

УДК 621.382.3-022.532

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАНОТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВІ ГРАФЕНУ

Стецко К. М.

Науковий керівник — к.ф.-м.н., ст.викл. Бабиченко О. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПІ,
м. Харків, Україна

e-mail: kseniia.stetsko@nure.ua

The given work provides methods of mathematical modeling of graphene-based nanotransistors, which have shown tremendous potential in the field of electronics. The mathematical models presented in this work aim to provide a better understanding of the behavior of graphene-based nanotransistors, which can help in the optimization of their design and performance. In this study was reviewed the fundamental properties of graphene that make it a promising material for nanoelectronics.

В сучасній електроніці графен є одним з найбільш перспективних матеріалів для створення електронних пристроїв високої продуктивності та низької споживаної енергії. Графенові нанотранзистори можуть стати ключовими елементами в таких пристроях, тому розробка ефективних математичних моделей для їх дослідження та оптимізації є надзвичайно важливою задачею.

Створення пристроїв на основі графену є перспективним за рахунок його великої теплопровідності та надзвичайно великій рухливості провідників заряду [1]. Нанотранзистор на основі графену — це електронний прилад, що складається з графенової пластини, яка виконує функцію каналу, та двох графенових електродів (джерела та стоку), що контролюють потік струму.

Нанотранзистори на основі графену мають дуже високу рухливість електронів, що дозволяє їм працювати на високих частотах і забезпечувати високу швидкість передачі даних. Вони також мають велику поверхню каналу, що забезпечує ефективну передачу струму та зменшує електричний опір.

Для розрахунку вольт-амперних характеристик графенових транзисторів можна використати дві математичні моделі [2].

Перша модель базується на законі дисперсії і рівняння для розрахунку щільності струму на основі графенової стрічки можна представити у вигляді:

$$I = \frac{2ek_B T}{h} \left[\ln \ln \left(1 + e^{\frac{E_F - E_{top}}{k_B T}} \right) - \ln \ln \left(1 + e^{\frac{E_F - E_{top} - eV_D}{k_B T}} \right) \right],$$

де e – заряд електрона; k_B – стала Больцмана; T – температура; h –

стала Планка; E_F – енергія Фермі; E_{top} – енергія носіїв заряду у графеновій стрічці з урахування ємностей; V_D – напруга стоку [3].

Друга математична модель нанотранзистора включає диференціальне рівняння, що регулює розподіл потенціалів, на основі якого було виведено формулу для розрахунку щільності струму:

$$F = \exp \exp ((\beta \gamma V_b)) \exp \exp \left(-\beta \sqrt{\frac{\Delta^2}{4} + (e|\varphi_m|)^2} \right) -$$

$$- \exp \exp ((\beta \gamma (V_b - V_d))) \exp \exp \left(-\beta \sqrt{\frac{\Delta^2}{4} + (e(|\varphi_m| + V_d))^2} \right)$$

$$J = \alpha \exp \exp (\beta e \varphi_m) F,$$

де V_b – напруга бар'єру, V_d – напруга стоку;

$$\alpha = \frac{2ek_B T}{\pi h d}; \quad \beta = \frac{1}{k_B T}; \quad \gamma = \frac{\epsilon h d v}{64 \pi e W_b}.$$

Із порівняння розрахованих ВАХ можна зазначити, що друга модель транзистора дає вищі значення струмів порівняно із першою моделлю за однакових значень напруги на затворі [4]. Також помітно, що ВАХ першої моделі переходять у стан насичення за менших значень напруги на стоці.

Таким чином, на основі наведених вище рівнянь можна дослідити вольт-амперні характеристики транзисторів у вигляді графенової стрічки, що може значно допомогти прискоренню процесу їхньої розробки та оптимізації властивостей.

Список використаних джерел:

1. Поплавко, Ю.М. Мікроелектроніка і наноелектроніка. Вступ до спеціальності: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, В. І. Ільченко – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 160 с. – ISBN 978-966-622-350-3.
2. Pashchenko A.G, Sologub O Yu (2012). Defending the functions of electronic density of states in amorphous silicon. Radiotechnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag, Випуск 169, стр. 337-342.
3. Москалюк В. О., Тимофеев В. І. Моделювання приладів мікро- і наноелектронік: навч. посібник / Київський національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, 2020. 164 с.
4. Timofeyev V. I. Model of Heterotransistor with Quantum Dots / V. I. Timofeyev, E. M. Faleeva // Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. – 2010. – Vol. 13. – №2. – P. 186-188.