
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА, НАНОСИСТЕМ И МАТЕРИАЛОВ

8. Nair R. R. Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene / R. R. Nair, P. Blake, A. N. Grigorenko, K. S. Novoselov, T. J. Booth, T. Stauber, N. M. R. Peres, A. K. Geim // Science. – Vol. 320. – P. 1308–1315.

9. Novoselov K. S. Electric field effect in atomically thin carbon films / K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov // Science. – 2004. – Vol. 306. – P. 666–669.

10. Set S. Laser mode locking using a saturable absorber incorporating carbon nanotubes / S. Set, H. Yaguchi, Y. Tanaka, M. Jablonski // Journal of Lightwave Tech. – 2004. – Vol. 22 (1). – P. 51–56.

11. Slonczewski J. L. Band structure of graphite / J. C. Slonczewski, P. R. Weiss // Phys. Rev. – 1958. – Vol. 109 (2). – P. 272–279.

12. Wallace P. R. The band theory of graphite / P. R. Wallace // Phys. Rev. – 1947. – Vol. 71. – P. 622–634.

УДК 621.382

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОГО ТРАНЗИСТОРА С НАНОРАЗМЕРНЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Шахмаева Айшат Расуловна, кандидат технических наук, Дагестанский государственный технический университет, 367015, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Шамиля, 70, e-mail: fpk12@mail.ru.

Захарова Патимат Расуловна, аспирант, Дагестанский государственный технический университет, 367015, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Шамиля, 70, e-mail: patimatzakharova@gmail.com.

В статье рассматриваются особенности процесса изготовления биполярных транзисторов с изолированным затвором (БИТЗ или IGBT). По предлагаемой модернизированной технологии изготовлен отечественный аналог транзистора MGP20N40CL фирмы Motorola. Программным методом получены его топология и конструкция. Оптимизированная структура смоделирована с помощью приборно-технологического комплекса программ фирмы Synopsys. Предложенная технология представляет особый интерес тем, что позволяет формировать наноразмерные слои в структуре топологии изготавливаемого прибора: процессы формирования областей затворов происходят на подложке с двойным слоем эпитаксиального наращивания. Такой подход к технологии создания и формированию каналов позволил на меньшей площади кристалла разместить большее число затворов. Результатом проведенных исследований является микроминиатюризация прибора до размеров, меньших в 5 раз размеров аналога фирмы Motorola.

Рассмотрены и выявлены особенности получаемого кристалла транзистора: его размеры, электрические показатели и выходные характеристики. Также немаловажное значение имеет коммерческая составляющая производства приборов по предложенной нами технологии – увеличение процента выхода годных кристаллов и большее количество (в несколько раз) кристаллов на одной пластине. В работе также указаны недостатки и преимущества продукта.

Ключевые слова: биполярный транзистор с изолированным затвором, выходные характеристики, МОП-структура, кристалл, мезапланарная технология, плазмохимическая зачистка, ионное легирование.

**PERFECTION OF MANUFACTURING TECHNIQUES НИЗКОВОЛЬНОГО
OF THE TRANSISTOR WITH NANOSIZES OF ACTIVE AREAS**

Shakhmaeva Aishat R., Cand. in Technics, Dagestan State Technical University, 70 Shamilya str., Makhachkala, 367015, Republic of Dagestan, Russia, e-mail: fpk12@mail.ru.

Zakharova Patimat R., Post-graduate student, Dagestan State Technical University, 70 Shamilya str., Makhachkala, 367015, Republic of Dagestan, Russia, e-mail: patimatzakharova@gmail.com.

In the article features of process of manufacturing of bipolar transistors with the isolated shutter (IGBT) are considered. A domestic analogue of transistor MGP20N40CL of firm Motorola has been made on the offered modernised technology. The program method receives its topology and design. The optimised structure is simulated with the help of device-technological complex of programs of "Synopsys" company. The offered technology is of special interest that allows to form nanosize layers in the structure of topology of the made device: processes of formation of areas of shutters occur on a substrate to a double layer epitaxy escalatings. Such approach to technology of creation and formation of channels has allowed to place on the smaller area of a crystal a lot of shutters. The result of the spent researches is microminiaturisation of the device till the sizes, 5 times smaller than the ones of "Motorola" company.

Features of the received crystal of the transistor, namely its sizes, electric indicators and target characteristics are considered and revealed. Also of an important value is the commercial component of manufacture of devices according to the technology offered by us which has an increase in per cent of an exit of suitable crystals and larger quantity (in several times) of crystals on one plate. Advantages and disadvantages of the product have also been mentioned in the article.

Key words: *isolated gate bipolar transistor, target characteristics, MOS-structure, crystal, mezaplanar technology, plazmochemistry clearing, ionic alloying.*

В настоящее время большое внимание уделяется развитию микроэлектроники и наноэлектроники. Основой для развития этих направлений является совершенствование и модернизация технологического процесса производства микроэлектронного изделия. Снижение массы и габаритов устройства при улучшенных характеристиках является основной целью для эволюции техники. Сегодня уже невозможно представить компьютер, телевизор и другую технику без легкого и надежного импульсного источника электропитания. В последнее время микроэлектроника переживает очевидный подъем и новый этап развития. В первую очередь это связано с заметными технологическими усовершенствованиями и созданием новых типов основополагающих ее компонентов – мощных полупроводниковых приборов.

В настоящее время востребованными и применяемыми приборами силовой электроники являются: традиционные биполярные мощные транзисторы, полевые мощные транзисторы с управляющей МОП-структурой, биполярные со статической индукцией транзисторы (БСИТ), биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ или IGBT), тиристоры и симисторы различных типов, мощные диоды, диодные мосты и выпрямители и т.д. Нельзя не выделить БТИЗ-транзистор. БТИЗ представляют собой схмотехническую комбинацию высоковольтного биполярного и низковольтного МОП МТ, реализованную методами полупроводниковой технологии в виде монолитного прибора [1, с. 62]. Эти транзисторы широко применяются как в корпусном исполнении (в гибридных микросхемах как ее навесной элемент), так и в бескорпусном исполнении (в составе БИС как активный элемент). По техническим показателям МОП МТ и БМТ имеют малое быстродействие по сравнению с

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА, НАНОСИСТЕМ И МАТЕРИАЛОВ

БТИЗ-транзисторами, они уступают по быстродействию (время включения, время рассасывания).

Предлагаемый транзистор является аналогом транзистора MGP20N40CL фирмы Motorola, который по своим техническим показателям является низковольтным мощным прибором. Транзистор MGP20N40CL фирмы Motorola создан по мезапланарной технологии и имеет сравнительно большие размеры (10,3*15,8 мм). Такие размеры не всегда подходят для работы в бытовой технике, где он может применяться, так как устройство получится большим, громоздким и неудобным. В условиях непрерывного прогресса техники и микроминиатюризации оборудования, производители техники могут отказаться от такого транзистора.

В работе проведено совершенствование технологии изготовления и совершенствование конструкции прибора. Достигнута микроминиатюризация прибора, при этом получен высокий процент выхода годных кристаллов мощных низковольтных БТИЗ-транзисторов. Предлагаемый транзистор БТИЗ 400 В в отличие от зарубежного аналога по размерам в три раза меньше.

Технология изготовления низковольтного IGBT основана на модернизированной мезапланарной технологии [2] таким образом, что процессы формирования областей затворов происходят на подложке с двойным слоем эпитаксиального наращивания. Такой подход к технологии создания и формированию каналов позволил на меньшей площади кристалла разместить большее число затворов – в два ряда (канавки глубиной 3,5 мкм и шириной 1 мкм), что при производстве БТИЗ-транзисторов не применялось ранее. Наглядно структура транзистора в разрезе показана на рисунке 1 – снимке с электронного микроскопа (масштаб 240 : 1).

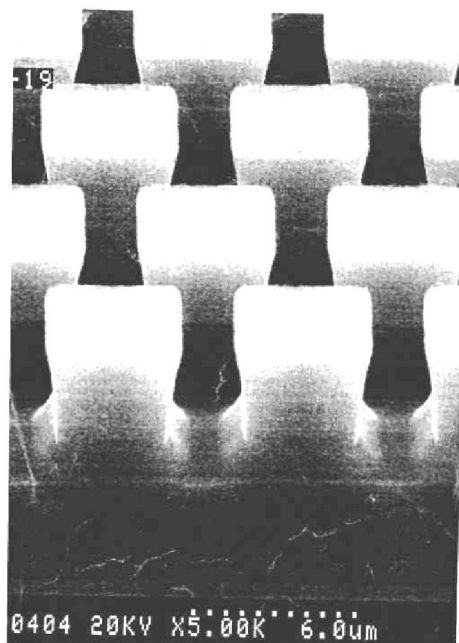


Рис. 1. Снимок с электронного микроскопа

Немаловажен тот факт, что производство БТИЗ-транзистора может быть налажено на отечественном оборудовании, что положительно повлияет на снижение себестоимости продукта.

БТИЗ-транзистор, представленный данной технологией, может быть применен в составе гибридных схем в качестве переключательного элемента в приборах бытовой техники, рабо-

тающих в диапазоне токов от 20 мкА до 20 А постоянного тока (например, светофоры, маяки, пульты дистанционного управления телевизора, телевизор, стиральные машины, пылесосы).

Технологический маршрут изготовления БТИЗ-транзистора (IGBT 400В) включает следующие операции [1, с. 67–68].

1. Формирование партии исходных пластин

(типы пластин: $\frac{50КЭФ - 25/20КЭФ - 0,1}{460ЭКДБ - 0,01(100)}$, $\frac{60КЭФ - 10/20КЭФ - 0,1}{460ЭКДБ - 0,01(100)}$).

2. HCl-окисление 1000 °С, толщина окисла $D_{ox} = 530 \text{ \AA}$ (схема процесса окисления приведена на рис. 2).

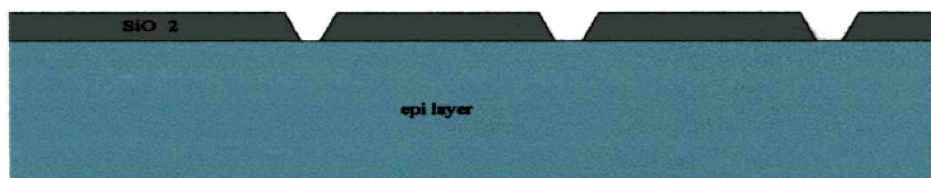


Рис. 2. Исходная пластина с эпитаксиальным слоем и слоем HCl-окисла

3. Стравливание SiO₂ (до скатывания +15 сек.).
4. Химическая отмывка.
5. Окисление в парах воды при 950 °С, толщина окисла $D_{ox} = 0,85 \text{ мкм}$.
6. Формирование карманов p⁺ – типа (толщиной 4,0 мкм).
7. Плазмохимическая зачистка (время = 1 мин).
8. Дубление.
9. Травление SiO₂ (время = 20 сек).
10. Снятие фоторезиста (смесь «КАРО»).
11. Химическая обработка.
12. HCl-окисление 1000 °С, толщина окисла $D_{ox} = 360 \text{ \AA}$.
13. Ионное легирование В (бора) $E = 40 \text{ кэВ}$, $D = 200 \text{ мкКл/см}^2$.
14. Плазмохимическая зачистка (1 мин).
15. Стравливание SiO₂, 360 А° (4 мин).
16. Химическая обработка.
17. Окисление в парах воды при 1000 °С, $D_{ox} = 0,29 \text{ мкм}$.
18. Формирование карманов канала (область ПЗД);

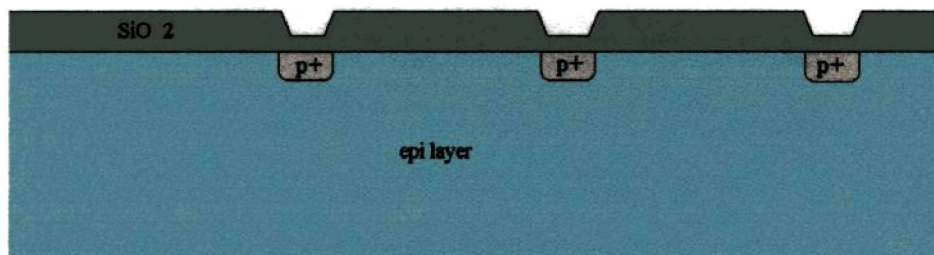


Рис. 3. Результат процесса формирования p⁺-карманов

19. Травление SiO₂, $D_{ox} = 0,85 \text{ мкм}$ (20 сек).
20. Снятие фоторезиста (смесь «КАРО»).

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА, НАНОСИСТЕМ И МАТЕРИАЛОВ

21. Химическая обработка.
22. HCl-окисление 1000°C , $D_{\text{ок}} = 700 \text{ \AA}$.
23. Нанесение поликремния Si^* , $D_x = 0,9 \text{ мкм}$.
24. Контроль толщины слоев Si^* .
25. Формирование истоковых областей (Область Si^* -затвора).
26. Травление слоя Si^* .
27. Плазмохимическое снятие фоторезиста с перфоцилиндром (12 мин).
28. Снятие ф/р (смесь «КАРО»).
29. Измерение остаточного слоя SiO_2 .
30. Утонение слоя SiO_2 до толщины $D_{\text{окост}} = 300 \text{ \AA}$.
31. Ионное легирование В (бор) $E = 40 \text{ кэВ}$, $D = 15 \text{ мкКл/см}^2$.
32. Плазмохимическая зачистка (1 мин).
33. Стравливание остаточного слоя SiO_2 , 300 \AA (40 сек).
34. Химическая обработка.
35. Разгонка В (бора) при $t = 1200^{\circ}\text{C}$ и времени 1 ч.
36. Утонение слоя SiO_2 до $D_{\text{окост}} = 250 \text{ \AA} \div 300 \text{ \AA}$.
37. ПХ зачистка (1 мин).
38. Ионное легирование Р (фосфор) $E = 90 \text{ кэВ}$, $D = 500 \text{ мкКл/см}^2$.

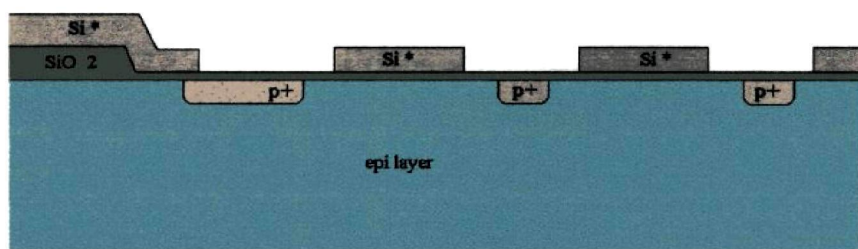


Рис. 4. Нанесение слоя поликремния для формирования области истока

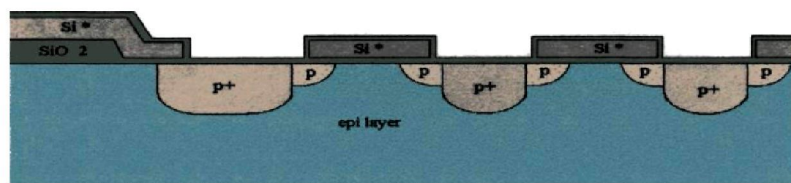


Рис. 5. Сформированные области затворов в разрезе

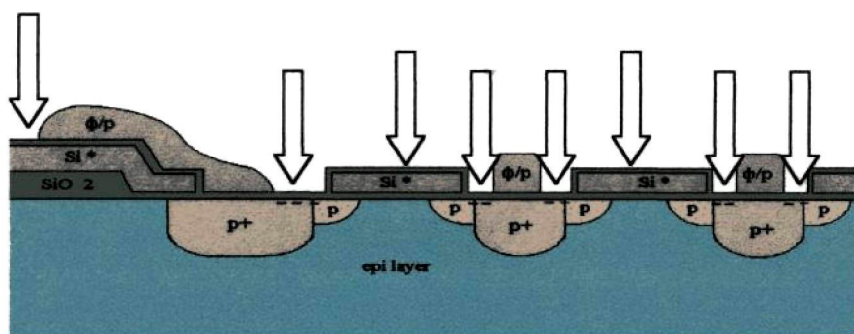


Рис. 6. Ионная бомбардировка фосфора
(вторичное формирование истоковой области)

39. ПХ снятие ф/р с перфоцилиндром (12 мин).
40. Снятие ф/р («КАРО»).
41. Стравливание остаточного SiO_2 , 300 А (30 сек).
42. Хим. обработка.
43. Окисление в парах воды при 950°C , $D_{\text{ox}} = 0,26$ мкм.
44. Нанесение пиролитического SiO_2 , $D_x = 0,5$ мкм.
45. Хим.обработка.
46. Отжиг $850^\circ\text{C} + 20$ мин в сухом O_2 .
47. Нанесение фосфоросиликатного стекла (ФСС), $D_x = 0,6$ мкм.
48. Контроль толщины слоя ФСС.
49. Хим. обработка.
50. Оплавление ФСС, $1000^\circ\text{C} + 15$ мин N_2 .
51. Химическое травление ФСС (45 сек).
52. Травление ФСС (фосфоросиликатного стекла) + SiO_2 .
53. ПХ снятие фоторезиста с перфоцилиндром.
54. Хим.обработка (смесь «КАРО»).
55. Освежение контактов (15 сек).
56. Напыление чистого Al, $D_x = 5,0$ мк.
57. ПХ зачистка с перфоцилиндром.
58. Дубление.
59. Хим. травление Al.
60. Снятие фоторезиста.
61. Очищенный монокристалл.
62. Горячая вода (1 мин).
63. Вжигание Al, $425^\circ\text{C} + 30$ мин.
64. Контроль электрических параметров.
65. Нанесение ПХ Si_3N_4 , $D_x = 0,6$ мкм.
66. Пассивация.
67. ПХТ слоя Si_3N_4 .
68. ПХ снятие с перфоцилиндром.
69. Вжигание Al, $425^\circ\text{C} + 30$ мин.
70. Контроль электрических параметров.

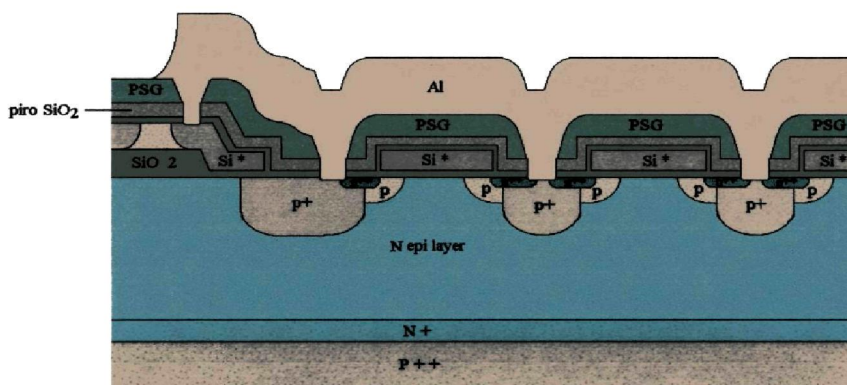


Рис. 7. Защитный слой пирооксида и металлизация

71. Нанесение ФСС, $D_x = 0,6$ мкм.
72. Повторение пассивации, контроль повторной пассивации.

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА, НАНОСИСТЕМ И МАТЕРИАЛОВ

73. ПХ зачистка с перфоцилиндром.
74. Дубление.
75. Травление ФСС.
76. Снятие ф/р.
77. Контроль электрических параметров.
78. Облучение электронами $E = meV$, $D = 6 \cdot 10^{14}$.
79. Очищенный монокремний.
80. Горячая вода (40°C , 1 мин).
81. Отжиг $425^\circ\text{C} + 30$ мин N_2 .
82. Шлифовка пластин до $D_{\text{ост}} = 380$ мкм.
83. Нанесение Ti/Ni/Ag на обратную сторону.
84. Контроль полученного результата (прибор в разрезе, представлен на рис. 8).

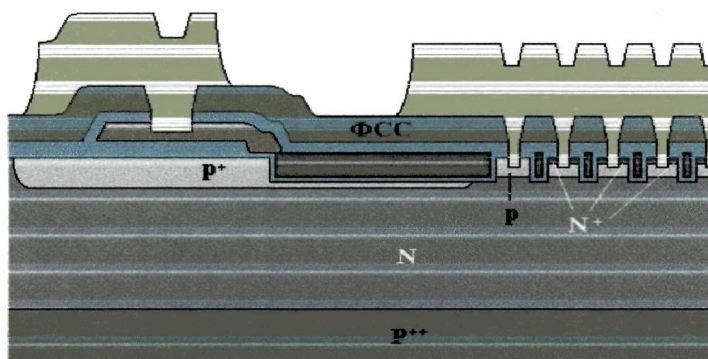


Рис. 8. Конструкция БТИЗ (IGBT) 400V в разрезе

В результате проведения вышеперечисленных технологических операций формируется низковольтный мощный IGBT (БТИЗ)-транзистор с двумя рядами затворов, что делает его в 3 раза меньше по размеру своего аналога фирмы Motorola ($3,2 \times 4,7$ мм). При производстве транзистора MGP20N40CL фирмы Motorola на одной кремниевой пластине размещается 100 кристаллов транзистора, в то время как на пластине такого же размера (диаметром 100 мм) помещается более 300 кристаллов транзистора IGBT. Причем по электрическим параметрам транзистор IGBT ни в чем не уступает своему аналогу.

Таблица

Сравнительная характеристика с аналогом

Наименование параметра и обозначение параметра	Обозначение	Режим измерения	БТИЗ 400 V	MGP20N40CL
Граничное напряжение коллектор – эмиттер, В	$V_{кз гр}$	$I_k = 10 \text{ mA}$	400 ($R_{эз} = 300$)	400 ($R_{эз} = 300$)
Пробивное напряжение затвор – эмиттер, В	$V_{кзк прб}$	$I_{кзк} = 2 \text{ mA}$, $R_{эз} = R_{эз} = 0$	13	15
Пороговое напряжение, В	$V_{эбо прб}$	$I_{эбо} = 1 \text{ mA}$, $I_k = 0$	1,7	1,7
Максимальный постоянный ток коллектора, А	$I_{к макс}$	–	20	20
Обратный ток коллектора, А	$I_{ки макс}$	–	12	12
Максимальная постоянная рассеиваемая мощность, Вт	$P_{макс}$	$V_{кз} = 5 \text{ B}$, $T_{п} = T_{п макс}$	170	150
Максимальная температура перехода, $^\circ\text{C}$	$T_{п макс}$	–	-55... +175	+55... +175

Результаты электрических параметров получены на установке Гамма-100.

Список литературы

1. Исмаилов Т. А. Транзисторные структуры силовой электроники / Т. А. Исмаилов, А. Р. Шахмаева. – СПб. : Политехника, 2011. – 126 с.
2. Adler M. S. Theory and Breakdown Voltage for Planar Devices with a Single Field Limiting Ring / M. S. Adler, V. A. K. Temple, A. F. Ferro // IEEE Transactions on electron Devices. – 1997. – Vol. 24, № 2. – P. 107–112.

References

1. Ismailov T. A. Tranzistornye struktury silovoi elektroniki / T. A. Ismailov, A. R. Shahmaeva. – SPb. : Politehnika, 2011. – 126 s.
2. Adler M. S. Theory and Breakdown Voltage for Planar Devices with a Single Field Limiting Ring / M. S. Adler, V. A. K. Temple, A. F. Ferro // IEEE Transactions on electron Devices. – 1997. – Vol. 24, № 2. – P. 107–112.