

УДК 621.383

***n*-КАНАЛЬНЫЙ ПТУП ДЛЯ МАЛОШУМЯЩИХ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ИС, РАБОТАЮЩИЙ В ПОДПороГОВОМ РЕЖИМЕ ПРИ 77 К**

*С. С. Демидов, Е. А. Климанов, И. Г. Стоянова, С. В. Щукин,
В. М. Юнгерман*

Государственное унитарное предприятие «НПО «Орион», Москва, Россия

Рассмотрены вопросы создания полевого транзистора с управляющим переходом (ПТУП) с пониженным уровнем шума, работающего при 77 К в режиме микро-токов. Дано описание основных принципов построения технологического маршрута ПТУП. Приведены параметры экспериментальных образцов приборов. Значительное место при объяснении полученных результатов уделено физике работы приборов, работающих при криогенных температурах.

Введение

В тепловизионных приборах на основе фотодиодов из КРТ в качестве считывающей электроники используются, как правило, Si мультиплексоры, изготовленные по МОП-технологии. При этом в ряде случаев, особенно при работе в диапазоне 8—14 мкм, когда трудно обеспечить высокое динамическое сопротивление фотодиодов, значительный уровень низкочастотного шума, характерный для МОП-транзисторов, не позволяет реализовать обнаружительную способность, ограниченную величиной фона [1].

Поскольку доминирующий вклад в шум электроники вносят транзисторы на входах секций накопления, в настоящей работе рассматривается возможность их замены на малошумящие полевые транзисторы с управляющим *p-n*-переходом.

Помимо низкого шума, эти транзисторы должны обеспечивать минимальное входное сопротивление схемы, т. е. обладать высокой крутизной при работе в микрорежиме (при входных токах 0,1—1 мкА), в условиях глубокого охлаждения ($T = 77$ К), а также обладать хорошей однородностью параметров по кристаллу, в первую очередь, по величине напряжения отсечки.

Выбор структуры и топологии

Поскольку разрабатываемый ПТУП предназначен для работы в составе *n*-МОП-мультиплексора, то в целях упрощения его интеграции выбрана структура ПТУП, в которой *p*-области, окружающие *n*-канал, изолированы друг от друга в отличие от серийных дискретных ПТУП. При этом нижняя *p*-область является подложкой ИС и, таким образом, для размещения транзистора не требуется отдельного кармана, а верхняя *p*-область (затвор) должна иметь замкнутую («кольцевую») топологию [2]. В нашей работе был использован комплект фотошаблонов, в котором затвор имеет длину 8 мкм и ширину 1450 мкм. В современных *n*-МОП ИС в качестве подложки используется кремний с удельным сопротивлением 1—10 (Ом·см) ориентации 100. Поэтому нами для отработки технологии и оптимизации параметров прибора были выбраны две марки кремния — КДБ-1 и КДБ-10.

Условия и режимы эксплуатации ПТУП определяют требования к его напряжению отсечки. С одной стороны, так как температурный дрейф контактной разности потенциалов кремниевых *p-n*-переходов составляет примерно 2 мВ/град, во избежание «схлопывания» канала при охлаждении прибора до рабочей температуры 77 К, напряжение отсечки при комнатной температуре должно быть не менее 0,8 В, а с другой стороны — для снижения рабочих напряжений между затвором и остальными электродами прибора и предотвращения тем самым предпробойных

утечек желательно, чтобы напряжение отсечки не превышало 3В, оптимальные напряжения отсечки лежат в пределах 1,5—2,5 В.

Выбор уровня легирования и толщины канала, кроме указанных выше ограничений по величине напряжения отсечки, определяется следующими условиями: в очень тонких каналах (меньше 0,5 мкм) могут возникнуть паразитные гальванические связи между областями затвора и подложки, а при снижении концентрации носителей в канале до уровней, сравнимых с концентрацией примеси в подложке, проявляются, как правило, технологическая невоспроизводимость и разброс параметров ПТУП.

Разработка технологии экспериментальных образцов ПТУП

Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать требования, которыми надо руководствоваться при разработке технологического маршрута.

1. Технология ПТУП должна быть совместимой с МОП-технологией.
2. При изготовлении мультиплексора с использованием ПТУП в качестве входных транзисторов для достижения минимального разброса параметров ПТУП по кристаллу и обеспечения приемлемого процента выхода годных должен быть обеспечен минимальный разброс параметров ПТУП по пластине, что является сложной задачей.
3. Так как реально ПТУП предполагается использовать в составе МОП-интегральной схемы мультиплексора, он должен обладать высокой крутизной для обеспечения минимального входного сопротивления, т. е. затворный переход должен быть резким и несимметричным.
4. Для снижения уровня низкочастотного шума необходимо снизить дефектообразование в процессе изготовления прибора.

Из анализа физики работы прибора видно, что разброс напряжения отсечки напрямую связан с разбросом глубин p - n -переходов затвор — канал, канал — подложка. Из известных методов формирования p - n -переходов метод ионного легирования, помимо точной дозировки количества введенной примеси и хорошей однородности, позволяет получать профили легирования с максимально крутыми фронтами и, как следствие этого, с минимальными разбросами глубин переходов. Кроме того, расположение пика концентрации в глубине кремния способствует более полному заполнению примесью области канала, что положительно сказывается на снижении разброса величины напряжения отсечки. По этой причине затворный переход следует располагать на плоской части профиля легирования примеси, образующей канал, т. е. $X_{j_{a,k}}$ должно быть меньше $R_p + \Delta R_{p\alpha}$, где R_p — проецированная длина пробега;

$\Delta R_{p\alpha} = \sqrt{\Delta R_p^2 + 2Dt}$ — эффективное рассеяние с учетом диффузионного размытия профиля.

Желательно даже располагать $X_{j_{a,k}}$ на восходящей ветви профиля легирования. В этом случае основное количество примеси в канале будет сосредоточено за затворным переходом. Для обеспечения этих условий при разумных значениях глубин затворного перехода для легирования n -канала следует использовать ионы фосфора высокой энергии. Реально энергия ионов фосфора составляла 320 кэВ. Для получения этой энергии использовались 2-зарядные ионы.

Одной из причин повышенного уровня низкочастотного шума прибора являются структурные дефекты. Основными причинами образования дефектов, помимо неравновесных термических дефектов, возникающих при закалке материала, и дефектов, вызванных разностью КТР, являются окислительные дефекты и радиационные дефекты, обусловленные процессами ионного легирования.

Образование окислительных дефектов в процессе роста окисной пленки может явиться причиной ускоренной диффузии примеси, введенной ранее в крем-

ний. Поэтому во избежание размытия профилей легирования желательно избегать окислительных операций после того, как структура прибора сформирована.

Концентрация радиационных дефектов зависит от дозы имплантированных ионов. Для снижения дефектообразования при легировании затвора доза ионов бора была снижена, но осталась достаточной для образования слоя p -типа с поверхностной концентрацией порядка $5 \cdot 10^{18}$, достаточной для обеспечения хорошего омического контакта и формирования резкого p - n -перехода.

Важным моментом при изготовлении прибора является поэтапный отжиг после каждого процесса, связанного с образованием дефектов. При несоблюдении этого условия возможно взаимное наложение дефектов с образованием новых дефектов, имеющих энергию активации выше исходной.

С учетом приведенных выше положений, для изготовления ПТУП был разработан технологический маршрут. При этом основными операциями при создании прибора в порядке их очередности были следующие:

- формирование n -канала, включая отжиг;
- формирование областей n^+ под контакт;
- формирование областей p^+ , включая затвор, охранное кольцо и области p^+ под контактом к подложке;
- совместный отжиг n^+ - и p^+ -областей.

Маской для имплантации ионов фосфора в канал с энергией 320 кэВ является слой фоторезиста толщиной 0,8 мкм и слой окисла 0,5 мкм.

Формирование области n^+ под контактом к истоку и стоку и p^+ -областей затвора и охранного кольца осуществлялось методом ионного легирования фосфора и бора, соответственно. Легирование производилось через слой окисла 300 Å с использованием соответствующих фоторезистивных масок.

В целях исключения деформации профилей распределения примесей окислительные операции, начиная с ионного легирования фосфора в канал, были сведены к минимуму. Для этой же цели в качестве межслойной изоляции использовался слой пиролитического окисла.

Для снижения утечек затворного перехода применялась металлизация на основе Al—Si.

Для оценки влияния технологических факторов на величину отсечки канала была разработана компьютерная программа. Исходными данными для нее являлись дозы легирования канала и затвора и температурно-временные режимы отжигов имплантированных слоев. Исток при этом предполагался заземленным на подложку. Для упрощения модели величины контактных разностей потенциалов определялись по выражениям для резких p - n -переходов. Данные по значениям R_p , ΔR_p , D брались из работ [3, 4]. Полученные данные использовались в качестве первого приближения при выборе режимов изготовления ПТУП.

В качестве иллюстрации на рис. 1 показано распределение концентраций примесей в структуре ПТУП и приведены значения глубин переходов, рассчитанные на компьютере. Приведенная величина X_{II} характеризует проникновение объемного заряда в канал со стороны подложки.

Окончательный выбор технологических режимов изготовления n -канальных кремниевых ПТУП осуществлялся путем оптимизации температурно-временных режимов, определяющих структуру прибора. При этом температура разгонки фосфора варьировалась в пределах 950—1100 °С, а бора — 900—1000 °С. Время формирования слоев при этом изменялось от 10 до 60 мин. Наиболее жесткий режим разгонки фосфора ($T = 1100$ °С, $t = 60$ мин) определялся условием совместимости с существующей МОП-технологией. При изготовлении опытных образцов приборов в указанных режимах обнаружился тот факт, что приборы со структурой слоев, соответствующих "мелким" глубинам переходов, обладают

повышенным уровнем утечек затвор — подложка, затвор — канал. Поэтому в дальнейшем для разгонки фосфора использовался наиболее жесткий из всех возможных режимов. А глубина затворного перехода была застabilизирована на уровне 0,4 мкм, что соответствует глубине залегания пика распределения концентрации фосфора. Расположение затворного перехода на этой глубине позволяет при обеспечении достаточной однородности параметров избежать утечек, характерных для очень мелких переходов.

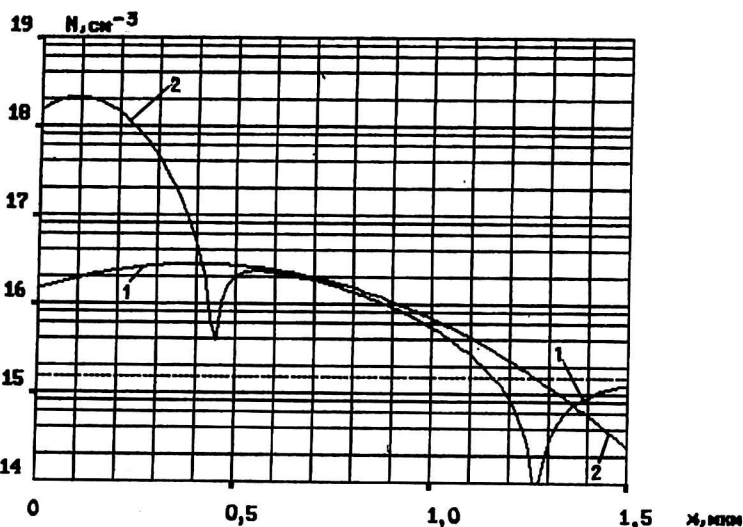


Рис. 1. Распределение концентрации примеси в структуре ПТУП (подложка — КДБ-10).
 1 — режимы по фосфору: $E = 320$ кэВ; $Q = 2,5 \cdot 10^{12}$ см⁻²; $T = 1100$ °С; $t = 60$ мин.
 2 — режимы по бору: $E = 40$ кэВ; $Q = 6,25 \cdot 10^{13}$ см⁻²; $T = 1000$ °С; $t = 60$ мин.
 $x_{\text{з.к}} = 0,444$ мкм; $x_n = 0,978$ мкм; $x_{\text{к.п}} = 1,27$ мкм

Важнейшим параметром ПТУП является напряжение отсечки канала (U_0). Исследования на компьютерной модели позволили оценить интервал доз фосфора, необходимых для получения требуемых значений напряжения отсечки (1,5—2,5 В). Окончательное определение величины доз производилось экспериментально путем снятия дозовой зависимости $U_0 = f(Q)$. Условия изготовления опытных образцов приборов при этом были следующими: материал — КДБ-1, КДБ-10; режимы по фосфору: $E = 320$ кэВ, $Q = (2-6) \cdot 10^{12}$ см⁻², $T = 1100$ °С, $t = 60$ мин; режимы по бору: $E = 40$ кэВ, $Q = 6,25 \cdot 10^{13}$ см⁻², $T = 1000$ °С, $t = 60$ мин, что несильно отличается от режимов отжига n^+ -слоев МОП ИС.

Операции контроля параметров ПТУП

Технологический контроль параметров ПТУП на пластине проводился при $T = 300$ К на автоматизированной зондовой установке "Зонд-А5". Измерения $I_{\text{с0}}$, S_0 , $I_{\text{yт}}$, U_0 осуществлялись с помощью пикоамперметра HP4140В фирмы Hewlett Packard, имеющего встроенные источники постоянного напряжения.

Оценка величины напряжения отсечки (U_0) осуществлялась по зависимости тока стока I_c от напряжения на стоке U_c при условии, что затвор соединен со стоком. Предполагая, что эта зависимость квадратична $I_c = k(U_c - U_0)^2$, по двум значениям тока стока I_{c1} и I_{c2} и соответствующим им напряжениям U_{c1} и U_{c2} определялась величина U_0 . В данном случае $I_{c1} = 100$ мкА, $I_{c2} = 400$ мкА.

Для проведения окончательных измерений приборы монтировались в технологический корпус-тару ТФ.171.120, допускающий охлаждение до 77 К. Начальный

ток стока I_{co} , крутизна переходной характеристики S_{σ} , напряжение отсечки $U_{отс}$ и пробоя $U_{пр}$, выходная проводимость в режиме насыщения G_{22} , а также токи утечки затвора I_{λ} измерялись на стандартном оборудовании (ИХПП А2-56, электрометр ЭМ-1, наноамперметр TR-1452 и др.) в схеме с общим истоком, а спектры э.д.с. шума $e_{ш}(f)$ — на лабораторном стенде, обеспечивающем измерения в диапазоне частот 20 Гц—8 кГц при комнатной температуре и при 77 К и рабочих токах вплоть до 1 мкА.

Обсуждение полученных результатов

На рис. 2 и 3 показаны экспериментальные зависимости $U_o = f(Q)$, $I_{co} = f(Q)$ для образцов, изготовленных на подложке КДБ-1 и КДБ-10.

Рис. 2. Зависимость величины напряжения отсечки от дозы имплантированных ионов фосфора для различных подложек:
1 — КДБ-10; 2 — КДБ-1

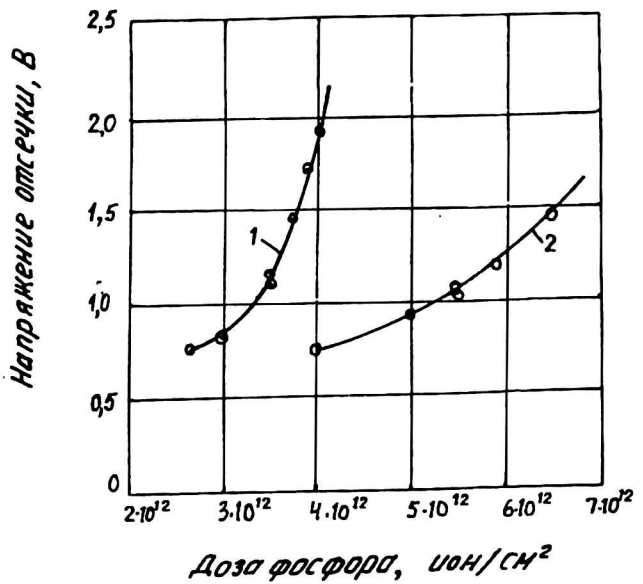
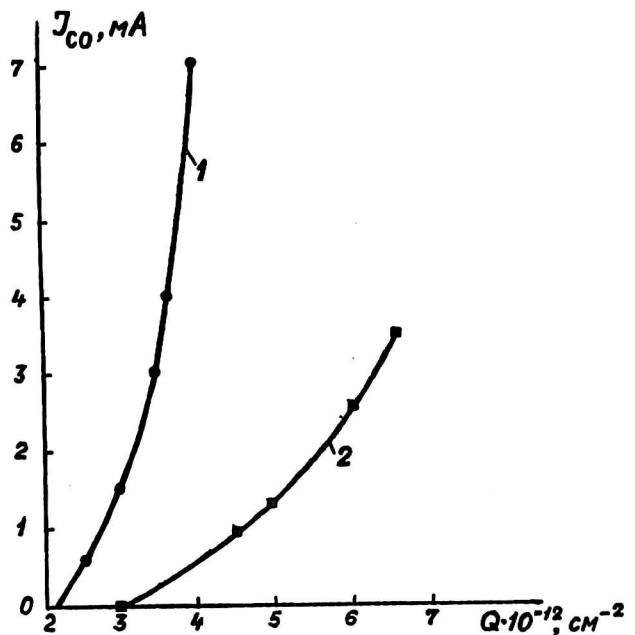


Рис. 3. Зависимость величины начального тока от дозы имплантированных ионов фосфора для различных подложек:
1 — КДБ-10; 2 — КДБ-1



Отличительной особенностью дозовой зависимости $I_{co} = f(Q)$ (см. рис. 3) является резкая зависимость I_{co} от дозы ионов фосфора, формирующего токопроводящий канал транзистора. Для приборов, изготовленных на подложке КДБ-10, эта зависимость более крутая, чем для приборов, изготовленных на КДБ-1, что свидетельствует о более высоких требованиях к точности процесса формирования канала транзистора, особенно в области малых доз.

Приведенные на рис. 2 данные о зависимости $U_{co} = f(Q)$ для приборов, изготовленных по разработанному технологическому маршруту, позволили определить область рабочих доз внедренных ионов фосфора, обеспечивающих выполнения заданных требований, предъявляемых к величине напряжения отсечки ($U_o = 1,5-2,5$ В). Так, допустимый диапазон доз ионов фосфора для приборов, изготовленных на кремнии КДБ-10 и КДБ-1, составляет соответственно: $3,1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} > Q > 2,7 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$; $6,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} > Q > 5,0 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Для оценки однородности параметров в линейках входных ПТУП мультиплексора и прогнозирования возможного разброса напряжений отсечки была выполнена обработка данных технологического контроля U_o на пластине. Поле пластины было разделено на условные кристаллы размером $4 \times 1 \text{ мм}^2$ (линейный размер кристалла ИС составляет примерно 4 мм) и рассчитаны среднеквадратичные отклонения U_o ПТУП в пределах каждого участка. Соответствующая гистограмма для 144 условных кристаллов приведена на рис. 4.

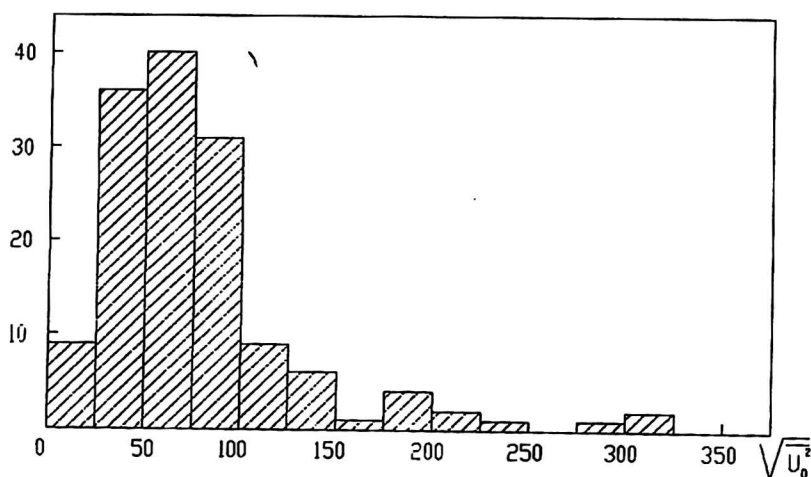


Рис. 4. Гистограмма разброса напряжения отсечки ПТУП при размере условного чипа 4 мм. Число условных чипов — 144

Около 80 % кристаллов имеют среднеквадратичный разброс $\sqrt{\delta U^2}$ не более 100 мВ. При ужесточении требований до 50 мВ норме соответствуют ~ 30 %. По этому параметру разработанные ПТУП пока уступают МОП-приборам, и для повышения выхода годных изделий требуется доработка технологии их изготовления.

Типичные значения основных параметров ПТУП, измеренных после сборки в корпус, сведены в таблице. Для приборов, изготовленных как на подложке КДБ-1, так на подложке КДБ-10, получены требуемые значения напряжения отсечки, приборы обладают достаточным запасом по величине напряжения пробоя, низкими значениями токов утечек затвора и выходной проводимости в режиме насыщения, а их уровень шума на частоте 1 кГц в 3—4 раза ниже, чем у МОП-транзисторов с теми же топологическими характеристиками. Однако по величине крутизны в режиме микротоков, особенно при температуре 77 К, приборы на

основе КДБ-1 существенно уступают как ПТУП, изготовленным на более высокоомном материале, так и МОП-транзисторам.

Основные параметры разработанных ПТУП

Исходный кремний	T, K	I _{co} , mA	S ₀ , mA/V	U _o , В	U _{по} , В	g ₂₂ , мксм	I _з , nA	S, мкА/В		ε _ш , нВ/√Гц
								I _c = 1 мкА	I _c = 0,1 мкА	
КДБ-1	295	3,3—6,8	4,0—6,0	1,6—2,1	~ 40	40—50	0,1—2	15—17	1,7—1,9	35—70
	77	0,3—1,25	0,9—2,0	0,8—1,4	~ 32	40—50	—	16,5—18	2,7—3,1	25—30
КДБ-10	295	3,7—5,0	5,5—6,2	1,3—1,55	22—25	50—65	0,005—0,04	24—25	2,5—2,6	26—30
	77	1,7—3,0	4,0—5,0	0,7—0,9	20—23	50—55	—	36—42	6,0—7,2	18—25
Режим измерений*		1, 2, 3		1, 3, 4	2, 3	1, 2, 3		1, 3		1, 3, 4, 5

* 1 — U_{си} = 5 В; 2 — U_{зи} = 0; 3 — U_{пи} = 0; 4 — I_c = 1 мкА; 5 — f = 1 кГц.

Для объяснения этого результата исследованы проходные характеристики ПТУП в диапазоне токов $3 \cdot 10^{-9}$ – $3 \cdot 10^{-3}$ А в режиме насыщения (U_c = 5 В), и на их основе построены зависимости крутизны от тока стока, представленные на рис. 5.

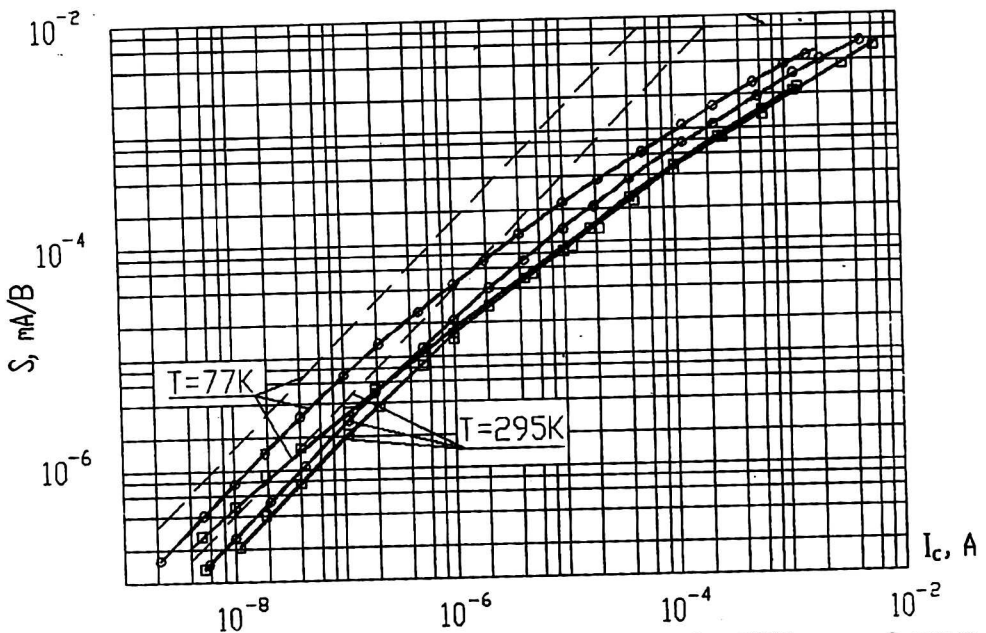


Рис. 5. Зависимость крутизны по затвору от тока стока для ПТУП, изготовленных на подложке с $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ (○—○) и $\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ (□—□).

Штриховыми линиями показаны предельно возможные значения для подпорогового режима

Известно, что в области подпороговых токов, где проходная характеристика экспоненциальна, крутизна и ток стока связаны линейной зависимостью

$$S = \frac{qI_c}{mkT}, \quad (1)$$

где q — заряд электрона;

m — фактор неидеальности, зависящий от конструктивно-технологических особенностей прибора;

k — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура.

Для “идеального” прибора ($m = 1$) достигается максимально возможное значение крутизны при заданном токе. Эти зависимости для $T = 295$ и 77 К также показаны на рисунке. Экспериментальные данные в области малых токов позволяют определить фактор m . Для разработанных приборов он составляет примерно 2 при 295 К и примерно 2,2 — при 77 К.

С другой стороны, в области больших токов стока, где проходная ВАХ ПТУП квадратична, крутизна зависит от подвижностей носителей заряда в канале μ , удельной емкости затвора C_o , а также ширины W и длины L канала, и соотношение между крутизной и током стока имеет вид

$$S = \sqrt{2\mu C_o \frac{W}{L}} I_c. \quad (2)$$

Из сопоставления (1) и (2) несложно получить величину критического тока стока $I_{c,кр}$, соответствующую переходу прибора в подпороговый режим:

$$I_{c,кр} = 2 \left(\frac{mkT}{q} \right)^2 \mu(T) C_o \frac{W}{L},$$

отсюда следует, что при охлаждении подпороговый режим достигается при значительно меньших токах стока.

Действительно, полученные экспериментальные зависимости $S(I)$, на которых четко прослеживаются предельные участки с характерными зависимостями $S \sim I$ и $S \sim \sqrt{Id}$, подтверждают этот вывод. При этом, если при комнатной температуре рабочий диапазон токов 0,1—1 мкА близок к подпороговому режиму, то при охлаждении до 77 К в силу указанного снижения $I_{c,кр}$ ПТУП выходит из подпорогового режима, и вместо ожидаемого роста крутизны в 295/77 ~ 4 раза имеет место ее улучшение в 1,6—2,5 раза для ПТУП, изготовленных на Si КДБ-10, и лишь в 1,1—1,6 раза — для КДБ-1. Поскольку при выходе из подпорогового режима появляется зависимость крутизны от подвижности, можно объяснить значительное различие в крутизне ПТУП, изготовленных из этих материалов. Более сильное легирование подложки заставляет увеличивать концентрацию примеси в канале, а это, в свою очередь, снижает подвижность носителей, так как при глубоком охлаждении в кремнии доминирует механизм рассеяния на ионизированных атомах примеси. Таким образом, для достижения более высокой крутизны ПТУП при $T = 77$ К целесообразно использовать менее легированную подложку.

При оценке величины входного сопротивления ПТУП в ИС мультиплектора необходимо учитывать влияние подложки (в схеме с общим затвором $R_{вх} = 1/(S + S_n)$, где S_n — крутизна по подложке), которое, как показали результаты измерений, весьма заметно — крутизна по подложке составляет 35—40 % от величины крутизны по затвору. Кроме того, в силу жестких топологических ограничений входной транзистор секции накопления будет иметь ширину канала примерно на порядок меньшую, чем у исследованных ПТУП. С учетом этих двух факторов можно ожидать, что величина входного сопротивления составит примерно 30 кОм при $I_c = 1$ мкА, что обеспечит коэффициент инжекции порядка 0,8 при работе от источника сигнала с сопротивлением 160 кОм. При меньших рабочих токах ($\sim 10^{-5}$ А) по этому параметру ПТУП будет лишь в ~ 1,6 раза отличаться от “идеального” прибора.

Основное преимущество ПТУП — более низкий уровень шума по сравнению с МОП-транзистором — проиллюстрировано на рис. 6, на котором представлены типичные спектральные характеристики э.д.с. шума для приборов на основе Si КДБ-10 при $I_c = 1$ мкА. Из графиков следует, что в отличие от МОП-транзисторов вклад избыточного низкочастотного шума в рабочем диапазоне

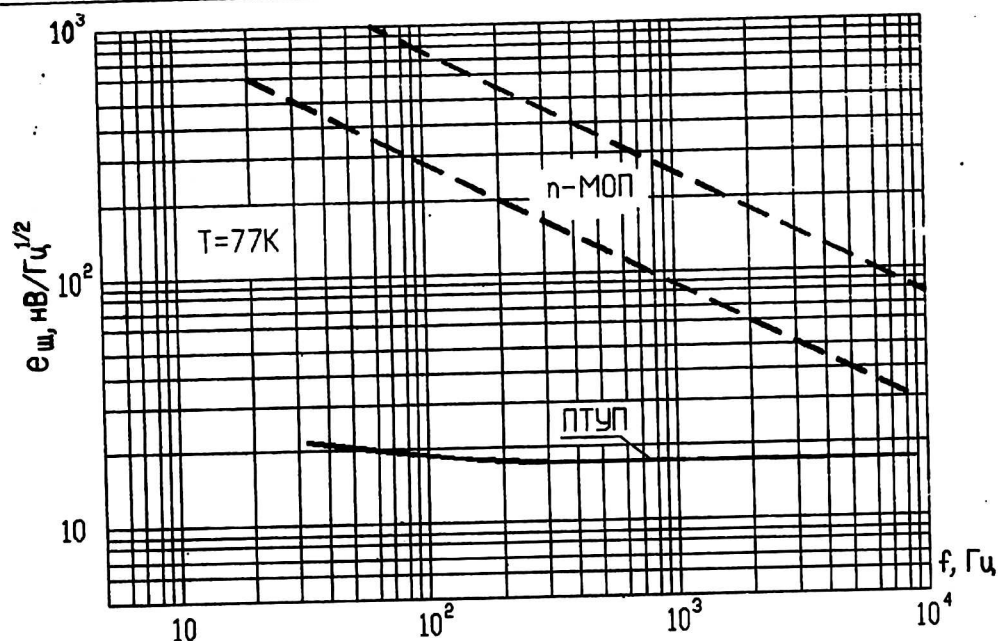


Рис. 6. Типичная спектральная характеристика шума экспериментальных образцов ПТУП в области низких частот.

Для сравнения штриховыми линиями показана зона разброса спектров шума для МОП-транзисторов.
 $I_c = 1$ мкА, $U_{си} = 5$ В, $U_{ли} = 0$

частот пренебрежимо мал, а граничная частота избыточного шума не превышает ~ 100 Гц. Величина шума в области белого спектра и ее изменение с температурой свидетельствуют о сильном разогреве электронов в канале электрическим полем [5]. Снижение $e_{ш}$ при охлаждении здесь связано лишь с увеличением крутизны транзистора, в то время как температура электронного газа остается практически неизменной, поддерживая сравнительно высокий уровень диффузионного шума. Этот эффект, видимо, имеет место и в МОП-транзисторах, однако в исследованном диапазоне частот он маскируется мощным низкочастотным шумом.

Выводы

В процессе работы получены опытные образцы полевых транзисторов с управляющим $p-n$ -переходом, работающие как при 300 К, так и при 77 К с удовлетворительным разбросом параметров по пластине.

Достигнутый уровень шумов в несколько раз меньше, чем у МОП-транзисторов. Крутизна в режиме микротоков соизмерима с крутизной МОП-транзисторов. Рабочие напряжения приборов позволяют использовать их в составе МОП интегральных схем.

Разработанный технологический маршрут по своей структуре близок к технологии КМОП ИС.

Результаты, полученные в ходе работы, могут быть использованы при проектировании интегральных схем с малошумящим входом, работающих при 77 К.

Литература

1. Науч.-техн. отчет по НИР "Окружность". — М., НПО "Орион", 1996, инв. № 496-96.
2. Науч.-техн. отчет по НИР "Усилитель. Разработка и исследование технологических процессов изготовления кремниевых с низким уровнем шума, предназначенных для стыковки с ФП" / Предпр. п/я А-3726, 1985, инв. № 2973.

3. G i i b o n s J. F., J o h n s o n W. S., M y l r o i e S. W. Projected Range Statistics. Stroudsburg. — USA, 1975.

4. F a i r r R. B. Concentration Profiles of Diffused Dopants in Silicon. — M.: Wang F. F. Y. (ed.), Impurity Doping Processes in Silicon, North-Holland. — New York, 1981. Ch. 7.

5. N o u g i e r J. R. et al. Noise of hot carriers in the channel of n silicon Junction gate field effect transistors// Solid-State Electronics, 1979. V. 21. № 1. P. 133—138.

INPUT LOW NOISY n-JEET FOR IC TO WORK IN SUBTHRESHOLD REGIME AT 77 K

S. S. Demidov, E. A. Klimanov, I. G. Stoyanova, S. B. Schukin, V. M. Yungerman
The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion"», Moscow, Russia

Experimental results and their explanation are proposed on subthreshold mode n-JEET at 77 K destined for focal plane infrared imaging systems.