

Multi-Phonon 遷移を考慮した Small-Polaron の Variable Range Hopping

Small-Polaron Variable Range Hopping Including Multi-Phonon Transition

宝玉 充、谷本 弘吉、青木 伸俊、石丸 一成(東芝セミコンダクター&ストレージ社)

Michiru Hogyoku, Hiroyoshi Tanimoto, Nobutoshi Aoki, and Kazunari Ishimaru

(Toshiba Corporation Semiconductor & Storage Products Company)

E-mail: michiru.hogyoku@toshiba.co.jp

アモルファスの半導体や絶縁体で、禁制帯中に多くの局在準位を含む場合、キャリアが同局在準位間をホッピングするタイプの電気伝導が生じる。そして、その電気伝導度の温度依存性は、キャリアのホッピングの際のフォノン遷移とトンネル効果を考慮して定式化されており、Mott Variable Range Hopping (Mott-VRH)として広く知られている[1]。本研究では、このMott-VRHに対して、強いキャリア-格子間相互作用を有する small-polaron[2]向けに改良を加えて、non-adiabatic な multi-phonon 遷移[3]の効果を組み込む試みを行った。

例として、最近接トラップサイト間の平均距離： r と、局在長： a の比、すなわち r/a を4、フォノンエネルギー： $h\nu$ を0.01 [eV]、局在準位のバンド幅： W を0.15 [eV]、空間次元： d を3として、数値計算を行った。なお、トラップサイト1個分の Huang-Rhys factor： S は、small-polaron としては相互作用が弱めの0.5を想定した。その結果、高温下で、multi-phonon 遷移をとまなう Nearest-Neighbor Hopping (NNH)が支配的な傾向を示す一方、低温側においては、温度の低下と共に、multi-phonon 遷移が優勢でありながらも、徐々に平均ホッピング距離が伸びる振舞いが確認できた(図1)。さらに興味深いことに(図2)、Mott-VRHのプロットのみならず、Efros-Shklovskii Variable Range Hopping (ES-VRH) [4]のプロットにおいても、ある程度の直線性がみとめられた(Coulomb gapの影響を考慮していないにもかかわらず)。これらのことは、VRHの両モデルが、理論上の前提とは異なる条件範囲(multi-phonon 遷移が優勢となる条件)においても、

その有効性を発揮し得る可能性を示唆している。

参考文献

- [1] N. F. Mott, J. Non-Cryst. Solids **1**, 1 (1968); ザイマン 乱れの物理学 13.3 節.
- [2] D. Emin, Adv. Phys. **24**, 305 (1975); 嶋川晃一 日本物理学会誌 Vol. 44, No. 8, 581 (1989).
- [3] J. Zheng, H. Tan, and S. Ng, J. Phys.: Condens. Matter **6**, 1695 (1994).
- [4] A. L. Efros and B. I. Shklovskii, J. Phys. C **8**, L49 (1975).

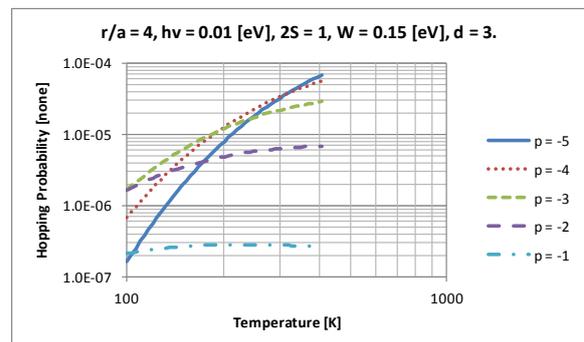


図1. ホッピング確率の温度依存性を、各フォノン放出数に対して独立にプロットした。 p はフォノン放出数(負は吸収)で、絶対値が小さいほど、平均ホッピング距離が長いことを表している。

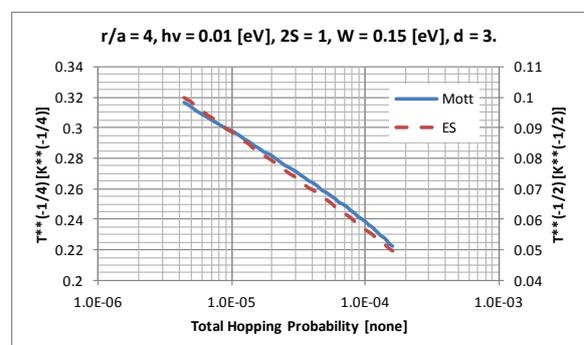


図2. 全ホッピング確率に対する、Mott-VRHとES-VRHの両プロット。