

# 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・エネルギーから固体中の電荷揺らぎを系統的に調べた研究はきわめて少ない。本研究は、電荷揺らぎの局所的な情報を探求し、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ことを目的とする。

## 2. 2015年度の成果

### ①カーボンナノチューブ素子の非平衡伝導と電磁波応答

カーボンナノチューブ薄膜素子<sup>(1)</sup>の非平衡伝導と電磁波応答について調べた。光透過スペクトル測定から、幅広い波長領域での光吸収を確認した。室温から低温に至る温度領域で、中赤外～遠赤外光に対する応答（光伝導）を観測した。光吸収によるデバイス内電子伝導の様子を可視化し、電子のエネルギー緩和のダイナミクスと対応した特徴を特定することが可能となった。また、薄膜の厚みに応じた光応答の違いをイメージング観測し、光伝導の測定における有用な情報を得ることができた。

### ②導電性高分子素子の非平衡伝導と電磁波応答

導電性高分子 PBBT-Tz-FT の非平衡伝導特性と光応答を調べた（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）。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 $\pi$ 共役ブリッジを持つ<sup>(2)</sup>。有機トランジスタや有機太陽電池への応用に向けて盛んな研究がなされている。

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る。

本研究で使用したデバイスでは、この高分子がシリコン基板上に置かれており、両端に金のソース・ドレイン電極が付いている。電気抵抗の温度依存性を測定したところ（図1）、温度 200K 付近で電流-電圧特性が急激に非線形になり（図2）、2つの伝導状態間をスイッチする、双安定な状態が存在することを見出した。この測定から、伝導を特徴づける2種類のエネルギーを見積もることができた。

さらに、この温度領域で可視光を照射したところ、電気伝導度が急激に増大する現象を観測した。このような光をトリガーとした相転移は、2種類の伝導状態間をスイッチする温度 200K 付近のみで生じ、他の温度領域では起こらないことが分かった。この測定から、電子の空間分布の変化に基づく伝導モデルを提案した。

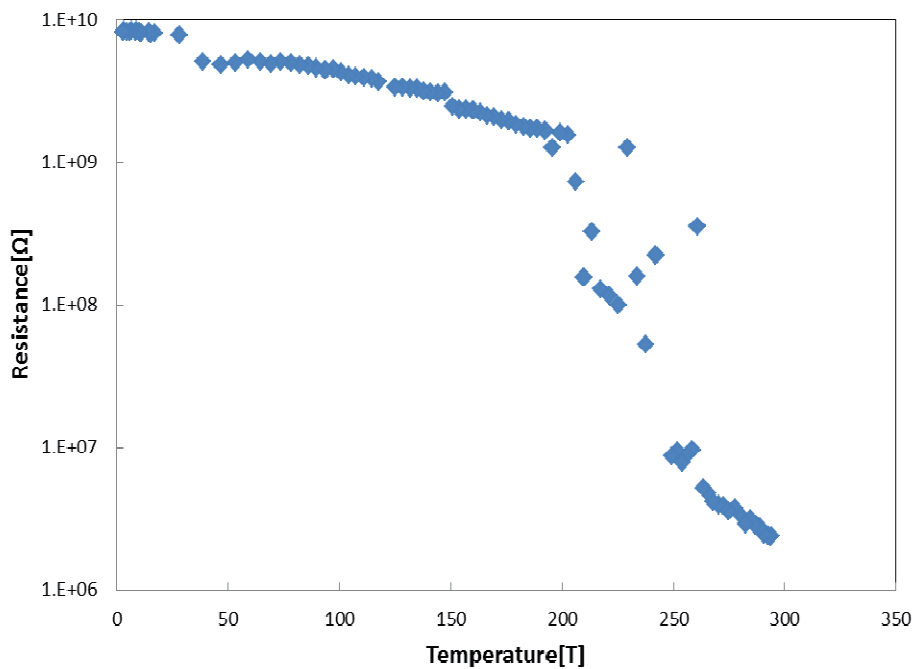


図 1. 導電性高分子 PBBT-Tz-FT の電気抵抗の温度依存性

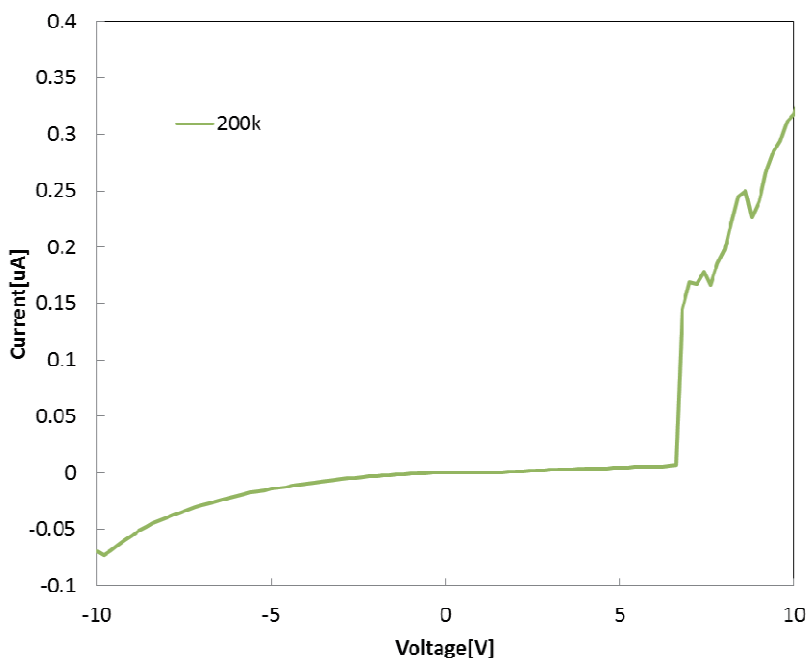


図 2. 図 1 の素子の電流-電圧特性 (200K)

参考文献:

- (1) Kristopher J. Erickson, Xiaowei He, A. Alec Talin, Bernice Mills, Robert H. Hauge, Takashi Iguchi, Naoki Fujimura, Yukio Kawano, Junichiro Kono, François Léonard, *ACS Nano* **9**, 11618–11627 (2015).
- (2) Yang Wang, Tomofumi Kadoya, Lei Wang, Teruaki Hayakawa, Masatoshi Tokita, Takehiko Moria and Tsuyoshi Michinobu, *J. Mater. Chem. C*, **3**, 1196-1207 (2015).