

A04 電荷揺らぎ分光イメージング法の創出：固体中揺らぎ空間分布構造の探求

東京工業大学・量子ナノエレクトロニクス研究センター 河野行雄

1. 研究目的

物質中で発生する電荷の揺らぎは、固体素子において通常ノイズとして邪魔者扱いされるが、物質の秩序形成や相変化の根幹を担うことがしばしばある。例えば、電子の局在-非局在状態間遷移、電荷密度波のスライディング、量子極限まで達したショットノイズなどの研究から、電子のダイナミックな性質とそれに関連する物性が明らかにされた報告がいくつかある。ところがこれまでに、空間・時間・エネルギーから電荷揺らぎを系統的に調べた研究はきわめて少ない。これは、電荷揺らぎを多面的に探求するための有効な計測手段がこれまでになかったためである。本研究の目的は、試料全体の平均量でなく、電荷揺らぎの局所的な情報を探求し、揺らぎの空間的構造やその発現の背後にある微視的メカニズムを解明することである。

本研究では、電荷揺らぎの実空間分布ならびに周波数分散（分光）双方の情報を直接的に可視化するシステム-揺らぎ分光イメージング-により、固体素子の揺らぎに関する特徴的な電荷分布形成・ダイナミクスやそれとマクロな物性との関連を解明する。

2. 2014年度の成果

導電性有機高分子素子の非平衡伝導と電磁波応答

2014年度は、導電性有機高分子 PBBT-Tz-FT の非平衡伝導特性を研究対象とした。この高分子は、benzobisthiadiazole (BBT) ベースのドナー・アクセプター共重合体であり、異なる π 共役ブリッジを持つ⁽¹⁾。元々、高分子薄膜トランジスタのために開発されたものである。ポリマーの主鎖に異なる π 共役ブリッジを挿入することで、光・電気的特性を調整することが可能である。最近、太陽電池等への応用が検討されており、導電性を示す高分子の中でも重要な材料である。一般に高分子の非平衡キャリア輸送は、ホッピング伝導が担うとされるが、ホッピングをもたらす特徴的なエネルギー・時間・空間のスケールは不明であり、本テーマを進める上で興味深い系である。

図1に分子の構造式を示す（試料は東京工業大学 有機・高分子物質専攻 道信研究室より提供）。シリコン基板上にこの高分子が置かれており、両端に金のソース・ドレイン電極がある。電気伝導温度依存性を調べたところ、電気抵抗は温度とともに上昇することがわかった。興味深いことに、（1）温度 200K付近で温度依存性のべき数が急激に変わる、（2）200Kでの電流-電圧 (I-V) 特性が急激に非線形になる、ことを見出した。このような急な非線形 I-V 特性は 200K付近でしか見られない。

低温下 (3~15K) では正の磁気抵抗が観測されたため、ホッピング伝導による機構を示している。したがって、200K付近における温度依存性のべき数変化は、ホッピング伝導を特徴づけるエネルギーや伝導状態が変わることを示唆しており、I-V 特性の大きな非線形性はその状態遷移に帰することができる。さらにこの試料にテラヘルツ電磁波を照射したところ、有限のテラヘルツ光伝導が観測された。

以上の現象で、200K付近前後で電子状態の空間分布がどのように変化しているかを可視化することは、非平衡伝導を解明する上で大変興味深い。現在、イメージングシステムの改良（走査の安定性や S/N 比の改善）に取り組んでおり、来年度（2015 年度）に測定を行う予定である。

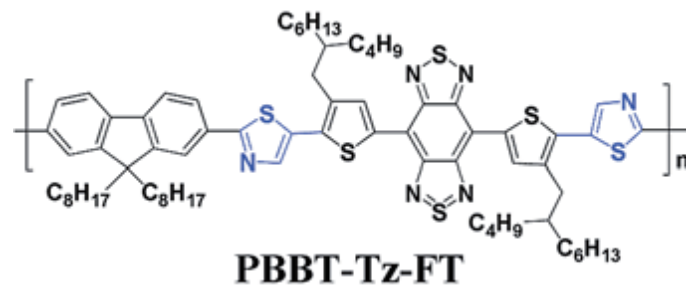


図 1. 測定対象である導電性高分子 PBBT-Tz-FT の分子構造（参考文献 1 より引用）。

参考文献:

- (1) Yang Wang, Tomofumi Kadoya, Lei Wang, Teruaki Hayakawa, Masatoshi Tokita, Takehiko Moria and Tsuyoshi Michinobu, *J. Mater. Chem. C*, **3**, 1196-1207 (2015).