

УМОВИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОБОЮ ФРАКТАЛЬНОГО КАНАЛУ ПОЛЬОВОГО НАНОТРАНЗИСТОРА

А. Фасоляк, Т. Слюсарова, А. Засовенко, І. Килимник, В. Онупрієнко

*Національний університет «Запорізька політехніка», машинобудівний інститут
onufr@zntu.edu.ua*

Зменшення довжини каналу метало-діелектричних напівпровідникових транзисторів сприяє підвищенню питомої крутизни вольт-амперних характеристик та граничної частоти. Коли поздовжні розміри напівпровідних структур досягли значень 1-2 мкм, ці закономірності перестали виконуватись. При цьому, якщо дизайн і трактування електростатичних закономірностей мало змінились за останні десятиліття, то фізична природа і характер переносу електронів суттєво змінюється на фоні зменшення довжини каналу провідності нанотранзистора, спостерігається зміна і форма вольт-амперної характеристики [1], що відбувається також і при зменшенні інших топологічних розмірів. Значну роль у побудові теорії відіграє нефостеровість фрактальних елементів, що проявляється у їх здатності створювати від'ємні характеристики ємності або індуктивності у локальному масштабі [2] за рахунок виникнення негативного зворотного зв'язку.

Побудову фрактальної моделі імітації нефостерівського нанощару окислу на межі метал-напівпровідник у просторі як функції множини здійснимо вводом у розгляд основних положень теорії фрактального шару на межі розділу двох середовищ:

визначення дробового диференціала $d^\alpha x = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \frac{dx}{(t-x)^{1-\alpha}}$, його зв'язку з дробовою

похідною $d^\alpha L(x) = {}_a D_x^\alpha L(x) d^\alpha x$. де дробова похідна ${}_a D_x^\alpha L(x)$ використовується у формі Рімана-Ліувілля. Для фрактально конфігурованого інверсійного шару з товщиною x_d у площині xOy та щільності струму $j(x, y)$ моделюємо струм стоку як

$$I_D^{(\alpha)} = a \int_0^{x_d} j(x, y) d^\alpha x.$$

З урахуванням у моделі фрактальності по y маємо вираз для щільності струму

$$j^{(\alpha)}(x, y) = -e\mu_n n \frac{dV(y)}{dy}; \quad \int_0^{x_d} e\mu_n n d^\alpha x = \mu_n^* Q_n^{(\alpha)}(y); \quad (1)$$

$$I_D^{(\alpha)} = -\mu_n^* a Q_n^{(\alpha)}(y) \frac{dV(y)}{dy}.$$

Коли напруга стік-витік V_{DS} перевищує напругу перекриття V'_{DS} , приповерхневу область напівпровідника можна подати у вигляді зворотнозмщеного $n^+ - p$ -переходу, до якого прикладено напругу $V_{DS} - V'_{DS}$ [1]. Довжина області перекриття l_s та співвідношення між товщиною області просторового заряду l та ефективною довжиною каналу l_e :

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

З урахуванням (2) та узагальненого принципу подібності для фрактально конфігурованих структур $\frac{I_D^{(\alpha)}}{I_D'} = \left(\frac{l}{l_e}\right)^\alpha$ зв'язок струму стоку $I_D^{(\alpha)}$ зі струмом I_D' , що є відповідним напрузі перекриття V_{DS}' , отримуємо співвідношення

$$\frac{I_D}{I_D'} = \left(\frac{l}{l_e}\right)^\alpha; \quad I_D = I_D' \left(\frac{l}{l - \sqrt{k_s(V_{DS}' - V_{DS})}}\right)^\alpha. \quad (3)$$

Теоретично підтверджується сильний вплив скейлінгу каналу на перебіг стокових характеристик транзистора, що пояснюється фрактальністю каналу і механізмами, що викликають швидке зростання струму за великих V_{DS} : лавинне розмноження носіїв у каналі за рахунок ударної іонізації і пробій переходу стік-підкладка. Помічено значний вплив на зсув порогових значень пробивної напруги V_B в умовах «м'якого» та «різкого» пробою, що мотивується фрактальною конфігурацією переходів стік-підкладка. Якщо довжина каналу мала, а підкладка має малий скейлінг фракталізації, то границя переходу стік-підкладка знаходиться поблизу витoku, у зв'язку з чим виникає пробій стік-витік («прокол»). При цьому порушується наближений лінійний зв'язок між вихідною провідністю і струмом стоку, що спостерігається і експериментально підтверджується для класичних польових транзисторів [1].

Наведені теоретичні результати дослідження указують на необхідність урахування виявлених фактів у впровадженнях 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, розв'язувачах диференціальних рівнянь дробового порядку тощо.

[1] Cobbold R. Theory and Application of Field-effect Transistors. Wiley-Intersc. (1970).

[2] Onufrienko V.M., Slyusarova T.I., Onufrienko L.M. Modeling Characteristics of Field-Effect Fractal Nanotransistor. 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. DOI: 10.1109/TCSET 49122.2020.235500.

THE ELECTRICAL BREAKDOWN CONDITIONS IN FRACTAL FIELD NANOTRANSISTOR CHANNEL

A. Fasoliak, T. Slyusarova, A. Zasovenko, I. Kylymnyk, V. Onufrienko

*Dep. of Engineering, National University «Zaporizhzhia Polytechnic»
onufr@zntu.edu.ua*

The work theoretically confirms the strong channel fractal scaling influence on the drain characteristics course of nanotransistor. This is explained by the fractality of the channel and the mechanisms that cause the rapid increase of the current at high voltages between the drain and the source, by the avalanche multiplication of carriers in the channel due to shock ionization, and the breakdown of the drain-substrate. A significant effect on the shift of the breakdown voltage threshold values in the conditions of "soft" and "sharp" breakdown was observed, which is motivated by the fractal configuration of the drain-substrate transitions.



Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара

VII Всеукраїнська науково-практична конференція
Перспективні напрямки сучасної електроніки,
інформаційних і комп'ютерних систем
23–25 листопада

УНІВЕРСИТЕТ

Дніпро
2022

**Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара**

**Перспективні напрямки
сучасної електроніки,
інформаційних і комп'ютерних
систем**

Тези доповідей

**на VII Всеукраїнській
науково-практичній конференції
MEICS-2022**

**м. Дніпро
23-25 листопада 2022 р.**

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Коваленко О. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро) – голова орг. комітету

Башев В. Ф., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Пелещак Р. М., д. ф.-м. н., проф. (м. Дрогобич)

Гіржон В. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Запоріжжя)

Дробахін О. О., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Дмитрук І. М., д. ф.-м. н., проф. (м. Київ)

Карташов В. М., д. т. н., проф. (м. Харків)

Корчинський В. М., д. т. н., проф. (м. Дніпро)

Павлик Б. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Львів)

Рябцев С. І., д. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Скалозуб В. В., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Трубіцин М. П., д. ф.-м. н., проф. (м. Дніпро)

Лепіх Я. І., д. ф.-м. н., проф. (м. Одеса)

Хандецький В. С., д. т. н., проф. (м. Дніпро)

Шульга С. М., д. ф.-м. н., проф. (м. Харків)

Гомілко І. В., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Колбунов В. Р., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Свинаренко Д. М., к. т. н., доц. (м. Дніпро)

Скуратовський І. А., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Іванченко О. В., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Дергачов М. П., к. ф.-м. н., доц. (м. Дніпро)

Вчений секретар конференції

Вашерук Олександр Васильович, к. т. н., доц. (м. Дніпро)

П 26 Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (MEICS-2022). Тези доповідей на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції: 23-25 листопада 2022 р., м. Дніпро / Укладачі Іванченко О. В., Вашерук О. В. – Дніпро, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2022. – 212 с.

ISBN 978-617-639-381-8

В збірник включені тези доповідей на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції, яка відбулася в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара, 23-25 листопада 2022 р.

УДК 622: 004.73: 658.562.4: 65.011.56

Секція І. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І
ТЕХНОЛОГІЇ

А. Алексєєв, С. Вовк. Віртуальний цифровий сигнальний процесор морфологічних перетворень	8	Н. Номерчук, Т. Прокоф'єв. Класифікація зображень на основі бінаризованих нейронних мереж	28
В. Ребров, В. Лукін. Порівняльний аналіз ефективності фільтрації кольорових зображень у колірних просторах RGB та YCbCr	10	Р. Лещенко, С. Пляка. Оптимізація роботи сучасних веб бібліотек	29
А. Прошин, Т. Прокоф'єв. Використання нейронних мереж для аналізу текстів наукових робіт щодо їх відповідності вимогам до публікації	12	О. Прищєпа, Д. Свинаренко. Інтелектуальна обробка текстової інформації	31
В. Онуфрієнко, О. Онуфрієнко. Буферність кондивергентного просторово-часового процесу в моделі коливальної динаміки фрактальних об'єктів	13	С. Сагайдак, С. Вовк. Протидія відстеженню та ідентифікації користувачів інтернету	32
О. Гниленко, С. Плаксін. Комп'ютерне моделювання тонкоплівкового сонячного елемента з вертикально орієнтованими нанодротами	15	О. Volkovskyj, A. Shcherbyna. Information retrieval system for providing medical services	34
О. Поліщук, М. Яджак. Організація паралельних обчислень під час аналізу ефективності функціонування автотранспортної системи міста	17	О. Волковський, А. Сеноженська. Система моніторингу стану довколишнього середовища	36
А. Данильченко, М. Андрєєв. Використання хмарних технологій для підвищення ефективності інформаційно-комунікаційної системи сімейного лікаря	19	В. Сіренко, Т. Прокоф'єв. Використання хмарних сервісів для автоматизації роботи контент-менеджерів	37
І. Назарова. Паралельні чисельні методи вирішення жорстких задач	21	О. Тонкошкур, А. Лозовський. Модифікований алгоритм обробки кінетичної залежності відгуку газових сенсорів на основі моделі розтягнутої експоненціальної функції	38
Я. Бабанська, М. Андрєєв. Використання технологій глибокого навчання для прогнозування часової динаміки продажів	23	К. Бабенко, С. Вовк. Інтелектуальна система з надання порад щодо правил безпеки в умовах війни	40
І. Захаров, М. Андрєєв. Зберігання неструктурованих даних з використанням об'єктного сховища при аналізі даних соціальних мереж	25	О. Волковський, В. Тарянік. Крос-платформна система відновлення психічного здоров'я людини	42
І. Бернакевич, І. Козій. Чисельне дослідження вільних коливань оболонок	27	А. Баканов, І. Пономарьов. Розробка багатокористувацького додатку	44
		О. Onufrienko, I. Zinenko, N. Antonenko, V. Onufrienko. Mathematical source-sink model analysis of space-time condivergent processes in a fractal semiconductor medium	46
		Б. Молодець. Створення системи агрегування даних за допомогою Celery	48
		О. Бойко, О. Дерев'янко. Ефективність транспортного завдання	50

Секція II. КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ І КОМПОНЕНТИ	
Д. Волнянський, Г. Карасьов, І. Волнянська, О. Карасьов. Установка на базі міні-комп'ютера Raspberry Pi3 для дослідження перехідних процесів у рідких діелектриках	52
О. Івон, В. Істушкін, В. Белугіна. Використання яскравості пікселів для автоматизації сканування растрових зображень осцилограм	54
А. Кривошея, В. Хандецький. Особливості розробки прототипу системи з мікросервісною архітектурою	56
І. Кулик, О. Тонкошкур. Додаток для обробки даних дількометричних вимірювань	58
В. Прищепчук, В. Хандецький. Розробка веб-додатку для моніторингу пристроїв в комп'ютерній мережі	60
В. Олійник, В. Лукін. Особливості взаємно-кореляційної обробки широко-смугових сигналів на тлі нестаціонарних завад	62
А. Шаповал, І. Пономарьов. Архітектура децентралізованих додатків створених на базі технології блокчейн	64
М. Скок, В. Герасимов. Технологія Vault від HashiCorp для зберігання та захисту паролів та токенів доступу	66
Д. Керекеша, М. Твердоступ. Автоматизація згладжування за адаптивними алгоритмами Брауна і Хольта	68
Д. Рягузов, В. Хандецький. Особливості керування хмарною інфраструктурою підприємства	70
О. Івон, В. Істушкін, В. Любимкін. Web-додаток для вимірювання коефіцієнту нелінійності вольтамперних характеристик	72
І. Кривий, В. Герасимов. Метрична складність як показник якості системи	74
Л. Ахметшина, С. Мітрофанов. Використання нечітких методів для поліпшення якості медичних зображень	76
О. Lytvynov, M. Lytvynov. On practical use of the frame-based sentence patterns in computer-aided language learning system	78
К. Мохов, Н. Матвеева, Л. Загородня. Переваги технології Spring Framework для створення додатків	79
Д. Карнацький, Н. Карпенко. Організація процесу вільного вибору дисциплін студентами в ЗВО	81
Л. Ахметшина, А. Варгін. Відновлення зображення з використанням методу Папуліса-Герхберга	83
М. Твердоступ. Про коректність рішення задач мінімізації булевих функцій при вивченні дисципліни «Комп'ютерна логіка»	85
Л. Ахметшина, А. Нестеренко. Використання згорткових нейронних мереж для задач виявлення аномалій на зображеннях	87
Секція III. РАДІОТЕХНІЧНІ ПРИСТРОЇ Й ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
Ю. Лаврич, С. Плаксін. Деякі особливості проєктування перспективних радіолокаційних систем	89
М. Павленко, Д. Чернетченко, С. Волокітін, І. Гладуш. Дослідження рівня фонового радіаційного випромінювання за допомогою портативного безпроводового дозиметричного пристрою	91
А. Гузь, О. Дробахін. Розпізнавання радіозображень із застосуванням нейромережових технологій	93

- І. Гладуш, Д. Чернетченко, С. Волокітін, М. Павленко. Програмно-апаратний дозиметричного комплексу для безперервного моніторингу радіаційного фону та рівня накопиченої дози 95
- М. Потапов, В. Магро, Д. Салтиков. Узгодження в скінченних антенних решітках за допомогою резонаторної області зв'язку 97
- С. Чупира, О. Грушка, А. Рибчак. Пристрій комутації основного та резервних джерел підключення електроенергії на основі мікроконтролера ATmega 328 з Bluetooth-інтерфейсом зв'язку (напруга 230 В, струм до 16 А) 99
- О. Дробахін, Д. Хандак. Вплив метаматеріалів на характеристики фрактальної антени у виді серветки Серпінського 101
- Д. Пеліх, О. Ляшков, І. Тирса. Багатосекційний сенсор газових середовищ 103
- В. Самойленко, Д. Салтиков. Застосування біконічних резонаторів для визначення параметрів рідин з великими втратами 104
- Є. Трахтман. Дослідження впливу діафрагми та шару діелектрика на характеристики хвилеводних антенних решіток 106
- С. Бухаров, Б. Брежнев. Фільтр складання для антенних трактів систем телекомунікацій 108
- В. Корчинський. Оптимізація просторового розташування приймально-передатвальних пристроїв систем мобільного зв'язку 109
- М. Демидюк. Параметрична оптимізація ходи двоногого робота з електромеханічними приводами 111
- С. Бухаров, Д. Січевий. Дводіапазонна антена решітка для систем зв'язку на базі стандартів 802.11 113
- Д. Чернетченко, М. Попудняк. Безпроводова сенсорна мережа для реєстрації параметрів середовища в приміщенні 114
- Б. Шестаков, В. Овсяніков, В. Герасимов. Електромагнітне зондування речовини з метою визначення її якості 115
- А. Груєнко, В. Корчинський. Фільтрація завад цифрових телекомунікаційних сигналів на основі їх подання у дискретних ортогональних базисах 117
- В. Міщенко, Д. Савченко, І. Гомілко. Аналіз даних отриманих від напівпровідникових газочутливих сенсорів 119
- В. Козуненко. Вплив багатоканального сенсорного контролю приміщення на його енергоефективність 120

Секція IV. ФУНКЦІОНАЛЬНА
ЕЛЕКТРОНІКА. МІКРО- І
НАНОТЕХНОЛОГІЇ

- О. Дробахін, О. Коваленко, С. Плаксін, Б. Блюсс. Особливості підготовки здобувачів із спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали в Придніпровському регіоні 123

- П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Власенко. Оптичні властивості кремнієвих нанониток 125

- О. Тонкошкур, О. Іванченко. Застосування двошарових варисторно-позисторних структур для обмеження напруги 127

- Г. Гайдар. Особливості прояву ефекту Холла і тензоопору трансмутаційно легованих кристалів Si за різних режимів термообробки 129

- О. Івон. Вольтамперна характеристика подвійного бар'єру Шоттки у випадку надбар'єрної електронної емісії 131

- П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Вла-сенко. **Механізми лазерної обробки тонких приповерхневих шарів напівпровідників** 133
- М. Єрмаков, Р. Пшеничний, Ю. Шкиря, А. Опанасюк. **Структурні та субструктурні характеристики плівок ZnO легованого індієм** 135
- О. Коваленко, В. Воровський, М. Буланий. **Концентрація вузлових іонів Mn^{2+} в нанокристалах ZnO:Mn** 137
- О. Іванченко, П. Лисицин. **Застосування самовідновлюваних запобіжників для захисту напівпровідникових фотоелементів сонячних батарей** 139
- М. Ілашук, І. Орлецький, І. Козярський, Е. Майструк, Я. Мицканюк, В. Дроздик. **Вплив технологічних факторів на електричні властивості діодів Шотткі графен/p-CdTe** 141
- П. Генцарь, А. Міняйло, Д. Пекур, О. Вла-сенко. **Оптична спектроскопія високоомних монокристалів CdTe(111) та твердих розчинів $Cd_{1-x}Zn_xTe$ в області фундаментального оптичного переходу E_0** 143
- І. Козярський, Д. Козярський, Е. Майструк, Г. Андрущак, Е. Касс, П. Голохвастов. **Фізичні параметри гетероструктури $CuMoO_4/n-Si$** 145
- О. Коваленко, В. Воровський. **Магнітний момент іонів Mn^{2+} в нанокристалах ZnO:Mn** 147
- О. Гапонов, Ф. Шуцін, М. Зялик. **Вплив домішки PbO на електричні параметри оксидно-олов'яних варисторів** 149
- М. Пашенко, В. Волобуєв, О. Гагіна, Д. Курбатов, А. Опанасюк. **Структурні характеристики плівок CdZnTeSe для створення детекторів жорсткого іонізуючого випромінювання** 151
- М. Сльотов, О. Сльотов, Г. Поцілуйко-Григоряк, А. Скрипничук. **Джерела випромінювання на основі сульфоселенідів цинку** 153
- М. Кукурудзяк. **Дослідження спектральної характеристики чутливості p-i-n фотодіодів** 155
- О. Писаний, В. Волобуєв, Д. Курбатов, А. Опанасюк. **Структурні характеристики плівок $Cd_{1-x}Mn_xTe$ для створення детекторів жорсткого випромінювання** 157
- Ю. Ніщук, С. Гусейнова, С. Собкович. **Довгохвильова люмінесценція колоїдних наночастинок оксиду цинку** 159
- А. Фасоляк, Т. Слюсарова, А. Засовенко, І. Килимник, В. Онуфрієнко. **Умови електричного пробію фрактального каналу польового нанотранзистора** 160
- М. Сорокатиий, В. Стребежев, І. Юрійчук. **Механізми лазерної релаксації дефектів, термічних напруг та перехідних областей в фотоелектричних і оптичних структурах на базі CdSb, In_4Se_3 , In_4Te_3** 162
- Я. Лепіх, В. Янко, П. Снігур. **Метод інтелектуалізації датчиків на основі елементів на поверхневих акустичних хвилях** 164
- М. Буланий, О. Коваленко. **Вплив ультразвуку на фотолюмінесценцію кристалів сульфід цинку** 165
- С. Кахерський, О. Шаповалов, Р. Пшеничний, А. Опанасюк. **Оптимізація процесів синтезу нанокристалів ZnO та їх структурні характеристики** 166
- О. Коваленко, С. Мазурик. **Розробка методів прогнозування властивостей напівпровідникової металооксидної полікристалічної кераміки** 168
- М. Сльотов, О. Сльотов, О. Кінзерська, В. Мельник. **Фотосенсори на основі $\alpha-ZnSe$** 169
- О. Морозов, М. Буланий. **Визначення дисперсій функцій Гауса складових спектра фотолюмінесценції кристалічних люмінофорів** 171
- Б. Лисицин, О. Вашерук. **Системи активного контролю ростових параметрів вирощуваних злитків із розплаву** 173

Наукове видання

**Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і
комп'ютерних систем (MEICS-2022)**

Тези доповідей
на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції:
23-25 листопада 2022 р., м. Дніпро

Укладачі Іванченко О. В., Вашерук О. В.

Українською, англійською мовами

Матеріали рекомендовані до друку 24 листопада 2022 року: протокол № 4
від 24.11.2022 р. засідання Вченої ради Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара

Підписано до друку 24.11.2022 р.
Укладачі Іванченко О. В., Вашерук О. В.
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Форма 60x90 1/8. Папір ксероксний. Гарнітура Times New Roman.
Умов. друк. арк. 24,5.
Наклад 300 прим. Замовлення № 47-22

Видавець ПП «Видавництво «НОВАБУК»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №7598 від 10.02.2022р.
www.novabook.com.ua
097 555 10 72

Віддруковано ПП Щербатих О.В.
вул. Софіївська, 36-Б, м. Кременчук, 39601
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №2129 від 17.03.2005р.