

一般セッション(口頭講演) | 12 有機分子・バイオエレクトロニクス: 12.4 有機EL・トランジスタ

2025年3月17日(月) 13:00 ~ 16:30 皿 K404 (講義棟)

**[17p-K404-1~13] 12.4 有機EL・トランジスタ**

三成 剛生(物材機構)、渡邊 峻一郎(理研)

13:00 ~ 13:15

[17p-K404-1]

ディップコート法による高誘電率ポリマー薄膜の作製と有機トランジスタの低電圧動作

○栗原 一徳<sup>1</sup>、日下 靖之<sup>1</sup> (1.産総研)

13:15 ~ 13:30

[17p-K404-2]

高撥液ゲート絶縁層を用いた短チャネル有機トランジスタにおけるコンタクト抵抗

○(D)村田 啓人<sup>1</sup>、土田 真嗣<sup>1</sup>、井上 悟<sup>1</sup>、東野 寿樹<sup>2</sup>、長谷川 達生<sup>1</sup> (1.東大院工、2.産総研)

13:30 ~ 13:45

[17p-K404-3]

高急峻スイッチング有機単結晶トランジスタにおける電極の仕事関数に依存したキャリア注入 II

○(M2)土田 真嗣<sup>1</sup>、村田 啓人<sup>1</sup>、永山 裕一<sup>1</sup>、松井 弘之<sup>2</sup>、井上 悟<sup>1</sup>、長谷川 達生<sup>1</sup> (1.東大院工、2.山形大ROEL)

13:45 ~ 14:00

[17p-K404-4]

接触抵抗が高分子有機トランジスタの動作安定性評価に及ぼす影響

○坂本 謙二<sup>1</sup>、安田 剛<sup>1</sup>、三成 剛生<sup>1</sup>、吉尾 正史<sup>1</sup>、桑原 純平<sup>2</sup>、竹内 正之<sup>1</sup> (1.NIMS、2.筑波大数理物質)

14:00 ~ 14:15

[17p-K404-5]

フレキシブルカーボンナノチューブ薄膜トランジスタの界面準位密度評価

○松原 大輔<sup>1</sup>、黒宮 英斗<sup>1</sup>、内山 晴貴<sup>1</sup>、松永 正広<sup>2</sup>、片浦 弘道<sup>3</sup>、大野 雄高<sup>1,2</sup> (1.名大工、2.名大未来研、3.産総研)

14:15 ~ 14:30

[17p-K404-6]

有機半導体の結晶構造の系統性

○森 健彦<sup>1</sup> (1.東京科学大物質理工)

14:30 ~ 14:45

[17p-K404-7]

ジフェニルDNTT異性体における電荷輸送特性の違いと動的無秩序の影響

○Bulgarevich Dmitrievich Kirill<sup>1</sup>、瀧宮 和男<sup>1,2,3</sup> (1.理研、2.東北大、3.東北大AIMR)

15:00 ~ 15:15

[17p-K404-8]

分子配列の段階的最適化によるアルカン結晶構造の安定性解明

○(D)大野 亮汰<sup>1</sup>、三好 真生<sup>1</sup>、都築 誠二<sup>1</sup>、井上 悟<sup>1</sup>、長谷川 達生<sup>1</sup> (1.東大院工)

15:15 ~ 15:30

[17p-K404-9]

High-k絶縁膜によるOTFTのチャネル層のキャリア蓄積能力の改善

○富士谷 大生<sup>1</sup>、織山 剛<sup>1</sup>、後藤 直樹<sup>1</sup>、岩崎 好孝<sup>1</sup>、上野 智雄<sup>1</sup>、並木 美太郎<sup>1</sup> (1.農工大院工)

◆ 奨励賞エントリー

15:30 ~ 15:45

[17p-K404-10]

液晶性を利用したドーパント分布制御による電荷注入特性の向上

○中野 博貴<sup>1</sup>、飯野 裕明<sup>1</sup> (1.科学大未来研)

◆ 奨励賞エントリー

15:45 ~ 16:00

[17p-K404-11]

対称／非対称アルキル置換有機半導体の熔融混合による超層構造形成

○(D)二階堂 圭<sup>1</sup>、黒田 清太<sup>1</sup>、井上 悟<sup>1</sup>、長谷川 達生<sup>1</sup> (1.東大院工)

◆ 奨励賞エントリー

16:00 ~ 16:15

[17p-K404-12]

局在型表面プラズモン有機太陽電池を利用した有機フォトトランジスタの作製と特性評価

○(D)王 天碩<sup>1</sup>、渡邊 泰生<sup>1</sup>、皆川 正寛<sup>2</sup>、城内 紗千子<sup>1</sup>、大平 泰生<sup>1</sup>、馬場 暁<sup>1</sup>、新保 一成<sup>1</sup> (1.新潟大学、2.長岡高専)

◆ 奨励賞エントリー

16:15 ~ 16:30

[17p-K404-13]

フレキシブル信号処理回路を用いた低ノイズ汗連続測定の実現

○(M2)碓本 修佑<sup>1,2,3</sup>、植村 隆文<sup>2,3</sup>、秋山 実邦子<sup>1,2</sup>、難波 直子<sup>2</sup>、別府 克哉<sup>1,2</sup>、脇田 慎一<sup>2,3</sup>、荒木 徹平<sup>1,2,3</sup>、関谷 毅<sup>1,2,3</sup> (1.阪大院工、2.阪大産研、3.産総研先端フォトバイオ)

## ディップコート法による高誘電率ポリマー層の作製と 有機トランジスタの低電圧動作

### High-k polymer film by dip-coat process and low voltage operation of organic TFT

産総研<sup>1</sup> ○栗原 一徳<sup>1</sup>, 日下 靖之<sup>1</sup>

AIST<sup>1</sup>, °Kazunori Kuribara<sup>1</sup>, Yasuyuki Kusaka<sup>1</sup>

E-mail: kuribara-kazunori@aist.go.jp

**研究背景** 有機エレクトロニクスの利点の1つは、常温・大気圧下で連続的に製造できることである。既に電極層や半導体層に関しては各種の印刷の研究が行われているが、ゲート絶縁膜の成膜法はまだ十分になされていなかった。前回の発表で、我々は高誘電率ポリマー薄膜を簡便な大気圧下溶液プロセスで基板上に作製し、有機トランジスタの絶縁膜として利用可能であることを示した(第85回応物: 18a-B6-10)。しかし製膜にドロップキャストを利用したためバラつきが大きく、大規模な回路作製はまだまだ困難であった。そこで本研究では、均一性の高いポリマーの成膜法であるディップコートを採用し、溶媒とプロセスの最適化を行うことで高誘電ポリマーの薄膜を作製することを目指した。

**実験結果** 高誘電高分子として p-VDF 系ターポリマーを利用した。低沸点溶媒として前回の DMF からアセトンに変更した。アセトン中にターポリマーは約 6 wt% 溶解した。濃度調整のためイソプロパノール (IPA) を貧溶媒として利用してアセトン:IPA=4:3 のターポリマーの飽和溶液を作製した。ここに濡れ性調整用にペンタノンと DMSO を少量添加した混合溶液を作製し、ポリイミド基板上へディップコートを行った。2 mm/s の引き上げ速度で製膜を行うと、飽和溶液では基板との濡れが悪く溶液の凝集が起り均一な膜が得られなかった。そこで、9 倍に希釈した溶液を事前に基板にコートすることで表面に網目状構造を作製し、これをアンカーとして濡れ性を改善した(Fig.1)。これにより比較的均一な約 2 μm 厚の膜が得られた。これを絶縁膜として表面改質剤に前回と同じくトリブチセン系 SAM を利用し真空蒸着で 3 nm 製膜し、トランジスタを作製したところ、駆動電圧 20 V でオンオフ比が  $10^2$  のトランジスタ特性が得られた(Fig. 2,3)。

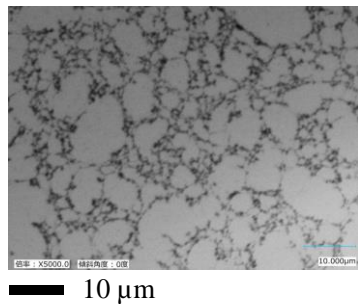


Fig.1 アンカー層の SEM 像

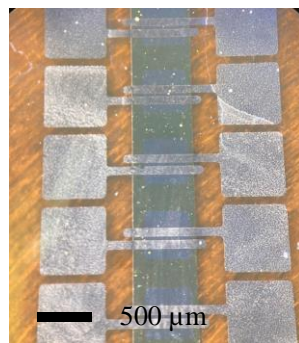


Fig.2 有機 TFT 写真

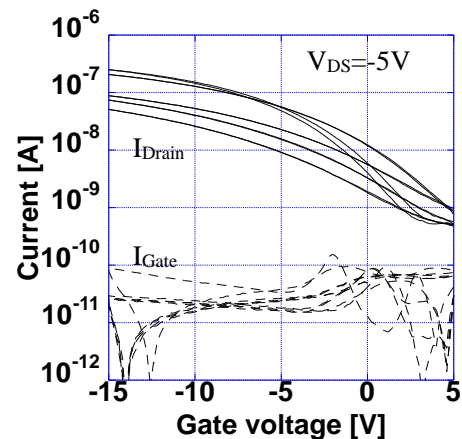


Fig.3 有機 TFT 伝達特性  
(5 素子)

## 高撥液ゲート絶縁層を用いた 短チャネル有機トランジスタにおけるコンタクト抵抗

Contact Resistance in Short-Channel Organic TFTs with Highly Lyophobic Gate Insulator

東大院工<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup>, ○(D)村田 啓人<sup>1</sup>, 土田 真嗣<sup>1</sup>, 井上 悟<sup>1</sup>, 東野 寿樹<sup>2</sup>, 長谷川 達生<sup>1</sup>

U. Tokyo<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>,

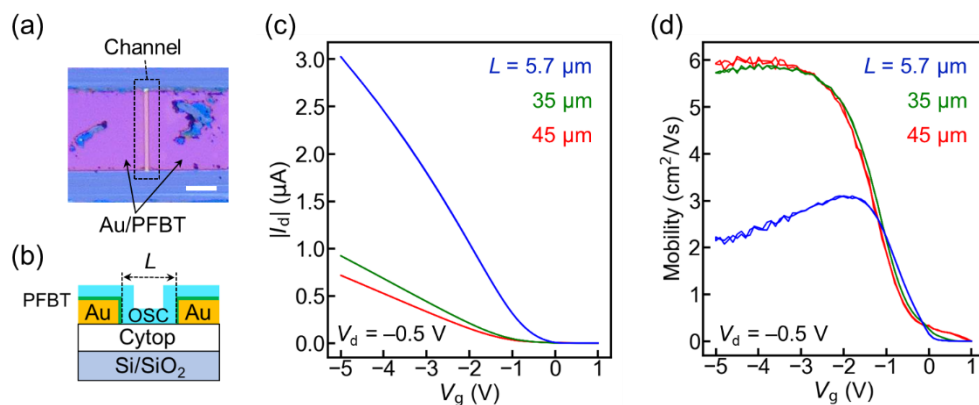
○Keito Murata<sup>1</sup>, Shinji Tsuchida<sup>1</sup>, Satoru Inoue<sup>1</sup>, Toshiki Higashino<sup>2</sup>, Tatsuo Hasegawa<sup>1</sup>

E-mail: murata@hsgw.t.u-tokyo.ac.jp

有機薄膜トランジスタ (TFT) の動作速度/集積度向上には、素子の短チャネル化とキャリア注入効率の向上が求められる。ボトムゲート・ボトムコンタクト (BGBC) 型素子構造は半導体層形成前に電極の作製が可能なため、フォトリソグラフィ法による短チャネル電極の作製に適している。我々は前回、Cytopによる高撥液ポリマーゲート絶縁層上でフォトリソグラフィ法による高精細な電極パターンニングに成功し、チャネル長 ( $L$ ) が  $10\ \mu\text{m}$  程度ながら高急峻なスイッチングを示すBGBC型短チャネルTFTを作製した[1]。一方、移動度は最大  $1\ \text{cm}^2/\text{Vs}$  にとどまっており、長チャネル素子の1/10程度であることもわかった。その原因として、キャリア注入効率が不十分なことが考えられる。そこで今回、短チャネルTFTを用いてキャリア注入時に生じるコンタクト抵抗の影響を調べたので報告する。

ゲート電極およびゲート絶縁層として、Si/SiO<sub>2</sub>基板上にCytop層を製膜したものを、この上にフォトリソグラフィ法によって金電極パターンを作製した。この電極パターン上に、Ph-BTNT-C<sub>10</sub>とPh-BTNT-C<sub>12</sub>を体積比98:2で混合した溶液を用いて層数制御した半導体単結晶層を、拡張メニスカス塗布法[2]により製膜した (図a,b)。得られたTFTは高急峻なスイッチングを示したものの、チャネル長の短縮にともない移動度の低下が見られ、コンタクト抵抗の存在が示唆された (図c,d)。短チャネル素子の電流値から、ゲート電圧 ( $V_g$ ) が  $-5\ \text{V}$  のときの素子の全抵抗は  $2.1\ \text{k}\Omega\text{cm}$  と算出され、コンタクト抵抗はこの値より小さいと推測される。講演ではコンタクト抵抗の詳細な解析や半導体材料依存性を踏まえ、短チャネルTFTにおけるデバイス特性の向上とコンタクト抵抗の起源について議論を行う。

[1]村田他、第85回応用物理学会秋季学術講演会18p-B6-4. [2] G. Kitahara *et al.*, *Sci. Adv.* **6**, eabc8847 (2020).



**Fig.** (a) Optical image of BGBC-type short-channel TFTs ( $L = 5.7\ \mu\text{m}$ ). Channel width ( $W$ ) is  $127\ \mu\text{m}$ . Scale bar is  $50\ \mu\text{m}$ . (b) Schematic cross section of TFTs. (c) Transfer characteristics of TFTs with different channel-length ( $L$ ). (d) Device mobility extracted from (c).

# 高急峻スイッチング有機単結晶トランジスタにおける 電極の仕事関数に依存したキャリア注入 II

## Carrier Injection Dependent on Electrode Work Functions in Sharp Switching Organic Single-Crystal Transistors II

東大院工<sup>1</sup>, 山形大 ROEL<sup>2</sup>

○(M2) 土田 真嗣<sup>1</sup>, 村田 啓人<sup>1</sup>, 永山 裕一<sup>1</sup>, 松井弘之<sup>2</sup>, 井上 悟<sup>1</sup>, 長谷川 達生<sup>1</sup>

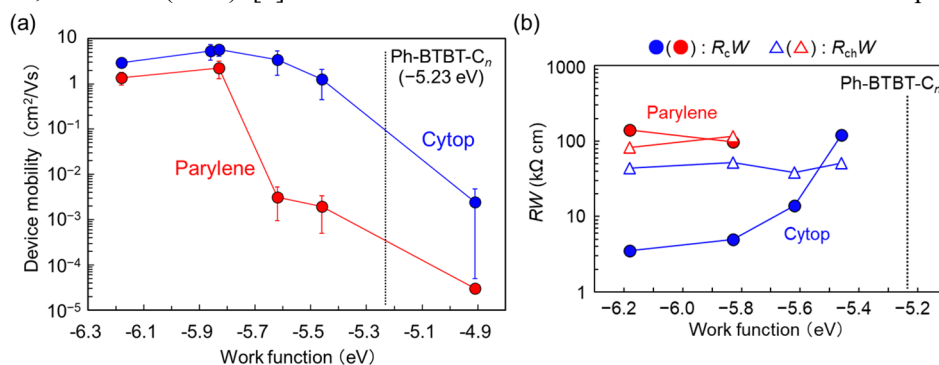
U. Tokyo<sup>1</sup>, ROEL, Yamagata Univ.<sup>2</sup>, °Shinji Tsuchida<sup>1</sup>, Keito Murata<sup>1</sup>, Yuichi Nagayama<sup>1</sup>,

Hiroyuki Matsui<sup>2</sup>, Satoru Inoue<sup>1</sup>, Tatsuo Hasegawa<sup>1</sup>

E-mail: tsuchida-shinji276@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

ボトムゲート・ボトムコンタクト (BGBC) 型有機薄膜トランジスタ (OTFT) は有機半導体/電極/絶縁層が接する 3 元界面におけるキャリア注入効率が低くなりやすいが、その注入機構はあまり明らかになっていない。最近、高撥液な Cytop をゲート絶縁層に用いた BGBC 型構造の塗布型単結晶 OTFT において、比較的高い注入効率と理論限界に迫る高急峻なスイッチング・高い移動度が実現した[1]。前回われわれはこの系をモデルとして電極の仕事関数が注入に及ぼす影響を報告したが[2]、今回さらにデバイス内の電界分布や絶縁層の影響も含めた検討を行ったので報告する。

実験では半導体として Ph-BTBT- $C_n$  を使用し、拡張メニスカス塗布法[1]により Cytop または Parylene 上に単結晶薄膜を形成した。電極表面に吸着させる自己組織化単分子膜 (SAM) の種類を変えて仕事関数を制御し、BGBC 型素子におけるデバイス移動度を比較した結果が図 a である。電極の仕事関数が半導体よりもある程度大きくないと良好な移動度は得られず、絶縁層として Cytop よりトラップ密度の高い Parylene を用いた場合にその影響がより顕著になった。また Transfer-line method により接触抵抗を見積もると (図 b)、移動度の低下に連動した接触抵抗の増加が見られ、移動度低下の原因がキャリア注入にあることも明らかとなった。これらの結果は、注入効率が 3 元界面近傍のキャリア密度に大きく依存し、注入効率の向上に 3 元界面における電界分布の制御が重要であることを示唆している。講演では、3 元界面における電界分布シミュレーションの結果も踏まえ、BGBC 型 OTFT における注入機構について議論する。[1] G. Kitahara *et al.*, *Sci. Adv.* **6**, eabc8847 (2020). [2] 土田他、第 85 回応用物理学会秋季学術講演会 18p-B6-2.



**Fig.** (a)(b) Electrode work function dependence of (a) device mobility, (b) channel resistance ( $R_{ch}W$ ), and contact resistance ( $R_cW$ ). The dotted lines show ionization potential of Ph-BTBT- $C_n$ .

# 接触抵抗が高分子有機トランジスタの動作安定性評価に及ぼす影響

## Influence of Contact Resistance on Operational Stability Evaluation of Polymer-Based Organic Field-Effect Transistors

NIMS<sup>1</sup>, 筑波大数理物質<sup>2</sup> ○坂本 謙二<sup>1</sup>, 安田 剛<sup>1</sup>, 三成 剛生<sup>1</sup>, 吉尾 正史<sup>1</sup>, 桑原 純平<sup>2</sup>,  
竹内 正之<sup>1</sup>

NIMS<sup>1</sup>, Univ. Tsukuba<sup>2</sup>, °Kenji Sakamoto<sup>1</sup>, Takeshi Yasuda<sup>1</sup>, Takeo Minari<sup>1</sup>, Masafumi Yoshio<sup>1</sup>,  
Junpei Kuwabara<sup>2</sup>, Masayuki Takeuchi<sup>1</sup>

E-mail: sakamoto.kenji@nims.go.jp

有機電界効果トランジスタ (OFETs) の高い動作安定性は、その高い移動度とともに応用上重要である。多くの場合、動作安定性は線形領域のバイアス・ストレス (BS) 印加条件で伝達特性の閾値電圧 ( $V_{th}^{lin}$ ) の時間変化 (方法 I)、或いはドレイン電流 ( $I_d$ ) の時間変化 (方法 II) によって評価されている。これは電圧 - 電流特性が次式に従い、且つ  $\mu^{lin}$  が電荷キャリア密度、BS 印加時間に対して一定であることを前提としている。

$$I_d = -\frac{\mu^{lin}WC_i}{L}V_{ds}\left(V_{gs} - V_{th}^{lin} - \frac{V_{ds}}{2}\right)$$

ここで、 $\mu^{lin}$ ,  $V_{ds}$ ,  $V_{gs}$ ,  $L$ ,  $W$ ,  $C_i$  は、それぞれ線形領域の移動度、ドレイン-ソース間電圧、ゲート-ソース間電圧、チャンネル長、チャンネル幅、単位面積当たりのゲート絶縁膜容量である。多くの高分子 OFETs では、無視できないディスプレイオーダーが活性層に存在するため、 $\mu^{lin}$  は電荷キャリア密度依存性を示す。したがって、方法 I と II で評価された動作安定性は一致しないし、比較することもできない。動作不安定性の起源を解明する観点からは、 $\mu^{lin}$  と  $V_{th}^{lin}$  の安定性を分離して議論できる方法 I が望ましいと考えられる。本研究では、 $\mu^{lin}$  と  $V_{th}^{lin}$  の両方が変化する高分子 OFETs の動作安定性が、接触抵抗の存在によって過大評価されることを見出したので報告する[1]。

活性層材料として poly(didodecylquaterthiophene-*alt*-didodecylbithiazole) (PQTBTz-C12)を用い、オクタデシルトリクロロシラン処理した SiO<sub>2</sub> (~100 nm)/Si 基板上にボトムゲート-トップコンタクト (BG-TC) 型 OFETs を作製した。 $W$  を 500  $\mu\text{m}$  に固定し、 $L$  を 50~500  $\mu\text{m}$  まで変えた OFET アレイを同一基板上に作製した。Fig. 1 に  $L=50$  と 500  $\mu\text{m}$  の OFETs (活性層膜厚 37 nm) の BS ( $V_{gs} = -30$  V,  $V_{ds} = -1$  V) に対する安定性の測定結果を示す。活性層とゲート絶縁膜が同一であるにも関わらず、 $L=50$   $\mu\text{m}$  の OFET の方が  $\mu^{lin}$  と  $V_{th}^{lin}$  の変化量が小さく、動作安定性が高いように見える。 $L$  を 10 倍長くすることによりチャンネル抵抗に対する接触抵抗 ( $R_c$ ) の比率が 10 分の 1 になることから、見かけ上の動作安定性の違いは  $R_c$  によるものと推察した。そこで、modified transmission-line method (TLM) [2]により、各 BS 時間における  $R_c$  を求め、伝達特性への  $R_c$  の影響を排除した。その結果、Fig. 2 に示すように BS 効果における  $L$  依存性がなくなり、 $L=50$   $\mu\text{m}$  の OFET の動作安定性が  $R_c$  の影響により過大評価されていたことがわかった。この効果は短チャンネル、高移動度の OFETs ほど顕著になるため、そのような OFETs の動作安定性を評価するとき注意が必要である。[Reference] [1] Sakamoto et al., ACS Appl. Mater. Interfaces **16**, 68081 (2024). [2] Xu et al., Appl. Phys. Lett. **97**, 063302 (2020).

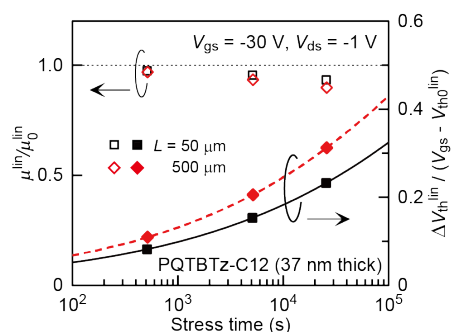


Fig. 1 Bias-stress effects of OFETs with  $L = 50$  and  $500$   $\mu\text{m}$ .

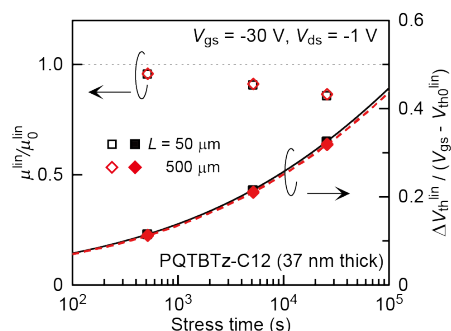


Fig. 2  $R_c$ -corrected bias-stress effects.

## フレキシブルカーボンナノチューブ薄膜トランジスタの 界面準位密度評価

### Evaluation of interface trap density in flexible CNT TFTs

名大工<sup>1</sup>, 名大未来研<sup>2</sup>, 産総研<sup>3</sup>

○松原大輔<sup>1</sup>, 黒宮英斗<sup>1</sup>, 内山晴貴<sup>1</sup>, 松永正広<sup>2</sup>, 片浦弘道<sup>3</sup>, 大野雄高<sup>1,2</sup>

Dept. of Electronics, Nagoya Univ.<sup>1</sup>, IMASS, Nagoya Univ.<sup>2</sup>, AIST<sup>3</sup>

°Daisuke Matsubara<sup>1</sup>, Eito Kuromiya<sup>1</sup>, Haruki Uchiyama<sup>1</sup>, Masahiro Matsunaga<sup>2</sup>,  
Hiromichi Kataura<sup>3</sup>, Yutaka Ohno<sup>1,2</sup>

E-mail: yohno@nagoya-u.jp

【まえがき】カーボンナノチューブ(CNT)薄膜トランジスタ(TFT)は高い移動度や機械的柔軟性を備え、フレキシブルエレクトロニクスへの応用が期待されている。センシングデバイス等のアナログ回路応用を考えた場合、低周波ノイズやしきい値変動の原因となるゲート絶縁膜界面および界面近傍のトラップを低減することが重要である。本研究では、柔軟性を有するCNT TFTにおいてコンダクタンス法[1]を用いて界面準位密度  $D_{it}$  の評価を行った。

【実験】 Fig. 1(a)に評価したフレキシブルCNT TFTの素子構造を示す。ポリエチレンナフタレート (PEN) 基板上に作製したボトムゲート構造をもつ素子であり、ゲート絶縁膜は原子層堆積 (ALD)法により 145°C で成膜した  $Al_2O_3$  (厚さ 40 nm)である。CNT 薄膜の成膜は浸漬法で行った。 $Al_2O_3$  表面を poly-L-lysine で修飾した後、試料を半導体CNT分散液(0.5%コール酸ナトリウム水溶液)に浸漬することによりCNTを堆積させ、水洗によりコール酸ナトリウムを除去した。素子間分離の後、コンタクト電極を形成し、最後にCNT薄膜上にフォトレジスト(Microposit S1813G)を塗布、ベーキングすることにより表面保護を施した。TFTのチャネル長  $L$  とチャネル幅  $W$  はともに 100  $\mu m$  である。ソースとドレインを短絡し、ゲート-ソースの間の  $C-V$  特性および  $G-V$  特性をLCRメーター (Keysight, 4284A)を用いて測定した。周波数範囲は 100Hz~100kHz である。並列容量  $C_m$  と並列コンダクタンス  $G_m$  から等価並列コンダクタンス  $G_p$  を求め、 $D_{it}$  を評価した[1]。

【結果】フレキシブルCNT TFT ( $p$ チャネル)の  $G_p/\omega - f$  特性においてトラップの存在を示すピークが観測され、 $V_{GS} = 4.2 V$  において  $D_{it}$  は  $4.6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$  であった。この値は Si/SiO<sub>2</sub> 基板上的のバックゲート型CNT TFT [2]と比べ、およそ1桁大きい。これは低温で成膜した  $Al_2O_3$  ゲート絶縁膜に多くのトラップ準位が存在することを示唆する結果である。

[1] E.H. Nicollian and A. Goetzberger, Bell Syst. Tech. J. **46**, 1055 (1967).

[2] J. Yoon *et al.*, Nanotechnol. **27**, 295704 (2016).

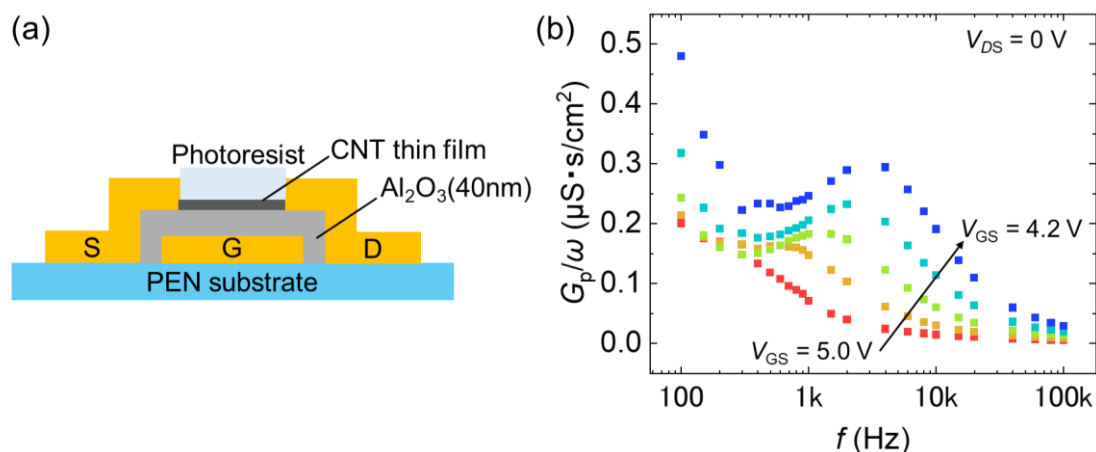


Fig. 1 (a) Device structure and (b)  $G_p/\omega - f$  characteristics of flexible CNT TFT.

# 有機半導体の結晶構造の系統性

## Crystal Structures of Organic Semiconductors

東京科学大学 物質理工<sup>1</sup> ○森 健彦<sup>1</sup>

Institute of Science Tokyo, Department of Materials Science and Engineering<sup>1</sup>

E-mail: mori.t@mac.titech.ac.jp

多くの有機半導体は herringbone (HB) 構造をもつが、最近 brickwork (BW) 構造をもつ高性能の有機半導体が注目を集めている[1]。先にチオフェンが縮環した分子では HB 構造に代わり二面角  $\theta \sim 130^\circ$  の  $\theta$  構造が安定になること[2]、有機半導体中のアルキル基は HB ではスタック方向、 $\theta$  構造では水平方向に延びること、五員環を含む分子では斜め長辺の存在のため sandwich HB 構造は現れず  $\theta$  構造か楔型分子の場合は横 4 倍周期 HB 構造が現れることについて報告した[3]。今回は naphthalene tetracarboxylic diimide (NDI) およびその perylene 体 (PDI)、大環状芳香族炭化水素、各種置換基の効果について述べる。

n 型半導体として重要な NDI, PDI は全分子が平行な三斜晶系のスタック構造となるが、NDI が brickwork 構造となるのに対して PDI は垂直方向に積み重なった通常のスタック構造となる。一般に C=O は C-H と逆方向の極性をもつため HB 構造とはならず分子短軸方向にずれて brickwork 構造となるが、PDI は分子長軸方向が長いいため長軸方向にずれて通常のスタック構造となる。極性分子としては perfluoropentacene が HB 構造の他に brickwork の薄膜相をもつ[4]。アルキル基は分子面に垂直方向に延びる場合が多いが、brickwork の場合には水平方向に延びる場合もある。大環状芳香族炭化水素は最も長い辺(最大数の水素が平行に並んだ辺)を使った垂直相互作用をもつスタック構造([5]の  $\gamma$  構造)になる。例外は長辺が挟れているカルブレンのように置換基で塞がれている場合で pitched  $\pi$ -stack 構造になる。 $\gamma$  構造は HB と同じ対称性をもつので、これを使って隣の垂直分子を  $\phi$  回転させて分子間エネルギーを計算すると、最大長辺に垂直分子が来ることが説明できる(図 1(a)) [6]。スリムな分子における HB 構造はこの極端な場合で、 $\theta$  構造や pitched  $\pi$ -stack 構造も含めて  $\gamma$  構造から系統的に導くことができる(図 1(b))。Thiophene を thiazole や thiadiazole に代えると側面 H が少なくなるため HB よりも  $\theta$  構造やスタック構造になる傾向がさらに増大する。なおバンド幅の  $\theta$  依存性を計算してみたところ図 1(c) のようになった。

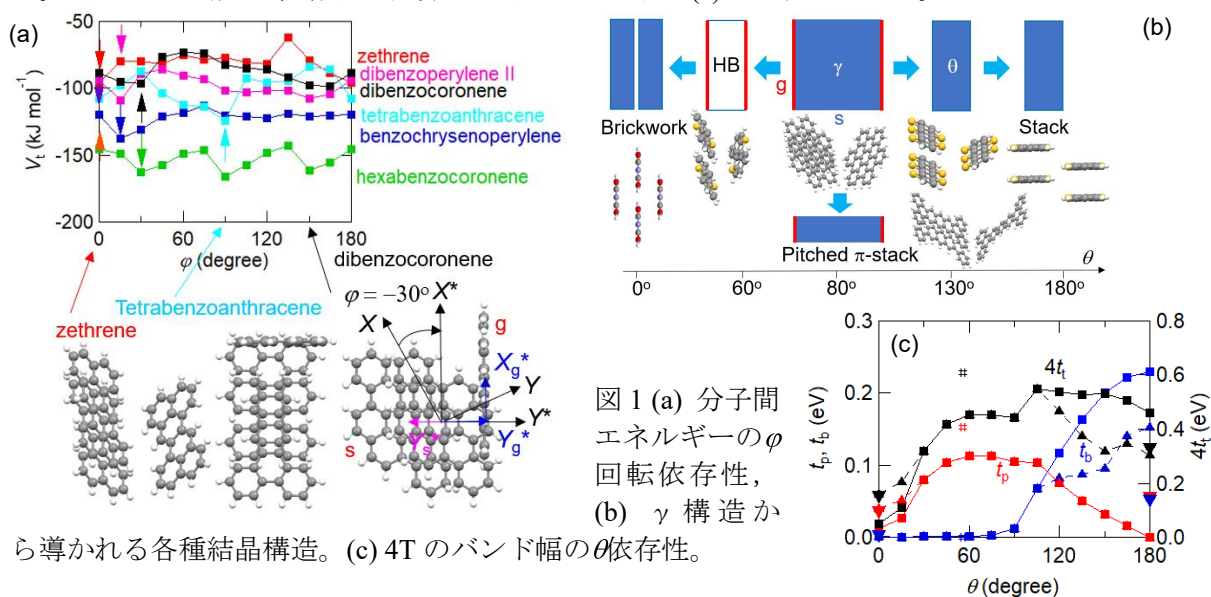


図 1 (a) 分子間エネルギーの  $\phi$  回転依存性, (b)  $\gamma$  構造か

ら導かれる各種結晶構造。 (c) 4T のバンド幅の  $\theta$  依存性。

[1] D. Shukla, *Chem. Mater.*, 2008, **20**, 7486; K. Takimiya, *Adv. Mater.*, 2021, **33**, 2102914. [2] T. Mori, *CrysEngComm*, 2023, **40**, 6266. [3] 森, 応用物理学会学術講演会 2024 春 24a-22B-4. [4] Salzmann, *ACS Nano*, 2012, **6**, 10874. [5] Desiraju and Gavezzotti, *Acta Crystallogr. B*, 1989, **45**, 473. [6] T. Mori, *CrysEngComm* in press.

## ジフェニル DNTT 異性体における電荷輸送特性の違いと動的無秩序の影響

### Effect of Dynamic Disorder on Charge Transport in Diphenyl-DNTT Isomers

理研<sup>1</sup>, 東北大<sup>2</sup>, 東北大 AIMR<sup>3</sup> °ブルガレビッチ キリル<sup>1</sup>, 瀧宮和男<sup>1,2,3</sup>

RIKEN<sup>1</sup>, Tohoku Univ.<sup>2</sup>, AIMR Tohoku Univ.<sup>3</sup>

°Kirill Bulgarevich<sup>1</sup>, Kazuo Takimiya<sup>1,2,3</sup>

E-mail: kirill.bulgarevich@riken.jp, takimiya@riken.jp,

有機半導体の電気的特性は固体における電子構造に大きく左右される。固体の結晶構造からは分子間の軌道重なりを論理計算によって評価することができ、ホッピングモデルに基づいて移動度を見積もることが可能である。DNTT 系の分子は一般的に Herringbone 構造をとり、分子間軌道重なり(移動積分)は $< 100$  meV と大きくないものの、薄膜有機トランジスタ(OFET)で $3-9$   $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$  と比較高い移動度が確認されている(図 1 左)。さらに、様々な DNTT 誘導体の移動度の実測値とホッピングモデルに基づく理論値を比較すると、理論値が比較的高い DNTT では実測値が低く、逆に 2,9-ジフェニル-DNTT では理論値の $1.2$   $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$  を大きく超える $9.3$   $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$  が報告されている。また、2,9-ジフェニル-DNTT の異性体である 3,10-ジフェニル-DNTT では傾向が逆転している。[1]このことから固体の電子構造では説明できない動的無秩序等の熱的な影響が示唆される。

本研究で我々はジフェニル-DNTT 系に着目し、単結晶 OFET を使用してその本質的な移動度を評価した。単結晶 OFET でも 2,9-ジフェニル-DNTT の移動度( $> 20$   $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ )は 3,10-異性体のそれ( $\sim 9$   $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ )を大きく上回り(図 1 右)、移動度の温度依存性にも差があった。2,9-ジフェニル DNTT の移動度は温度の低下とともに上昇し(バンド的伝導)、3,10-異性体のそれはほぼ温度依存性がなかった。[2]当日は DNTT 誘導体の分子動力学シミュレーション結果と熱的ゆらぎが固体の電子構造に与える影響について議論する。

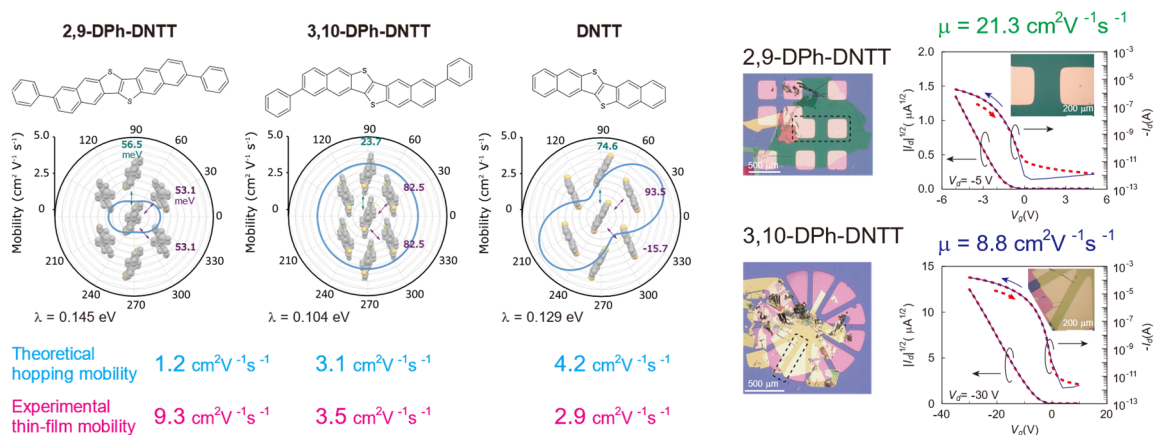


図 1. DNTT 誘導体の分子構造、結晶構造、ホッピングモデルに基づく移動度、薄膜 OFET として評価された移動度(左)。2,9-と 3,10-ジフェニル-DNTT の単結晶 OFET(右)。

[1] Org. Electron. 2021, 93, 106159; ACS Appl. Mater. Interfaces 2013, 5, 2331–2336; J. Am. Chem. Soc. 2007, 129, 2224–2225; Adv. Mater. 2011, 23, 1222–1225. [2] K. Takimiya, K. Bulgarevich et al., ACS Materials Lett. 2022, 4, 675–681.

【謝辞】本研究の一部はJSPS科研費 JP19H00906, JP20K22421, JP20H05865の助成を受けて行われたものである。

## 分子配列の段階的最適化によるアルカン結晶構造の安定性解明

### Elucidation of the energetical stability in crystal structure of alkane molecules

#### by step-wise optimization approach for molecular arrangements.

東大院工<sup>1</sup> ○(D)大野 亮汰<sup>1</sup>, (B)三好 真生<sup>1</sup>, 都築 誠二<sup>1</sup>, 井上 悟<sup>1</sup>, 長谷川 達生<sup>1</sup>

Univ. Tokyo<sup>1</sup>, °Ryota Ono<sup>1</sup>, Mao Miyoshi<sup>1</sup>, Seiji Tsuzuki<sup>1</sup>, Satoru Inoue<sup>1</sup> and Tatsuo Hasegawa<sup>1</sup>

E-mail: ono-ryota628496@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

有機半導体は層状結晶をなすことで高い2次元電荷輸送特性を実現する。有機半導体材料開発の現場では層状結晶性の増強に向けて半導体骨格にアルキル鎖を付与した非対称な棒状分子が多く開発され、そこでは非対称分子が同一向きに2次元的に整列し、それぞれ半導体骨格層とアルキル鎖層を構築することで高いキャリア移動度が実現している[1,2]。一方でアルキル付与は半導体骨格の配列変化をも伴う。例えばBTBT骨格の片側にのみ長鎖アルキル ( $n \geq 8$ ) を付与した場合のBTBT骨格の配列は、短鎖や無置換の場合とは異なる[3]。有機半導体の高性能化のためには隣接分子間で半導体骨格上の $\pi$ 電子軌道の重なりを最大化するような分子配列の設計・構築が求められるが、前述したように長鎖アルキル付与による置換基効果で半導体骨格の配列が変化するため、分子設計においてはアルキル鎖の配列のエネルギー安定性の理解が不可欠となる。

そこで我々はアルキル鎖単独での安定配列構造、すなわちアルカン分子の結晶構造に着目した。これまでに十種類を超えるアルカン分子の結晶構造が報告され、いずれもオールトランス構造の鎖が2次元配列した結晶が得られている。これらは鎖長により概ね2種の構造に分類でき、短鎖領域では三斜晶、長鎖領域では映進面を持つ単斜晶の結晶構造をとる(Fig. 1)[4]。また単斜晶となる長鎖相ではオールトランス構造のアルキル鎖面がHB型配列をとる。本研究ではこれら2配列の安定性とその鎖長依存性を解明することを目標とした。

研究手法としてはこれまでに報告してきた段階的構造最適化法[5]を活用し、前述した2系統の分子配列をモデル化(Fig. 1)することで安定配列の最適化とポテンシャルマップ解析を実行した。さらに長鎖アルカン分子を用いて層内分子間相互作用を計算することで鎖長増加に伴う安定性の変化について検討した。さらにSAPT計算から各分子間相互作用の寄与を直接計算し、長鎖で安定化する配列では交換反発力によるエネルギー損失が小さくなることを明らかにした。

[1] H. Iino *et al.*, *Nat. Commun.*, **6**, 6828 (2015). [2] S. Inoue *et al.*, *Chem. Mater.*, **27**, 11, 3809 (2015). [3] Arai *et al.*, *Phys. Rev. Mater.* **7**, 2, 025602 (2023). [4] R.Boese *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **38**, 988 (1999). [5] 例えば大野等, 2023年秋応用物理学会 22a-D903-7

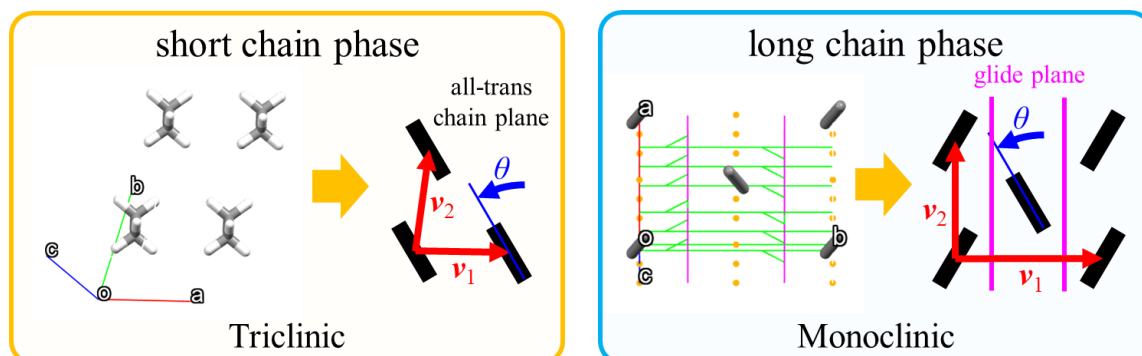


Figure 1 Crystal structures of alkane molecules and parameter setting of these two arrangements.

# High-k 絶縁膜による OTFT のチャンネル層のキャリア蓄積能力の改善

## Improvement of carrier accumulation capability in OTFT channel layer using high-k insulating film

東京農工大学大学院○富士谷大生、織山剛、後藤直樹、岩崎好孝、上野智雄、並木美太郎

Tokyo univ. of Agri & Tech. ○Taiki Fujitani, Go Oriyama, Naoki Goto, Yoshitaka Iwazaki, Tomo Ueno, Mitarou Namiki

E-Mail : s247685w@st.go.tuat.ac.jp

### 1. 研究背景・目的

近年、有機半導体材料は軽量、柔軟性などの特性から次世代エレクトロニクス材料として注目されている。有機薄膜トランジスタ (OTFT) は印刷プロセスによる大面積・低コストの回路作製や、フレキシブルデバイスへの応用が期待されている。しかし、OTFT は低いキャリア移動度による高い駆動電圧などの課題がある。我々の過去の研究では、デバイス作製後に窒素雰囲気下で 100°C、30 分のアニール処理を施した OTFT では、ペンタセン薄膜の電気伝導性が向上し、ドレイン-ソース間電流が増大する一方、リーク電流はほとんど無視できるレベルに抑えられることがわかった。さらに、ドレイン-ソース電流がアニール処理前後で約 3 桁増大したことから、アニール処理に伴うチャンネル部分へのキャリア蓄積量の増大が OTFT の特性改善に極めて有効であると結論付けた。そこで、本研究ではトランジスタのキャリア容量に影響を与える MOS 構造にて、アニール処理に加えゲート絶縁膜を高誘電率材料である Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> および HfO<sub>2</sub> で実験を行う。これにより、有機半導体層と絶縁体の界面でのキャリア蓄積量をさらに増大させ、OTFT の性能向上の可能性を確認する。

### 2. 実験方法

本研究では、HfO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> の各種絶縁膜を用いた MOS を作製し、それらの電気特性を比較した。作製の流れを以下 Fig.1 に示す。まず、n<sup>+</sup>-Si 基板を洗浄し、反応性スパッタを用いて Hf、Al ターゲットから HfO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の絶縁膜を、比較として熱酸化を用いて SiO<sub>2</sub> 絶縁膜を、それぞれ成膜した。なお、それぞれの絶縁膜に対して、絶縁性を可能な限り近づけたものを膜厚制御により作製した。次に、その上に膜厚 10 nm のペンタセン薄膜を形成した。最後に、電極として Au を上部に Al を下部に真空蒸着した。サンプル全体を 100°C 30 分の N<sub>2</sub> 雰囲気下でのアニールの有無により、C-V 特性を比較しキャリアの蓄積を確認した。

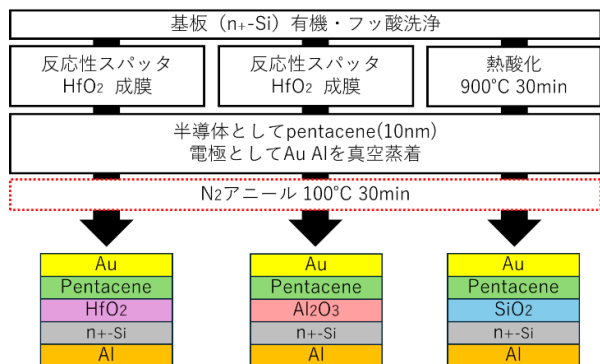


Fig.1 Methods for creating MOS transistors

### 3. 実験結果

Fig 2 にサンプル全体をアニールした場合のゲート-リーク特性を示す。ほぼ同等のリークレベルが得られたこれらの試料に対し、C-V 測定を行った結果、アニール処理を施す前の試料 Fig.3 において、HfO<sub>2</sub> および Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を用いた MOS は、SiO<sub>2</sub> を用いた MOS と比較して優れた C-V 特性を示し、特に HfO<sub>2</sub> を用いた試料では、最も高い容量値を示した。この結果は High-k 絶縁膜を用いたことにより、チャンネル層のキャリア蓄積能力が向上したことを示唆する。さらに、アニール処理を施した試料では、SiO<sub>2</sub> に関する既存の知見と同様に、他素材でもキャリア容量の向上が確認された。しかし、アニール処理後 C-V 測定結果を示した Fig.4 の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を用いた場合、蓄積容量値が大きく増大し、HfO<sub>2</sub> を用いた試料よりも大きな容量値の増加を示している。以上より、MOS 構造において高誘電率材料を用いることで、既存の SiO<sub>2</sub> 絶縁膜と同等の絶縁性を保ちながらも、キャリア容量値を増大させることを確認できた。

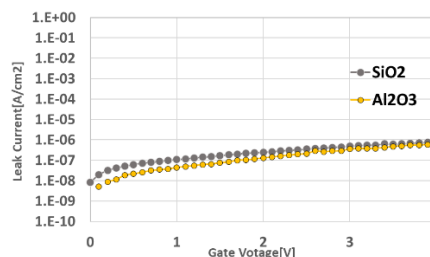


Fig.2 J-V characteristics of MOS using High-k insulating films

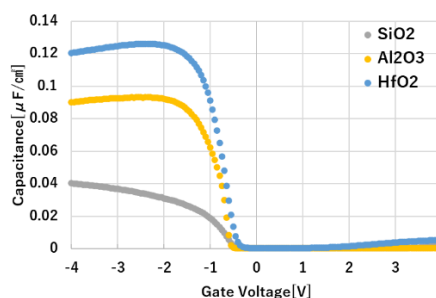


Fig.3 C-V characteristics of MOS using High-k insulating films

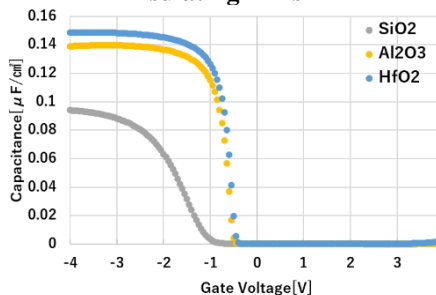


Fig.4 C-V characteristics of MOS with High-k insulating films after annealing treatment

# 液晶性を利用したドーパント分布制御による電荷注入特性の向上

## Improvement of charge injection characteristics by controlling dopant distribution

### using fluidity of liquid crystallinity

科学大未来研, °中野 博貴, 飯野 裕明

Science Tokyo, °Hiroki Nakano, Hiroaki Iino

E-mail: nakano.h.aj@m.titech.ac.jp

有機トランジスタや有機 EL などの有機電子デバイスにおいて、電極/有機半導体の接触抵抗の低減は非常に重要である。接触抵抗低減の 1 つの方法としては、半導体と電極間の界面におけるヘビードーピングが考えられる。液晶性有機半導体 Ph-BTBT-10 (2-phnelyl-7-decyl-benzothienobenzothiophene) においては、電子アクセプタ分子 F4-TCNQ (2,3,5,6-Tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane) の界面ドーピングによって、接触抵抗の低減が確認されている【1】。Ph-BTBT-10 の最高被占分子軌道 (HOMO) から F4-TCNQ の最低空軌道 (LUMO) への電子の分子間電荷移動により、Ph-BTBT-10 のホール濃度は増加すると同時に、F4-TCNQ は負に帯電したイオンとなる (図 1 (a))。また、液晶材料の過渡光電流測定により、流動性を持つ液晶相 (スメクチック相) においては、電子性伝導とイオン伝導のチャンネルが共存することが確認されている【2】。以上の結果から、液晶性有機半導体に電子アクセプタ分子 (F4-TCNQ) をドーピングした後、スメクチック相において電圧を印加すれば、イオン化した電子アクセプタ分子を電場掃引によって一方の電極に向けてはき寄せる分布制御が可能であり、その後冷却して結晶化することでその分布を固定できると考えられる。そこで本研究では、液晶相における電圧印加でドーパント分布を制御し接触抵抗低減による電荷注入向上を目指した。

Au 電極が蒸着された 2 枚のガラス基板から厚さ  $2\mu\text{m}$  のサンドウィッチ型セルを作製し、F4-TCNQ を 1% 含む Ph-BTBT-10 を液体温度まで加熱して毛細管現象により溶融注入した。ホットプレート上で  $150^\circ\text{C}$  (スメクチック E 相) まで昇温し、10V を 5 分間印加した後、電圧を印加したまま室温まで冷却し結晶化した多結晶薄膜において、J-E 特性 (-1V から 1V まで) を評価した。はき寄せ工程前後の J-E 特性を比較すると、イオン化した F4-TCNQ 分子をはき寄せた側の電極を正バイアスにし正孔注入させたところ 3 桁程度の電流密度の増加が確認された (図 1 (c))。

以上の結果より、注入障壁が薄くなり接触抵抗が低減したことで、キャリア注入が容易になったことが示唆されており、新たな接触低減方法としての可能性を示している。

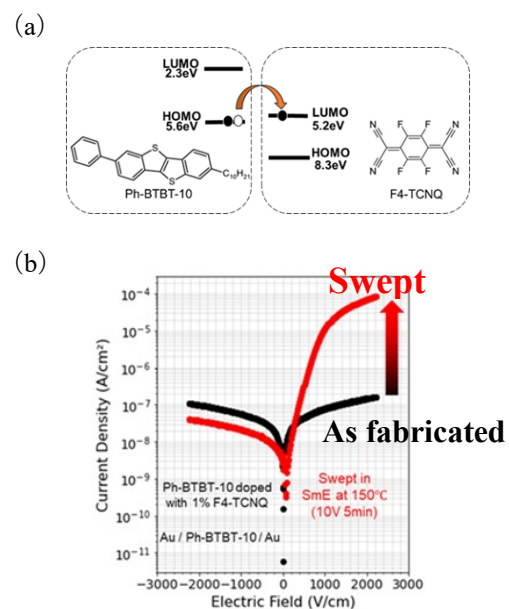


Fig.1 (a) Ph-BTBT-10 と F4-TCNQ 間の電荷移動

(b) はき寄せ工程前後の J-E 特性

[1] S. Takamaru, J. Hanna, H. Iino, Jpn. J. Appl. Phys. 60, SBBG08 (2021)

[2] H. Iino, J. Hanna. J. Phys. Chem. B 109, 22120 (2005)

# 対称／非対称アルキル置換有機半導体の溶融混合による超層構造形成

## Melt-Mixed Superlayer Formation Using Symmetric and Unsymmetric Alkylated Organic Semiconductors

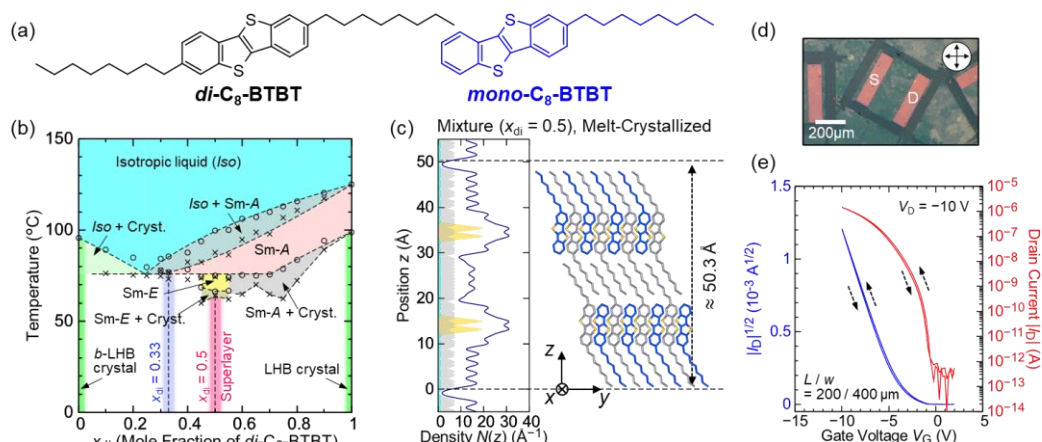
東大院工, °(D)二階堂 圭, 黒田 清太, 井上 悟, 長谷川 達生

U. Tokyo, °Kiyoshi Nikaido, Seita Kuroda, Satoru Inoue, Tatsuo Hasegawa

E-mail: nikaido-kiyoshi464@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

有機薄膜トランジスタ(TFT)において高移動度を実現する層状結晶性有機半導体はその多くが剛直なパイ電子骨格( $\pi$  コア)と柔軟なアルキル鎖を連結した分子構造で構成され、アルキル鎖の配座自由度により温度変化に応じて液晶相を発現する[1,2]。有機半導体における液晶相は溶液プロセスによる高均質な薄膜形成を促進することが近年明らかになりつつあり[2]、液晶相を介した高性能有機 TFT の構築や結晶構造制御が実現しつつある[3]。一方、液晶相や層状結晶相の形成において、異なる分子内自由度を持つ  $\pi$  コアとアルキル鎖の役割は明らかになっていない。本研究では主要な  $\pi$  コアである BTBT 骨格に対称・非対称にアルキル鎖を置換した *di*-C<sub>8</sub>-BTBT および *mono*-C<sub>8</sub>-BTBT (図 a)をモル比 1:1 の組成で混合することで高秩序な層状液晶相の発現と  $\pi$  コアとアルキル鎖が独立な層を形成した特異な層状結晶相が誘起されることを見出したため、報告する。

図 b は混合系における示差走査熱量測定、偏光顕微鏡観察、粉末 X 線回折測定から同定した温度組成相図を示す。これら熱物性の評価から等モル比付近の組成において単一成分系では発現しない高次液晶相(Smectic-E)を発現することが分かった。また粉末 X 線回折測定に基づく積層方向の電子密度分布の解析から、等量混合系は融液から結晶化させることで 2 分子が層間で交互に積層し、 $\pi$  コアとアルキル基が独立に層を形成した“超層構造”を形成することが明らかになった(図 c)。また混合系では液晶相を介した溶融プロセスによって有機半導体層の無溶媒塗布製膜が可能であり、作製した TFT(図 d)は  $1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  程度の移動度を示すことが分かった。講演では超層構造の形成機構についても議論する。[1] H. Iino *et al.*, *Nat. Commun.* **6**, 6828 (2015). [2] K. Nikaido *et al.*, *Adv. Mater. Interfaces* **9**, 2201789 (2022). [3] K. Nikaido *et al.*, *Phys. Rev. Mater.* **8**, 115600 (2024).



**Fig.** (a) Chemical structure of *di*- and *mono*-C<sub>8</sub>-BTBT. (b) Phase diagram of the mixture.  $x_{di}$  represents the mole fraction of *di*-C<sub>8</sub>-BTBT. (c) Electron density profile and the schematic of the superlayer crystalline phase of the mixture ( $x_{di} = 0.5$ ). (d, e) Micrograph of the polycrystalline thin film transistor and a typical transfer characteristic of the mixture ( $x_{di} = 0.5$ ).

## 局在型表面プラズモン有機太陽電池を利用した 有機フォトトランジスタの作製と特性評価

### Fabrication and Characterization of Organic Phototransistor Utilizing Plasmonic Organic Solar Cell

新潟大工<sup>1</sup>, 長岡高専<sup>2</sup> °(D)WANG Tianshuo<sup>1</sup>, 渡邊 泰生<sup>1</sup>,  
皆川 正寛<sup>2</sup>, 城内 紗千子<sup>1</sup>, 大平 泰生<sup>1</sup>, 馬場 暁<sup>1</sup>, 新保 一成<sup>1</sup>  
Niigata Univ.<sup>1</sup>, NIT, Nagaoka Coll.<sup>2</sup>, °T. WANG<sup>1</sup>, T. Watanabe<sup>1</sup>,  
M. Minagawa<sup>2</sup>, S. Jonai<sup>1</sup>, Y. Ohdaira<sup>1</sup>, A. Baba<sup>1</sup>, K. Shinbo<sup>1</sup>  
E-mail: kshinbo@eng.niigata-u.ac.jp

#### 1. 目的

我々は、プラズモニック有機太陽電池 (OSC) をゲート電極側に積層した有機フォトトランジスタ (OPT) を提案している。これは、光照射に伴う有機太陽電池の出力電圧をゲートに加えることでトランジスタの電流制御を行うもので、表面プラズモン共鳴を用いることで高感度化を試みている。前回、グレーティングカップリングによる伝搬型表面プラズモン共鳴を用いた素子について報告した[1]。今回は、金属微粒子において観測される局在型表面プラズモン共鳴 (LSPR) を用いた素子を作製し、特性評価を行ったので報告する。

#### 2. 試料作製と実験方法

ITO 基板を塩酸エッチングし洗浄した後、PEDOT:PSS 溶液と金ナノ粒子 (AuNP) 溶液を 1:1, 1:0.8, 1:0.6, 1:0 の堆積比率で混合し、4000 rpm で 60 秒スピコートして正孔輸送層を形成した。次いで、P3HT:PCBM (P3HT 10mg, PCBM 8mg in 1mL DCB) をスピコートして活性層を形成し、30 nm の Al を真空蒸着して OSC とした。次いで、Al 上のアルミナ層と CYTOP を絶縁膜とし、ペンタセン (70nm) とトップ Au 電極 (30nm) を真空蒸着してトランジスタ部とした。ソーラーシミュレータからの白色光と、フィルタを通じた疑似単色光を素子に照射し、OSC の開放電圧と OPT の光応答特性を評価した。

#### 3. 実験結果と考察

種々強度の白色光を OSC に照射した際の開放電圧値を図 3 に示す。開放電圧は照射光強度に依存[2]するが、大きさは AuNP の混合比により異なった。これは、LSPR による有機層の光吸収増強が原因と考えられる。光照射の際の OPT の電流応答を図 3 に示す。発生電圧が高い OSC の利用により、OPT の光応答が向上していることがわかる。疑似単色光に対する応答は、当日報告する。

[1] 前山他：第 82 回秋季応物 18p-P08-17, 2024.

[2] S. Cowan et al., Phys. Rev. B 82, 245207, 2010.

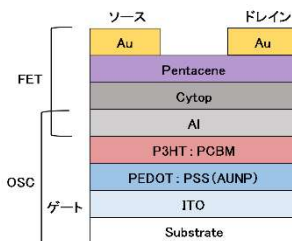


図 1 素子構造

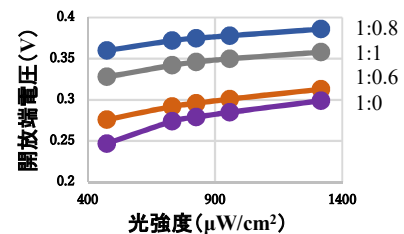


図 2 開放端電圧特性

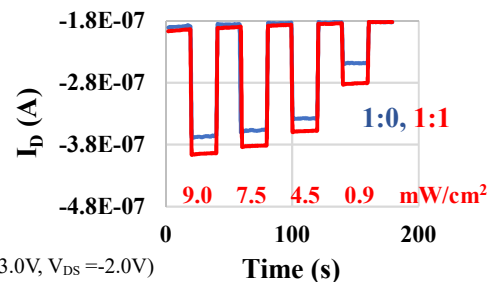


図 3 OPT の光応答特性

( $V_G = -3.0V$ ,  $V_{DS} = -2.0V$ )

## フレキシブル信号処理回路を用いた低ノイズ汗連続測定の実現

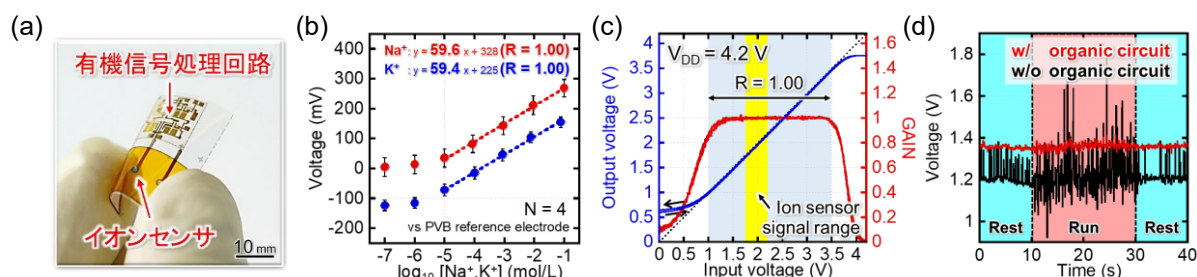
## Low-Noise Continuous Sweat multi-sensing with Flexible Organic Circuits

阪大院工<sup>1</sup>, 阪大産研<sup>2</sup>, 産総研先端フォトバイオ<sup>3</sup>○(M2) 碓本 修佑<sup>1,2,3</sup>, 植村 隆文<sup>2,3</sup>, 秋山 実邦子<sup>1,2</sup>, 難波 直子<sup>2</sup>, 別府 克哉<sup>1,2</sup>,脇田 慎一<sup>2,3</sup>, 荒木 徹平<sup>1,2,3</sup>, 関谷 毅<sup>1,2,3</sup>Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.<sup>1</sup>, SANKEN, Osaka Univ.<sup>2</sup>, PhotoBio-OIL, AIST.<sup>3</sup>○(M2) Shu Ikarimoto<sup>1,2,3</sup>, Takafumi Uemura<sup>2,3</sup>, Mihoko Akiyama<sup>1,2,3</sup>, Naoko Namba<sup>2</sup>Katsuya Beppu<sup>1,2</sup>, Shin-ichi Wakida<sup>2,3</sup>, Teppei Araki<sup>1,2,3</sup>, Tsuyoshi Sekitani<sup>1,2,3</sup>

E-mail: ikarimoto-syu31@sanken.osaka-u.ac.jp

ヒトの肌に貼り付け、連続かつ非侵襲的に汗中の化学物質を測定するウェアラブル汗センサの研究が盛んに行われている。特にアスリートを対象にしたスポーツサイエンスの分野で、 $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ は熱中症や心疾患などのバイオマーカーとされており積極的に測定されている。そうした汗センサはこれまでに、柔軟性<sup>[1]</sup>・伸縮性<sup>[2]</sup>など、ヒトの肌との親和性を重視したセンサが数多く報告されてきた。しかし、こうした柔軟なセンサの信号処理回路には Si などの硬い半導体からなる集積回路が用いられており、柔軟なセンサと硬い回路の接続部でのノイズ混入やセンサ自体の柔軟性の低下が課題であった<sup>[3]</sup>。そこで本研究では、本質的に柔軟な有機材料からなる、軽量な有機信号処理回路をセンサの直近に貼り付け(Fig.1a)、センサの持つ柔軟性を損なわずに、ノイズ耐性を大幅に高めた汗センサの開発に着手した。

イオンセンサは、電極(Ag/AgCl)を印刷した PEN 基板上に、汗中の  $\text{Na}^+$  と  $\text{K}^+$  を検出する 2 種類の作用極と 1 種類の参照極で構成されており、作用極と参照極の電位差を測定することでイオン濃度を検出できる。作製したセンサは理想的なネルンスト応答( $\sim 60 \text{ mV/dec}$ )かつ広い検出範囲( $10^{-5} \sim 10^{-1} \text{ mol/L}$ )と優れた特性を示す(Fig.1b)。また、有機信号処理回路は、PEN 基板上に有機半導体(P 型:DNTT, N 型:TU-1)と金属(Au)を集積することで、ボルテージフォロアを作製した。この回路は入力電圧をそのまま出力し(Fig.1c)、入力信号のインピーダンスを低減する回路である。実際に、イオンセンサの高いインピーダンス( $\sim 40 \text{ M}\Omega$ )を 100 倍以上低減( $\sim 300 \text{ k}\Omega$ )し、運動中のヒトに貼り付けた状態で 83%以上のノイズ低減を実証した(Fig.1d)。本発表ではこれ以外にも、被験者実験での汗の連続測定の結果と共に、我々の汗センサの詳細を報告する。



**Fig. 1 (a) Overall view of our Low-Noise sweat sensors. (b) Characteristics of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  sensors. (c) DC characteristic of voltage follower. (R: Ratio of Output voltage to Input voltage) (d) Demonstration of Low-Noise sensing (comparison w/ and w/o organic circuit)**

参考文献

[1] S. Imani, *et al. Nat. Commun.* (2016). [2] G. Xu, *et al. Adv. Mater. Technol.* (2019). [3] N. Brasier, *et al. Nature* (2024).