Подвижность носителей заряда в сильных электрических полях в режиме проводимости с многократным захватом

Ненашев А.В.^{1,2}, Двуреченский А.В.^{1,2}, Oelerich J.O.³, Jandieri K.³, Valkovskii V.V.³,
Semeniuk O.⁴, Gebhard F.³, Juška G.⁵, Reznik A.⁴, Baranovskii S.D.³

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

³ Philipps-Universität Marburg, D-35032 Marburg, Germany

⁴ Lakehead University, 955 Oliver Road, Thunder Bay, Ontario, Canada P7B 5E1

⁵ Vilnius University, Saultekio 9 III k., 10222 Vilnius, Lithuania

DOI 10.34077/Semicond2019-304

В работе исследуется неомический электронный транспорт в режиме зонной проводимости с многократным захватом, когда движение носителей заряда происходит в зоне проводимости, но большую часть времени носитель захвачен ловушками. Такой режим транспорта (рис. 1) реализуется во многих материалах, в частности, в аморфных полупроводниках.

Показано [1], что зависимость подвижности носителей заряда μ от температуры и от напряжённости электрического поля описывается единственным параметром — так называемой эффективной температурой T_{eff} , являющейся функцией реальной температуры T и напряжённости поля F . Электрическое поле входит в выражение для эффективной температуры в виде комбинации eFa , где e — элементарный заряд, а параметр a близок к радиусу локализации захваченного ловушкой носителя заряда:

$$kT_{\text{eff}} = \sqrt{(kT)^2 + \left(\frac{2}{3}eFa\right)^2}. \quad (1)$$

Рис.1. — Иллюстрация режима проводимости с многократным захватом.

Зависимость подвижности от эффективной температуры является активационной. Возможность применения концепции эффективной температуры в режиме проводимости с многократным захватом, а также роль радиуса локализации a как характерного масштаба длины, определяющего полевую зависимость подвижности, объяснены на основе представления о выходе носителя заряда из ловушки как о совместном действии термической активации и туннелирования. Рассмотрен процесс покидания ловушки носителем заряда в ситуации, когда возможен процесс прыжка на более мелкую ловушку (рис. 2) [2]. Обнаружено, что среднее время, за которое электрон покидает ловушку, в сильных электрических полях существенно (на несколько порядков) уменьшается в результате многостадийных процессов, состоящих из прыжков носителей заряда на более мелкие ловушки и термического возбуждения в зону из последних. Получены аналитические выражения для коэффициента усиления скорости выхода носителя из ловушки в присутствии сильного электрического поля. В частности, в системе из двух ловушек (рис. 2) при оптимальном положении ловушки 2 коэффициент усиления составляет порядка $\exp[\varepsilon_1 eFa / 2(kT)^2]$, где ε_1 — глубина залегания 1-й ловушки.

Рис.2. — Схема покидания электроном ловушки 1 при помощи более мелкой ловушки 2 в электрическом поле.

[1] A. V. Nenashev, J. O. Oelerich, K. Jandieri, V. V. Valkovskii, O. Semeniuk, A. V. Dvurechenskii, F. Gebhard, G. Juška, A. Reznik, and S. D. Baranovskii, *Phys. Rev. B*, **98**, 035201 (2018).

[2] A. V. Nenashev, V. V. Valkovskii, J. O. Oelerich, A. V. Dvurechenskii, O. Semeniuk, A. Reznik, F. Gebhard, and S. D. Baranovskii, *Phys. Rev. B*, **98**, 155207 (2018).