

УСУНЕННЯ НАСИЧЕННЯ СТРУМОМ В ОБЛАСТІ НЕГАТИВНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПРОВІДНОСТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто проблему насичення струму в області негативної диференціальної провідності в резонансно-тунельних діодах (RTD), яка виникає в традиційних компактних моделях. Запропоновано нову ненасичуючу модель, що базується на використанні модифікованої функції з асимптотичною поведінкою вищого порядку, яка точніше описує профіль прозорості тунельного бар'єра.

Ключові слова: резонансне тунелювання; BAX; модель Шульмана.

Abstract

The paper deals with the problem of current saturation in the negative differential conduction region in resonant tunnel diodes (RTDs), which arises in traditional compact models. A new non-saturating model based on the use of a modified function with higher-order asymptotic behaviour is proposed, which more accurately describes the transparency profile of the tunnel barrier.

Keywords: resonant tunneling; VAR; Shulman model.

Вступ

Однією з ключових проблем при моделюванні електричних характеристик резонансно-тунельних діодів (RTD) є феномен насичення струму в області негативної диференціальної провідності (НДП), що виникає в рамках традиційних компактних моделей, зокрема моделі Шульмана. Цей ефект не має фізичного підґрунтя і обмежує точність оцінки вольт-амперних характеристик (BAX), унеможливаючи адекватний аналіз та оптимізацію роботи RTD в широкому діапазоні напруг.

Результати дослідження

Причиною насичення є асимптотична поведінка функції Лоренца, яка використовується для апроксимації коефіцієнта прозорості тунельного бар'єру [1]. У межах моделі Шульмана при великих значеннях напруги резонансна складова струму зберігає скінченне значення, навіть якщо енергетичні умови для тунелювання вже не виконуються [2]. Це суперечить фізичній природі резонансного тунелювання, оскільки при значному відхиленні енергії резонансного рівня від рівня Фермі електронів у джерелі, щільність електронів у відповідному стані прямує до нуля, і струм повинен зникати.

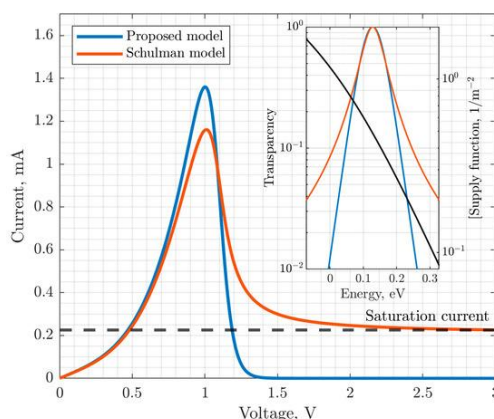


Рисунок 1 – RTS VAC та коефіцієнт прозорості тунелю (на вставці) згідно з моделлю Шульмана та запропонованою моделлю

Для вирішення цієї проблеми запропоновано нову ненасичуючу компактну модель (див. рисунок 1), в якій використовується функція з асимптотикою вищого порядку, ніж у функції Лоренца – зокрема, модифікована гіперболічна тангенсна функція. Така функція точніше описує фізичний профіль прозорості бар'єру при великих зміщеннях енергії резонансного рівня, оскільки враховує квадратичний характер закону розпаду квантового стану на малих масштабах часу, що неможливо реалізувати в рамках класичного підходу.

Запропонована модель враховує граничну поведінку тунельного струму при великих напругах, забезпечуючи коректне згасання резонансної складової струму та дозволяючи уникнути нефізичного насичення. Це дозволяє точно моделювати форму ВАХ, включаючи такі складні ефекти, як гістерезис, плато та контрастність області НДП.

Результати числової валідації моделі підтверджують її адекватність: запропонована функція забезпечує високу відповідність між експериментальними даними та розрахунками без необхідності штучного коригування параметрів. Зокрема, усувається неоднозначність оцінки параметрів резонансного рівня, яка спостерігалась у моделі Шульмана. Завдяки цьому, нова модель може бути ефективно застосована для проектування та синтезу високочастотних пристроїв, які використовують RTD як нелінійний елемент.

Крім фізичної обґрунтованості, модель зберігає компактну форму, що забезпечує її обчислювальну ефективність у контексті інженерного моделювання, в тому числі у SPICE-сумісних симуляторах. Це робить її придатною як для досліджень, так і для практичного впровадження в електронні системи нового покоління, особливо у сфері терагерцових технологій.

Висновки

Запропонована ненасичуюча модель ефективно усуває проблему нефізичного струму насичення в області негативної диференціальної провідності резонансно-тунельних діодів, забезпечуючи точне та фізично обґрунтоване моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rothmayr, F.; Castro, E.D.G.; Hartmann, F.; Knebl, G.; Schade, A.; Höfling, S.; Koeth, J.; Pfenning, A.; Worschech, L.; Lopez-Richard, V. Resonant tunneling diodes: Mid-infrared sensing at room temperature. *Nanomaterials* 2022, 12, 1024.
2. Cimbri, D.; Wang, J.; Al-Khalidi, A.; Wasige, E. Resonant tunneling diodes high-speed terahertz wireless communications—A review. *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.* 2022, 12, 226–244.

Тимчик Микола Сергійович — студент групи RT-24м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kot_233@icloud.com

Осадчук Ярослав Олександрович — д-р. техн. наук, доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, osadchuk.j93@vntu.edu.ua

Tymchyk Mykola S. - student of group RT-24m, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kot_233@icloud.com

Osadchuk Yaroslav O. - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, osadchuk.j93@vntu.edu.ua