

5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 621.3.049

*Проф. В.А. Павлиш, д-р техн. наук;
доц. Л.І. Закалик, канд. техн. наук; доц. Р.О. Корж, канд. техн. наук;
студ. З.І. Доскоч – НУ "Львівська політехніка"*

МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОЕЛЕКТРОННОГО ТРАНЗИСТОРА: ФУНКЦІЯ ГРІНА

Розглянуто можливість формалізації фізичних процесів в одноелектронному транзисторі (ОЕТ). З усіх розглянутих методів моделювання нанотранзисторів найбільш близька до реальних умов роботи цих елементів є функція Гріна для неврівноважених процесів, оскільки вона враховує квантову природу електрона за рахунок поєднання Гамільтоніана і хвильової функції Шредінгера. Це дає можливість через функцію Гріна моделювати електричні характеристики ОЕТ. Ця робота ще вдосконалюється, але перші результати близькі до реальних характеристик.

*Prof. V.A. Pavlysh; assoc. prof. L.I. Zakalyk; assoc. prof. R.O. Korg;
stud. Z.I. Doskoch – NU "L'vivs'ka Politekhnik"*

Method of design of single-electron transistor: function of Grina

Theoretical modeling of physical processes in one-electron transistor (OET) is considered in present article. Among all considered theoretical methods for nanotransistors modeling most close to real operation of this element is Green function for non-equilibrium processes because it considers quantum nature of electron combining Hamiltonian and Schrödinger wave function. This allows modeling of OET electric characteristics through Green function. Present work is in process but first results are very close to real characteristics.

Вступ

Відомо, що підвищення швидкодії комп'ютерів обумовлено зменшенням розмірів елементів електричних кіл, які забезпечують проходження і переробку сигналів. Однак розміри елементів неможна зменшувати до безмежності, оскільки вже при існуючому рівні мікромініатюризації виникають розмірні квантово-механічні ефекти. Поява нанотехнологій створила можливість вирішення цієї проблеми. На сьогодні створено цілий ряд нанорозмірних активних елементів. Першими були низькорозмірні транзистори на гетероструктурах типу GaAs-AlGaAs, швидкодія яких порівняно з аналогами на кремнії і арсеніді галію була на декілька порядків вищою. Перевага їх полягала в тому, що, формуючи 2D структури і використовуючи магнітне поле, силові лінії спрямовані перпендикулярно до потоку електронів, задаємо дискретність енергетичного спектру електронів. Квантування енергії електронів було виявлено при вимірюванні опору робочого каналу при низькій температурі [1].

У 1998 р. було створено інтерференційний квантовий транзистор, який має специфічну форму у вигляді круга в 2D просторі. Ще інакше їх називають точковими квантовими пристроями [2]. Всередині круга знаходиться квантова точка. Електроди витоку і стоку субмікронних розмірів сформовані

на поверхні напівпровідника методом електронно-променевої літографії з лівого і правого боку від квантової точки. Оскільки електронна хвиля в крузі, то вона розповсюджується вліво і вправо навколо квантової точки. Якщо дві хвилі (ліва і права) накладаються, то виникає інтерференція та між витоком і стоком протікає струм при прикладенні напруги між ними. Коли дві хвилі не накладаються, інтерференції не буде і струму не буде. Цей прилад яскраво демонструє хвильову і корпускулярну природу електрона.

До квантових транзисторів відноситься також одноелектронний транзистор, структура якого, порівняно з вище описаними, набагато простіша. Сучасна технологія і засоби для її реалізації створюють можливість сформувати нанорозмірну структуру [3].

Моделювання електричних характеристик одноелектронного транзистора

На сьогодні пропонуються різні методи моделювання електричних характеристик нанотранзисторів з довжиною робочого каналу менше 10 нм. Зокрема, застосування параболічної апроксимації для визначення залежності вихідного струму від прикладених напруг [4] з врахуванням дискретності енергетичного спектра електрона. В роботі [5] авторами запропоновано метод Монте-Карло для аналізу струму в дуже малих розмірів транзисторах. Але найбільше ефективним методом є метод з використанням функції Гріна для неврівноважених процесів. За допомогою цієї функції легко знайти рішення рівняння Шредінгера і ця функція добре узгоджується з розв'язком рівняння Пуассона, оскільки переніс заряду через робочий канал описується хвильовою функцією Шредінгера, а вплив заслону на цей процес пов'язаний з розв'язком рівняння Пуассона.

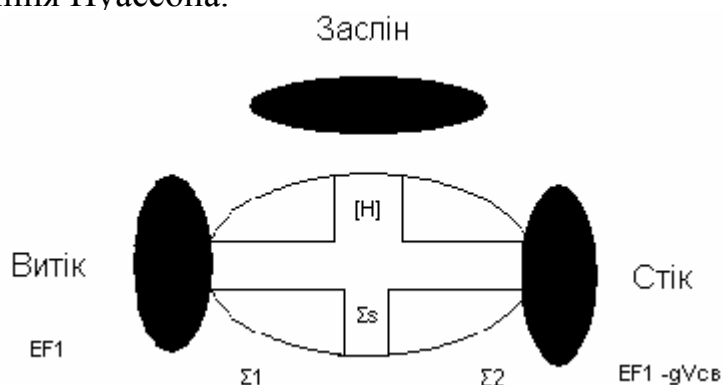


Рис. 1. Схема зображення структури одноелектронного транзистора

На рис. 1 схематично показано структуру одноелектронного транзистора з позначеннями, необхідними для моделювання з використанням функції Гріна для неврівноважених процесів. Якщо врахувати Гамільтоніан і хвильові функції на контактах витік – робочий канал відповідно H_1 і Ψ_1 , стік – робочий канал H_K і Ψ_K , тоді можна записати:

$$\begin{pmatrix} H_1 \gamma_1 0 \\ \gamma_1^+ H_K \gamma_2^+ \\ 0 \gamma_2 H_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |\psi_1\rangle \\ |\psi_K\rangle \\ |\psi_2\rangle \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} |\psi_1\rangle \\ |\psi_K\rangle \\ |\psi_2\rangle \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $\gamma_{1,2}$ враховує взаємодію між витоком і робочим каналом, а також стоком і робочим каналом. Звідси отримаємо вираз для визначення загальної функції Гріна $G(E)$ для неврівноважених процесів, себто:

$$(E - H)G(E) = 1. \quad (2)$$

Від загальної функції перейдемо до функції Гріна для одноелектронного транзистора. Для цього введемо таке поняття, як власна енергія електрона на контактах і позначимо її відповідно Σ_1 і Σ_2 . Тоді функція Гріна:

$$G_K = (E - H_K - \Sigma_1 - \Sigma_2)^{-1}. \quad (3)$$

Густину станів у робочому каналі можна виразити через функцію Гріна для неврівноважених процесів:

$$N(E - U) = G_K \cdot \Gamma_{\sigma(c)} G_K^+, \quad (4)$$

де $\Gamma_{\sigma(c)} = i(\Sigma_{1(2)} - \Sigma_{1(2)}^+)$ визначає відповідно рівень енергії на контактах витік (стік).

Густина заряду в робочому каналі

$$\rho_K = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_i f(E) G_K \Gamma_i G_K^+ dE. \quad (5)$$

Функція Фермі

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{K_\sigma T}\right) + 1}, \quad (6)$$

де K_σ – балістичний хвильовий вектор.

Знаючи густину атомів в робочому каналі і функцію Гріна для неврівноважених процесів струм стоку:

$$I_C = \frac{2q^2}{h} \int_{-\infty}^{\infty} \text{Tr}(G_K^+ \Gamma_2 G_K \Gamma_1 - A_K \Gamma_1) [f_1(E) - f_2(E)] dE, \quad (7)$$

де

$$A_K = 2\pi N(E - U) |K_\sigma(E) \gg K_\delta(E)|. \quad (8)$$



Рис. 2. Метод ітерації для узгодження ФГНП з рівнянням Пуассона

Виведена формула (7) для вихідного струму не враховує вплив потенціалу заслона. Тому для узгодження функції Гріна для неврівноважених процесів, яка враховує квантовий переніс заряду від витоку до стоку з електростатичним рівнянням Пуассона, яким врахуємо вплив потенціалу заслона на вихідний струм, використовуємо метод ітерації (рис. 2).

Висновок

Моделювання електричних характеристик наноелектронних транзисторів необхідне при апробації нових матеріалів, конструкцій і для адаптації до моделей схем, а також для масового виробництва нанотран-

зисторів. Глибше розуміння фізичних процесів у цій сфері розкриє величезні потенціальні можливості цього типу транзисторів. Аналізуючи роботи, які пропонуються для моделювання електричних характеристик нанотранзисторів, найбільше відповідає функція Гріна для неврівноважених процесів, оскільки можна отримати розв'язок рівняння Пуассона і Шредінгера.

Література

1. Klitzing K., Dorda G., Pepper M., Phys. Rev. Lett., 45, 1980. – С. 494-497.
2. Buks E., Schuster R., Heiblum H., Umansky U., Nature, 391, 1998. – С. 871-874.
3. Мартінес-Дуарт Дж., Мартін-Палма Р., Агулло-Рюда Ф. Нанотехнологія для микро- и оптоелектроники. Техносфера. – М., 2007. – С. 314-322.
4. Ankona M. Yu Z., Dufton E. et. al, IEEE Trans Electron Device, 47, 2000, 2310-2319.
5. Fischetti M., Laux S., Phys. Rev. B, vol 38, pp. 9721-9745, 1988.

УДК 681.142.2; 622.02.658.284; 621.325 Доц. Д.Д. Пелешко, канд. техн. наук –
НУ "Львівська політехніка"

ЧАСТОТНА ФІЛЬТРАЦІЯ НАБОРІВ ЗОБРАЖЕНЬ

На основі частотного розподілу математичного сподівання запропоновано алгоритм фільтрування наборів зображень на основі для подальшої їх обробки в задачах підвищення роздільної здатності.

Assoc. prof. D.D. Peleshko – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

Frequency filtering of the image set

There is proposed algorithm of filtering the set of image is based on the frequency of mathematical average. This algorithm optimize the set of images for following processing.

Вступ

У різноманітних галузях застосування інформаційних технологій дедалі частіше виникає проблема ефективності збору, перетворення і опрацювання візуальних даних, впровадження нових технологічних рішень, і, насамперед автоматизації процесу оброблення таких даних. Так, при ідентифікації об'єктів у промислових системах, при відеоспостереженні у медичних системах та інших широко використовується інформація, представлена у вигляді зображень – двовимірних проекцій просторових сцен.

Низькі обчислювальні можливості і слабкі апаратні засоби 70-80-х рр. спричинили інтенсивний розвиток алгоритмічно складних методів оброблення зображень. Одними із найбільш ефективних з точки зору отриманих результатів були методи, які опрацьовували набори однотипних зображень і давали змогу вирішити основне завдання – збільшення роздільної здатності. Основним стримуючим фактором розвитку цих методів була велика алгоритмічна складність, яка потребувала дуже значних на той час обчислювальних ресурсів.

Здешевлення потужних апаратних ресурсів у середині 90-х років зменшило актуальність методів роботи із наборами зображень, оскільки основне завдання – підвищення роздільної здатності – вирішувалося на апаратному рівні. Фактично уся робота над зображеннями звелася до розробки швидких методів оброблення окремих зображень. У результаті було розроблено багато