

Петренко А.І., Свірін П.В.
ННК "ІПСА" НТУУ "КПІ"

Застосування резонансно-тунельних діодів та резонансно-тунельних транзисторів в схемних рішеннях

Резонансно-тунельні діоди (РТД) є одними з найбільш багатообіцяючих пристроїв у сфері твердотільної електроніки. В даний час розроблено достатню кількість схем, що застосовують РТД, і такі схеми мають комерційне застосування, зокрема в багатозначних логічних схемах та елементах пам'яті [1,2]. Стабільне функціонування РТД спостерігалось при частоті понад 2.5 ТГц; також спостерігаються задовільні співвідношення пікового значення струму до долинного значення при кімнатній температурі. Такі властивості пристрою роблять його унікальним активним елементом для мікрохвильової електроніки.

На жаль, на відміну від порівняно простої ідеї функціонування пристрою фізичні моделі РТД є дуже складні і залежать від багатьох факторів і поки що існує багато нерозв'язаних проблем з моделюванням характеристик РТД. Таким чином, для моделювання схем із застосуванням РТД на даний час є сенс використовувати електричні моделі. Модель, описана в [3,4] поєднує в собі простоту опису вольт-амперних характеристик РТД та точність у моделюванні ділянок додатнього диференціального опору (ДДО) і від'ємного диференціального опору (ВДО).

Використання РТД в схемних рішеннях прив'язано до експлуатації ділянки ВДО. Наприклад, перспективним є використання РТД в моностабільних-бістабільних логічних елементах (MOBILE) [5]. Схеми MOBILE на базі поєднання ділянки логічного входу з защілкою, яка складається з пари РТД. Завдяки логічному входу можливо реалізувати велику кількість різноманітних логічних схем, наприклад, звичайна булевська логіка, порогова логіка, багатозначні логічні схеми. Відповідно до потребностей схеми в якості входу можуть використовуватись резонансно-тунельні біполярні транзистори, польові транзистори, комбінації РТД-діод Шоткі.

Монолітна інтеграція з трьохполюсними елементами є важливою умовою для розробки нових схем на базі резонансно-тунельного ефекту. Для такої інтеграції можливо використовувати транзистори з польовим ефектом (FET) та біполярні транзистори [6]. Такі елементи задовольняють вимогам по підсиленню сигналу та по вхідній-вихідній ізоляції. В якості підложки можливо використовувати *Si*, але для такого матеріалу проведено небагато досліджень. На даний момент для такої інтеграції більш перспективним є обрання матеріали з груп III/IV [7].

Також можливе використання РТД в схемах багатозначної логіки [8]. Квантові електронні прилади з ВДО вже застосовуються для побудови компактних мультиплексорів. Такі мультиплексори можуть застосовуватись в якості аналогових мультиплексорів, в яких сигнал надає одній лінії виборки, а вихід являє собою один з чотирьох квантованих виводів, так і чотиризначні логічні мультиплексори, в яких лінія виборки та вихідні лінії передають один з чотирьох квантованих сигналів та вихідна лінія відповідає обраному входу. Будь-яка чотиризначна логічна функція може бути реалізована з використанням чотиризначних мультиплексорів (відомих як *T*-елемент). Такий *T*-елемент вміщує в собі лише 13 транзисторів, порівняно з 44 КМОП-транзисторами у аналогічній схемі. Дизайн такої схеми запропоновано в [8] із використанням РТД та біполярного транзистору з керуючим гетеропереходом, який додає до даної комбінації підсилення сигналу та його виділення. Також в [8] продемонстровані схемні рішення для *T*-елементів на базі резонансно-тунельних транзисторів з гарячими електронами (RHET) та резонансно-тунельними біполярними транзисторами (RTBT).

Бібліографія

1. Gerald Witt. Resonant Tunneling Diode Research.
<http://www.afrlhorizons.com/Briefs/0006/OSR0001.html> (06.07.2007)
2. P. Mazumder, S. Kulkarni, M. Bhattacharya, J. P. Sun, and G. I. Haddad, "Digital circuit applications of resonant tunneling devices," Proc. IEEE, vol. 86, pp. 664–686, Apr. 1998.
3. Matthew M. Ziegler, Garrett S. Rose, Mircea R. Stan. A Universal Device Model for Nanoelectronic Circuit Simulation. <http://archmage.idv.tc:2003/Li-Ju/publication/01.pdf> (08.06.2004)
4. Петренко А.І., Свірін П.В. Моделирование резонансно-туннельного диода. Электроника и Связь, тематический выпуск "Проблемы электроники", ч.2, 2005. С. 116–119.
5. P.Gloesekotter, C.Pacha, K.F.Goser, W.Prost, S.O.Kim, H. van Husen, T. Reimann, F.J.Tegude. Circuit and application aspects of tunneling devices in a MOBILE configuration. International Journal of Circuit Theory and Applications; January-February 2003, Vol.31, No.1.
6. V. Mitin, V. Kochelap, M. Strosio, "Quantum Heterostructures. Microelectronics and Optoelectronics", Press, 1999.
7. W. L. Chen, G. O. Munns, D. Knightly, J. R. East, and G. I. Haddad, "InGaAs/AlAs/InGaAsP RTBT grown by CBE," in Proc. IEEE/Cornell Conf Advanced Concepts in High Speed Semiconductor Devices and Circuits, Aug. 1993, p: 290.
8. H. L. Chan, S. Mohan, P. Mazumder, G. I. Haddad. Compact Multiple-valued Multiplexers Using Negative Differential Resistance Devices. IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 31, NO. 8, AUGUST 1996, 1151–1156.