

УДК 538.1

Леонід Дідух, д.ф.-м.н., проф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПЕРЕХІД ДІЕЛЕКТРИК-МЕТАЛ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

Leonid Didukh, Dr., Prof.

INSULATOR-METAL TRANSITION IN ELECTRICAL FIELD

Фізична електроніка збагатилася створенням польового транзистора на основі об'ємного переходу «діелектрик-метал» у плівці диоксиду ванадію під дією електричного поля. Цей кристал є ізолятором Мотта, тому новий перспективний транзистор отримав назву «транзистор Мотта» [1]. Нижче пропонується пояснення механізму переходу діелектрик-метал в сильноскорельованих електронних системах в електричному полі на основі модифікованої форми полярної моделі [2] (обмежуючись, для простоти, лише «хаббардівськими взаємодіями»). У цьому випадку енергія системи у представленні операторів Шубіна-Вонсовського [2] з наступним переходом до квазікласичного наближення дається виразом

$$E_0 = -2w_0d(1-2d) + dU; \quad (1)$$

тут $w_0 = zt_0$ (t_0 – інтеграл переносу між найближчими сусідами, z – число найближчих сусідів), U – енергія кулонівської взаємодії двох електронів з протилежними спінами на одному центрі, d – концентрація полярних станів.

Мінімізуючи E_0 по d отримуємо, що за умови $2w_0 < U$ реалізується стан мотт-хаббардівського діелектрика.

При наявності зовнішнього електричного поля кристал деформується внаслідок п'єзоэффекту. Це приводить до відповідних доданків у виразі (1). Із врахуванням пружної енергії кристала для енергії системи маємо:

$$E = -2w_0d(1-2d)(1+\alpha u) + cuE + \frac{ku^2}{2} + dU; \quad (2)$$

тут використано, що у відповідності до експоненціальної залежності ширини зони від деформації $w_0 \rightarrow w_0(1+\alpha u)$ ($\alpha = \frac{V_0}{w_0} \frac{\partial w}{\partial V} < 0$, $u < 0$), другим доданком врахований п'єзоелектричний ефект.

Із виразу (2) знаходимо вираз для концентрації полярних станів:

$$d = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{U}{U_c} \right); \quad (3)$$

$$U_c = 2d(1-2d)(1+\alpha u)w_0 - cuE,$$

u визначається з умови мінімуму енергії, заданої виразом (2).

Перехід із стану мотт-хаббардівського діелектрика до металічного стану визначається умовою $U_c > U$. Використання типових параметрів для металооксидів показує, що перехід діелектрик-метал може відбуватися в електричних полях порядку 10^5 В/см. При цьому на затворі транзистора напруга може складати всього декілька вольт при товщині плівки VO₂ порядку 10^2 нм.

Перелік посилань

1. M. Nakano et al. // Nature. – Vol. 487. –2012. – P. 459-462.
2. L. Didukh // Acta Physica Pol. B. – Vol. 31. – 2000. – P. 3097-3133.