

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БАЗОВИХ ЛОГІЧНИХ ПРИСТРОЇВ МІКРОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ НА ОСНОВІ РЕЗОНАНСНО-ТУНЕЛЬНИХ ДІОДІВ

Резонансно-тунельні діоди (РТД) є найбільш перспективними приладами твердотільної електроніки мікрохвильового діапазону. Нині розроблено багато схем, що застосовують РТД, і деякі з таких схем мають комерційне застосування [1]. Стабільне функціонування РТД спостерігалось на частотах понад 2,5 ТГц [1]. Також спостерігаються задовільні співвідношення пікового значення струму до струму спаду при кімнатній температурі. Такі властивості пристрою роблять його унікальним активним елементом для мікрохвильової електроніки [1].

На жаль, на відміну від порівняно простої ідеї функціонування пристрою фізика функціонування РТД є дуже складною і залежить від багатьох факторів [2]. Тому існують багато нерозв'язаних проблем з моделюванням характеристик РТД і пристроїв на їх основі [2].

На рис. 1 подана вольт-амперна характеристика РТД і електричні схеми базових мікрохвильових логічних пристроїв на основі РТД [1].

Для дослідження характеристик базових логічних пристроїв мікрохвильового діапазону на основі резонансно-тунельних діодів (рис. 1) авторами використано математичну модель, що запропонована в [2] для опису ВАХ РТД на основі InGaAs та GaAs:

$$I(V) = I_{RT}(V) + I_{NR}(V) = M [J_{RT}(V) + J_{NR}(V)], \quad (1)$$

де M – це множник, який використовується для масштабування рівняння (1), щоб врахувати площу пристроїв; $I_{RT}(V)$ і $I_{NR}(V)$ – це струми резонансного тунелювання та спаду РТД, густини яких $J_{RT}(V)$ і $J_{NR}(V)$ розраховуються за співвідношеннями (2) і (3) відповідно [2].

$$J_{RT} = \frac{qm^*k_B T \cdot \Delta E_r}{4\pi^2 \hbar^3} \ln \left[\frac{1 + e^{(E_r - E_r + qV/2)/k_B T}}{1 + e^{(E_r - E_r - qV/2)/k_B T}} \right] \cdot \left[\frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left(\frac{E_r - qV/2}{\Delta E_r / 2} \right) \right], \quad (2)$$

де $E = E_r - qV/2$ – енергія, виміряна вгору від краю зони провідності емітера, E_r – енергія резонансного рівня щодо дна ями в її центрі, а ΔE_r – ширина резонансу.

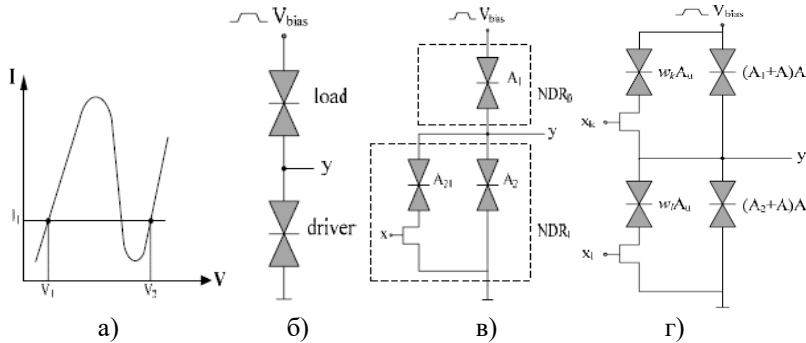


Рис. 1. Вольт-амперна характеристика РТД (а) із зазначеними рівнями логічних змінних та базові електричні схеми логічних пристроїв [1]: простого вентиля (б), одно- (в) та двох- (г) входових елементів НЕ

Параметри q і k_B є одиничним електричним зарядом і константою Больцмана відповідно [2];

$$J_{NR}(V) = H \left(e^{n_2 qV/k_B T} - 1 \right), \quad (3)$$

де параметри H і n_2 регулюють настройку відношення пікового струму до струму спаду і відношення пікової напруги до напруги спаду [2].

Рівняння (2) зручно застосовувати у вигляді [2]

$$J_{RT}(V) = A \cdot \ln \left[\frac{1 + e^{q(B-C+n_1V)/k_B T}}{1 + e^{q(B-C-n_1V)/k_B T}} \right] \cdot \left[\frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left(\frac{C - n_1V}{D} \right) \right], \quad (4)$$

де параметри A , B , C , D і n_1 можуть використовуватися для формування кривої, щоб відповідати області від'ємного диференційного опору [2]. Підходи до розрахунку у [2] передбачають роботу РТД при температурі $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$ і множнику $M = 2 \times 10^{-6} \text{ см}^2$, з такими параметрами ВАХ РТД: $A = 1950 \text{ А/см}^2$, $B = 0,05 \text{ В}$, $C = 0,0874 \text{ В}$, $D = 0,0073 \text{ В}$, $n_1 = 0,0352$, $H = 18343 \text{ А/см}^2$ і $n_2 = 0,0031$ для AlGaAs; $A = 3800 \text{ А/см}^2$, $B = 0,068 \text{ В}$, $C = 0,1035 \text{ В}$, $D = 0,0088 \text{ В}$, $n_1 = 0,0862$, $H = 4515 \text{ А/см}^2$ і $n_2 = 0,0127$ для InGaAlAs.

Список використаних джерел

1. Mirhoseini S. M., Sharifi M.J., Bahrepour D. New three-input XOR and xnor gates based on mobile and application to a full adder. *International Journal of Recent Trends in Engineering*. 2009. Vol 2, No. 5. Pp. 234–238.

2. Figueiredo J., Romeira B., Slight T., Ironside C. Resonant tunnelling optoelectronic circuits. Chapter 10. Pp. 173–206. In: Advances in optical and photonic devices, Book edited by: Ki Young Kim, Croatia: INTECH, January 2010, 352 p. ISBN 978-953-7619-76-3.