

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ДІОКСИДУ ВАНАДІЮ

Виникнення значних пускових струмів при ввімкненні електронних пристроїв до мережі живлення може призводити до переходу останніх у критичний режим з подальшим виходом з ладу. З метою запобігання даним процесам вдаються до застосування засобів захисту, що дозволяє знизити пікові значення струмів та подовжити терміни експлуатації електронного обладнання. Серед різноманітних засобів захисту знаходять застосування структури на основі діоксиду ванадію VO_2 , які вмикаються послідовно з навантаженням. Для даних цілей ефективними є критичні терморезистори (критезистори) [1].

У роботі розроблено чисельну математичну модель терморезистора на основі методу кінцевих елементів для дослідження провідних властивостей у статичних та динамічних режимах.

Для математичного опису процесів, що протікають у структурі VO_2 , скористаємося відомими математичними перетвореннями [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = -\rho, \quad (1)$$

де ε_a – абсолютна діелектрична проникність матеріалу; φ – електричний потенціал; ρ – об'ємна щільність заряду; x, y, z – вісі координат.

Рівняння (1) має бути доповнене рівнянням Лапласа для повітряного проміжку, яким оточено терморезистор:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = 0. \quad (2)$$

Вирішення системи (1)-(2) пов'язане з дослідженням мультифізичної тривимірної польової задачі. Коефіцієнти ε_a , ρ , C_p є нелінійними, залежать від величини і частоти струму, що протікає в об'ємі структури терморезистора. Для вирішення (1), (2) скористаємося методом кінцевих елементів. На рис. 1, а показано граничні умови досліджуваної моделі, її дискретна частина представлена на рис. 1, б.

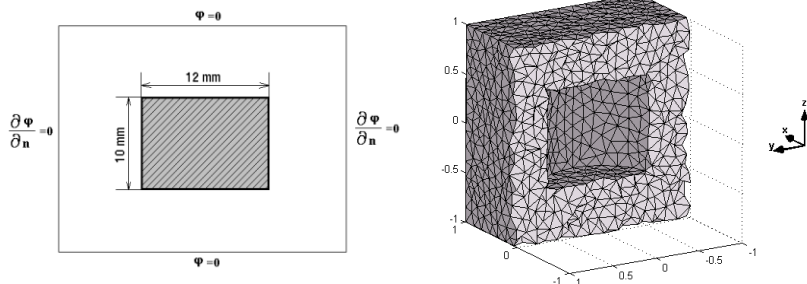


Рисунок 1 – Граничні умови та дискретна модель досліджуваного зразка

У результаті розрахунку отримано графіки напруженості електричного поля у поперечному перерізі зразка VO_2 (рис. 2).

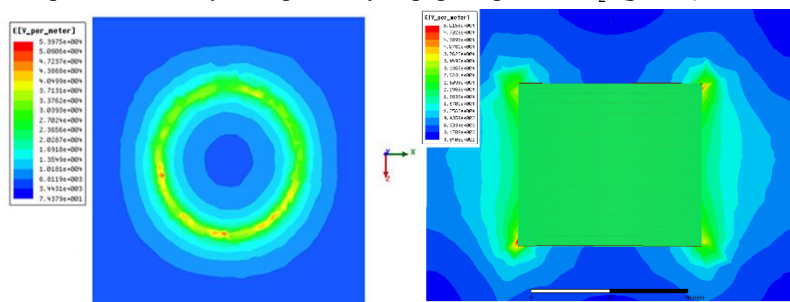


Рисунок 2 – Графіки напруженості електричного поля структури

У роботі створено тривимірну математичну модель терморезистора, яка дозволяє досліджувати електричні параметри структури на основі VO_2 . Розроблена модель є універсальною і дозволяє враховувати як фізичні властивості терморезисторів, та і їх геометричні особливості.

Список використаних джерел:

1. O. Kachura, V. Kuznetsov, M. Tryputen, V. Kuznetsov, S. Kolychev. Artur Rojek. P. Hubsy. Mathematical Model of a Semiconductor Structure Based on Vanadium Dioxide for the Mode of a Conductive Phase. Electronics 2025, 14(14), 2884; <https://doi.org/10.3390/electronics14142884>
2. Rini M., Hao Z., Schoenlein R.W. [et all]. Optical switching in VO_2 films by below-gap excitation // Applied Phys. Letters. 2008. V. 92. P. 181-904.