



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013128936/28, 26.06.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.06.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.06.2013

(45) Опубликовано: 10.12.2014 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2473150 C1, 20.01.2013. RU 2439744 C1, 10.01.2012. RU 2364984 C1, 20.08.2009. US 6468870 B1, 22.10.2002. US 6727127 B1, 27.04.2004. US 7074658 B2, 11.07.2006. US 7282765 B2, 16.10.2007. US 8119507 B2, 21.02.2012.

Адрес для переписки:

105187, Москва, Окружной пр-д, 27, ОАО "НПП  
"Пульсар", нач. патентного отдела Цыбиной  
Е.П.

(72) Автор(ы):

Бачурин Виктор Васильевич (RU),  
Корнеев Сергей Викторович (RU),  
Крымко Михаил Миронович (RU),  
Романовский Станислав Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество "Научно-  
производственное предприятие "Пульсар"  
(RU)

## (54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОЩНЫХ КРЕМНИЕВЫХ СВЧ LDMOS ТРАНЗИСТОРОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электронной технике. В способе изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов нанесенный на подзатворный диэлектрик поликремний покрывают тугоплавким металлом, высокотемпературным отжигом формируют полицид тугоплавкого металла на поверхности поликремния, методом фотолитографии создают из полицида тугоплавкого металла и расположенного под ним слоя поликремния полицидные затворные зубцы элементарных ячеек с прилегающими к ним со стороны истока ответвленными контактными площадками и используют их в качестве защитной маски при внедрении в подложку ионов бора, фосфора и мышьяка при формировании соответственно r-карманов, многоступенчатых слаболегированных n<sup>-</sup>-областей стока и высоколегированных

n<sup>+</sup>-областей стока и истока элементарных ячеек, а точечное шунтирование полицидных затворных зубцов ячеек металлическими шинами осуществляют через примыкающие к затворным зубцам полицидные ответвленные контактные площадки, причем в высокоомном эпитаксиальном p<sup>-</sup>-слое подложки под ответвленными контактными площадками поликремниевых затворных зубцов формируют дополнительные локальные высоколегированные n<sup>+</sup>-области с более высокой степенью легирования по сравнению с r-карманами элементарных ячеек. Изобретение обеспечивает создание современной базовой нанотехнологии изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов с диапазоном рабочих частот до 3,0-3,6 ГГц на более доступном и менее дорогостоящем технологическом оборудовании. 7 ил.

RU 2 535 283 C1

RU 2 535 283 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013128936/28, 26.06.2013**(24) Effective date for property rights:  
**26.06.2013**

Priority:

(22) Date of filing: **26.06.2013**(45) Date of publication: **10.12.2014** Bull. № 34

Mail address:

**105187, Moskva, Okružhnoj pr-d, 27, OAO "NPP  
"Pul'sar", nach. patentnogo otdela Tsybinoj E.P.**

(72) Inventor(s):

**Bachurin Viktor Vasil'evich (RU),  
Korneev Sergej Viktorovich (RU),  
Krymko Mikhail Mironovich (RU),  
Romanovskij Stanislav Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-  
proizvodstvennoe predpriyatie "Pul'sar" (RU)**(54) **MANUFACTURING METHOD OF HIGH-POWER SHF LDMOS TRANSISTORS**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: in the manufacturing method of high-power SHF LDMOS transistors polysilicon applied to gate dielectric is coated with high-melting metal, by high-temperature annealing polycide of high-melting metal is formed at polysilicon surface, by photolithography from polycide of high-melting metal and polysilicon layer below it polycide gate teeth of elementary cells are formed with contact pads joining them from the source side and used as a blocking mask at introduction of boron, phosphorus and arsenic ions to the substrate while forming p-wells, multistage lightly doped n-areas of the drain and highly doped n+-areas

of the drain and source of elementary cells, and accurate shunting of polycide gate cell teeth by metal bars is made through polycide branched contact pads joining gate teeth, at that in high-ohmic epitaxial p-layer of the substrate under branched contact pads of polysilicon gate teeth auxiliary local highly doped n+-areas are shaped with a higher doping degree in comparison with p-wells of elementary cells.

EFFECT: invention provides development of modern basic nanotechnology for manufacturing of high-power SHF LDMOS transistors at more accessible and less expensive process equipment.

7 dwg

Изобретение относится к электронной полупроводниковой технике, в частности к методам изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS (Lateral Diffused Metal Oxide Semiconductor) транзисторов, и может быть использовано для создания на их основе радиоэлектронной аппаратуры нового поколения.

5 Известен способ изготовления фирмой «Philips Semiconductors» мощного кремниевого СВЧ LDMOS транзистора 4-го поколения типа BLF 2022-90 с диапазоном рабочих частот до 2,0...2,2 ГГц и уровнем отдаваемых в нагрузку мощностей до 90 Вт [1], выбранный в качестве 1-го аналога, включающий: создание сквозных истоковых  $p^+$ -перемычек в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое исходной кремниевой  $p^-p^+$ -подложки; выращивание подзатворного диэлектрика толщиной 480 Å на лицевой  $p^-$ -слоя подложки, нанесение на подзатворный диэлектрик слоя поликремния и легирование его фосфором; формирование из слоя поликремния методом фотолитографии электродов затвора элементарных ячеек в виде узких (0,82 мкм)  $p^-$ -слоя подложки  $p^-$ -карманов, трехступенчатых слаболегированных  $n^-$ -областей стока и высоколегированных  $n^+$ -областей стока и истока элементарных ячеек посредством внедрения в подложку соответственно ионов бора, фосфора и мышьяка при использовании в качестве защитной маски поликремниевых электродов затвора и слоев фоторезиста и последующего диффузионного перераспределения внедренных в подложку примесей; осаждение толстого (0,8...1,0 мкм) межслойного диэлектрика на лицевую поверхность подложки и вскрытие в нем методом фотолитографии контактных окон над поликремниевыми затворными зубцами,  $p^+$ -перемычками и высоколегированными  $n^+$ -областями стока и истока элементарных ячеек; формирование металлических экранов, электродов стока, истока и шунтирующих прослоек поликремниевых затворных зубцов элементарных ячеек методом фотолитографии из трехслойного покрытия Ti (0,08 мкм) / TiW (0,14 мкм) / Au (1,24 мкм) на лицевой поверхности подложки и общего металлического электрода истока транзисторной структуры на ее тыльной стороне.

Основной недостаток 1-го способа-аналога состоит в том, его реализация в промышленном производстве из-за необходимости вскрытия узких (0,25...0,3 мкм) протяженных (330 мкм) контактных окон в толстом межслойном диэлектрике над поликремниевыми затворными зубцами элементарных ячеек и их последующего шунтирования золотым покрытием требует наличия дорогостоящего прецизионного технологического оборудования и «эксклюзивных» технологических процессов с субмикронными проектными нормами, которые отсутствуют у большинства возможных потенциальных производителей приборов данного класса.

В качестве 2-го аналога выбран более доступный и менее дорогостоящий способ изготовления отечественных мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов [2], в котором: поликремниевые электроды затвора элементарных транзисторных ячеек, пролегированные фосфором, выполнены в виде узких (0,7...0,72 мкм) протяженных (340 мкм) продольных зубцов прямоугольного сечения с рядом прилегающих к ним со стороны истока ответвленных контактных площадок; электроды стока, истока, экранирующие электроды элементарных ячеек и шины, шунтирующие поликремниевые затворные зубцы через примыкающие к ним ответвленные контактные площадки сформированы из слоя алюминия с добавками меди и кремния (AlCuSi) толщиной 2,0...2,2 мкм; в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое исходной кремниевой

$p^+p^+$ -подложки до выращивания подзатворного диэлектрика на ее лицевой поверхности и формирования  $p$ -карманов, под ответвленными контактными площадками затворных зубцов предварительно создаются дополнительные локальные  $n^+$ -области с более высокой степенью легирования по сравнению с формируемыми позже  $p$ -карманами; оптимальное расстояние между ответвленными контактными площадками в каждом затворном зубце элементарной ячейки и соответственно количество ответвленных контактных площадок определяются регламентируемыми формулой изобретения [2] аналитическими соотношениями  $W_{отв}=[k \cdot d / (\rho_{зпов} \cdot f_{макс})]^{1/2}$  (мкм) и  $N_{кон.отв}=W_{яч}/W_{отв}$  (шт), где коэффициент  $k=1.47 \cdot 10^6$  мкм/Ф,  $d$  - толщина подзатворного диэлектрика в мкм,  $\rho_{зпов}$  - удельное поверхностное сопротивление затворных зубцов в Ом/□,  $W_{яч}$  - протяженность затворных зубцов ячеек в мкм,  $f_{макс}$  - максимальная рабочая частота транзисторной LDMOS структуры в ГГц. Так расчет показывает, что для транзисторной структуры с  $d=0,025$  мкм,  $W_{яч}=340$  мкм,  $\rho_{зпов}=20$  Ом/□, предназначенной для работы в диапазоне частот  $f_{макс} \leq 3,0$  ГГц, оптимальное расстояние между ответвленными контактными площадками затворных зубцов и их количество в каждом затворном зубце должно составлять  $W_{отв}=25$  мкм и  $N_{кон.отв}=13$  шт. Такое большое количество ответвленных контактных площадок затвора, обусловленное прежде всего высоким  $\rho_{зпов} \sim 20$  Ом/□, приводит к серьезному усложнению топологии транзисторной структуры, возрастанию шага структуры, значительному увеличению ее паразитных межэлектродных емкостей затвор-исток и, как результат, к уменьшению количества кристаллов на пластине и снижению процента выхода годных кристаллов с пластины, существенному ухудшению частотных и энергетических параметров прибора. Таким образом, основной недостаток 2-го способа-аналога состоит в том, что в нем поликремниевые электроды затвора элементарных ячеек и примыкающие к ним ответвленные контактные площадки для снижения  $\rho_{зпов}$  легируются только фосфором, но не шунтируются дополнительно силицидами тугоплавких металлов, имеющих на порядок более низкие удельные поверхностные сопротивления ( $\sim 1,0 \dots 2,5$  Ом/□). В частности, при  $\rho_{зпов}=1,0$  Ом/□ и указанных выше значениях  $d=0,025$  мкм,  $W_{яч}=340$  мкм,  $f_{макс}=3,0$  ГГц оптимальное расстояние между ответвленными контактными площадками затвора можно увеличить до 111 мкм, а количество ответвленных контактных площадок в каждом затворном зубце уменьшить до 3-х и в результате поднять диапазон рабочих частот транзисторной структуры до 3,6...3,8 ГГц, и реализовать при этом коэффициент усиления по мощности не менее 8,0...10 дБ.

Известен способ изготовления фирмой «Ericsson Microelectronics» мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов, способных на частоте 2,14 ГГц при напряжении питания по стоку  $U_{с.пит}=28$  В отдать в нагрузку мощность до 120 Вт с коэффициентом усиления по мощности  $K_{ур}=13$  дБ, предназначенных для работы в базовых станциях сотовой связи в диапазоне частот 1,8...2,0 ГГц [3], выбранный в качестве 3-го аналога, у которых: металлические электроды стока элементарных ячеек состоят из 2-х слоев золота - нижнего толщиной 1,0 мкм и 2-го верхнего толщиной 1,8 мкм с барьерным подслоем TiW/TiW(N)/TiW в каждом из них; легированные фосфором  $n^+$ -поликремниевые затворные зубцы транзисторных ячеек шириной 0,6 мкм, сформированные на тонком (500 Å) подзатворном диэлектрике, включает в свой состав ряд последовательно соединенных отрезков прямоугольного сечения конкретной протяженности,

прошунтированных сверху полицидом молибдена ( $\text{MoSi}_2$ ) толщиной  $2500 \text{ \AA}$  с удельным поверхностным сопротивлением  $2,5 \text{ Ом}/\square$ , а полицидные отрезки затворных зубцов, в свою очередь, точно-прошунтированный сплошными металлическими шинами, сформированными методом фотолитографии из 2-го слоя золота и размещенными на

5 верхней поверхности двухуровневого межслойного диэлектрика над истоковыми  $p^+$ -перемычками элементарных ячеек; экранирующие электроды выполнены методом фотолитографии из нижнего (1-го) слоя золота как продолжение электродов истока ячеек, при этом экранирующие электроды расположены на межслойном диэлектрике

10 1-го уровня и полностью окаймляют по периферии полицидные затворные зубцы транзисторных ячеек. При таком исполнении транзисторной LDMOS структуры резко возрастает вероятность появления дополнительных закороток и токов утечки между экранирующими электродами и полицидными затворными зубцами элементарных ячеек, что приводит к снижению процента выхода годных кристаллов на пластине и является одним из существенных недостатков 3-го аналога.

15 В качестве прототипа выбран усовершенствованный фирмой NXP способ изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов шестого и последующих поколений [4], которые в диапазоне рабочих частот до  $3,6 \text{ ГГц}$  при напряжении питания по стоку  $U_{\text{с.пит}}=28 \text{ В}$  способны отдать в нагрузку мощность до  $150 \text{ Вт}$  при коэффициенте

20 усиления по мощности  $K_{\text{ур}}=10\dots 14 \text{ дБ}$  и коэффициенте полезного действия стоковой цепи  $\eta_c=48\dots 55\%$ . Такие результаты достигнуты за счет: снижения минимального топологического размера транзисторной структуры по сравнению с 1-м аналогом с  $0,35 \text{ мкм}$  до  $0,14 \text{ мкм}$ ; уменьшения шага элементарной транзисторной ячейки с  $32,6$  до  $25 \text{ мкм}$ ; уменьшения величины выходной емкости, приходящейся на единицу

25 протяженности затвора в  $1,6\dots 2,0$  раза; уменьшения ширины поликремниевых затворных зубцов ячеек с  $0,82 \text{ мкм}$  до  $0,3\dots 0,4 \text{ мкм}$ ; образования локальных диэлектрических прослоек («спейсеров») на боковых вертикальных гранях поликремниевых затворных зубцов транзисторных ячеек и вскрытия контактных окон в конформном диэлектрическом покрытии на лицевой поверхности затворных зубцов; шунтирования

30 поликремниевых затворных зубцов ячеек силицидом кобальта ( $\text{CoSi}_2$ ) вместо золотого покрытия  $\text{Ti/TiW/Au}$ ; создания экранирующих электродов транзисторных ячеек из вольфрама, а не из золотого покрытия  $\text{Ti/TiW/Au}$ ; замены остродефицитной и дорогостоящей двухуровневой золотой металлизации на более доступную и менее дорогостоящую пятиуровневую металлизацию алюминий-медь при формировании

35 электродов стока и истока транзисторных ячеек и общих шин стока и затвора транзисторной структуры; формирования вместо одноуровневого более толстого четырех-пятиуровневого межслойного диэлектрика на лицевой поверхности подложки.

40 Выполнение перечисленных выше нововведений предъявляет еще более жесткие требования по сравнению с первым и третьим аналогами к прецизионности используемого технологического оборудования и минимальным топологическим размерам транзисторной структуры, что делает возможность реализации способа-прототипа с приемлемым для организации рентабельного выпуска изделий процентом

45 выхода годных структур на пластине для многих потенциальных производителей приборов данного класса крайне проблематичной. Это один из основных недостатков прототипа.

Технический результат настоящего изобретения - создание современной базовой нанотехнологии изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов с диапазоном рабочих частот до  $3,0\dots 3,6 \text{ ГГц}$  на более доступном и менее дорогостоящем

технологическом оборудовании.

Технический результат достигается следующим.

1. В известном способе изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов, включающем создание сквозных истоковых  $p^+$ -перемычек элементарных транзисторных ячеек в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое исходной кремниевой  $p^-p^{++}$ -подложки, выращивание подзатворного диэлектрика на лицевой поверхности подложки, нанесение на подзатворный диэлектрик слоя поликремния и легирование его фосфором, формирование из слоя поликремния методом фотолитографии электродов затвора элементарных ячеек в виде узких продольных зубцов прямоугольного сечения с рядом прилегающих к ним со стороны истока ответвленных контактных площадок, создание в высокоомном  $p^-$ -слое подложки  $p$ -карманов, многоступенчатых слаболегированных  $n^-$ -областей стока и высоколегированных  $n^+$ -областей стока и истока элементарных ячеек посредством внедрения в подложку соответственно ионов бора, фосфора и мышьяка при использовании в качестве защитной маски поликремниевых электродов затвора и слоев фоторезиста и последующего диффузионного перераспределения внедренных в подложку примесей, поэтапное осаждение многоуровневого межслойного диэлектрика на лицевую поверхность подложки и поэтапное вскрытие в нем методом фотолитографии контактных окон над высоколегированными  $p^+$ -перемычками и истоковыми  $n^+$ -областями, поликремниевыми электродами затвора и высоколегированными  $n^+$ -областями стока элементарных ячеек, образование силицидов и полицидов тугоплавких металлов на кремнии и поликремнии во вскрытых окнах, формирование металлических многоуровневых электродов стока и истока, заземленных на исток экранирующих электродов и металлических шин, точно-шунтирующих полицидные затворные зубцы транзисторных ячеек на лицевой поверхности подложки и общего металлического электрода истока транзисторной структуры на ее тыльной стороне, нанесенный на подзатворный диэлектрик поликремний покрывают тугоплавким металлом, высокотемпературным отжигом формируют полицид тугоплавкого металла на поверхности поликремния, методом фотолитографии создают из полицида тугоплавкого металла и расположенного под ним слоя поликремния полицидные затворные зубцы элементарных ячеек с прилегающими к ним со стороны истока ответвленными контактными площадками и используют их в качестве защитной маски при внедрении в подложку ионов бора, фосфора и мышьяка при формировании соответственно  $p$ -карманов, многоступенчатых слаболегированных  $n^-$ -областей стока и высоколегированных  $n^+$ -областей стока и истока элементарных ячеек, а точечное шунтирование полицидных затворных зубцов ячеек металлическими шинами осуществляют через примыкающие к затворным зубцам полицидные ответвленные контактные площадки, причем в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое подложки под ответвленными контактными площадками поликремниевых затворных зубцов формируют дополнительные локальные высоколегированные  $n^+$ -области с более высокой степенью легирования по сравнению с  $p$ -карманами элементарных ячеек.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемый способ отличается: формированием полицида тугоплавкого металла посредством нанесения тугоплавкого металла на всю поверхность пролегированного фосфором слоя поликремния и последующего высокотемпературного отжига кремниевой подложки с тугоплавким металлом в определенной среде на регламентированном формулой

изобретения этапе изготовления транзисторной структуры; формированием полицидных затворных зубцов элементарных ячеек совместно с прилегающими к ним со стороны истока ответвленными контактными площадками методом фотолитографии непосредственно из поликремния, прошунтированного полицидом тугоплавкого металла, а не отдельно из поликремния и последующего шунтирования уже сформированных затворных зубцов полицидом тугоплавкого металла, как это имеет место в способе-прототипе; использованием в качестве защитной маски при внедрении в подложку ионов бора, фосфора и мышьяка при создании соответственно р-карманов, слаболегированных  $n^-$ -областей стока и высоколегированных  $n^+$ -областей стока и истока элементарных ячеек полицидных, а не поликремниевых электродов затвора; формированием дополнительных локальных  $n^+$ -областей под ответвленными контактными площадками затвора с регламентированной формулой изобретения степенью легирования и на определенном этапе изготовления транзисторной структуры. Таким образом, заявляемый способ изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов отвечает критерию изобретения «новизна».

Создание в заявляемом способе полицида тугоплавкого металла на всей поверхности осажденного на подзатворный диэлектрик и пролегированного фосфором слоя поликремния, позволяет:

- сформировать полицидные затворные зубцы элементарных транзисторных ячеек методом фотолитографии непосредственно из полицида тугоплавкого металла и расположенного под ним слоя  $n^+$ -поликремния;
- исключить процесс формирования локальных диэлектрических прослоек («спейсеров») на боковых вертикальных гранях поликремниевых электродов затвора или вскрытия контактных окон в межслойном диэлектрике над узкими поликремниевыми затворными зубцами элементарных ячеек методом фотолитографии, предназначенных для последующего шунтирования поликремниевых затворных зубцов полицидами тугоплавких металлов, как это имеет место в прототипе и 3-м аналоге;
- реализовать упрощенный и более экономичный по сравнению с прототипом технологический маршрут изготовления транзисторной LDMOS структуры на доступном и относительно недорогом отечественном технологическом оборудовании с топологическими проектными нормами, сопоставимыми с шириной полицидных электродов затвора элементарных ячеек.

Формирование в заявляемом способе под ответвленными контактными площадками электродов затвора элементарных ячеек дополнительных локальных, более высоколегированных по сравнению с р-карманами  $n^+$ -областей, создаваемых в отличие от 2-го аналога после выращивания подзатворного диэлектрика и образования поликремниевых электродов затвора, позволяет:

- исключить возможность проникновения акцепторной примеси в высокоомный  $p^-$ -слой подложки под ответвленные контактные площадки затворных зубцов ячеек в процессе образования р-карманов;
- обеспечить идентичный фронт продвижения акцепторной и донорной примесей под полицидными затворными зубцами транзисторных ячеек по всей их протяженности в сторону стока и реализовать таким образом одинаковую длину индуцированного n-канала вдоль всей протяженности полицидных затворных зубцов.

Кроме того, формирование в заявляемом способе многоступенчатых слаболегированных  $n^-$ -областей элементарных ячеек вместо одноступенчатых в способе-

прототипе, позволяет:

- обеспечить более однородное по сравнению с прототипом распределение электрического поля в многоступенчатых слаболегированных  $n^-$ -областях стока с пониженной величиной его напряженности на краях  $n^-$ -ступеней, непосредственно примыкающих к высоколегированной  $n^+$ -области стока и  $p$ -карману элементарных ячеек;

- реализовать пробивные напряжения стокового  $p$ - $n$  перехода на уровне 75...80 В и обеспечить таким образом возможность работы транзистора при напряжении питания по стоку свыше 32 В, а следовательно, при прочих равных условиях повысить величину отдаваемой им в нагрузку мощности.

В предлагаемом изобретении новая совокупность, предназначенность и последовательность выполнения технологических операций позволяет в отличие от способа-прототипа создать на более доступном и менее дорогостоящем технологическом оборудовании более экономичный способ изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов с диапазоном рабочих частот до 3,0...3,6 ГГц, работающих при напряжениях питания свыше 32 В с улучшенными энергетическими параметрами, повышенным процентом выхода годных кристаллов на пластине, то есть проявляет новое техническое свойство. Следовательно, заявляемый способ соответствует критерию «изобретательский уровень».

На фигурах 1...7 изображены основные этапы изготовления СВЧ LDMOS транзисторных структур согласно заявляемому способу, где введены следующие обозначения:

1 - исходная кремниевая  $p^-p^{++}$ -подложка с высокоомным эпитаксиальным и высоколегированным слоями  $p$ -типа проводимости;

2 - сквозные истоковые  $p^+$ -перемычки элементарных транзисторных ячеек, выполненные из нескольких автономных блоков ( $2_1, 2_2, 2_3...$ ) в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое подложки;

3 - подзатворный диэлектрик;

4 - легированный фосфором слой поликремния, осажденного на подзатворный диэлектрик;

5 - тугоплавкий металл, нанесенный на поликремний (4);

5<sub>1</sub> - полицид тугоплавкого металла, сформированной на поверхности поликремния (4);

6 - полицидные затворные зубцы элементарных транзисторных ячеек с примыкающими к ним со стороны истока ответвленными контактными площадками ( $6_1, 6_2$ ), изготовленные методом фотолитографии из полицида тугоплавкого металла (5<sub>1</sub>) и расположенного под ним слоя поликремния (4);

7 - защитный слой фоторезиста;

8 - дополнительные локальные высоколегированные  $n^+$ -области, сформированные в высокоомном  $p^-$ -слое подложки под ответвленными контактными площадками ( $6_1, 6_2$ ) затворных зубцов элементарных ячеек;

9 - ионы бора, внедренные в подложку для создания  $p$ -карманов элементарных ячеек;

9<sub>1</sub> -  $p$ -карманы элементарных ячеек, сформированные диффузионной разгонкой внедренной в подложку примеси бора;



10 - защитный слой фоторезиста;

11, 12 - высоколегированные  $n^+$ -области стока и истока элементарных транзисторных ячеек;

13<sub>1,2,3,4</sub> - многоступенчатые слаболегированные  $n'$ -области элементарных транзисторных ячеек;

14 - первый уровень межслойного диэлектрика;

15, 16 - первый уровень металлических электродов стока и истока элементарных транзисторных ячеек;

17, 17<sub>1</sub> - первый уровень шунтирующих металлических шин полицидных затворных зубцов элементарных транзисторных ячеек;

18 - второй уровень межслойного диэлектрика;

19 - второй уровень металлических электродов стока элементарных транзисторных ячеек;

20 - металлические экранирующие электроды элементарных транзисторных ячеек;

21 - металлические шины, соединяющие экранирующие электроды с электродами истока (16) элементарных транзисторных ячеек;

22 - общий металлический электрод истока транзисторной структуры;

23 - индуцированный  $n$ -канал, формируемый на прилегающих к подзатворному диэлектрику торцах  $p$ -карманов (9<sub>1</sub>) элементарных ячеек при приложении

положительного потенциала к электроду затвора элементарных транзисторных ячеек.

#### Пример

На основе заявляемого способа были изготовлены образцы мощных кремниевых  $n$ -канальных СВЧ LDMOS транзисторных структур (кристаллов) размером 4,2 мм×1,0 мм с длиной и суммарной протяженностью (шириной) индуцированного  $n$ -канала элементарных ячеек соответственно  $L_k=0.38...0,4$  мкм и  $W_k=95$  мм, с четырехступенчатой

слаболегированной  $n^-$ -областью стока транзисторных ячеек и шагом структуры 26

мкм, рассчитанных на работу в диапазоне частот до 3,6 ГГц при напряжениях питания по стоку  $U_{с,пит}=28...36$  В. Исходным материалом для изготовления кристаллов служили

кремниевые  $p^-p^{++}$ -подложки (1), ориентированные по плоскости (100), с верхним

высокоомным эпитаксиальным  $p^-$ -слоем толщиной 7,0...7,5 мкм и удельным

сопротивлением  $\rho_p=10...12$  Ом·см и нижним высоколегированным  $p^{++}$ -слоем с  $\rho_{p^{++}}=0,005$

Ом·см.

Способ осуществляют следующим образом.

1. Внедрением в подложку ионов бора с энергией 80 кэВ и дозой 500 мкКл/см<sup>2</sup> и последующим диффузионным перераспределением внедренной примеси при температуре

$T=1100^\circ\text{C}$  в среде азота формируют сквозные истоковые  $p^+$ -перемычки (2, 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, 2<sub>3</sub>)

элементарных ячеек в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое подложки (1) - фиг.1, 3.

2. Пирогенным окислением кремния при  $T=850^\circ\text{C}$  выращивают на поверхности

высокоомного эпитаксиального  $p^-$ -слоя подложки подзатворный диэлектрик (3)

толщиной 500 Å, наносят на подзатворный диэлектрик слой поликремния (4) толщиной 0,35...0,4 мкм, легируют поликремний фосфором, последовательно осаждают на

поликремний слой титана и нитрида титана (5) толщиной 0.25...0,3 мкм каждый, высокотемпературным ( $T=900^\circ\text{C}$ ) отжигом кремниевой подложки в среде азота и

водорода формируют полицид титана ( $5_1$ ) на поверхности поликремния (4) - фиг.1.

3. Из полицида титана ( $5_1$ ) и расположенного под ним слоя поликремния (4) методом фотолитографии создают полицидные электроды затвора элементарных ячеек (6) в виде узких ( $0,4 \dots 0,45$  мкм) продольных зубцов прямоугольного сечения протяженностью  $W_{\text{яч}}=340$  мкм с рядом примыкающих к затворным зубцам со стороны истока ответвленных контактных площадок ( $6_1, 6_2$ ), с расстоянием между ними в каждом затворном зубце порядка  $W_{\text{от}}=110$  мкм, покрывают стоковую часть транзисторных ячеек защитным слоем фоторезиста (7), внедряют в подложку ионы фосфора с энергией  $E=60 \dots 80$  кэВ и дозой  $D=50 \dots 60$  мкКл/см<sup>2</sup> и ионы бора (9) с  $E=40 \dots 60$  кэВ и  $D=3,0 \dots 5,0$  мкКл/см<sup>2</sup>, удаляют фоторезист с лицевой поверхности подложки и последующей диффузионной разгонкой внедренных в подложку примесей формируют в высокоомном  $p^-$ -слое подложки высоколегированные локальные  $n^+$ -области (8) под ответвленными контактными площадками ( $6_1, 6_2$ ) затворных зубцов (6) и  $p$ -карманы ( $9_1$ ) элементарных транзисторных ячеек - фиг.2, 3. 4.

4. Последовательным нанесением на лицевую сторону подложки нескольких защитных слоев фоторезиста, вскрытием методом фотолитографии в каждом из них стоковых и истоковых окон, внедрением в подложку через вскрытые окна ионов мышьяка и фосфора с определенными энергиями и дозами с использованием полицидных электродов затвора (6) и слоев фоторезиста (10) в качестве защитной маски и последующей совместной диффузионной разгонкой внедренных в подложку примесей при повышенной ( $900 \dots 1000^\circ\text{C}$ ) температуре в среде азота создают в высокоомном  $p^-$ -слое подложки высоколегированные  $n^+$ -области стока (11), истока (12) и 4-х ступенчатые слаболегированные  $n^-$ -области стока ( $13_{1,2,3,4}$ ) элементарных транзисторных ячеек - фиг.4.

5. Из предварительно нанесенного на лицевую сторону подложки слоя борофосфорносиликатного стекла формируют 1-ый уровень межслойного диэлектрика (14), в котором методом фотолитографии вскрывают контактные окна над высоколегированными  $n^+$ -областями стока (11) и истока (12), истоковыми  $p^+$ -перемычками ( $2, 2_1, 2_2, 2_3$ ) и ответвленными контактными площадками (17) затворных зубцов элементарных ячеек, наносят на межслойный диэлектрик (14) металлическое покрытие AlCuSi толщиной  $1,5 \dots 2,5$  мкм и создают из него методом фотолитографии 1-ый уровень металлических электродов стока (15), истока ( $16, 16_1, 16_2$ ) и шунтирующих шин ( $17, 17_1$ ) полицидных затворных зубцов (6) элементарных транзисторных ячеек - фиг.5, 6.

6. Осаждают на лицевую сторону подложки 2-ой слой борофосфорносиликатного стекла (18), в котором методом фотолитографии вскрывают контактные окна над 1-ым уровнем металлических электродов стока (15), истока (16) и шин ( $17, 17_1$ ), шунтирующих полицидные затворные зубцы элементарных ячеек, наносят на лицевую сторону подложки 2-ой слой металлического покрытия AlCuSi толщиной  $1,0 \dots 3,0$  мкм и формируют из него методом фотолитографии второй уровень металлических электродов стока (19) и шунтирующих шин полицидных затворных зубцов ячеек (на рисунках не показаны), а также экранирующие электроды транзисторных ячеек (20), соединенные с электродами истока (16) металлическими шинами (21). Общий

металлический электрод истока транзисторной структуры (22) на тыльной стороне подложки создавался при напайке кристалла на теплоотводящую поверхность корпуса с помощью золотой прокладки, а индуцированный n-канал (23) образовывался на торцах p-карманов (9<sub>1</sub>), прилегающих к подзатворному диэлектрику (3) при приложении

5 положительного напряжения к электроду затвора транзисторной структуры - фиг.7.

Кристаллы СВЧ LDMOS транзисторов в соответствии с вышеописанным технологическим маршрутом изготавливались на стандартном фотолитографическом оборудовании с минимальными проектными топологическими размерами 0,3...0,4 мкм, вместо 0,14 мкм в прототипе. Выход годных кристаллов на пластине составил 50...52%.

10 Годные кристаллы, смонтированные в металлокерамическом корпусе КТ-25 без бериллиевой керамики имели пробивное напряжение стокового перехода  $U_{с.проб}=75...80$  В и при напряжении питания по стоку  $U_{с.проб}=36$  В в режиме класса АВ, длительности импульса  $t_p=300$  мкс, скважности  $Q=10$ , на частоте  $f=3,1$  ГГц отдавали в нагрузку мощность  $P_{в\text{ых}}=42...45$  Вт при коэффициенте усиления по мощности  $K_{ур}=11...14$  дБ и коэффициенте полезного действия стоковой цепи  $\eta_c=42...46\%$ .

Сопоставляя приведенные параметры с аналогичными параметрами прототипа и других известных зарубежных мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов, имеющих приблизительно такие же конструктивные и электрофизические параметры

20 базового кристалла и рассчитанных на тот же диапазон рабочих частот (3,0...3,6 ГГц) и отдаваемых в нагрузку импульсных мощностей (10...120 Вт), можно сделать следующие выводы.

1. Заявляемый способ позволяет создавать мощные кремниевые СВЧ LDMOS транзисторы, сопоставимые с современными зарубежными аналогами по основным

25 электрическим параметрам ( $P_{в\text{ых}}$ ,  $K_{ур}$ ,  $\eta_c$ ), но с более высокими (75...78 В) по сравнению с ними пробивными напряжениями стокового p-n перехода и по этой причине способными работать при напряжениях питания по стоку  $U_{с.пит}\geq 36$  В вместо  $U_{с.пит}=28...32$  В у прототипа и аналогов (BLF6G38-10, BLF6G3135-20, BLF6G38-25, BLS6G3135-120 фирмы NXP, MRF7S35015HSR3, MRF7S35120HSR3 фирмы Freescale Semiconductors, ILD3135M30, ILD3135EL20 фирмы Integra Technologies) и других.

2. Заявляемый способ позволяет существенно упростить технологический процесс изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов и на более доступном и менее дорогостоящем технологическом оборудовании обеспечить высокий процент

35 выхода годных структур на пластине, увеличить номенклатуру выпускаемых изделий и снизить себестоимость их изготовления.

Технико-экономическая эффективность предлагаемого способа состоит в возможности создания и организации устойчивого рентабельного промышленного выпуска мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов с повышенным напряжением

40 питания по стоку, сопоставимых с современными зарубежными аналогами по энергетическим параметрам и конструирования на их основе радиоэлектронной аппаратуры, отвечающей современным и перспективным требованиям по тактико-техническим характеристикам, энергопотреблению, массогабаритным показателям, надежности и сроку службы.

45 Источники информации

1. «Philips BLF2022-90 power MOSFET structural analysis». 3685 Richmond Road, Suite 500, Ottawa, ONK2H587, Canada, June 17, 2004 (аналог).

2. Патент РФ на изобретение №2473150 «Мощный СВЧ LDMOS транзистор и способ

его изготовления», приоритет изобретения 17 августа 2011 г. (аналог).

3. A. Litwin, Q. Chen, J. Johansson, G. Ma, L.-A. Olofsson, P. Perugupalli «High Power LDMOS technology for wireless infrastructure», Ericsson Microelectronics, SE-16481 Kista, Sweden, Andrej.Litwin@mic.ericsson.se Ericsson Microelectronics, Phoenix, AZ (аналог).

5 4. S.J.C.H. Theeuwen, H. Mollee «LDMOS Transistors in Power Microwave Applications», NXP Semiconductors, Gerstweg, 2,6534AE, The Netherlands steven, theeuwen@nxp.com, hans.mollee@nxp.com (прототип).

#### Формула изобретения

10 Способ изготовления мощных кремниевых СВЧ LDMOS транзисторов, включающий создание сквозных истоковых  $p^+$ -перемычек элементарных транзисторных ячеек в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое исходной кремниевой  $p^-p^{++}$ -подложки, выращивание подзатворного диэлектрика на лицевой поверхности подложки, нанесение на подзатворный диэлектрик слоя поликремния и легирование его фосфором,

15 формирование из слоя поликремния методом фотолитографии электродов затвора элементарных ячеек в виде узких продольных зубцов прямоугольного сечения с рядом прилегающих к ним со стороны истока ответвленных контактных площадок, создание в высокоомном  $p^-$ -слое подложки  $p^-$ -карманов, многоступенчатых слаболегированных

20  $n^-$ -областей стока и высоколегированных  $n^+$ -областей стока и истока элементарных ячеек посредством внедрения в подложку соответственно ионов бора, фосфора и мышьяка при использовании в качестве защитной маски поликремниевых электродов затвора и слоев фоторезиста и последующего диффузионного перераспределения внедренных в подложку примесей, поэтапное осаждение многоуровневого межслойного

25 диэлектрика на лицевую поверхность подложки и поэтапное вскрытие в нем методом фотолитографии контактных окон над высоколегированными  $p^+$ -перемычками и истоковыми  $n^+$ -областями, поликремниевыми электродами затвора и высоколегированными  $n^+$ -областями стока элементарных ячеек, образование силицидов

30 и полицидов тугоплавких металлов на кремнии и поликремнии во вскрытых окнах, формирование металлических многоуровневых электродов стока и истока, заземленных на исток экранирующих электродов и металлических шин, точно-шунтирующих полицидные затворные зубцы транзисторных ячеек на лицевой поверхности подложки и общего металлического электрода истока транзисторной структуры на ее тыльной

35 стороне, отличающийся тем, что нанесенный на подзатворный диэлектрик поликремний покрывает тугоплавким металлом, высокотемпературным отжигом формируют полицид тугоплавкого металла на поверхности поликремния, методом фотолитографии создают из полицида тугоплавкого металла и расположенного под ним слоя поликремния полицидные затворные зубцы элементарных ячеек с прилегающими к

40 ним со стороны истока ответвленными контактными площадками и используют их в качестве защитной маски при внедрении в подложку ионов бора, фосфора и мышьяка при формировании соответственно  $p^-$ -карманов, многоступенчатых слаболегированных  $n^-$ -областей стока и высоколегированных  $n^+$ -областей стока и истока элементарных

45 ячеек, а точечное шунтирование полицидных затворных зубцов ячеек металлическими шинами осуществляют через примыкающие к затворным зубцам полицидные ответвленные контактные площадки, причем в высокоомном эпитаксиальном  $p^-$ -слое подложки под ответвленными контактными площадками поликремниевых затворных

зубцов формируют дополнительные локальные высоколегированные  $n^+$ -области с более высокой степенью легирования по сравнению с  $p$ -карманами элементарных ячеек.

5

10

15

20

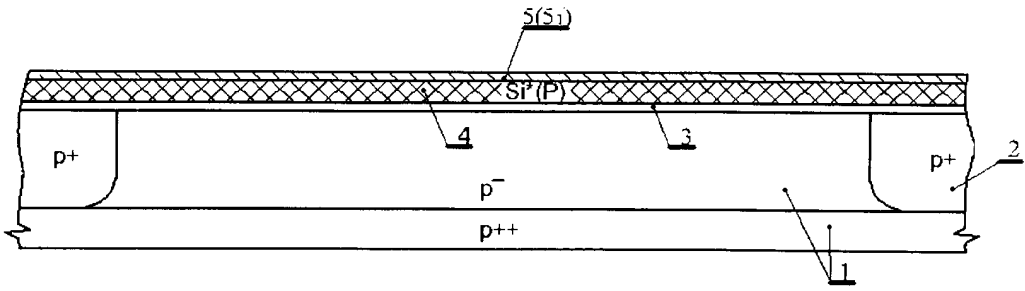
25

30

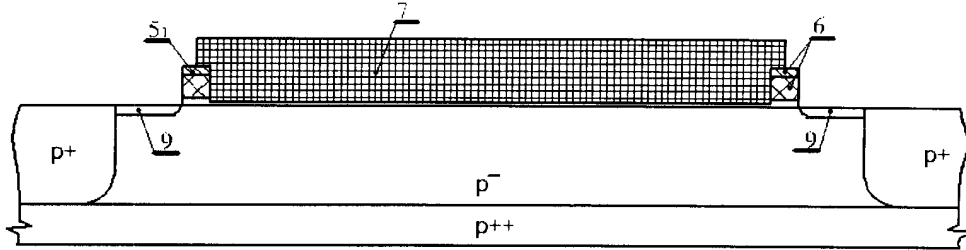
35

40

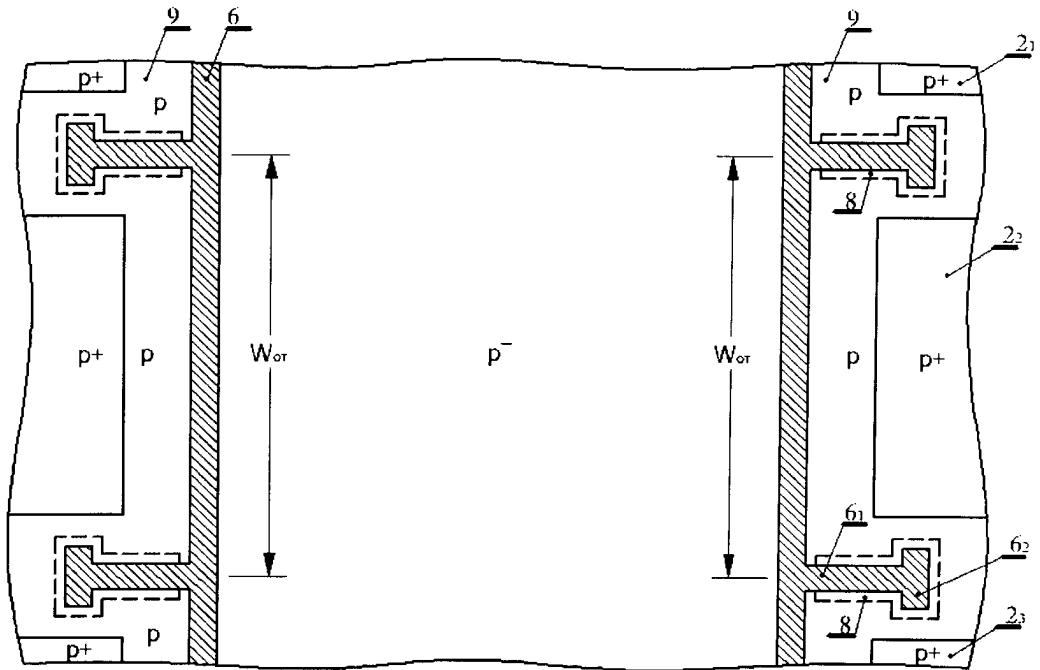
45



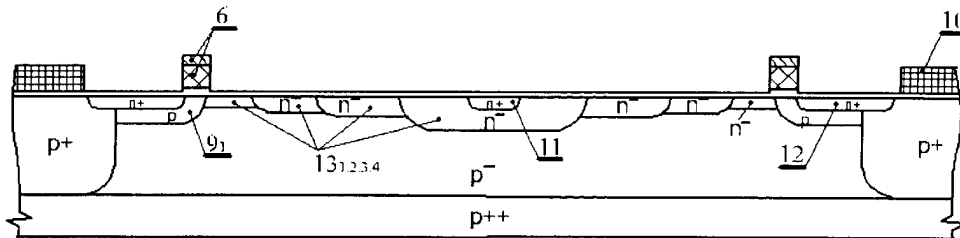
Фиг. 1



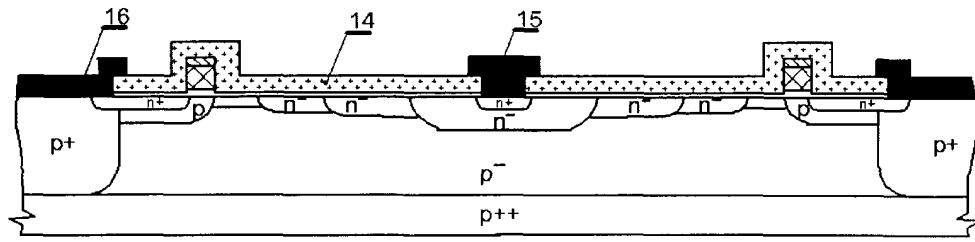
Фиг. 2



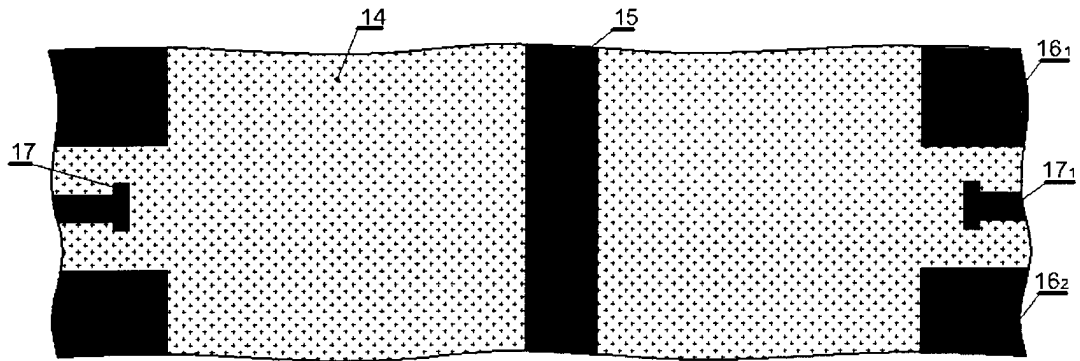
Фиг. 3



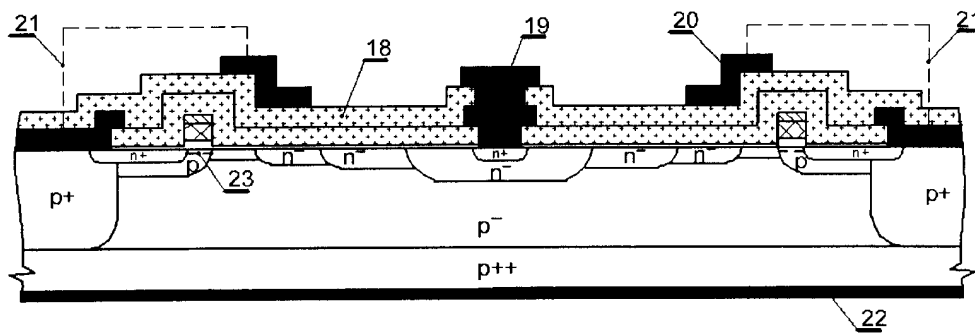
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7