

有機 FET 用液晶性有機半導体の現状と実用化に向けた課題

The present status and remained issues in Self-organizing Molecular Semiconductors for Organic Field Effect Transistors

東工大未来研 ○半那純一, 飯野裕明, 臼井孝之, 岡村 寿

Tokyo Tech, Imaging Science and Engineering Research Center

E-mail: hanna@isl.titech.ac.jp

Printed Electronics (PE) 用有機トランジスタ材料として期待される液晶性有機有機半導体の開発の現状と実用化の向けての課題について述べる。最も代表的な材料である Ph-BTBT-10 を例に、基本的な材料物性と FET のデバイス特性とその背景にある材料技術のポイントについて紹介し、その実用化に向けて残された課題について議論する。

実用的な PE 用有機 FET 材料には、次の特性が求められる。

1. 高移動度(>5cm²/Vs)
2. 有機溶媒に対する高い溶解度(>0.5wt/v%)
3. 素子形成プロセスのための耐熱性(>150°C)
4. 容易な製膜と膜の均一・平坦性
5. 化学的安定性

これらは、FET の Switching 素子としての機能と集積化とその際の素子間のばらつきの抑制と信頼性の確保からの要請である。

これらの特性を分子設計を通じて、如何に実現するかが材料からのアプローチである。

しかし、これらの特性の多くは互いに独立ではなく、また、FET 材料が大きな芳香族 π -電子共役系骨格を含むため、その実現は容易ではない。特に、低分子系材料の場合、材料の溶解性と耐熱性は相互に相反するため、この解決には、矛盾を解く根本的な取り組みが必要となる。

我々は、液晶物質を自己組織的に凝集相を発現する新しい有機半導体 - *Self-organizing Molecular Semiconductor* として位置づけ、そのデバイスへの展開を図る取り組みを長年にわたり推進してきた。その一環として、この数年、直近の応用を目指して、液晶物質の結晶薄膜を FET に応用する取り組みを展開している。このポイントは、液晶物質の示す自己組織的な凝集性を結晶薄膜の作製プロセスに活用すること、中間相/ソフトマターとしての液晶相の示すユニークな特性を材料特性の改善に活用することである。これは、有機結晶のもつ特性を補完し、従来の有機結晶の取り扱いの限界を超える新しい *Methodology* を提供する。

この液晶性の活用というコンセプトを最も有効に具現した有機トランジスタ材料が

Ph-BTBT-10(図 1 参照)¹⁾ に代表される高次 Sm 相を発現する液晶性有機 FET 材料である。

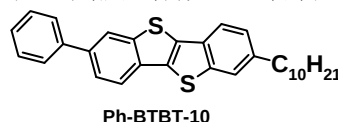


Fig. 1 Chemical Structure of Ph-BTBT-10

液晶性の導入により、液晶物質の示す

1. 有機溶媒に対する高い溶解性
2. 分子配向制御の容易性.
3. 液晶膜の活用による均一・平坦性の改善
4. 粒界の制御と欠陥密度の低減

により、結晶性に優れた高品質な薄膜が作製できることに加え、高次 Sm 相の採用により、

1. 結晶膜の選択的 Herringbone 構造の実現
2. 高次 Sm 液晶膜の結晶前駆体への活用
3. 固体様の高次 Sm 相の発現を利用した薄膜の耐熱性の確保 が図られる。

これらの特性は、BTBT 骨格をもつ液晶物質に限定されるものではなく、液晶性を発現させることにより、棒状の芳香族 π -共役構造構造をもつ他のトランジスタ材料にも発現可能で、この考え方は低分子系有機 FET 材料の基本的な材料基盤技術となりうるものである。

また、Ph-BTBT-10 にみる片側鎖構造の採用は Bilayer 構造による高移動度化のための新しい材料設計の考え方として有用である。

表 1 に、本取り組みによって開発できた代表的な高次液晶相を発現する液晶性有機 FET 材料とその特性を示す。

Table 1 FET materials and their properties

FET Materials	Mobility [cm ² /Vs]	Solubility [wt/v%]	Thermal Durability [°C]
Ph-BTBT-14	16	0.1	209
Ph-BTBT-10	11.2	0.2	200
Ph-BTBT-7-O1	5.9	1.2	193
Ph-BTBT-9-O1	5.6	0.7	192

残る課題は n 型 FET 材料の開発と液晶性を活用した実用的な製膜プロセスの開拓である。

1) H. Iino, T. Usui, and J. Hanna, *Nature Comm.*, 6, 6828, doi:10.1038/ncomms7828 (2015).