

ОПТИМИЗАЦИЯ СВЧ-САМОСОВМЕЩЕННЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР НА ЧИСТОМ КРЕМНИИ И МАЛОШУМЯЩЕГО ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ ИС С ЭЛЕМЕНТАМИ МЭМС
Часть 3*

В. Д. Вернер, д-р физ.-мат. наук; *Н. М. Луканов*, д-р техн. наук;
А. Н. Сауров, чл.-кор. РАН
ФГУ НПК "Технологический центр" МИЭТ, Москва, Россия

П. В. Метельков
МИЭТ, Москва, Россия

Приведены конструктивные и технологические особенности изготовления биполярных СВЧ-самосовмещенных транзисторных структур, полностью самосовмещенных транзисторных структур и $n(p)$ -канальных полевых структур. Транзисторы предназначены для создания монолитных малошумящих широкополосных усилителей (МШУ) на чистом кремнии для радиочастотных ИС с рабочей частотой 5,2 ГГц.

* Часть 1 см. 2011. № 1. С. 78—84; часть 2 — 2011. № 2. С. 20—27.

Ключевые слова: конструктивно-технологические особенности, СВЧ-самосовмещенные транзисторные структуры (ССТС), СВЧ полностью самосовмещенные транзисторные структуры (СПСТС), $n(p)$ -канальные полевые транзисторы, чистый Si, радиопередающие ИС с рабочей частотой 5,2 ГГц.

В предыдущих публикациях [1, 2] авторы рассматривали параметры биполярных ССТС на чистом кремнии в зависимости от частоты и результаты оптимизации работы СВЧ МШУ с рабочей частотой $F = 5,2$ ГГц на основе ССТС и элементов МЭМС. В качестве прототипа была выбрана ИС преобразователя фирмы STMicroelectronics на основе ССТС типа HSB3 [3].

Исследования в направлении создания различных конструктивно-топологических базисов (КТБ) для ССТС ведутся в ФГУ НПК "Технологический центр" МИЭТ. Впервые ССТС, рассчитанные на достижение f_T и f_{max} до 50 ГГц, были рассмотрены в отечественной практике [4] в 1989 г. При их реализации использовались отечественные конструктивные и технологические решения (рис. 1) с локальными областями боковой диэлектрической изоляции (БДИ), ультратонкими (30 нм) активными эмиттерными областями, полученными быстрой диффузией примеси из поликремния $Si^*(As; P)$, вертикально или горизонтально расположенными узкими (0,2–0,3 мкм) окнами к пассивным областям базы и ультратонкими (50 нм) активными областями базы, полученными при одностадийном процессе диффузии бора с резкими профилями:

- "эпитланарные" самоформируемые конструкции ССТС (рис. 1, а) с областями БДИ (1–2 мкм) на основе пиролитического $SiO_{2П}$ (или плазмохимического $SiO_{2ПХ}$) диоксида кремния с локальными n^- -коллекторными областями, впервые самоформируемые с помощью селективной (избирательной) эпитаксии кремния. Предельно низкоомные коллекторные контактные n^{++} -области точно локализируются относительно границ БДИ и могут достигать областей селективного коллектора. При самоформировании пристеночных областей базы критичным местом является граница раздела между локальными областями n^- -кремния и областями БДИ [5];

- планарные конструкции ССТС с "пристеночными" эмиттерными областями (рис. 1, б), смыкающимися с областями БДИ на основе низкотемпературных композитных материалов, обеспечивающих малое значение внутренних механических напряжений σ . Структуры содержат самосовмещенные p^* -противоинверсионные слои, легированные Ga или В [6];

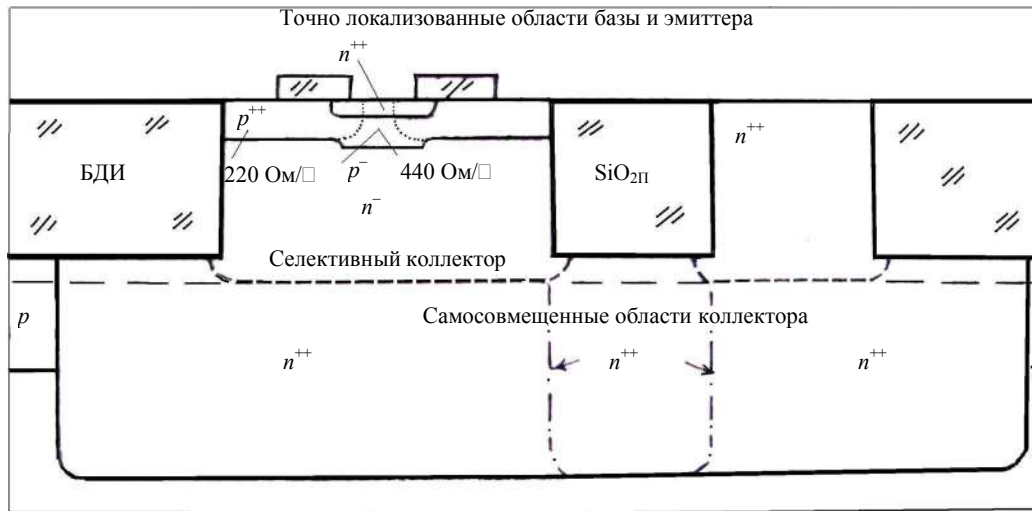
- трехмерные самоформируемые ССТС (рис. 1, в) с межслойной изоляцией на основе полиимида и точно локализованными шинами

металлизации. Имеют узкие вертикальные пассивные p -области базы, самоформируемые относительно вертикально расположенных областей БДИ переходов эмиттер—база (БДИЭ), создаваемых путем селективного ускоренного окисления $Si^*(As; P)$. Структуры имеют идеальные торцевые профили пассивных и активных эмиттерных областей, непосредственно примыкающих к областям БДИЭ. Критичным является процесс селективного вытравливания остатков металлизации Mo—Al вдоль областей БДИЭ [7];

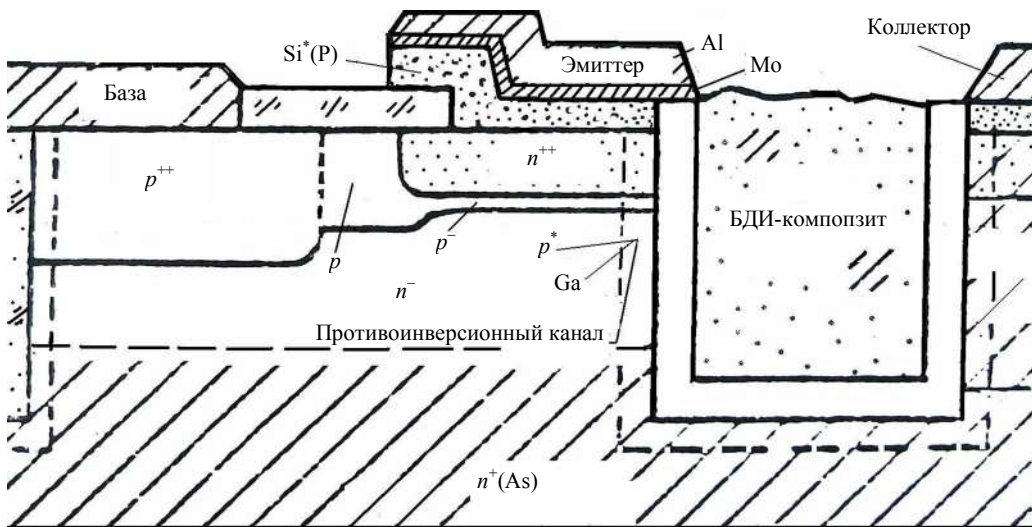
- трехмерные полностью самоформируемые ССТС (рис. 1, г) с комбинированными многофункциональными целевыми областями БДИ₁ на основе композиции $(SiO_2)_x+(GeO_2)_y$ с малыми внутренними механическими напряжениями σ и БДИ₂ на основе тонкого термического слоя $SiO_{2Т}$ в сочетании с Si^* или металлом (Me). В целевых областях создаются высоконадежные пассивные элементы (ВПЭ) на основе Si^* и локальные области Me. ССТС имеют p^+ -вертикальные внешние области базы, смыкающиеся с горизонтальными областями БДИ на основе $SiO_{2Т}$, сформированными при высоком давлении (10 атм) O_2 . Критичным является получение малых значений σ . Высоконадежные области БДИЭ впервые создавались на основе пассивирующего слоя $SiO_{2Т}$, маскирующего слоя оксинитрида кремния $Si_xN_yO_z$ и защитного слоя $SiO_{2П}$ (или $SiO_{2ПХ}$) [8];

- трехмерные самоформируемые ССТС (рис. 1, д) имеют точно локализованные глубокие и мелкие области БДИ на основе $SiO_{2П}$. Они формируются с малой скоростью осаждения реагентов в целях уменьшения влияния σ на величину тока утечки вертикальных p^+ -областей базы, примыкающих к областям БДИ. Области БДИЭ создаются на основе $SiO_{2Т}$ и защитного слоя $SiO_{2П}$ (или $SiO_{2ПХ}$). Селективные области металлизации — из W [9];

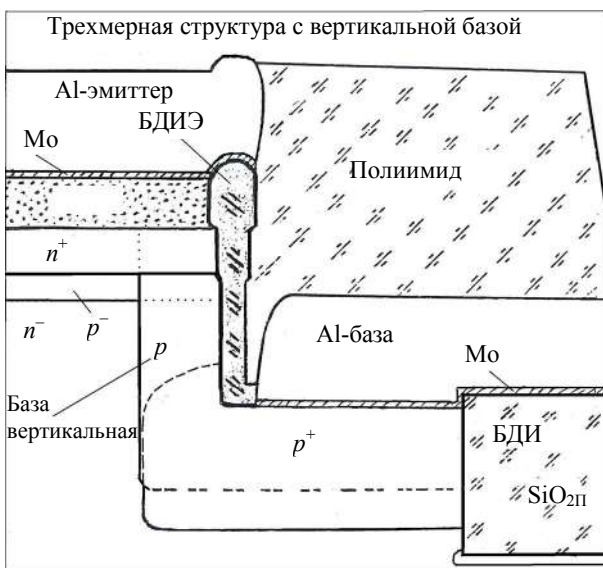
- полностью самоформируемые ССТС (рис. 1, е) создаются с использованием субмикронных псевдодолитографических масок (ПЛМ) [9], имеют предельно тонкие и узкие вертикальные пассивные p^+ -области базы, изолированные от коллекторных областей в донной части тонким слоем БДИ— $SiO_{2Т}$, высоконадежные области БДИЭ и селективные области металлизации из W. ССТС имеют точно локализованные глубокие и мелкие области БДИ [9, 10].



а



б



в

Рис. 1. Отечественные конструктивные и технологические решения ССТС:

а — "эпипланарная" структура с селективными областями коллектора; б — структура с "пристеночными" эмиттерными и базовыми областями; в — трехмерная структура с вертикальной внешней базой — "токовое зеркало";

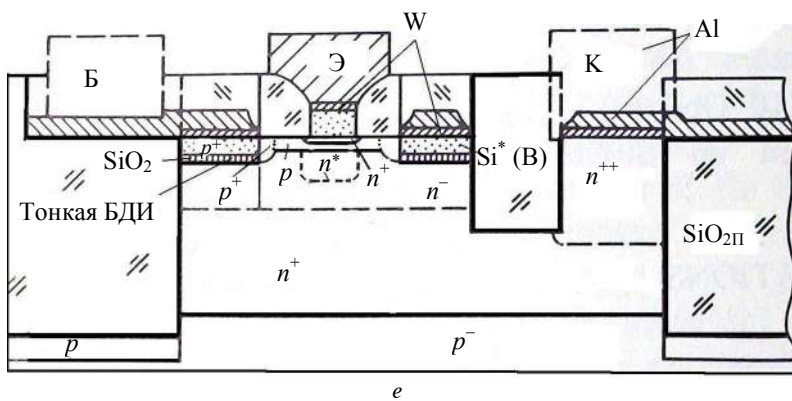
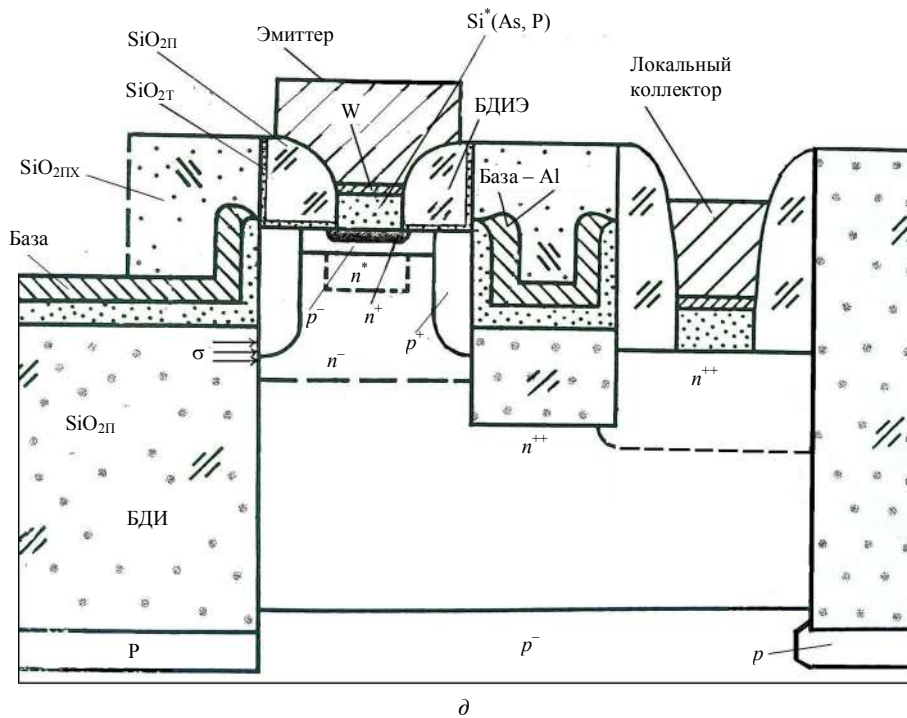
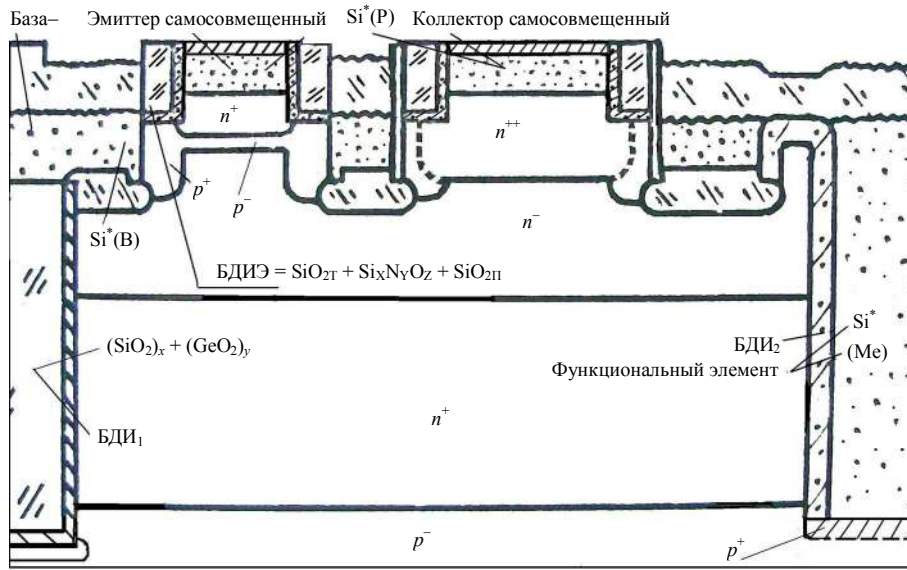


Рис. 1. Окончание:
 z — полностью самоформируемая структура с областями изоляции шелевого типа различного функционального назначения и с высоконадежными составными областями изоляции ультратонких переходов эмиттер—база; d — трехмерная структура с точно локализованными глубокими и мелкими областями диэлектрической изоляции и селективными электродами из W; e — полностью самоформируемая структура с пассивными областями базы, изолированными от коллектора тонким слоем диэлектрика

Цель настоящей работы — оптимизация конструктивно-технологических схем самоформирования ССТС с f_T и f_{max} не менее 50 ГГц с узкими (0,1—0,2 мкм) эмиттерными областями, узкими (0,2—0,3 мкм) вертикальными или горизонтальными пассивными областями базы и узкими (0,1—0,15 мкм) областями БДИЭ. ССТС совместимы по технологии изготовления с НЧ-малощумящими полевыми транзисторными структурами с затворами (МПТЗ) на основе p - n -переходов, с некоторыми типами чувствительных элементов (ЧЭ), высококачественных пассивных элементов (ВПЭ) и функционально-интегрированных устройств (ФИУ). Поставленная цель была достигнута при комплексном использовании методов самосовмещения (МСС) и методов самоформирования (МСФ), многослойных псевдоэмиттерных временных конструктивных слоев, субмикронных ПЛМ, самосовмещенных резистивных масок (СРМ) и составных областей БДИЭ.

На рис. 2 приведено поперечное сечение обобщенной конструкции биполярных ССТС, формируемых на подложке 1 кремния (p^- -типа проводимости марки КДБ-20), со сплошной n^+ -скрытой областью 2 (легированной As с отжигом в атмосфере водорода с поверхностным сопротивлением 10 Ом/□, толщиной 5 мкм) и n^- -высокоомной эпитаксиальной пленкой 3 (толщиной 0,3 мкм). Пленка 3 автолегирована As в результате его перераспределения из скрытого слоя в процессе эпитаксиального наращивания. Если дополнительное легирование не проводится, то наблюдается характерное распределение As без участка постоянной концентрации вблизи от поверхности. ССТС имеют области 4 и 6 БДИ различной глубины. Глубокие (7—10 мкм) щеле-

вые (ширина 1—2 мкм) области 4 БДИ компонентов ИС, пассивированные SiO_{2T} и заполненные $SiO_{2П}$ или Si^* , имеют p -противоинверсионные области 5, легированные ионами V^+ для предотвращения образования каналов n^- -типа проводимости. Мелкие (1,5 мкм) области 6 БДИ на основе $SiO_{2T} + SiO_{2П}$ с малыми значениями σ окружают n^{++} -сильнолегированные глубокие (2—5 мкм) контактные коллекторные области 7 и *временные конструктивные структуры*, обозначенные как псевдоэмиттерные области 8-ПЭ. Последние создаются для самоформирования ССТС с узкими пассивными и активными областями базы и эмиттера, а также для формирования МПТЗ, ВПЭ, ФИУ и ЧЭ. Тонкие (0,1—0,2 мкм) горизонтальные области 9 БДИ из $SiO_{2П}$ самоформируются для уменьшения паразитных токов утечки и емкостей переходов база—коллектор ССТС. Пассивные области базы 10 (ПБ) из поликремния $Si^*(B)$, сильнолегированного В (или сплава Si^*-Ge^*-B) используют в качестве источника В для создания вертикальных внешних областей 11 p^+ -базы (ВБ). Области 12 1-го уровня металлизации и области 13 1-го межуровневого диэлектрика создаются на промежуточном этапе. Самоформирование соединительных областей p -базы (СБ), областей активного n^+ -эмиттера (АЭ), областей активной p^- -базы (АБ), областей пассивного эмиттера (ПЭ) проводится при использовании многослойного конструктивного временного блока псевдоэмиттерных областей 8-ПЭ. В одном из вариантов реализации ССТС материал слоев этого блока может быть использован для заполнения глубоких щелей 4, сформированных (как показано пунктиром на рис. 2 слева) после создания и заполнения мелких областей 6 БДИ.

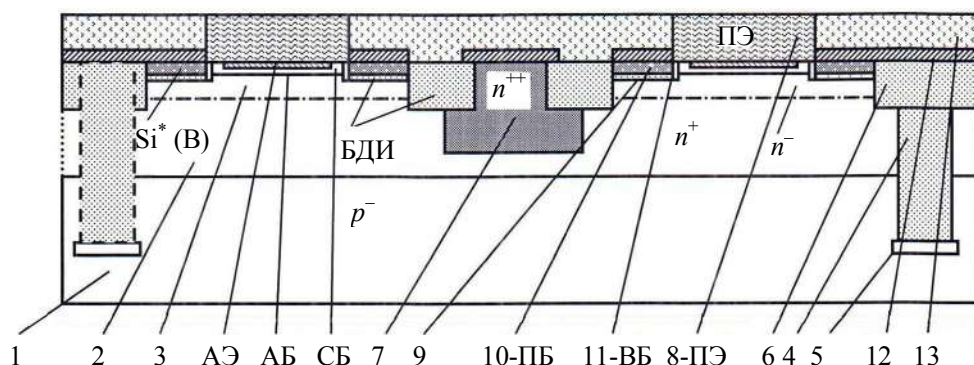


Рис. 2. Поперечное сечение обобщенной конструкции ССТС без детализации исходного многослойного блока псевдоэмиттерных областей

На рис. 3, *a–г* даны поперечные сечения ССТС, включающие точно локализованные области, полученные при проведении операций самоформирования активных и пассивных областей базы, эмиттера и БДИЭ. На рис. 3, *a* дано сечение исходных областей 8-ПЭ и конструкции ССТС после операции анизотропного реактивно-ионного травления (АРИТ) исходной эпитаксиальной пленки и самоформирования углубленных горизонтальных тонких областей 9 БДИ. Поперечные сечения структур даны вдоль длины эмиттерного окна (2 мкм) для "элементарного" транзистора.

8д — маскирующий слой $\text{SiO}_{2\Gamma}$ в сочетании со стопорным подслоем Si_3N_4 ;

8е — 1-е области БДИЭ₁ (Si_3N_4 или SiN_x) — внешний слой БДИЭ.

Самоформирование собственно областей ССТС (см. рис. 3, *a*) начинается с создания субмикронной ПЛМ спейсерного типа на слое 8д и проведения АРИТ слоев (8д—8а) для получения 1-го опорного рельефа самоформирования (ОРС₁). После удаления ПЛМ проводится осаждение слоя 8е и повторное АРИТ, приводящее к самоформированию канавок в пленке 3-го и 2-го ОРС₂. Далее удаляется дефектный слой на поверхности Si

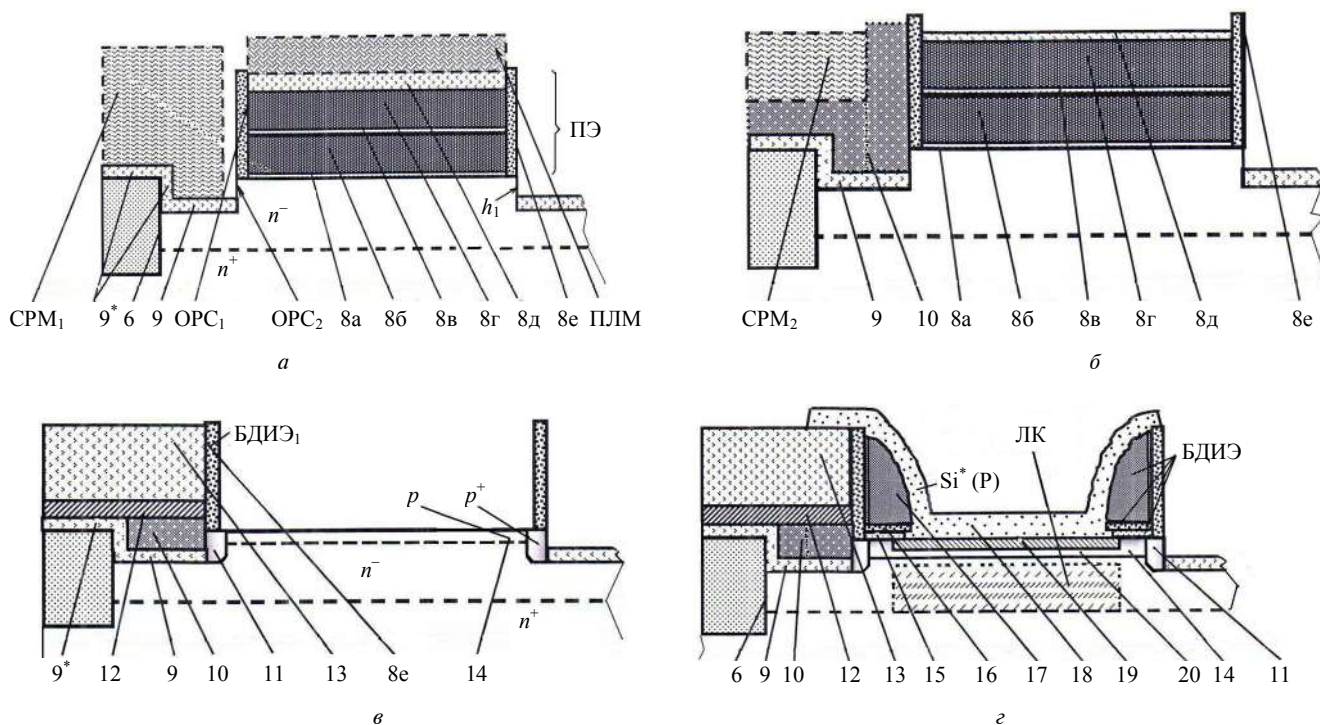


Рис. 3. Поперечные сечения ССТС на различных этапах их самоформирования:

a — ССТС после формирования ПЭ, ОРС₁, ОРС₂, СРМ и локальных областей 9 БДИ; *б* — ССТС после формирования пассивных областей базы 10 из $\text{Si}^*(\text{В})$, вертикальных областей p^+ -базы 11 и создания СРМ; *в* — ССТС после утонения областей 10, формирования конструктивных слоев 13, выравливания временных слоев 8д—8а и формирования областей 14 p -базы; *г* — ССТС после самоформирования областей БДИЭ, активных и пассивных областей базы и эмиттера

С правой стороны рисунков остается исходная конфигурация областей для наглядного сравнения. Составные многослойные области блока 8-ПЭ имеют следующие конструктивные и временные функциональные слои:

8а — тонкий (30–50 нм) пассивирующий слой $\text{SiO}_{2\Gamma}$;

8б — 1-й конструктивный слой из Si^* (чистый или легированный);

8в — разделительный слой из $\text{SiO}_{2\Gamma}$ или Si_3N_4 ;

8г — 2-й конструктивный слой из Si^* (чистый или легированный);

(путем термического окисления и травливания слоя $\text{SiO}_{2\Gamma}$), осаждается пленка 9 — $\text{SiO}_{2\Gamma}$. Для создания первой СРМ₁ проводится полное заполнение канавок фоторезистом, далее — плазмо-химическое травление (ПХТ) или АРИТ для вскрытия поверхности слоев. В итоге имеем планаризацию рельефа поверхности и вскрытие пленки 9. Затем проводится контролируемое избирательное химическое травление (ХТ) пленки 9 в растворе $\text{H}_2\text{O}+\text{HF}$ (50:1) с вертикальных участков канавок. Контроль окончания травления проводится на тестовых структурах по величине протекания тока в электролитической ячейке.

Возможно травление пленки 9 в газовой фазе HF. Материал СРМ₁ и области 8e служат локальными масками. Защищенные участки 9* пленки 9 на областях 6 БДИ отмечены на рис. 3, а, z в виде двух прямоугольников. При травлении пленки 9 слой 8д — SiO_{2П} утоняется. Результирующая ширина $h_1 = 0,2-0,3$ мкм базовых окон зависит от глубины канавок, состава и толщины (0,1—0,2 мкм) пленки 9, а также от времени травления, состава и температуры травителя.

На рис. 3, б дано сечение ССТС после удаления СРМ₁, освежения поверхности Si в разбавленной HF, осаждения пленки 10 Si*(B), создания повторной СРМ₂, проведения ПХТ или АРИТ для планаризации рельефа поверхности и вскрытия пленки 8д.

Затем (рис. 3, в) проводится травление пленки 10 Si*(B) до уровня дна СРМ₂, удаление СРМ₂ и открытое стравливание пленки 10 до верхней поверхности пленки 9*. Наличие под слоем 8д дополнительного стопорного подслоя Si₃N₄ облегчает процесс травления. На этом этапе при необходимости проводится процесс быстрого отжига структуры для предварительного формирования из пленки 10 Si*(B) областей 11 вертикальной базы. Критичным является процесс создания 1-го слоя 12 металлизации на основе силицида тугоплавкого металла W(Ta) (см. рис. 3, z). Возможно применение на этом этапе временно-го слоя легированного поликремния (или легированного диоксида кремния), который вытравливается на заключительной стадии самоформирования ССТС с последующим заполнением щели селективным металлом. После осаждения и планаризации 1-го межуровневого диэлектрика 13 — SiO_{2ПХ} проводится вытравливание слоев 8д—8а. Масками являются слои 13 и 8е.

Далее (рис. 3, z), используя конструктивный блок псевдоэмиттерных областей 8-ПЭ, самоформируются наиболее критичные элементы ССТС. В случае применения ионного легирования сначала создается демпфирующий (2—3 нм) слой SiO_{2Т}, затем проводится легирование (энергия 5—10 кэВ) ионами VF₂⁺ для создания соединительной области 14 p-базы (СБ), формируется слой (2—3 нм) 15 пассивирующего SiO_{2Т}, осаждается маскирующий (70—80 нм) слой 16 Si₃N₄ или SiN_x. После осаждения защитного (0,2—0,3 мкм) слоя 17 Si*(P) или SiO_{2П} проводится АРИТ этого слоя до слоя 16, при этом самоформируются результирующие составные области БДИЭ спейсерного типа. Варьируя толщину слоя 17 можно изменять ширину и длину эмиттерного окна и эффективное сопротивление эмиттера r_3 . На этой стадии для получения ССТС с различными электрическими па-

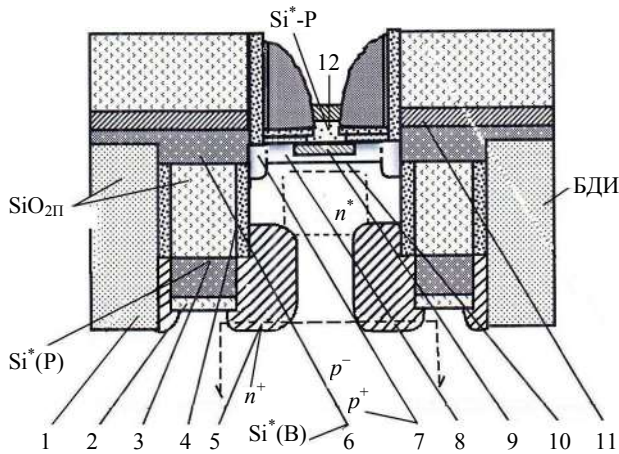
раметрами дополнительно проводится легирование ионами P⁺ для создания n*-областей локального коллектора (ЛК) и дополнительное легирование ионами VF₂⁺ активных областей базы (АБ). Химическим травлением или ПХТ слой 16 вытравливается до поверхности слоя 15 SiO_{2Т}, затем избирательно вытравливается слой 15 до поверхности кремния и сразу осаждается слой 18 (0,1—0,15 мкм) ПЭ из легированного поликремния Si*(As; P). При проведении окончательной стадии быстрого отжига (при 1000 °С) самоформируются точно локализованные активные области эмиттера (АЭ) — 19, активные области базы (АБ) — 20 и дополнительно перераспределяются легирующие примеси в областях соединительной базы (СБ) — 14, вертикальных областях базы — 11 и локальных областях коллектора (ЛК). В другом конструктивном варианте ультратонкие активные области базы с резким профилем легирования создаются в одностадийном процессе быстрой диффузии В из газообразной фазы в условиях контролируемой концентрации реагентов. В этом случае возможна дополнительная операция аморфизации поверхности кремния ионами Ge⁺.

Рассмотренный выше конструктивно-технологический базис позволяет формировать на одном кристалле кремния дополнительные типы транзисторных структур, приведенные ниже. На рис. 4—6 даны новые обозначения функциональных областей.

На рис. 4 дано сечение трехмерной многослойной СВЧ полностью самоформируемой транзисторной структуры (СПСТС) с локальными вертикальными областями коллектора. СПСТС полностью самоформируются относительно исходной области ПЭ и боковых стенок канавок. Сечение дано в плоскости, перпендикулярной к длине "элементарного" транзистора. Эти СПСТС могут быть реализованы без применения скрытых слоев и эпитаксиальных пленок на исходно чистом кремнии.

На рис. 5 приведено сечение другой трехмерной СПСТС на исходно чистом кремнии без применения скрытых слоев и эпитаксиальных пленок. Структуры имеют низкоомные внутренние коллекторные n⁺-области 7 с металлизированной шиной 8 в нижней части структуры. Для создания таких структур используется p⁻кремний 1 ориентации (100), в котором создаются глубокие области 2 БДИ, заполненные SiO_{2П}. Между областями 2 с лицевой стороны формируются стопорные n⁻-карманы легированием ионами P⁺ с диффузионным отжигом до уровня 3. Затем формируются многослойные псевдоэмиттерные области с областями 4 ОРС, с помощью АРИТ создаются канавки с вертикальными стенками,

канавки заполняются диэлектриком 5 SiO_2 . Далее проводится самоформирование ССТС с лицевой стороны. На заключительном этапе проводится электрохимическое травление с обратной стороны Si до дна 3 n^- -карманов, осажается пленка 6 SiO_2 (P), с помощью АРИТ этой пленки самоформируются спейсерные области 6. Легированием ионами P^+ и диффузионным отжигом создаются локальные n^+ -коллекторные области 7 и металлизированные области 8 коллектора с нижней стороны. СПСТС позволяют создавать также селективные области базы на основе сплава Si—Ge—В—С.



нительные p^- -карманы. Области исток—стока из поликремния легируются ионами P^+ . Структуры имеют внешнюю кольцевую шину металлизации стока (С) на поверхности области 2 легированного поликремния, создающего при отжиге вертикальную область 3с — стока и изолированного слоем 1 SiO_2 . Внутренняя кольцевая пассивная область затвора (ПЗ) создается из поликремния, легированного донорной и акцепторной примесями и имеет шину (3) селективной металлизации. Высокоомные области канала (К) самоформируются диффузией примесей из области ПЗ. Активные области затвора (3^*) также само-

Рис. 4. Поперечное сечение СПСТС с вертикальными областями коллектора:

1 — углубленные щелевые области боковой диэлектрической изоляции (БДИ); 2 — горизонтальные области БДИ; 3 — скрытые контактные коллекторные области из $\text{Si}^*(\text{As};\text{P})$; 4 — составные конструктивные скрытые области диэлектрической изоляции; 5 — локальные вертикальные низкоомные коллекторные области; 6 — пассивные области базы на основе $\text{Si}^*(\text{B})$ или сплава $\text{Si}^*-\text{Ge}^*-\text{B}$; 7 — внешние вертикальные области базы в кремнии; 8 — соединительные области базы; 9 — активные области эмиттера; 10 — активные области высокоомной базы; 11 — локальные контактные шины металлизации к базе; 12 — пассивные области эмиттера на основе $\text{Si}^*(\text{As};\text{P})$ и локальные контактные шины металлизации к эмиттеру

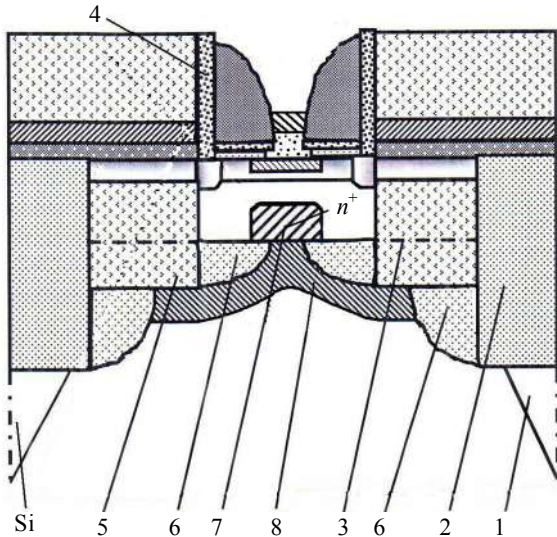


Рис. 5. Сечение СПСТС с селективной базой и областью локального коллектора, металлизированной снизу

На рис. 6 дано сечение левой части симметричной структуры МПТЗ кольцевого типа с минимальной длиной канала. По приведенной структурной схеме могут самоформироваться как p^- -канальные, так и n^- -канальные МПТЗ. В последнем случае в местах расположения этих транзисторов диффузией В формируются допол-

формируются диффузией примеси из области ПЗ. Центральная шина локальной металлизации истока (И) создается на поверхности области легированного поликремния, из которого при отжиге формируются вертикальные области 3и — истока. Пассивные области истока изолируются слоем 1 SiO_2 . Области стока, истока и затвора

разделяются (в предельном случае) тонким слоем 4 боковой диэлектрической изоляции переходов затвор—исток, затвор—сток. При необходимости эта область делается составной. Критическими узлами в этой структуре являются: толщина областей 4 изоляции переходов затвор—канал, выбранные глубины переходов диффузионных областей канала К и затвора 3^* , величина зазора между границей области поликремния и границей диффузионной области 3^* затвора непосредственно под областью 4 изоляции переходов затвор—канал, уровень дефектности границы переходов затвор—канал непосредственно под узкой областью 4. Рассмотренные структуры МПТЗ хорошо вписываются в общий технологический маршрут самоформирования биполярных ССТС, приведенный выше. Топология таких МПТЗ может иметь различную конфигурацию в виде концентрических окружностей, прямоугольных фигур, вложенных друг в друга, крестообразных одиночных и транслированных структур; сложных фигур серпантинного типа.

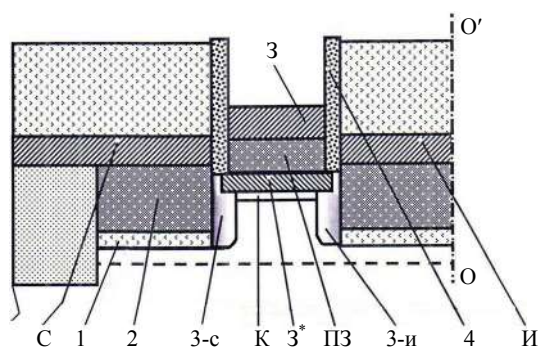


Рис. 6. Сечение трехмерной НЧ полевой структуры МПТЗ с минимальной длиной канала

Заключение

Выбранный конструктивно-технологический базис самоформирования биполярных СВЧ-самосовмещенных транзисторных структур на чистом кремнии (ССТС), а также малошумящих полевых транзисторных структур с затвором на p - n -переходах (МПТЗ), с учетом особенностей их совместной работы на одном кристалле кремния и совместимости с элементами МЭМС позволяют проектировать и оптимизировать малошумящие широкополосные усилители для радиопередающих ИС с рабочей частотой 5,2 ГГц. Структуры создаются по отечественной технологии с точной локализацией субмикронных элементов в плане и с нанометровыми размерами по вертикали при использовании методов самосовмещения и самоформирования, самосовмещенных резистивных масок, субмикронных псевдолитографических масок и многослойных псевдофункциональных элементов, задающих исходный опорный рельеф самоформирования. Выбранный базис обеспечивает производственный запас при граничной частоте транзисторов $f_T = 50$ ГГц. Для реализации СВЧ-транзисторов с f_T до 100 ГГц рассмотрены конструктивно-технологические схемы полного самоформирования транзисторных структур (СПСТС) на чистом кремнии без использования типовых скрытых слоев и эпитаксиальных пленок. СПСТС предназначены для создания ИС РЧ-диапазона с рабочей частотой 10 ГГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернер В. Д., Луканов Н. М., Сауров А. Н., Метельков П. В. Оптимизация СВЧ-самосовмещенных транзисторных структур на чистом кремнии и малошумящего широкополосного усилителя для радиопередающих ИС с элементами МЭМС. Часть 1 // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. — М.: ФГУП "ВИМИ", 2011. № 1. С. 78—84.
2. Вернер В. Д., Луканов Н. М., Сауров А. Н., Метельков П. В. Оптимизация СВЧ-самосовмещенных транзисторных структур на чистом кремнии и малошумящего широкополосного усилителя для радиопередающих ИС с элементами МЭМС. Часть 2 // Там же. 2011. № 2. С. 20—27.
3. Italia A., Ragonese E., Girlando G. et al. A 5-GHz monolithic silicon bipolar down-converter with a 3.2-dB noise figure // IEEE Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium. (U.S.A., Pennsylvania, June (7—13), 2003). 2003. P. 453 — 456.
4. Луканова Н. Н., Луканов Н. М. Конструктивно-топологическое проектирование самосовмещающихся субмикронных сверхтонкослойных транзисторных структур с улучшенными параметрами // Сб. науч. тр. МИЭТ "Физика, технология и схемотехника СБИС". — М.: МИЭТ. Зеленоград, 1989. С. 80—93.
5. А. с. 439863 СССР. Способ изготовления активных элементов интегральных схем / Луканов Н. М., Лебедев В. В., Любушкин Е. Н., Шварц К.-Г. М., Щербинин А. А. Оpubл. 19.04.74 (приоритет от 13.07.70).

6. А. с. 708885 СССР. Способ изготовления интегральных структур с боковой диэлектрической изоляцией / Луканов Н. М., Петрова В. З., Воронов С. А., Чиликина Т. Д. Оpubл. 14.09.79 (приоритет от 12.04.78).

7. А. с. 749287 СССР. Способ изготовления транзисторных структур / Луканов Н. М. Оpubл. 12.03.80 (приоритет от 03.11.78).

8. А. с. 1132734 СССР. Способ изготовления самосовмещенных транзисторных структур с диэлектрической изоляцией / Луканов Н. М.. Оpubл. 01.09.84 (приоритет от 05.08.83).

9. **Lukanov N. M. et al.** Bipolar VLSI based on self-aligned transistor structures // Electronic Engineering. Series Microelectronics. 1991. Issue 1 (1). News from Soviet "Silicon Valley". (Зеленоград, НПО "Научный центр"), 1991. P. 54, 55.

10. А. с. 1660533 СССР. Способ формирования областей боковой диэлектрической изоляции различной глубины / Луканов Н. М., Путья М. Г. Оpubл. 01.03.91 (приоритет от 06.05.88).

OPTIMIZATION OF SHF SELF-ALIGNED TRANSISTOR STRUCTURES BASED ON PURE SILICON AND OF LOW-NOISE WIDEBAND AMPLIFIER FOR RADIO FREQUENCY ICs WITH MEMS COMPONENTS

Part 3*

V. D. Verner, N. M. Lukanov, A. N. Saurov
SMC "Technological Center" of MIET, Moscow, Russia

P. V. Metelkov
MIET TU, Moscow, Russia

The constructive and technological features of manufacturing a bipolar SHF self-aligned and fully self-aligned transistors structure together with $n(p)$ -channel FETs on pure silicon were designed. These transistors structures are presented as a suitable for monolithic low-noise wideband amplifier (LNA) and radio frequency 5.2 GHz ICs.

Keywords: constructive and technological features, SHF self-aligned transistor structure (SSATS), fully self-aligned transistor structure (SFSATS), $n(p)$ -channel FETs, pure silicon, radio frequency ICs with 5.2 GHz.

Part 1 — 2011. No. 1. P. 78—84; part 2 — 2011. No. 2. P. 20—27.

Вернер Виталий Дмитриевич, председатель научно-технического совета.

Тел. (499) 734-45-21. E-mail: tc@tcen.ru

Луканов Николай Михайлович, ведущий научный сотрудник.

Тел. (499) 720-87-79. E-mail: N. Loukanov@tcen.ru

Сауров Александр Николаевич, директор.

Тел. (499) 734-45-21. E-mail: tc@tcen.ru

Метельков Павел Вячеславович, ведущий инженер.

Тел. (499) 732-63-09. E-mail: pavel_metelkov@mail.ru

Статья поступила в редакцию в марте 2011 г.