

АППРОКСИМАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛА В КОРОТКИХ НАНОТРУБКАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОМ КАТОДЕ, ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОХОЖДЕНИЯ И ТОКА ПОЛЕВОЙ ЭМИССИИ ПО ФОРМУЛЕ ЛАНДАУЭРА

И. А. Пилипенко¹, Н. Р. Садыков²

¹ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Россия

²СФТИ НИЯУ МИФИ, Снежинск, Россия

В соответствии с теоретической работой [1] и экспериментальными исследованиями коротких углеродных нанотрубок (УНТ) длиной 80–300 нм [2] механизм переноса электронов в массиве вертикально выращенных УНТ является баллистическим. Получить ток в данном случае можно используя формулу Ландауэра [3], для чего необходимо знать коэффициент прохождения носителей заряда через УНТ и потенциальный треугольный барьер на границе с вакуумом. В данной работе для подсчета коэффициента прохождения была предложена модель аппроксимации барьера ступенью (рис.1), площадь которой равна площади треугольного барьера, что значительно упрощает нахождение волновой функции, а соответственно и коэффициента прохождения для данной системы. На рис. 1 L_1 – длина УНТ.

Исходя из потенциала, изображенного на рис. 1, в случае короткой УНТ, находящейся на металлическом катоде и соприкасающейся другим концом с вакуумом, решение для волновой функции в четырех областях будем искать в виде плоских волн

$$\psi(z) = \begin{cases} A_1 e^{ik_1 z} + B_1 e^{-ik_1 z}, & z < 0, \\ A_2 e^{ik_2 z} + B_2 e^{-ik_2 z}, & 0 \leq z \leq L_1, \\ A_3 e^{ik_3 z} + B_3 e^{-ik_3 z}, & L_1 \leq z \leq L_2, \\ A_4 e^{ik_4 z} + B_4 e^{-ik_4 z}, & z \geq L_2, \end{cases} \quad (1)$$

где $A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3, B_4$ – амплитуды плоских волн; e^{ikz} и e^{-ikz} – волновые функции, описывающие распространение частицы вдоль оси z слева направо и справа налево, соответственно.

Зависимость коэффициента прохождения от энергии частиц, полученная для УНТ длиной $L_1 = 25$ нм, приведена на рис. 2 для значений $1,5 \cdot 10^8$ В/м (сплошная линия) и $1,7 \cdot 10^8$ В/м (пунктирная линия). Коэффициент прохождения аналогичен, полученному в [1] для куммулиновых и полииновых цепочек.

Также в рамках данной модели рассчитан ток полевой эмиссии, который аналогичен току, полученному в [1], что говорит о возможности применимости формулы Ландауэра для расчета тока полевой эмиссии в коротких УНТ.

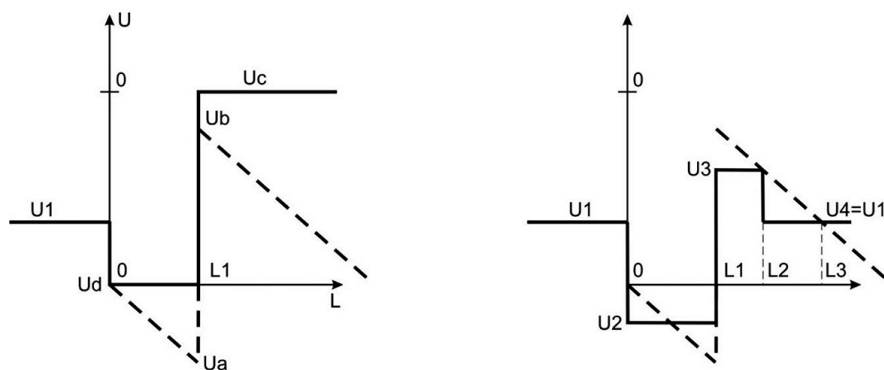


Рис. 1. Вид потенциальной ямы и аппроксимация распределения потенциала под действием однородного электрического поля

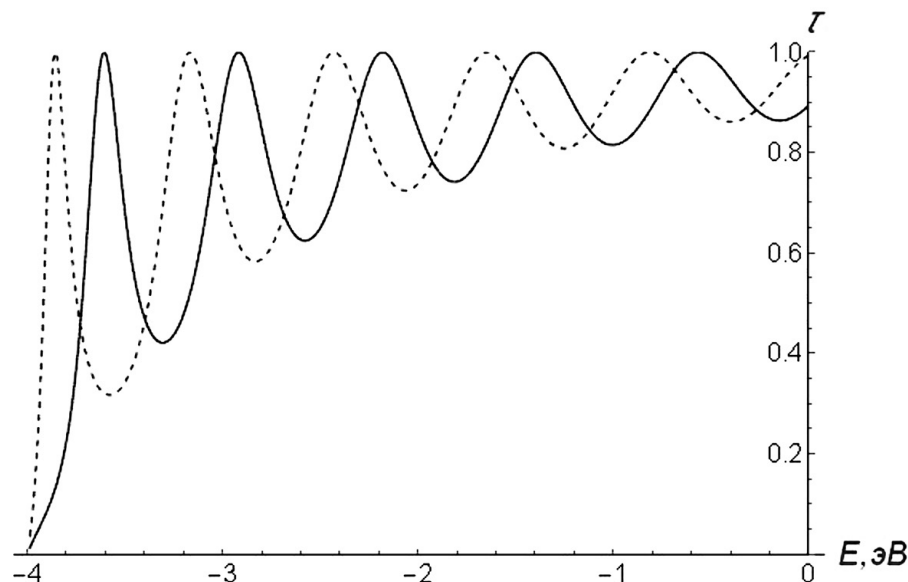


Рис. 2. Зависимость коэффициента прохождения от энергии налетающей частицы при различных значениях продольного электрического поля

Литература

1. **D'yachkov, P. N.** Tight Binding Model of Quantum Conductance of Cumulenenic and Polyynic Carbynes [Text] / P. N. D'yachkov, V. A. Zaluev, E. Yu. Kocherga, and N. R Sadykov // Journal of Physical Chemistry. – 2013. – Vol. 117. – P. 16306. doi:10.1021/jp4038864.
2. **Kolekar, S.** Investigation of Electron Transport Across Vertically Grown CNTs Using Combination of Proximity Field Emission Microscopy and Scanning Probe Image Processing Techniques [Text] / S. Kolekar, S. P. Patole, J.-B. Yoo, C. V. Dharmadhikari // Electronic Materials Letters. – 2018. – Vol. 14. – P. 173–180. <https://doi.org/10.1007/s13391-018-0009-2>.
3. **Landauer, R.** Electrical Resistance of Disordered One-Dimensional Lattices [Text] // Philosophical Magazine. – 1970. – Vol. 21, No. 172. – P. 863–867. doi:10.1080/14786437008238472.