

新規N型液晶性有機半導体材料

東京工業大学

科学技術創成研究院 未来産業技術研究所

准教授 飯野 裕明

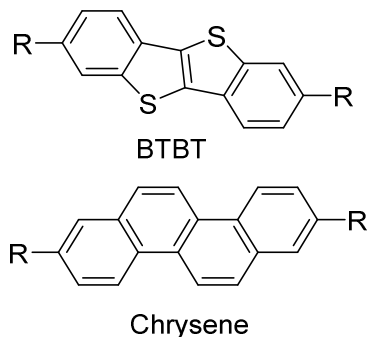
平成30年10月16日

新技術の概要

本新技術は、液晶性を示す有機半導体材料に関するものです。

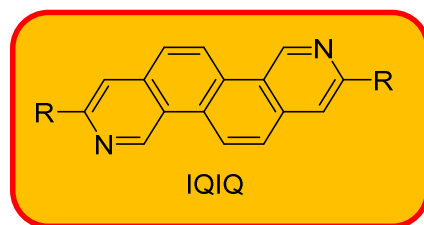
イソキノリノ・イソキノリン(IQIQ)骨格からなる電荷輸送部位に炭化水素の側鎖部を連結することにより液晶性を維持しつつ、深いLUMOを有する新たな有機半導体材料を開発しました。

従来技術
液晶性の有機半導体
だがLUMOが浅い

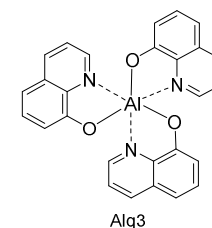
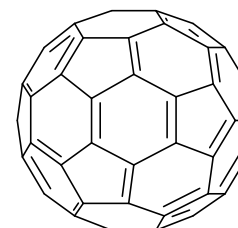


本技術

棒状分子でありながら
LUMOが深い
液晶性(プロセス適性)



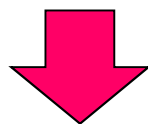
従来技術
LUMOが深いもの
のプロセス適合性無し



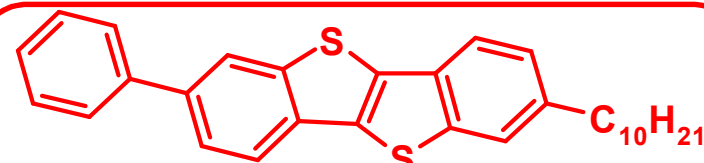
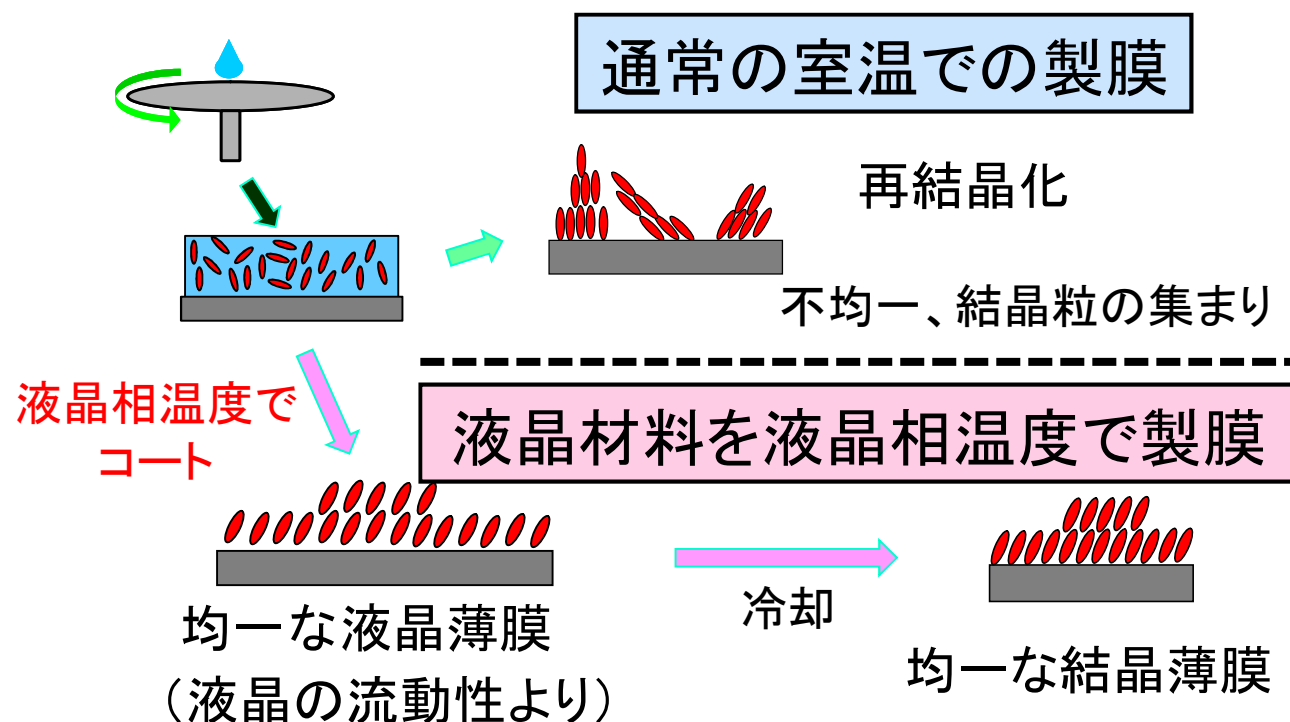
社会ニーズと有機半導体材料への要求

- 複写機: 有機半導体が市場を席捲
- 有機EL: 市場の拡大
 - ↳ Printed Electronicsへの期待
- 研究開発中 {
 - 有機薄膜トランジスタ
 - 有機薄膜太陽電池
- ウェットプロセスによる**均一製膜**ができ、
さらに**高移動度**の材料

高秩序液晶相を有する液晶性有機半導体



ウェットプロセスによる均一な多結晶薄膜が製膜可能



Ph-BTBT-10

液晶相温度(110°C)で製膜

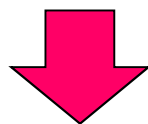
Solvent: diethylbenzene 1wt%



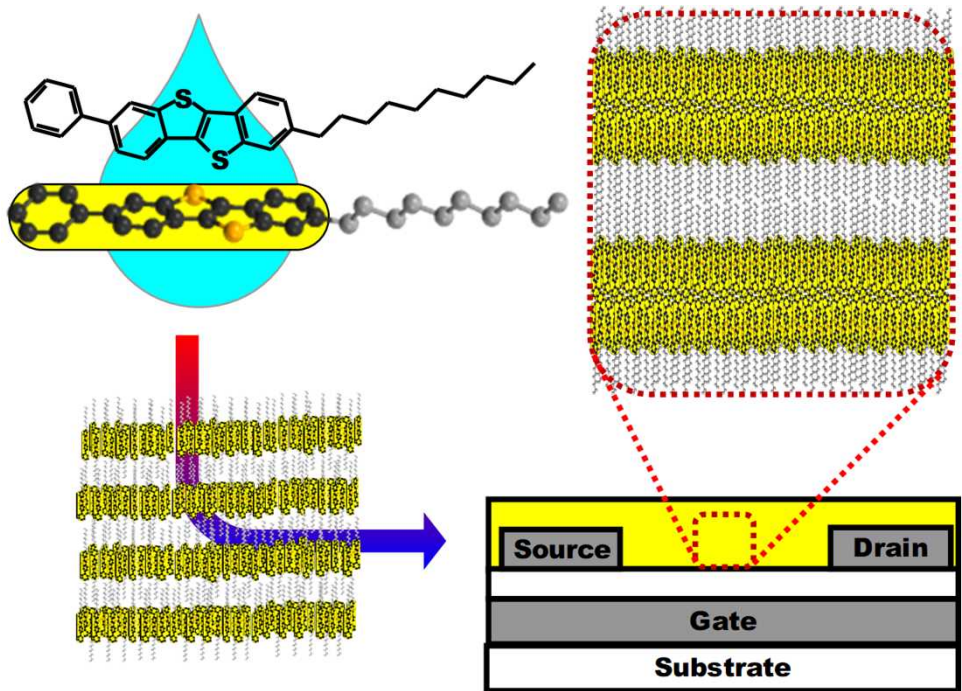
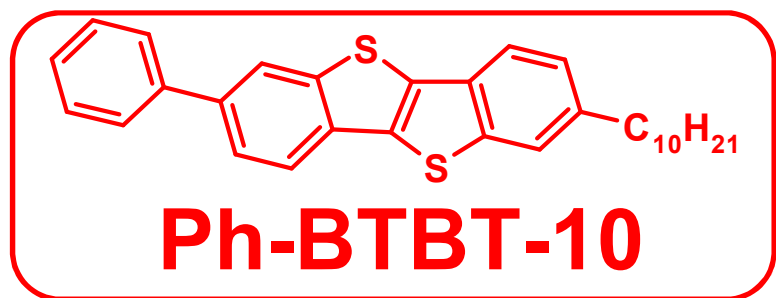
20 μm

液晶薄膜を前駆状態として利用⇒均一な多結晶薄膜が容易に作製

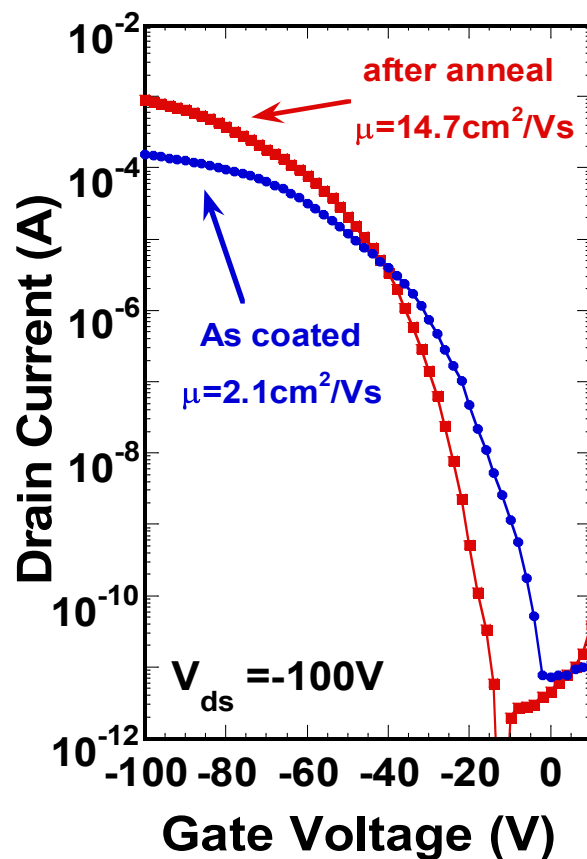
高秩序液晶相を有する液晶性有機半導体



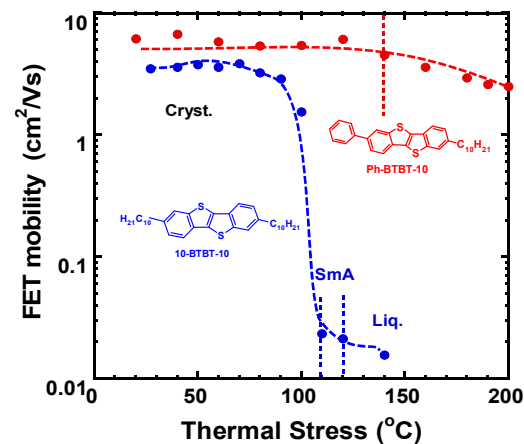
多結晶薄膜で高移動度のPチャネルトランジスタが実現



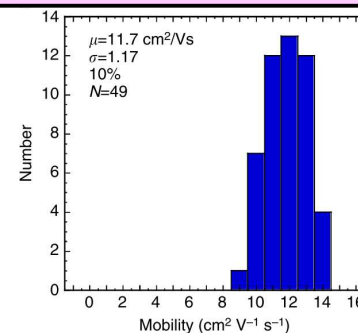
熱アニール後のFET特性



耐熱温度依存性



デバイスのばらつき



社会ニーズと有機半導体材料への要求

- 複写機: 有機半導体が市場を席捲
- 有機EL: 市場の拡大



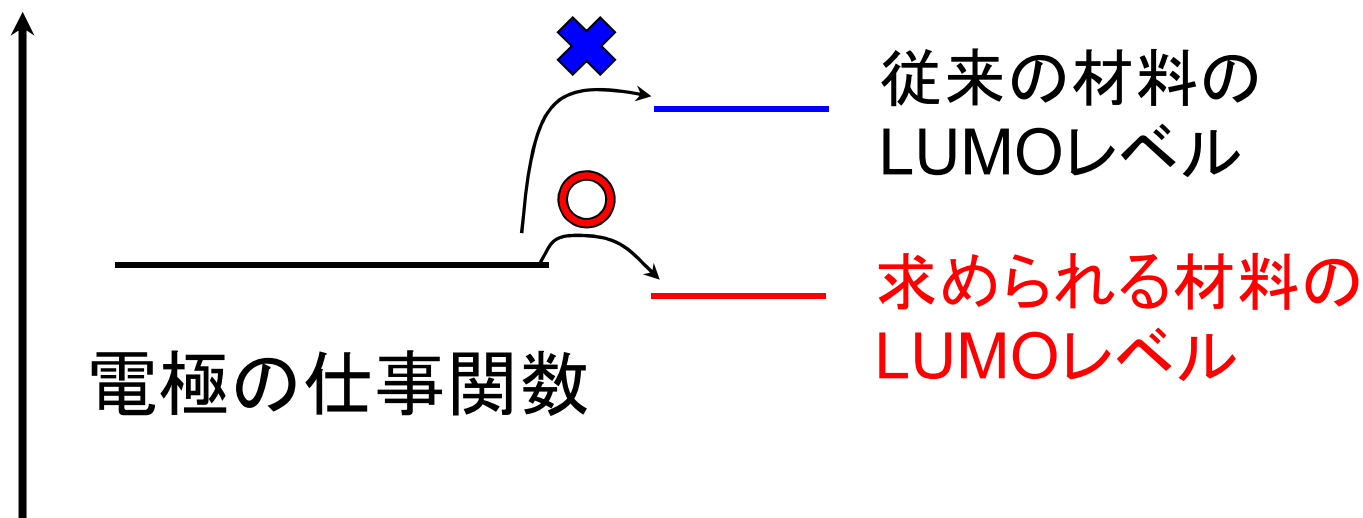
Printed Electronicsへの期待

- 研究開発中 { 有機薄膜トランジスタ
有機薄膜太陽電池

- ウェットプロセスによる均一製膜ができ、さらに高移動度の材料
- CMOS回路作製のため、
Nチャネルトランジスタ材料の必要性
- フラーレンに代わる強力な電子アクセプタ性の有機半導体材料の必要性

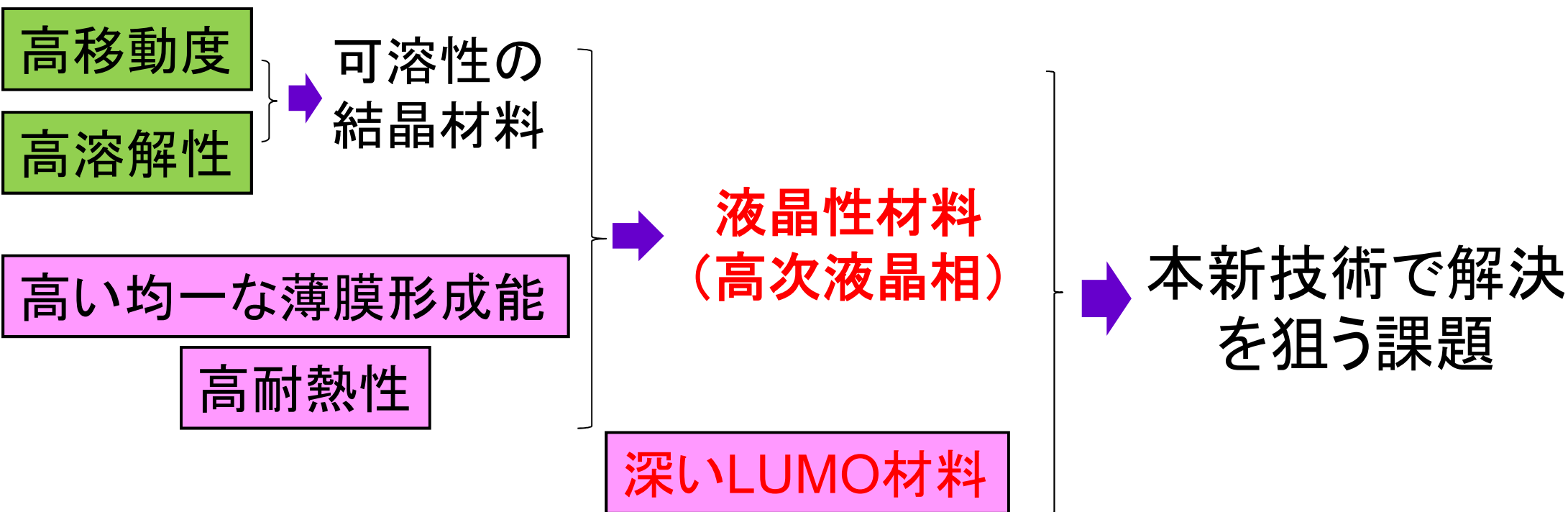
深いLUMOの有機半導体材料

- Nチャネルトランジスタ、有機ELの電子輸送層
電極からのLUMOLレベルへの電子注入が必須
- 有機薄膜太陽電池のアクセプタ材料
ドナー材料から電子を引き抜くLUMOLレベルを有する材料が必須



深いLUMOLレベルを有する有機半導体が必要

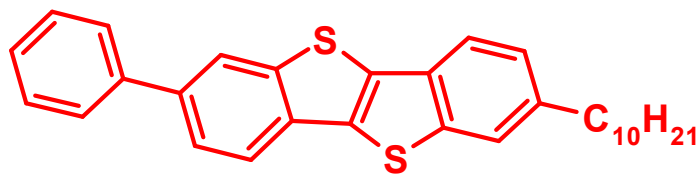
高移動度、溶液プロセス性を兼ね備えた 深いLUMOの有機半導体材料



従来技術の課題

(従来の液晶性有機半導体の課題)

電子輸送材料や電子注入が必要なデバイス応用において従来の分子ではLUMOレベルが浅く利用が難しい



Ph-BTBT-10

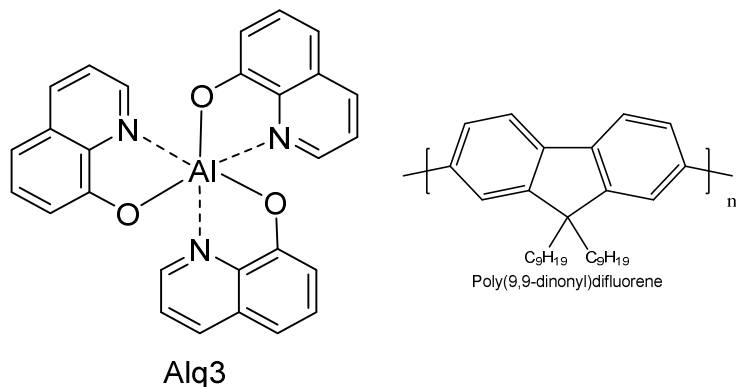
LUMO: -2.5eV

HOMO: -5.6eV

高次の液晶相を示すような棒状形状の分子でありながら、電子親和性の高い(LUMOレベルが深い)芳香族環が求められる。

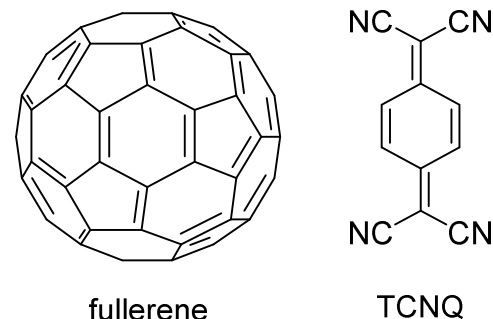
従来技術の課題 (LUMOが深い電子輸送材料の課題)

有機アモルファス材料



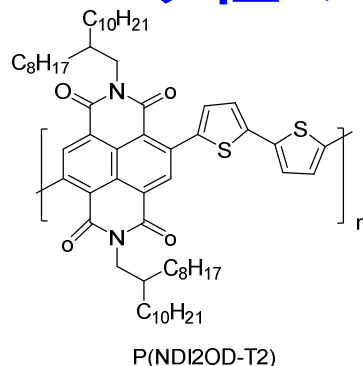
移動度が低い

有機結晶材料



溶解度が低く、
プロセス適性がない

ドナー・アクセプタ性的高分子材料



LUMOは深いものの、HOMOが浅い (ギャップが狭い)

本新技術のポイント

従来技術

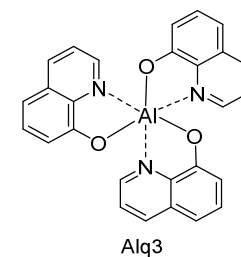
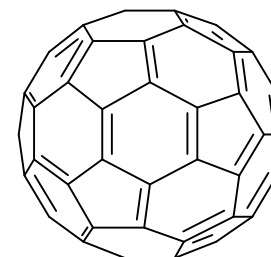
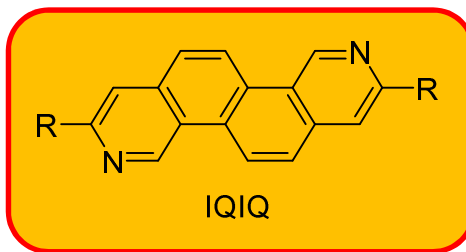
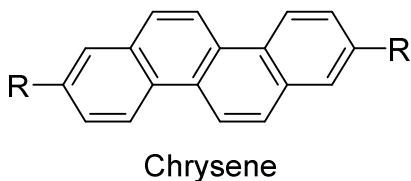
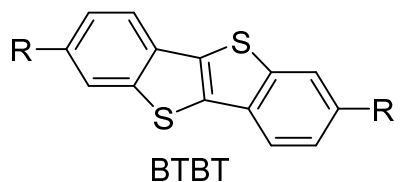
液晶性の有機半導体
だがLUMOが浅い

本技術

棒状分子でありながら
LUMOが深い
液晶性(プロセス適性)

従来技術

LUMOが深いもの
のプロセス適合性無し

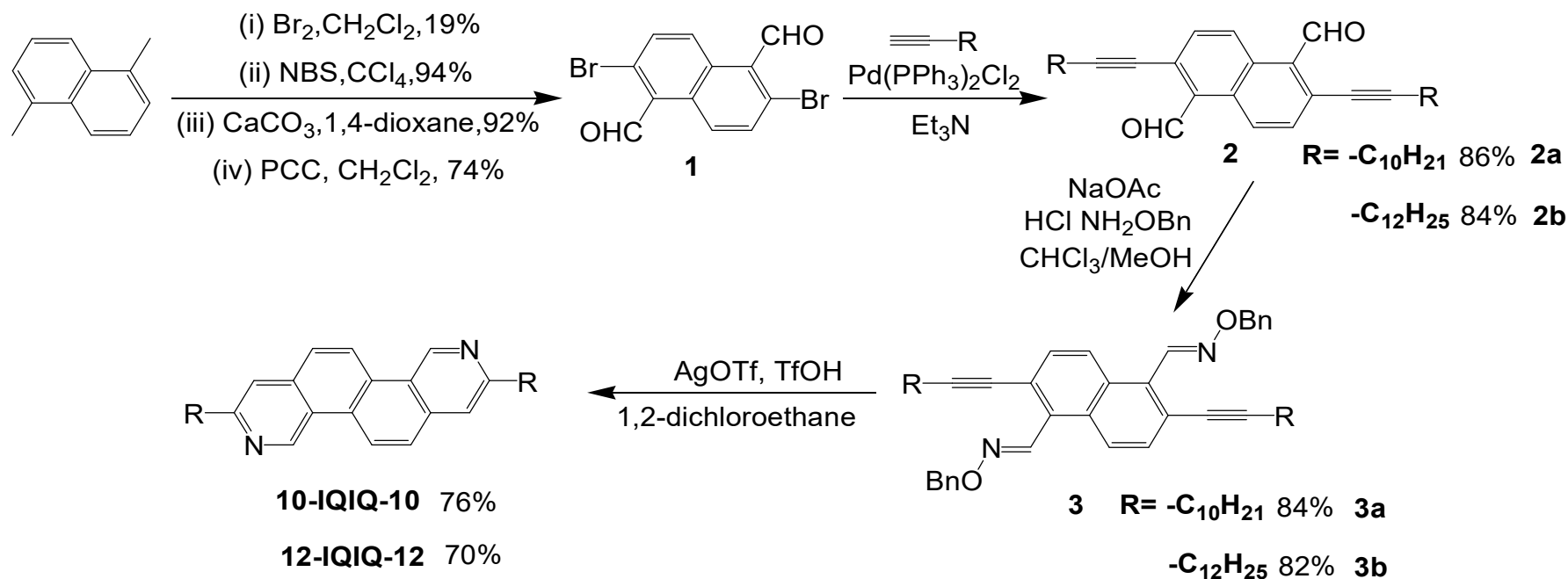


棒状の形状で、電子吸引性の構造のためLUMOレベルは深い

棒状の形状で液晶相を発現するものの構造が電子供与性構造
LUMOレベルは浅い(-2.5eV)

LUMOレベルは深いものの目的の液晶相を発現することができない

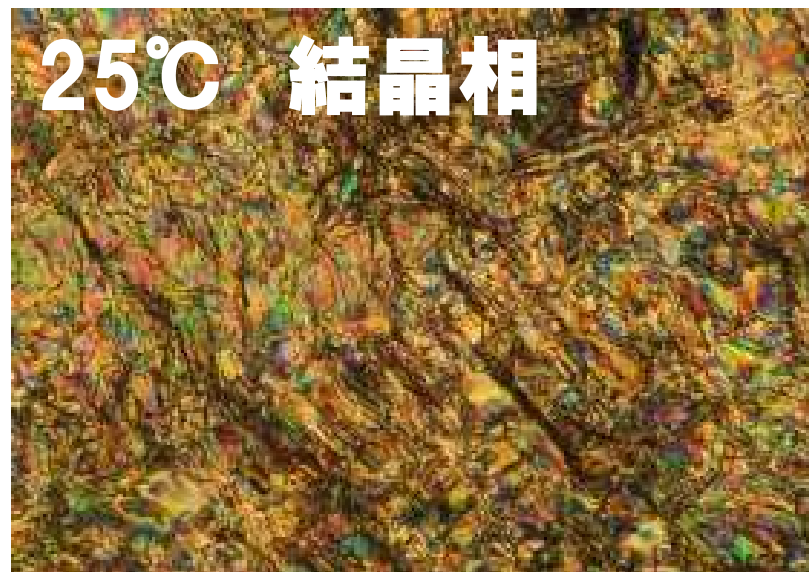
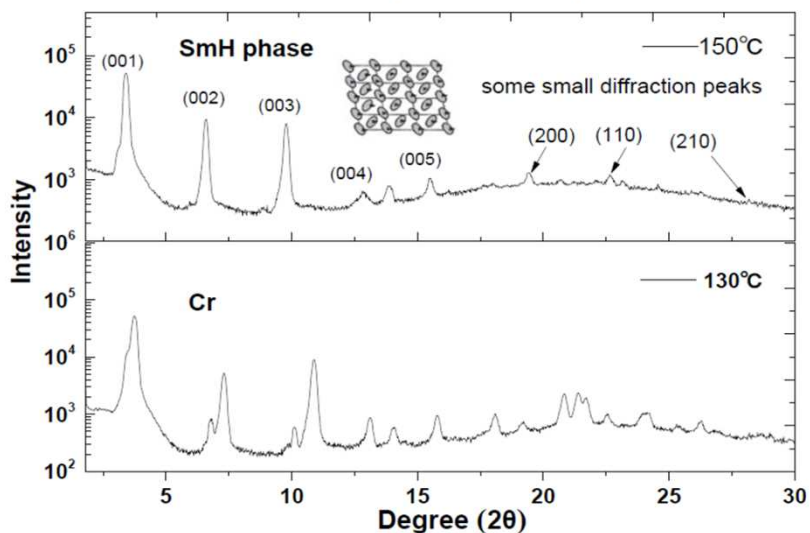
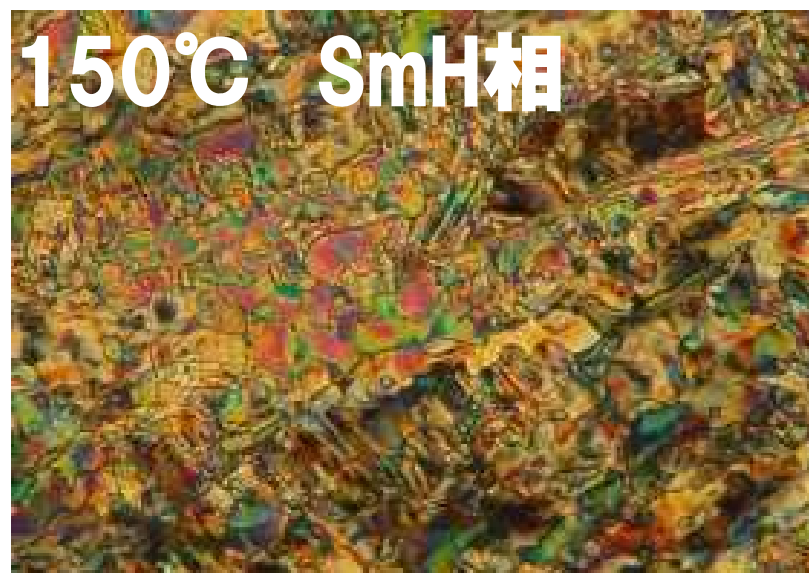
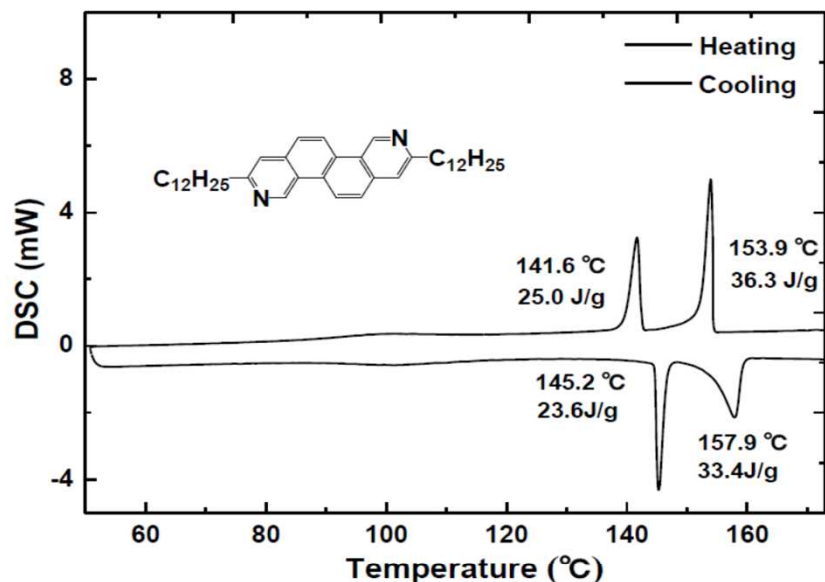
IQIQ誘導体の合成とLUMOレベル



Compound	$E_{\text{HOMO}} / \text{eV}$	$E_{\text{LUMO}} / \text{eV}$	E_g / eV	$\lambda_{\text{edge}} / \text{nm}$	IP / eV
12-IQIQ-12	-6.47	-3.33	3.14	395	6.47
12-Chrysene-12	-5.85	-2.48	3.37	368	5.85

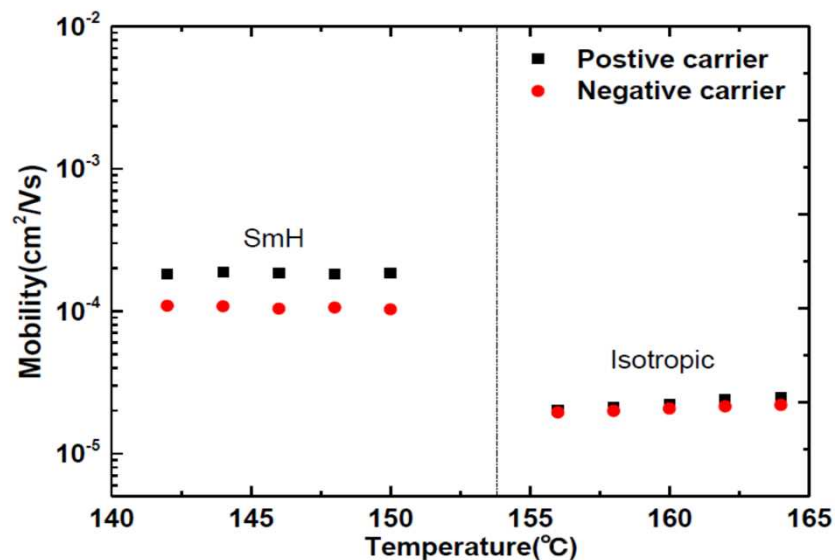
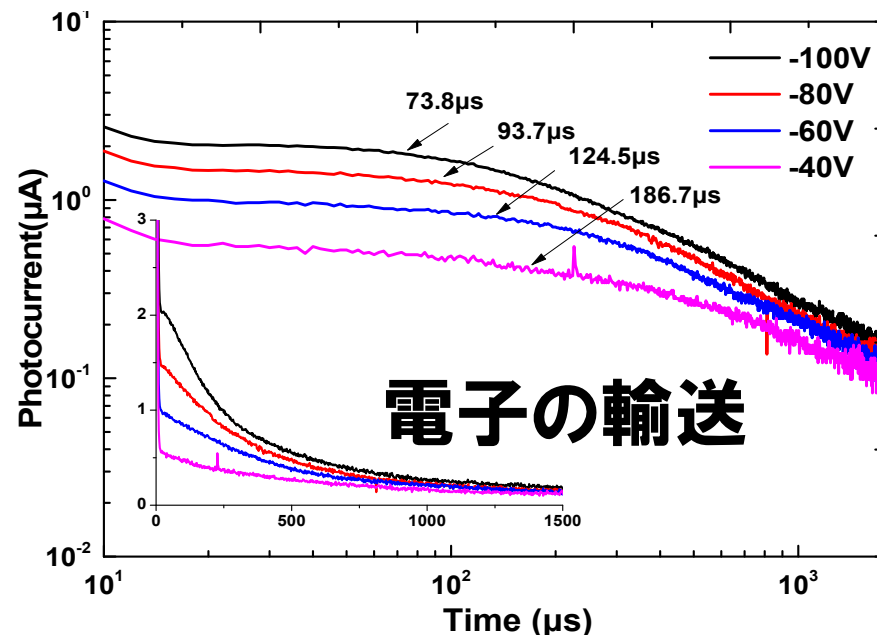
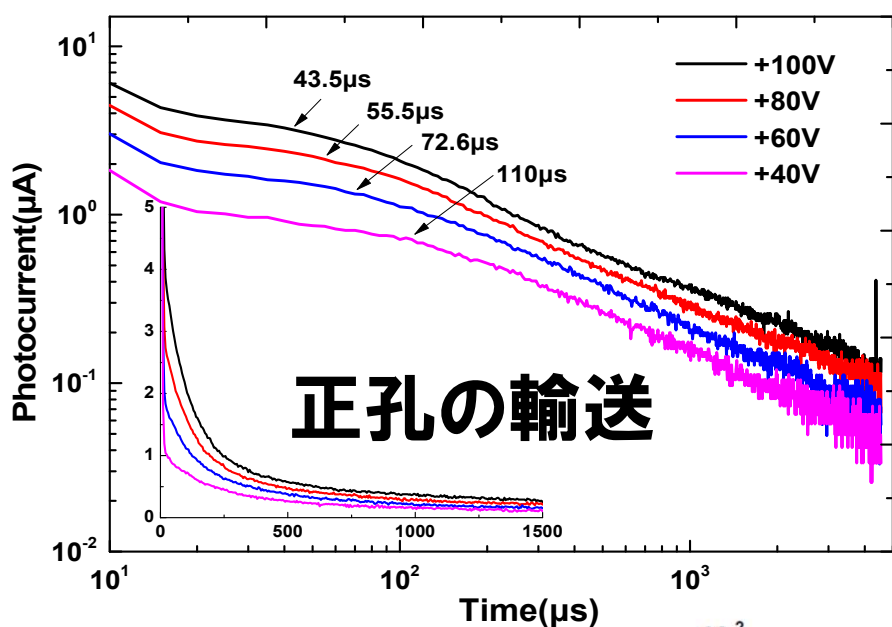
$E_g = 1240 / \lambda_{\text{edge}}$; $E_{\text{LUMO}} = -(\text{IP} - E_g)$; $E_{\text{HOMO}} = -\text{IP}$

IQIQ誘導体の液晶相の発現



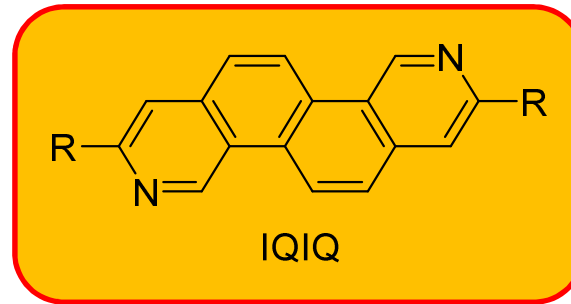
プロセス適性を与える
高次の液晶相の発現

IQIQ誘導体における両極性の電荷輸送



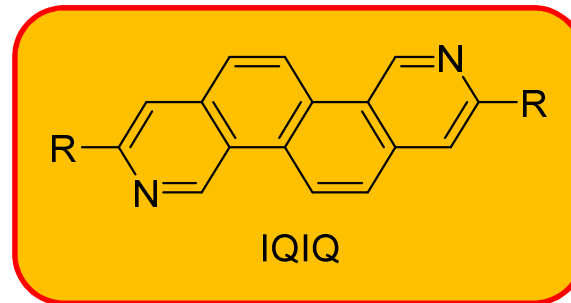
大気中での電子の輸送を確認@液晶相

新材料の特徴・従来材料との比較



- 従来の液晶材料の問題点であった、LUMOLレベルを深くすることに成功した。
- 従来のN型材料はLUMOLレベルを下げるために棒状構造をとれず、液晶相を発現しない。新材料では、LUMOLレベルを下げつつ、液晶性を発現したことで、製膜性とプロセス適合性を得ることが可能となった。

想定される用途



- 本材料のLUMOレベルは-3.3eVと比較的深いために、電子の注入が必要なNチャネルトランジスタの半導体層としての利用。
- 本材料はLUMOレベルが深いため、有機ELの電子輸送層やヘテロ接合型有機薄膜太陽電池のアクセプタ材料としての利用。

実用化に向けた課題

- 現在、エネルギーレベル、液晶相の発現、製膜性、液晶相の電荷輸送に関しては実証済。しかし、電極からの電子注入の最適化に関しては検討が不十分。
- 今後、電極からの電子注入の最適化を行い、高移動度のNチャネルの薄膜トランジスタの実証を目指す。
- 純度の高い本材料の安定供給が必須。

企業への期待

- 未解決の電極からの電子注入の最適化に関しては電極の表面処理により克服できると考えている。
- プリントッドエレクトロニクスに興味を有する企業との共同研究を希望。本材料の安定供給のため、化学・材料メーカーの参画も希望。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 有機半導体材料及び有機化合物並びに有機半導体装置
- 出願番号 : PCT/JP2017/031671
- 出願人 : 東京工業大学
- 発明者 : 半那 純一、Tengzhou YANG、
飯野 裕明

産学連携の経歴

- 2015年-2017年 JST A-STEP
産学共同促進ステージ (ハイリスク挑戦タイプ)事業

問い合わせ先

東京工業大学

産学連携コーディネーター 臼杵 辰朗

TEL 03-5734-7634

FAX 03-5734-7694

e-mail usuki@sangaku.titech.ac.jp