-4}$  Ом·см<sup>2</sup> были исследованы в процессе пайки чипа на корпус: на основе молибдена (аналогичные описанным в [12,13]), на основе никеля и на основе тонких пленок SiC, осажденных методом магнетронного распыления [15]. Лучшие результаты с точки зрения воспроизводимости результатов получены при использовании металлизации на основе никеля (во всех случаях применялась одинаковая методика закрепления чипа на корпусе, описанная ниже). Технология приготовления омического контакта на основе никеля с учетом последующей корпусировки заключалась в следующем. На первом этапе методом электронно-лучевого испарения в вакууме производилось напыление никеля. Полученная пленка вжигалась в вакууме при  $T = 1000$  °С. Затем толщина контакта доводилась до 0.6-0.8 мкм повторным напылением никеля. Пайка осуществлялась на металлостеклянные корпуса с никелевым покрытием. В качестве припоя использовался ПСР-40 (температура плавления 610 °С) [16]. Припой представлял собой фольгу толщиной 0.2 мм. Сэндвич, состоящий из чипа и припоя, прижимался к корпусу держателем из вольфрамовой проволоки. Нагрев сэндвича до плавления припоя проводился в кварцевом реакторе в потоке водорода. Описанная процедура приводила к фиксации чипа на корпусе (фланце).

Соединение верхнего контакта, на который предварительно напылялся алюминий, с выводами корпуса осуществлялся алюминиевой проволокой посредством ультра-



Схематическое изображение корпусированного диода (в разрезе).

1 — корпус (фланец) и крышка (баллон), 2 — стеклянная изоляция, 3 — выводы, 4 — алюминиевая проволока, 5 — алюминий/омический контакт на основе молибдена, 6 —  $\text{SiO}_2$ , 7 — омический контакт на основе никеля, 8 — припой (ПСП-40).

звуковой сварки. Схема корпусированной  $p-n$  структуры приведена на рис. 1. Значительным этапом изготовления корпусированного диода являлось герметичное соединение крышки корпуса (баллона) с корпусом (фланцем).

**Параметры диода.** Вплоть до максимальных температур окружающей среды ( $400^\circ\text{C}$ ) ухудшения параметров диодов по сравнению с параметрами  $p-n$  структур не наблюдалось. Максимальные рабочие температуры определялись тепловым сопротивлением чип-корпус (см. [8]) и зависели от тока через диод. При максимальных токах  $\sim 0.5$  А максимальная температура составляла  $\sim 450^\circ\text{C}$ . При токах  $\sim 1$  А максимальная рабочая температура понижалась до  $380-400^\circ\text{C}$ . При использовании полученных диодов в импульсных схемах максимальные рабочие температуры (или соответственно максимально допустимые токи при прямом включении) увеличатся за счет уменьшения средней мощности, выделяемой при прохождении тока через диод.

Авторы выражают благодарность А.М. Стрельчуку и М.М. Аникину за полезные обсуждения и помощь в измерениях. Работа выполнена при частичной поддержке Министерства обороны США и фирмы Merlin Gerin (Франция).

## Список литературы

- [1] Константинов А.О., Литвин Д.П., Санкин В.И. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. С. 1335.
- [2] Константинов А.О. // ФТП. 1983. Т. 17. С. 2124.
- [3] Аникин М.М., Лебедев А.А., Попов И.В., Севастьянов В.Е., Сыркин А.Л., Суворов А.В., Челноков В.Е., Шпынев Г.П. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 10. С. 1053.
- [4] Аникин М.М., Лебедев А.А., Попов И.В., Растегаев В.П., Сыркин А.Л., Таиров Ю.М., Цветков В.П., Челноков В.Е. // ФТП. 1988. Т. 22. С. 298.
- [5] Neudeck P.G., Larkin D.J., Powel J.A., Matus L.G., Salupo C.S. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. P. 1386.
- [6] Полтинников С.А., Водаков Ю.А., Ломакина Г.А., Мохов Е.Н., Семенов В.В., Роевков А.Д. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 5. С. 261.
- [7] Дмитриев В.А., Иванов П.А., Попов И.В., Стрельчук А.М., Сыркин А.Л., Челноков В.Е. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 13. С. 773.
- [8] Andreev A.N., Anikin M.M., Zelenin V.V., Ivanov P.A., Lebedev A.A., Rastegaeva M.G., Savkina N.S., Strel'chuk A.M., Syrkin A.L., Chelnokov V.E. Final Book of Abstracts of E-MRS Spring Meeting, E1/P.5, Strasbourg, France, 1994.
- [9] Аникин М.М., Гусева Н.Б., Дмитриев В.А., Сыркин А.Л. // Изв. АН СССР. Сер. Неорганич. матер. 1984. Т. 10. С. 1768.
- [10] Anikin M.M., Lebedev A.A., Pyatko S.N., Strel'chuk A.M., Syrkin A.L. // Materials Science and Engineering. 1992. В. II. P. 113.
- [11] Попов И.В., Сыркин А.Л., Челноков В.Е. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 2. С. 240.
- [12] Anikin M.M., Rastegaeva M.G., Syrkin A.L., Chuiko I.V. Proceedings in Physics. V. 56 / Ed. by G.L. Harris, M.G. Spencer, C.Y. Yang. Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [13] Anikin M.M., Rastegaeva M.G., Syrkin A.L. // Intern. Conf. on SiC and Related Materials. Washington, USA, 1993.
- [14] Нефедов А.В., Гордеева В.И. // Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги. М.: Радио и связь, 1990.
- [15] Андреев А.Н., Бабанин А.И., А.Н. Кузнецов, Растегаева М.Г., Теруков Е.И., Челноков В.Е., Шеглов М.П. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 8. С. 11.
- [16] Краткий справочник паяльщика / Под редакцией И.Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 1991.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе РАН  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
14 декабря 1994 г.