Неуниверсальность частотной зависимости проводимости неупорядоченных гранулированных систем

Ормонт М.А., Звягин И.П.

МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, кор.2

DOI 10.34077/Semicond2019-363

Для многих неупорядоченных материалов (аморфные и легированные полупроводники, полупроводниковые стекла, проводящие полимеры, гранулированные материалы и т.п.) частотная зависимость проводимости в широком интервале частот может быть описана степенной зависимостью $\sigma(\omega) \sim \omega^s$, где s – постоянная ($0.7 < s < 1$) [1]. Универсальность степенной зависимости проводимости затрудняет получение информации о конкретных особенностях механизма переноса. По этой причине исследования отклонений от универсальности и нахождение их связи со структурными особенностями материала и с особенностями переноса играют важную роль. Степенную частотную зависимость вещественной части проводимости $\sigma_1(\omega)$ с показателем степени $s \approx 1$ обычно принято связывать с прыжковой проводимостью с переменной длиной прыжка по локализованным состояниям с участием фононов (релаксационная проводимость) [1]. Частотная зависимость $\sigma_1(\omega)$, близкая к линейной, получается при не слишком высоких частотах и в теории низкотемпературной бесфононной (резонансной) прыжковой проводимости при учете кулоновских корреляций [2]. Имеющаяся теория бесфононной проводимости неупорядоченных полупроводников с мелкими примесными уровнями не учитывает неточности центров локализации носителей заряда; в тоже время на практике часто приходится иметь дело с неупорядоченными системами, включающими в себя центры локализации конечных размеров (наногранулы, квантовые точки, проводящие области в легированных компенсированных полупроводниках). В [3] было показано, что учет размеров гранул существенно влияет на результат при вычислении высокочастотной релаксационной прыжковой проводимости массива плотно упакованных гранул в режиме постоянной не зависящей от частоты длины прыжка (переходы между ближайшими соседями). В области высоких частот бесфононная составляющая проводимости σ_1^{res} преобладает над релаксационной σ_1^{rel} ; при этом $\sigma_1(\omega) \approx \sigma_1^{res}(\omega)$. Для неупорядоченного массива плотно упакованных сферических наногранул проведен расчет вещественной части высокочастотной бесфононной проводимости в парном приближении. Обобщение теории бесфононной проводимости систем с точечными примесными центрами на системы с областями локализации конечных размеров (массивы наногранул или квантовых точек) показало, что на высокочастотную проводимость $\sigma(\omega)$ влияет функция распределения расстояний между поверхностями гранул $P(w)$; это может приводить к отклонениям от линейной частотной зависимости вещественной части проводимости $\sigma_1(\omega)$ [4]. В окрестности частоты $\omega \sim \omega_c = 2I_0 / \hbar$ (I_0 – предэкспоненциальный множитель резонансного интеграла) для неупорядоченных гранулированных систем следует ожидать отклонений от универсальности $\sigma_1(\omega) \sim \omega^s$ ($s \approx 1$), связанных с ослаблением частотной зависимости проводимости $\sigma_1(\omega)$, и ее немонотонности. С увеличением размера гранул немонотонность $\sigma_1(\omega)$ должна проявляться при меньших частотах; это связано с уменьшением I_0 с увеличением размера гранул.

[1] I.P. Zvyagin, In: *Charge Transport in Disordered Solids with Applications in Electronics* / Ed. S. Baranovski. John Wiley & Sons, Chichester (2006). P. 339.

[2] Б.И. Шкловский, А.Л. Эфрос, *ЖЭТФ*, **81**, 406 (1981).

[3] I.P. Zvyagin, In: *Abstracts to 14 Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology"*, St.Petersburg, Russia, June 26 – 30, 2006. P. 226.

[4] М.А. Ормонт, И.П. Звягин, *ФТТ*, **60**, вып.12, 2331 (2018).