

## 有機単結晶トランジスタの応答速度と集積回路

### Hi-speed Response of Organic Single-crystal Transistors and Circuits

東大新領域<sup>1</sup> ○竹谷 純一<sup>1</sup>

Univ. of Tokyo<sup>1</sup>

E-mail: takeya@k.u-tokyo.ac.jp

有機半導体は、外に広がったパイ電子を有する分子が分子間力によって集合した系である。分子間の結合が弱いため、柔軟かく自己組織化的に周期構造を作りやすいという低コストのフレキシブル・プリンテッドエレクトロニクスにおける強みと、バンド幅が狭く、分子間のフォノンによる散乱が大きいことによる、電荷キャリアの伝導メカニズムに関する複雑性を特徴とする。このように、分子近傍に偏在した電子分布が弱くオーバーラップした系において、室温で分子間に広がったコヒーレントなキャリアによるバンド伝導を実現しうることが、有機単結晶トランジスタのホール効果測定によって明らかになったことを端緒として、その後分子振動を抑制した次世代分子の開発も進んだ。その結果、溶液プロセスででき、物理的・化学的安定性に優れた極薄単結晶有機半導体の室温でのキャリア移動度は  $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を超える実用材料が得られた[1]。また 100 MHz 級の超短波域の素子応答速度に加え、溶液塗布による p 型及び n 型単結晶有機半導体の CMOS 集積回路を形成する一連のプロセスも確立され、RFID タグや大型ディスプレイシートの事業化が進められている[2]。

一方、有機半導体デバイスの更なる性能向上やプロセス改善に関する基盤研究も並行して実施しており、高速かつ高集積度の次世代回路への準備が進められている。本講演では、まず標準的なモデルでは、比例関係にあるキャリア移動度とカットオフ周波数の相関について、系統的に明らかにした最近の研究結果について紹介する。1 MHz を超える周波数領域において、ネットワークアナライザによるダイナミック特性と静的な伝達特性の関係性の詳細が明らかになり、今後の素子設計の指針が得られている。さらに、応答速度を上げるうえで障害になっている電極から半導体単結晶膜へのキャリア注入効率の改善にも取り組み、電極の転写によるダメージフリーの金属/有機半導体界面やイオン交換法による新たな高仕事関数電極についても紹介する[3]。

[1] J. Takeya et al., Jpn. J. Appl. Phys. 44, L1393-1396 (2005); Phys. Rev. Lett. 98, 196804 (2007); T. Okamoto, J. Takeya et al., Adv. Mater. 26, 4546-4551 (2014); J. Tsurumi, S. Watanabe, J. Takeya et al., Nature Phys. 13, 994 (2017).

[2] A. Yamamura, J. Takeya et al., Adv. Electron. Mater. 3, 1600456 (2017); S. Watanabe, J. Takeya et al., Communications Physics 1, 37 (2018); A. Yamamura, S. Watanabe, J. Takeya et al., Sci. Adv. 4, eaao5758 (2018).

[3] Y. Yamashita, J. Takeya, S. Watanabe et al., Nature 572, 634-638 (2019); S. Kumagai, S. Watanabe, J. Takeya et al., Sci. Rep. 9, 15897 (2019); T. Makita, S. Watanabe, J. Takeya et al., PNAS 117, 80 (2020).