УДК 517.9
Онуфрієнко В.М.[1], Засовенко А.В.[2]
[1] д-р фіз.-мат. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»
[2] канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ФРАКТАЛЬНА МОДЕЛЬ ДИФЕРІНТЕГРАЛЬНИХ АЛЬФА-ФОРМ ЗАРЯДІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ СТРУМУ ДЛЯ ІМІТАЦІЇ НАНОШАРУ НА МЕЖІ СЕРЕДОВИЩ

Тривалий час тенденцією розвитку техніки напівпровідникових транзисторів було і залишається зменшення довжини каналу. Співвідношення, що визначають вольт-амперні характеристики (ВАХ), показують, що струм стоку не змінюється при пропорційній зміні довжини та ширини каналу. Зменшення довжини каналу сприяє підвищенню питомої крутизни ВАХ та граничної частоти. Коли поздовжні розміри напівпровідних структур досягли значень 1-2 мкм, виявилося, що змінюється і форма ВАХ [1].

Досить точні математичні моделі польового транзистора дуже складні. Головна причина полягає в тому, що транзистор є неодновимірним приладом (керуюче поле затвора і поле стоку спрямовані взаємно перпендикулярно). У простих відомих моделях задачі зводилися до квазіодномірної – взаємодія поздовжнього та поперечного полів не враховувалася.

Побудову фрактальної моделі імітації наношару окислу на межі метал-напівпровідник у просторі як функції множини здійснимо вводом у розгляд диферінтегральної альфа-форми множин фізичних зарядів в метаматеріальному середовищі [2]. Теорія фрактального шару на межі розділу двох середовищ базується на визначенні дробового диференціла, його зв'язку з дробовою похідною $d^{\alpha}L(x)={}_{a}D_{x_i}^{\alpha}L(x)d^{\alpha}x$, де дробова похідна ${}_{a}D_{x_i}^{\alpha}L(x)$ використовується у формі Рімана-Ліувілля. Згідно з диферінтегральним законом Ома, що виконується в умовах прямокутного фрактального елемента з поздовжньою координатою y, струм у каналі пов'язаний з розподілом потенціалу рівнянням

$$I^{(\alpha)} = -\sigma_0 \frac{\Gamma(1+\alpha)}{l^{\alpha}} ab U^{(\alpha)}. \qquad (1)$$

Коли напруга стік-витік V_{DS} перевищує напругу перекриття V'_{DS}, приповерхневу область напівпровідника можна подати у вигляді звортнозміщеного $n^+ - p$ -переходу, до якого прикладено напругу $V_{DS} - V'_{DS}$ [3]. Довжина області перекриття l_s та співвідношення між товщиною області просторового заряду l та ефективною довжиною каналу l_e:

$$l_s^{\alpha} = l^{\alpha} - l_e^{\alpha} \approx \sqrt{k_s (V'_{DS} - V_{DS})}, \quad k_s = 2\varepsilon_s / qN. \qquad (2)$$

Отже, зростання V_{DS} супроводжується зміною (зменшенням - у класичному випадку) ефективної довжини каналу l_e^{α} та струму стоку $I_D \approx l_e^{-\alpha}$ у вигляді скейлінгової гіперболічної залежності (1) (збільшенням – у класичному випадку, коли $\alpha = 1$).

З урахованням (2) та узагальненого принципу подібності для фрактально конфігурованих структур зв'язок струму стоку I_D зі струмом I'_D, що є відповідним напрузі перекриття V'_{DS}, отримуємо співвідношення

$$\frac{I_D}{I'_D} = \left(\frac{l}{l_e}\right)^{\alpha} = I'_D \left(\frac{l}{l - \sqrt{k_s (V'_{DS} - V_{DS})}}\right)^{\alpha}. \qquad (3)$$

Теоретично підтверджуємо [3] сильний вплив скейлінгу каналу, при цьому порушується наближений лінійний зв'язок між вихідною провідністю і струмом стоку, що спостерігається і експериментально підтверджується для класичних польових транзисторів [4].

Наведені результати дослідження пропонуються для впровадження розглянутої структури транзистора з фрактальною конфігурацією каналу у складі напівпровідникових інтегральних мікро- і наносхем пристроїв дробового інтегродиференціювання в адаптивних системах, програмованих аналогових інтегральних схемах, фільтрах тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Старосельский В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники / В. И. Старосельский. – М. : Высшее образование : Юрайт, 2009. – 463 с.

2. Onufrienko V. M. Modeling Characteristics of Field-Effect Fractal Nanotransistor / V. . Onufrienko, T. I. Slyusarova, L. M. Onufrienko // Proceedings

15-th International Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, Lviv-Slavske, Ukraine, 25-29 February 2020. Lviv. – P. 586–589.

3. Засовенко А. Ефект вкорочення довжини фрактального каналу польового транзистора / А. Засовенко, В. Онуфрієнко, А. Фасоляк // Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2021): V Всеукраїнська науково-практична конференція, 24-26 листопада 2021 р. – Дніпро, 2021. – С. 192–193.

4. Cobbold R. Theory and Application of Field-effect Transistors / R. Cobbold. – Wiley-Interscience; 1st Edition,1970. – 534 p.