

Спроектовано польовий МОН-транзистор з вертикальною структурою методом подвійної дифузії. Транзистор розрахований на роботу в діапазоні частот до 900 МГц. Формування металізації затвору та витоку проводиться в одному технологічному циклі, що спрощує технологічний процес виготовлення транзистора та понижує вимоги до допусків цього етапу виготовлення

Ключові слова: транзистор, топологія, автодинний сенсор

Спроектирован полевой МОП-транзистор с вертикальной структурой методом двойной диффузии. Транзистор рассчитан на работу в диапазоне частот до 900 МГц. Формирование металлизации затвора и истока проводится в одном технологическом цикле, что упрощает технологический процесс изготовления транзистора и понижает требования к допускам этого этапа изготовления

Ключевые слова: транзистор, топология, автодинный сенсор

The MOS field effect transistor with vertical structure is designed by a method of double diffusion. The transistor is calculated on work in a range of frequencies up to 900 Mhz. Formation of a gate and a source metallization is spent in one technological cycle that simplifies technological process of manufacturing of the transistor and lowers requirements to tolerances of this fabrication stage

Keywords: transistor, topology, autodyne sensor

N-КАНАЛЬНИЙ D-МОН ТРАНЗИСТОР З ПОДВІЙНОЮ ДИФУЗИЄЮ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ЧАСТОТ

А. Д. Верига

Асистент*

Контактний тел.: 097-219-30-41

veriga@ukr.net

Л. Ф. Політанський

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

*Кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки

Чернівецький національний університет

ім. Ю. Федьковича

Контактний тел. (03722)-4-24-36

E-mail: rt-dpt@chnu.cv.ua

Автодинні сенсори (автогенератори слабких коливань) є основою радіочастотної приймаючої частини пристрою спостереження магнітного резонансу [1, 2] і застосовуються для неруйнівного, безконтактного контролю кінетичних параметрів напівпровідникових матеріалів [4]. Поєднання функцій ВЧ-генератора і детектора усуває необхідність узгодження коливального контуру з окремим діодним детектором і за рахунок зменшення каскадів обробки ВЧ сигналу дає можливість значно зменшити шум-фактор радіоспектрометра [3].

Автодинним сенсорам на біполярних транзисторах притаманні недоліки. Зокрема, їх малий вхідний опір шунтує коливальний контур, що безпосередньо взаємодіє з досліджуванним зразком і повинен мати високу добротність. Як наслідок рівень отримуваних сигналів всього в 2-3 рази більший за рівень шумів схеми, а інколи співрозмірний з ними. Крім цього, відносно великий коефіцієнт шуму біполярних транзисторів (~4 Дб) зменшує чутливість схеми автодинного сенсора. Не-

обхідність розташування коливального контуру в області температури рідкого азоту, обумовлює введення в коливальний контур розподілених ємностей та індуктивностей з'єднувальної лінії. При цьому зразок взаємодіє лише з частиною контуру, що призводить до зменшення чутливості сенсора. Розміщення біполярного транзистора в області низьких температур поряд з коливальним контуром унеможливується із-за наявності кіл живлення бази біполярного транзистора, що ускладнює схему приладу.

Усунення цих проблем можливе шляхом застосування польових транзисторів, що мають великий вхідний опір. Крім цього, вони характеризуються меншим рівнем шумів (причому коефіцієнт шуму мало залежить від напруги стік-витік), працюють в широкому діапазоні температур, немає необхідності використання додаткових кіл живлення для встановлення режиму роботи транзистора.

Використання транзисторів зі структурою метал-оксид-напівпровідник є більш доцільним у порів-

нянні з польовими транзисторами, керованими р-п-переходом за рахунок значно меншої вхідної ємності [5], відсутності модуляції ємності затвор-канал, а також на декілька порядків більшого вхідного опору. Застосування МОН-транзисторів (типу BF998) у схемі автодинного сенсора ускладнюють конструкцію його гібридної інтегральної мікросхеми (ГІМС) [6], оскільки вимагають двох джерел живлення ланок витік-затвор.

Дана проблема може бути усунута шляхом використання коротко-канального транзистора з вертикальною структурою, виготовленого методом подвійної дифузії [7, 8], в якого крутизна ВАХ забезпечується співвідношенням ширини каналу до його довжини, при заданому значенні вхідної ємності.

Метою даної роботи є розробка однозатворного транзистора з подвійною дифузією з наступними параметрами:

1. Струм стоку: $I_C = 30 \text{ мА}$.
2. Максимальна напруга стік-витік: $U_{CB} = 20 \text{ В}$.
3. Крутизна: $S = 30 \text{ мА/В}$.
4. Максимальна робоча частота: $f_{\text{max}} = 1 \text{ ГГц}$.
5. Коефіцієнт шуму: $F = 0,6...1,2 \text{ дБ}$.
6. Діапазон робочих температур: $T = 77...398 \text{ К}$.
7. Тип корпусу: SOT-143.

Топологія структури

Для проектування транзистора використовувалася SPICE-модель третього рівня, призначена для опису коротко-канальних польових МОН-транзисторів. Це дозволило провести як розрахунки вольт-амперних характеристик транзистора з врахуванням ефектів модуляції довжини каналу та рухливості носіїв заряду, так і забезпечити комп'ютерне моделювання схем автодинного сенсора, що забезпечують оптимальні режими його роботи [9].

Розрахункові вольт-амперні характеристики транзистора приведені на рис. 1.

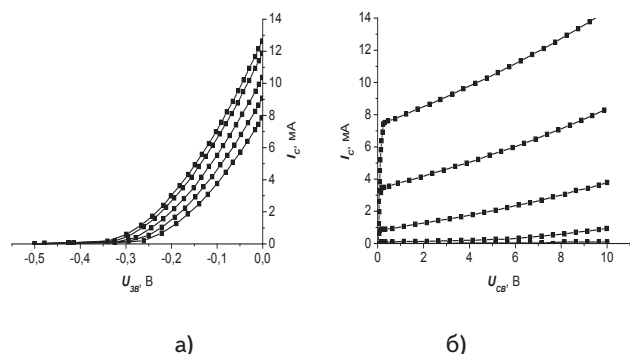


Рис. 1. ВАХ транзистора а) прохідні, б) вихідні

Висока крутизна ВАХ транзистора забезпечує необхідну ефективність стокового детектування [10], що полягає в проходженні високочастотного сигналу через нелінійний активний елемент (транзистор) з квадратичною ділянкою прохідної характеристики. Це призводить до появи постійної, НЧ та ВЧ складових. При цьому незначні зміни рівня високочастотної напруги (коефіцієнт модуляції $\approx 1\%$) викликають суттєві зміни струму стоку, що робить можливим

детектування сигналу магнітного резонансу шляхом реєстрації напруги на стоковому або витоківому опорі навантаження.

При дослідженнях автодинного сенсора на польовому транзисторі спостерігалися два режими детектування сигналу [11]. При переміщенні робочої точки транзистора по прохідній характеристиці реєструвалися сигнали резонансного поглинання взаємно-протилежної фази, що відповідають різним напругам зміщення затвор-витік. Встановлено (рис. 2), що така характеристика має дві ділянки з явно вираженою нелінійністю (область 1 та 2). При цьому область 2 є квадратичною ділянкою прохідної характеристики транзистора, а область 1 забезпечується ввімкненням в коло стоку резистору навантаження.

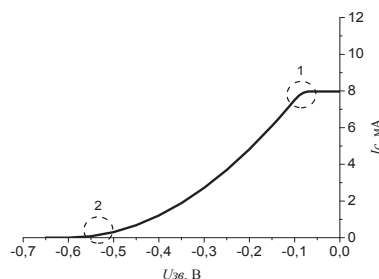


Рис. 2. Залежність струму стоку від напруги затвор-витік з резистором навантаження в колі стоку

Задання робочої точки транзистора на ділянці з найбільшою крутизною прохідної характеристики транзистора забезпечує оптимальні умови генерування коливальних, а ефективність стокового детектування є найбільшою на опуклостях (область 1) або вигнутостях (область 2) залежності I_C від $U_{зв}$. Вибір робочої точки на вище вказаних ділянках характеристики дає можливість отримати демодульований сигнал, що супроводжується меншим числом комбінаційних частот, а, отже, незначним ростом шуму в порівнянні зі звичайним діодним детектуванням.

Топологія та поперечні розрізи кристалу розроблюваного транзистора приведені на рис. 3.

Вихідні пластин кремнію товщиною 400 мкм, з орієнтацією поверхні $\langle 100 \rangle$, леговані сурмою і мають питомий опір 0,01 Ом·см. На поверхні вихідної кремнієвої пластини формуємо епітаксійний n_- шар товщиною 10 ± 1 мкм, з питомим опором $\rho_v = 1$ Ом·см. р-канальна область структури з поверхневим опором дифузійного шару $\rho_s = 150 \pm 10$ Ом/□ формується методом іонного легування з наступним високотемпературним перерозподілом домішок бору. Порогова напруга визначається товщиною окислу затвору та концентрацією домішок в р-канальній області приладу. Нижня поверхня кристалу служить контактом до області витоків.

Після формування р-канальних областей формуються витоківі області методом дифузії домішок фосфору з поверхневим опором дифузійних шарів $\rho_s = 5,0 \pm 1$ Ом/□.

Область n_+ -типу служить в якості витоків. Поперечні перерізи кристалу показані на рис. 3 б та рис. 3 в.

Наступні операції пов'язані з формуванням підзатворного діелектрика та формуванням металізації

затвору електронно-променевим розпиленням. Інверсія в р-області структури досягається перекиданням р-області і областей витоку, що легко досягається у нашому випадку видаленням контактів витоку із активної області структури.

Виготовлення n-канальних D-МОН транзисторів передбачає використання базових технологічних процесів формування К-МОН інтегральних мікросхем.

Вольт-амперні характеристики експериментальних зразків транзистора при кімнатній та азотній температурах приведені на рис. 4.

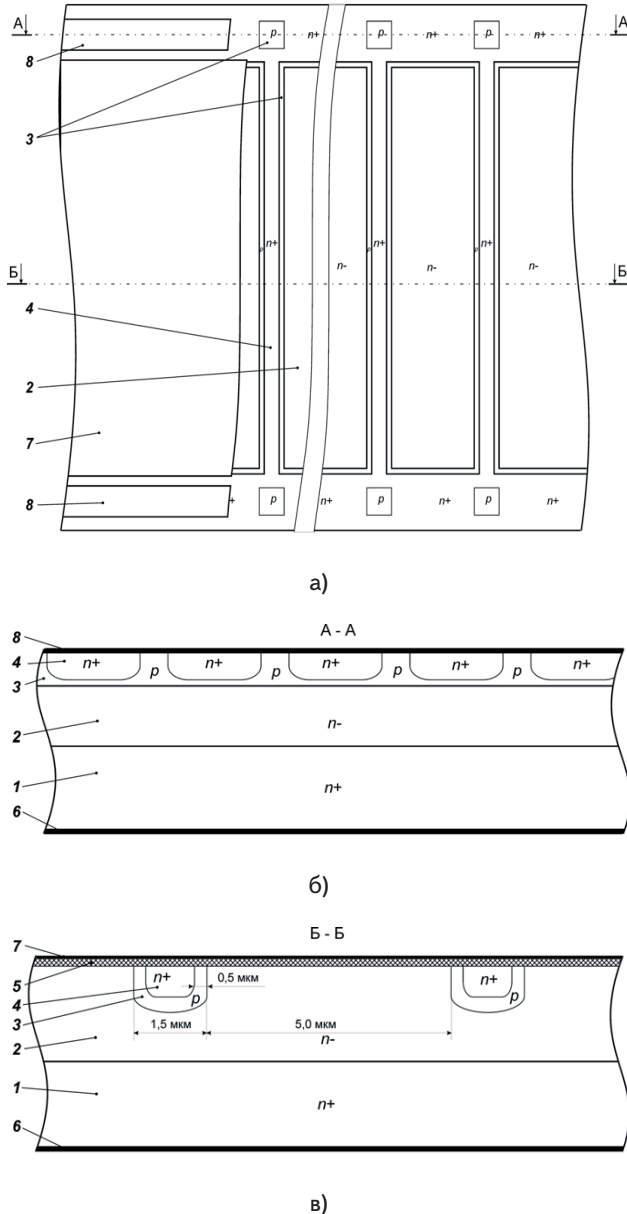


Рис. 3. Фрагмент топології кристалу транзистора: а) вигляд зверху, б) поперечний переріз кристалу в області витоку, в) поперечний переріз кристалу в області затвору; (1-кремнієва пластина е.к.с. 0,01 Ом-см, 2-епітаксійний шар, 3-підкладка, 4-область витоку, 5-підзатворний діелектрик, 6-металізація стоку, 7-металізація затвору, 8-металізація витоку)

Електрофізичні параметри структури приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Електрофізичні параметри структури

№ шару	Назва	Характеристики	Метод нанесення шару
1	кремнієва пластина (матеріал n_+)	$\rho_V = 0,01 \text{ Ом-см}$	
2	стік структури епітаксійний n_- - шар	$\rho_V = 1 \text{ Ом-см}$ товщина $10 \pm 1 \text{ мкм}$	нарощування епітаксійного шару із заданими електрофізичними параметрами
3	p-канальна область	$\rho_S = 150 \pm 10 \text{ Ом/}\square$ глибина залягання $1,5 \pm 0,2 \text{ мкм}$	іонне легування з подальшим перерозподілом домішок бору
4	n_+ - область витоку	$\rho_S = 5,0 \pm 1 \text{ Ом/}\square$ глибина залягання $1,0 \pm 0,2 \text{ мкм}$	дифузія домішок фосфору
5	діелектрик (діоксид кремнію - SiO_2)	товщина 80 нм (800Å)	термічне окислення в атмосфері сухого кисню
6, 7, 8	металізація		електронно-променеве наплення плівки алюмінію

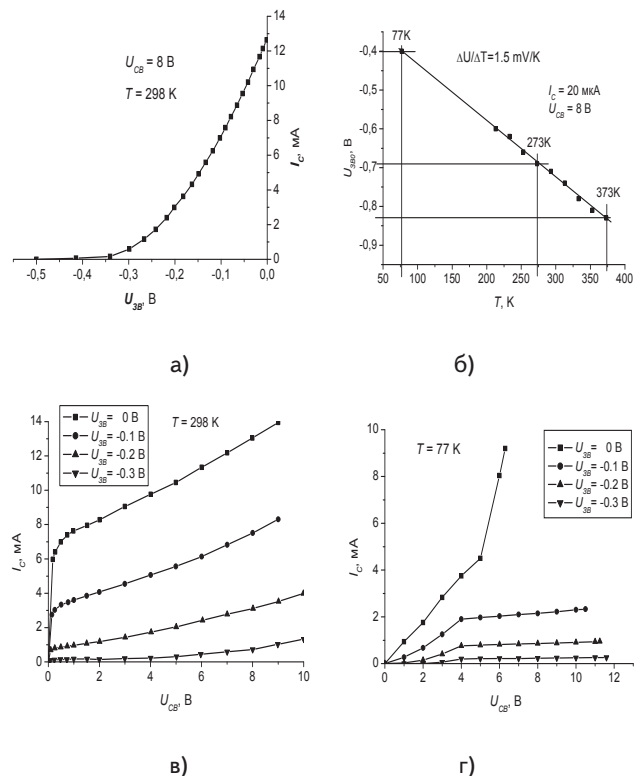


Рис. 4. Експериментальні характеристики транзистора: а) прохідна ВАХ, б) залежність напруги відсічки від температури, в, г) вихідні ВАХ

Висновки

1. Розроблено МОН-транзистор з подвійною дифузією з вертикальною структурою для застосування в гібридній інтегральній схемі автодинного сенсора дециметрового діапазону.

Винесення контактів витoku з активної області структури дозволило зменшити паразитні ємності ($C_{ЗС} = 2,0 \cdot 10^{-3}$ пФ, $C_{ЗВ} = 0,7$ пФ, $C_{ЗП} = 0,5$ пФ, $C_{СВ} = 0,3$ пФ, $C_{ВП} = 0,9$ пФ, $C_{СП} = 0,3$ пФ), що є меншими у порівнянні із транзистором із самосуміщеним затвором і забезпечують роботу транзистора в необхідному діапазоні частот.

Формування металізації затвору та витoku може проводитися в одному технологічному циклі, що спрощує технологічний процес виготовлення транзистора та понижує вимоги до допусків цього етапу виготовлення.

2. Застосування польового транзистора в схемі автодинного сенсора значно зменшує рівень шумів схеми, у порівнянні із використанням біполярного транзистора, та спрощує конструкцію приладу, призначеного для вимірювань кінетичних параметрів напівпровідникових матеріалів при температурах рідкого азоту.

Література

1. O.S. Stoican NQR detection setup/ O.S. Stoican// Rom. Journ. Phys.— 2006.— Vol. 51, Nos. 1-2.— P. 311-315.
2. P.M. Andersen Ultralow power low noise ultrahigh frequency magnetic resonance spectrometer/ P.M. Andersen, N.S. Sullivan, L.W. Phelps, and J.B. Legg// Rev. Sci. Instrum., Vol.63, Is.1, 1992.
3. Ван дер Зил А. Шумы при измерениях/ Ван дер Зил А.— М.: Мир, 1979.— 292с.
4. Хандожко А.Г., Слынько Е.И., Черныш И.П. Автодинный детектор для исследования ядерного магнитного резонанса и размерных эффектов в полупроводниках/ Хандожко А.Г., Слынько Е.И., Черныш И.П.// ПТЭ.— 1988.— №5.— С.110-112.
5. <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2001/fvti/tereschuk/diss/lib/mop.htm>.
6. Браиловский В.В. Гибридный автодинный сенсор магнитного резонанса/ Браиловский В.В., Верига А.Д., Политанский Л.Ф.// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. Научно-технический журнал.— 2009.— № 5.— С.7-9.
7. С. Зи Физика полупроводниковых приборов/ С. Зи; [Перевод с английского], под.ред. Р.А. Сурица.— [в 2-х книгах].— Москва: «Мир», 1984
8. Окснер Э.С. Мощные полевые транзисторы и их применение/ Окснер Э.С.; [Перевод с английского], под.ред. В.Н. Мышляева.— Москва: «Радио и связь», 1985.— 288с.
9. Браиловский В.В. Моделирование схемы автодинного сенсора на полевом транзисторе/ Браиловский В.В., Верига А.Д., Готра З.Ю., Кушнир Н.Я.// Известия вузов. Радиоэлектроника.— 2010.— № 1.— С.1-7
10. N.Sullivan Nuclear resonance spectrometers using field effect transistors/ Neill Sullivan// Rev. Sci. Instrum. — 1971.— vol.42, №4.— P.462-465.
11. Браиловський В.В., Верига А.Д., Хандожко О.Г. Ефективність стокового детектування в автодинному спин-детекторі// Науковий вісник Чернівецького університету, Фізика. Електроніка. Збірник наукових праць. Випуск 201.— 2004.— С.110-112.