

印刷型有機トランジスタの現状と スマート・ライフケア・システムへの展開

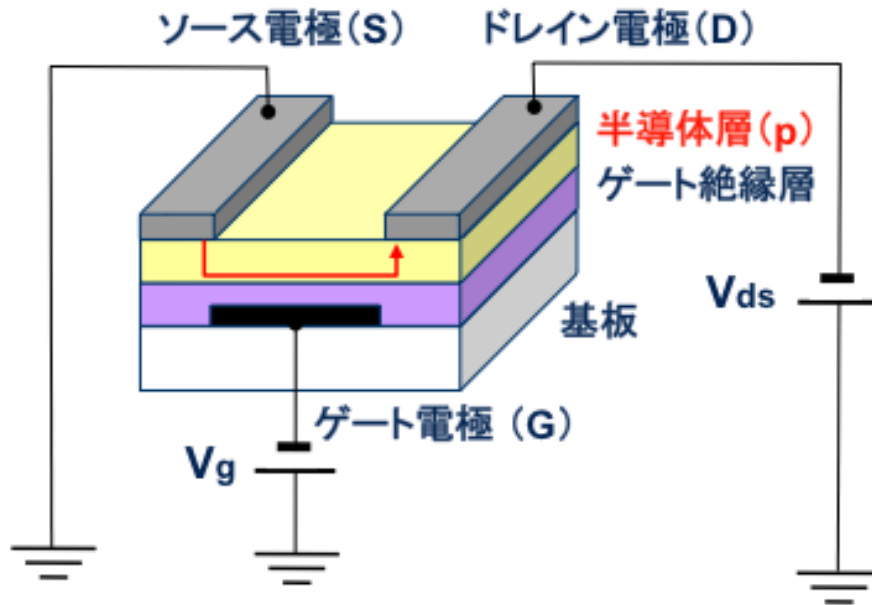
山形大学
有機エレクトロニクス研究センター
時任 静士

講演概要

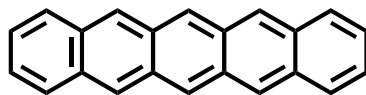
- 有機トランジスタの位置づけ
- 印刷法による有機トランジスタの作製と特性
- 有機トランジスタの集積回路応用
- ヘルスケアセンサーへの応用展開

有機トランジスタの基本構造

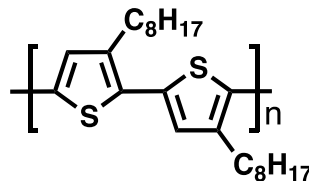
有機薄膜トランジスタ: Organic TFT



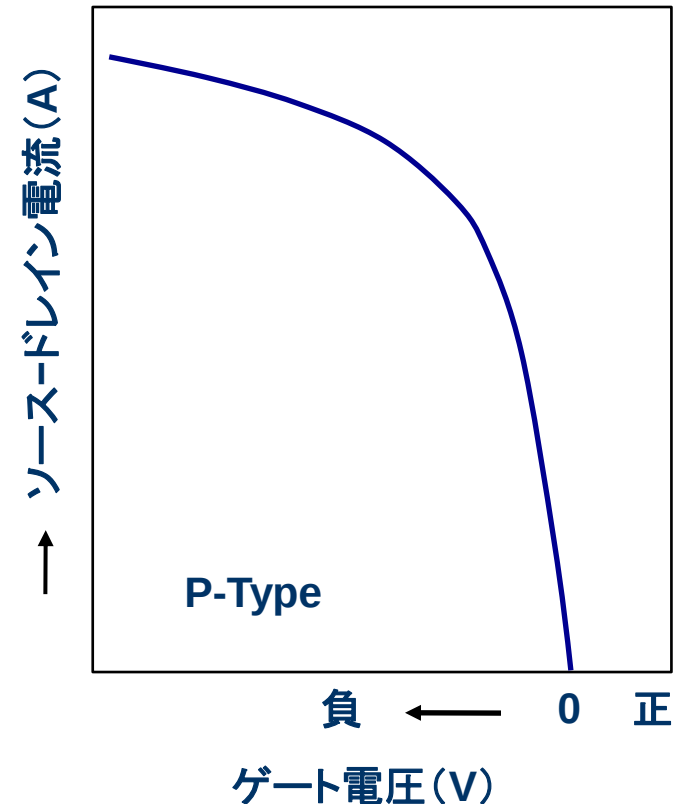
- 基本は従来のMOS構造
- ゲート電圧で電流を制御、変調
- 半導体層は高結晶性の有機半導体薄膜



Pentaecne



PB16TTT



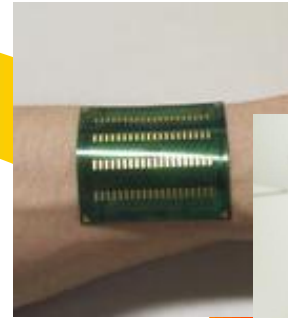
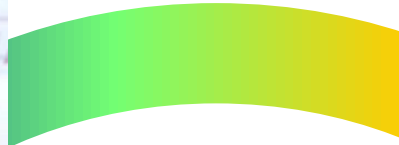
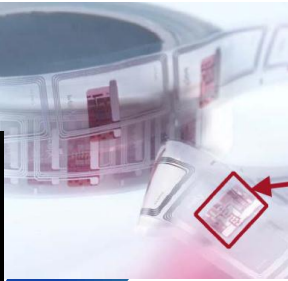
MOS: metal-oxide-semiconductor

TFT: Thin film transistor

有機トランジスタの応用分野



RF-IDタグ



バイオセンサー



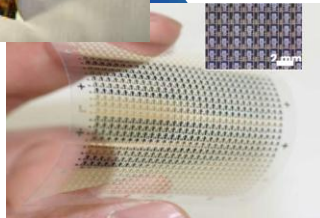
曲げセンサー

印刷法で作製できる
柔らかいエレクトロニクス

次世代産業としての可能性大



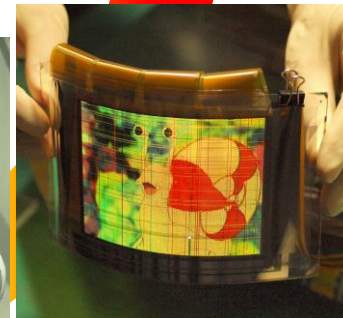
ワイヤレス
給電シート



メモリー



電子ペーパー



有機ELディスプレイ

“従来技術では実現できない”

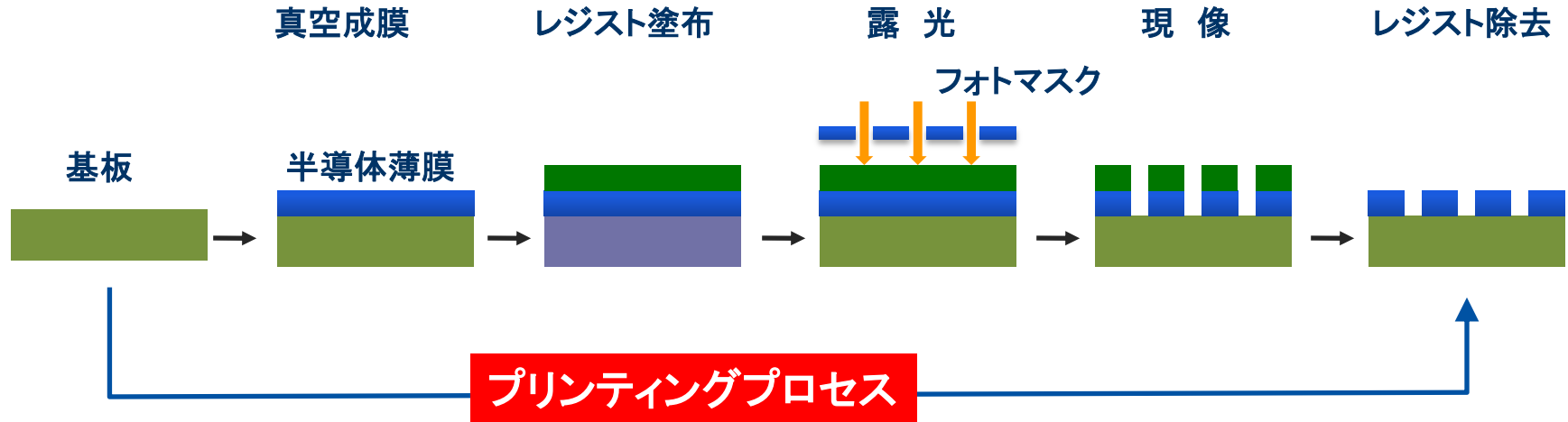
有機トランジスタの出番

印刷法の重要性

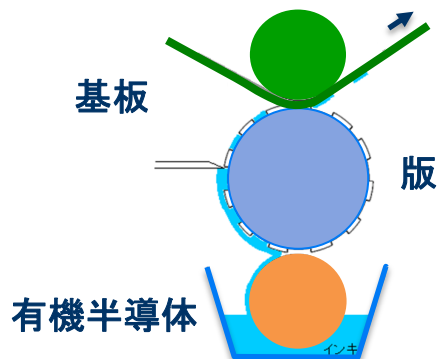
従来技術

フォトリソグラフィプロセス

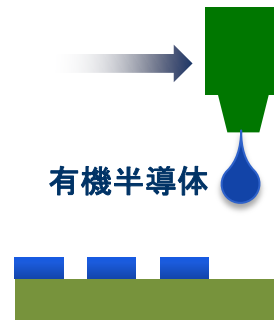
半導体層の微細化



グラビア印刷



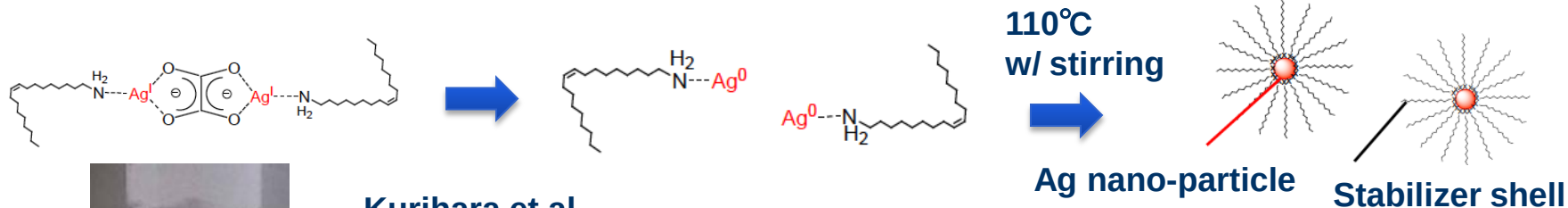
インクジェット印刷



“低コスト・環境に優しい”

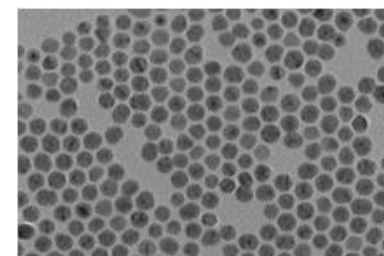
低温で、必要な箇所に必要なだけ塗る

低温焼成銀ナノ粒子インク

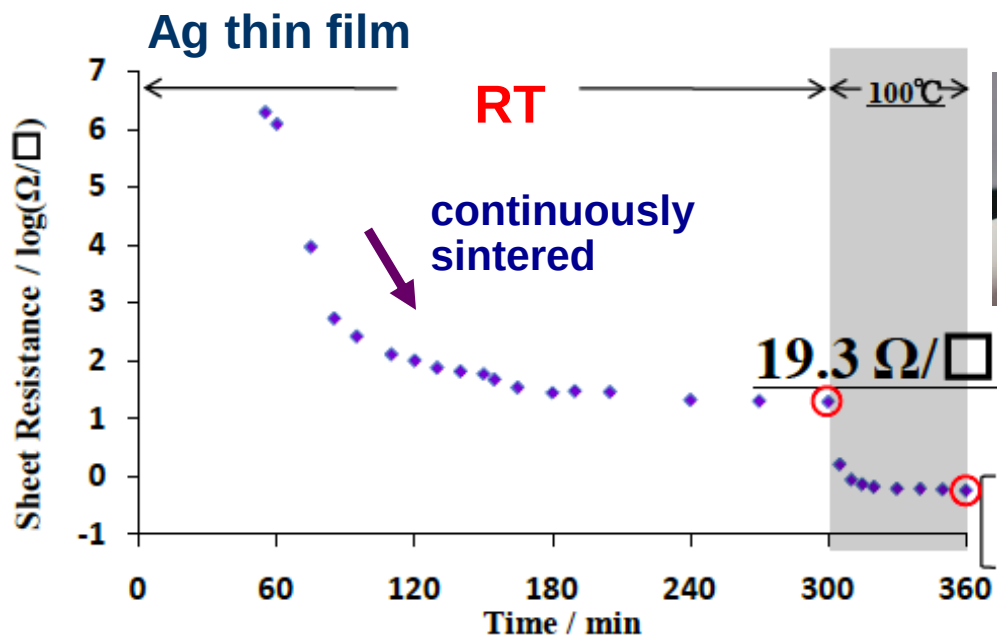


Kurihara et al.
Nanoscience and Nanotechnology
9, 6655(2009).

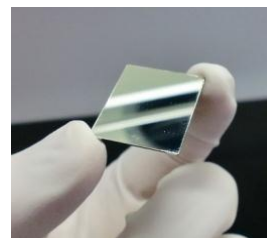
山形大学独自材料



20 nm



室温でも焼成が進行



Kurihara-Ink

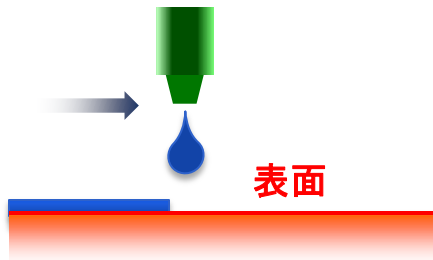
Solvent:
Alkane/Alcohol



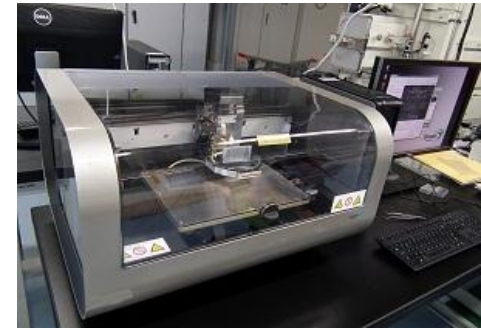
当研究室の印刷技術

下地表面状態は
細線化に重要

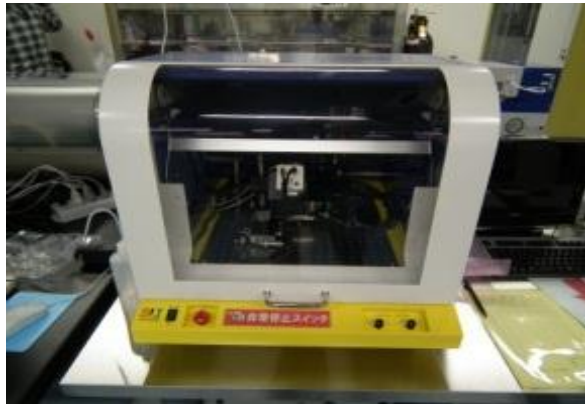
銀ナノ粒子インク



ディスペンサー
(Musashi Eng.)



インクジェット装置
(FUJIFILM DMP-2800)



スーパーインクジェット装置
(SIJ Technology)



フレキソ・グラビア装置
(KOMURA TECH)

インクジェット法での微細配線形成

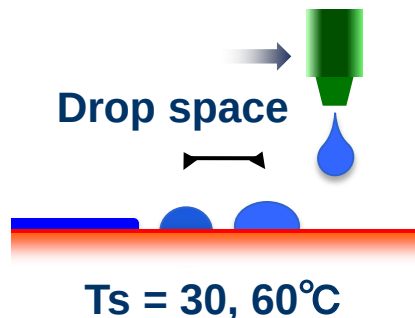
Ag Nanoparticle Ink:
(Harima Chem.)



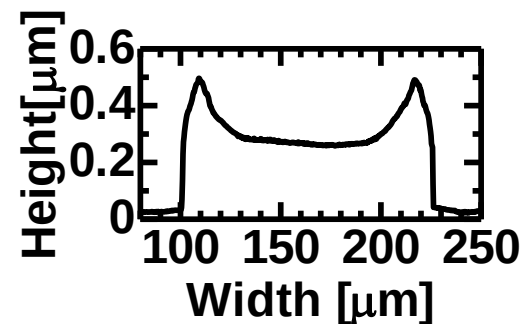
Ink-Jet Printer: DMP-2800

- Drop space: 5~250 μm
- Stage Temp.: RT~60 $^{\circ}\text{C}$

Underlayer:
Crosslinked-PVP



Cross-section



“Coffee stain effect”

Drop space

Ts = 30 $^{\circ}\text{C}$

40 μm

bulging

50 μm

scalloped

60 μm

scalloped

70 μm

400 μm

scalloped

Ts = 60 $^{\circ}\text{C}$

uniform

uniform

uniform

Narrow

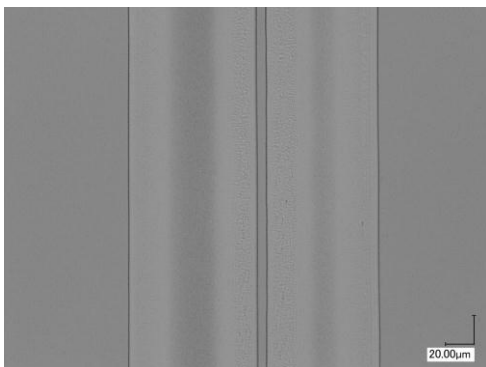
individual
drops

400 μm

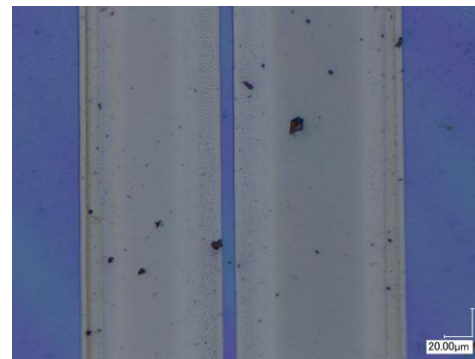
短チャネル電極の形成

Printed Silver S/D Electrodes by Ink-Jet Printer (DMP-2800)

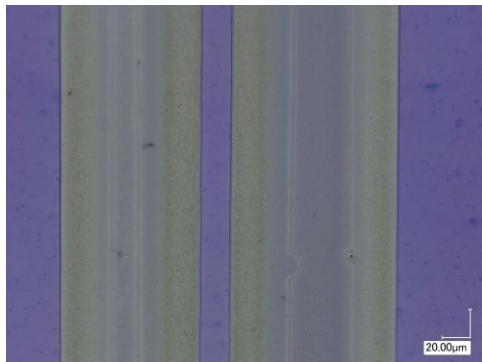
Space : 6 μm



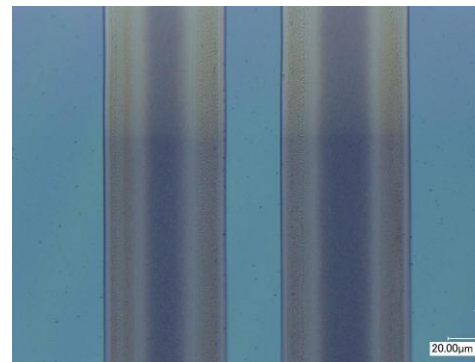
Space : 9 μm



Space : 20 μm

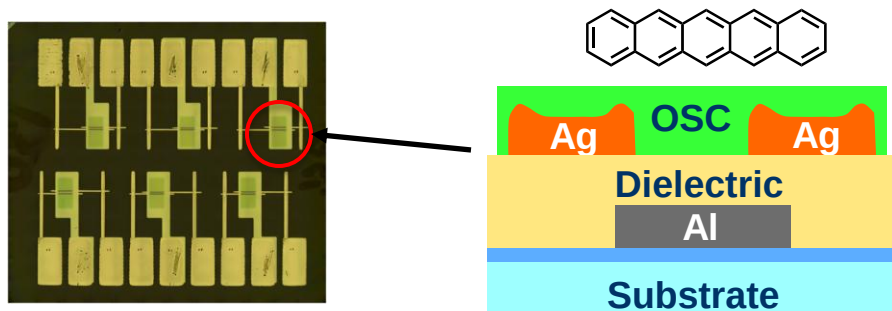


Space : 40 μm



■ 架橋PVP上で短チャネル電極を再現性良く実現

短チャネル有機トランジスタ

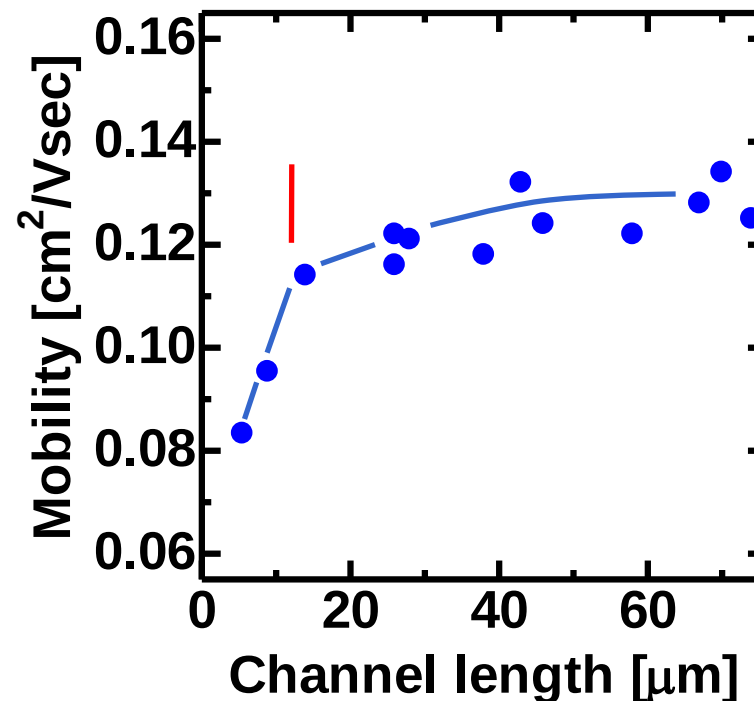
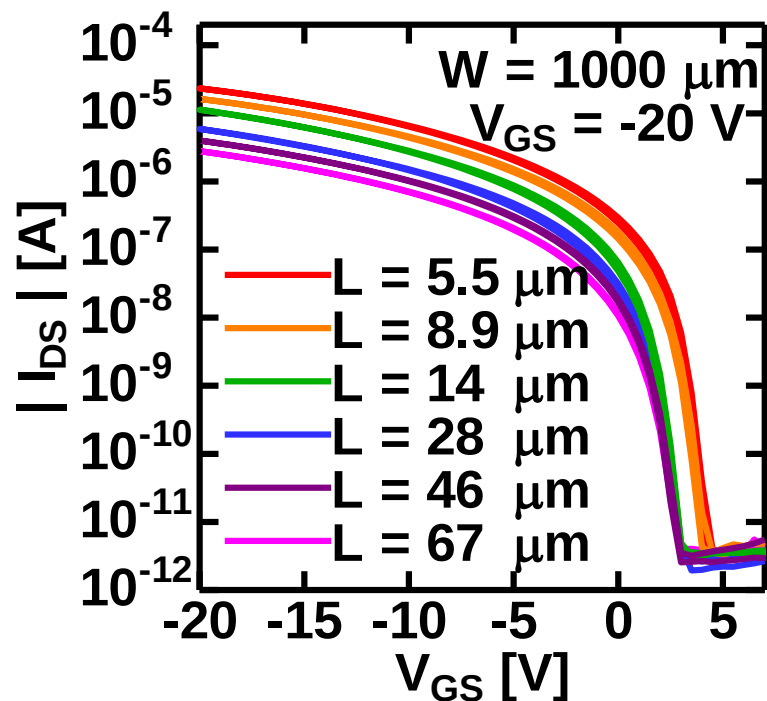


Silver S/D Electrodes

Harima-Ink

Ink-jet Printing

Sintering Temp. :120 °C



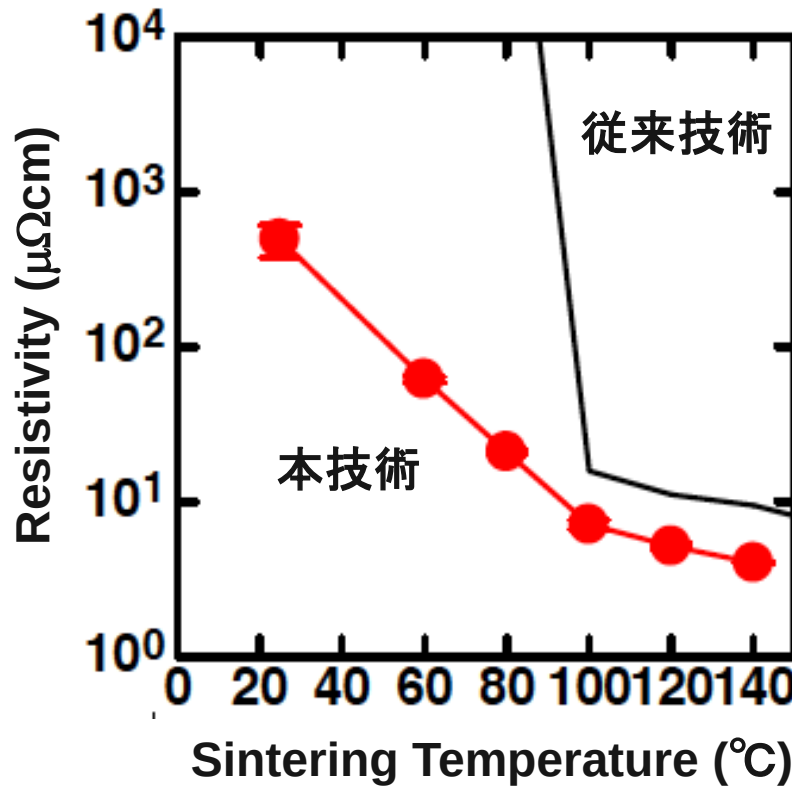
■ 真空蒸着金電極の場合と同等の性能を実現

微細銀配線の低温形成技術



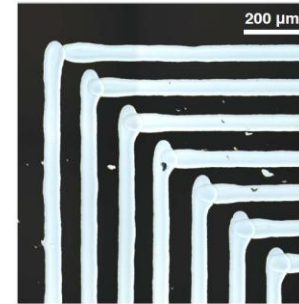
Ink Jet Printer
(FUJIFILM DMP-2800)

Head: 10 pl
Drop spacing: 40 μm

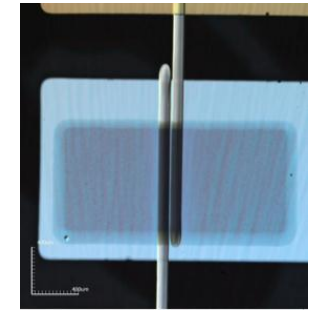


100°Cで8 $\mu\Omega\text{cm}$ の微細配線

ダイセルとの共同研究



配線パターン



有機TFT

印刷方式での有機トランジスタ作製

より低温 100度で成功

山形大 安価なプラ、利用可能に

山形大有機エレクトロニクス研究センターの
時任静士卓越研究教授らの研究チームは22
日、印刷方式で作製する有機トランジスタに
ついて、従来より低温の100度で作製する
ことに成功したと発表した。高温処理がネッ
クとなっていた一般的なプラスチック素材上に
電極を描くことが可能になり、実用化に大きく
近づいた。

ICタグなど応用へ
研究チームによると、電極を描く銀ナノ粒子
印刷した電極に電気が流れ、インクが開発、インクジ
ャーの状態で、このエッチングの改良などに
これまで最低でも140度より、低温での作製が可
能になった。時任教授は同日の定例
記者会見で「非常に安価なプラ
スチック素材は基板材料としてラ
スチックの上に電極を印刷できるよ
うになった。この工程を100度でできるよ
うになったため、ペットボトルや衣料用繊維など
の個体識別などに用いるICタグ、バイオセンサ
ーなどへの応用を目指している」と説明した。

日刊工業新聞、山形新聞等

有機半導体の微細形成

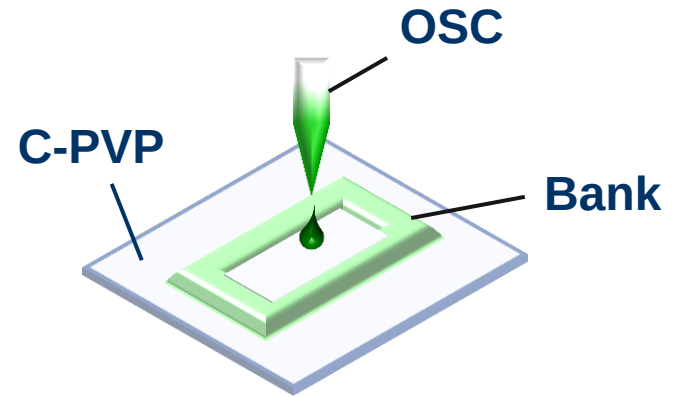
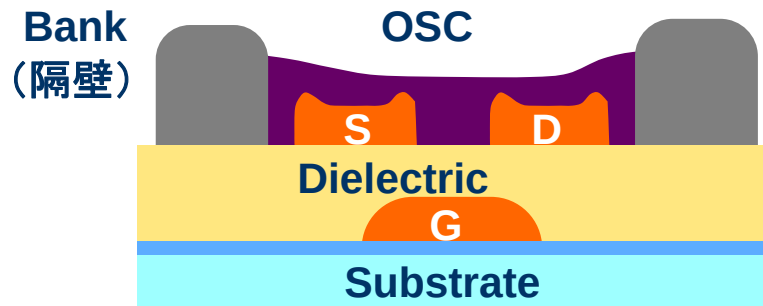
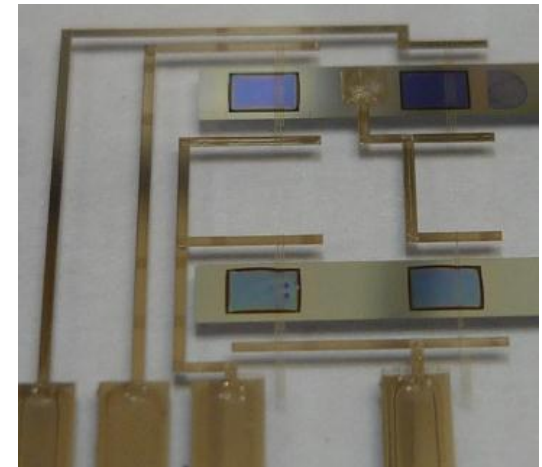


Table 1: Materials and Processes

	Material	Process
Gate	DIC-Ink	Ink-Jet
Dielectric	C-PVP	Spin-Coating
Source Drain	Harima-Ink	Ink-Jet
Bank	Teflon	Dispenser
OSC	PB16TTT L1200	Drop-Casting

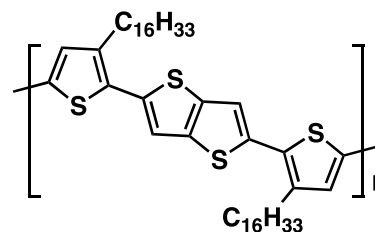
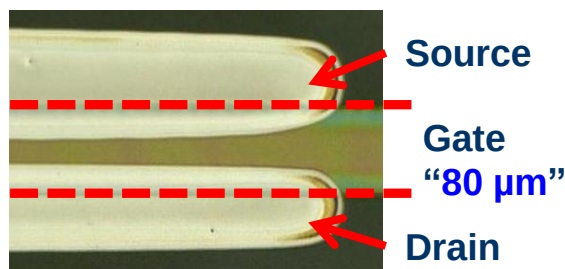
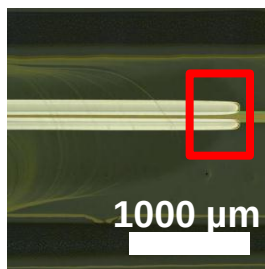
隔壁形成:

ディスペンサー使用
ステージ温度: 60°C



印刷型有機トランジスタ

Process Temp. < 140°C

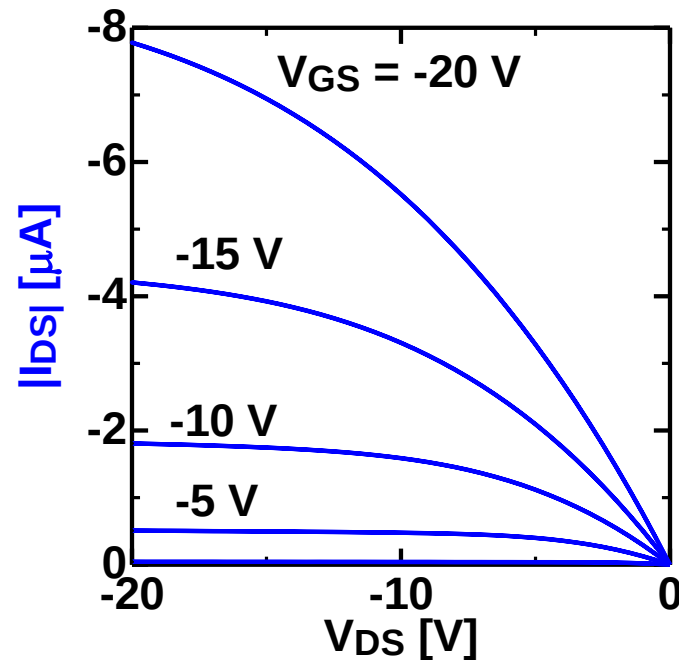
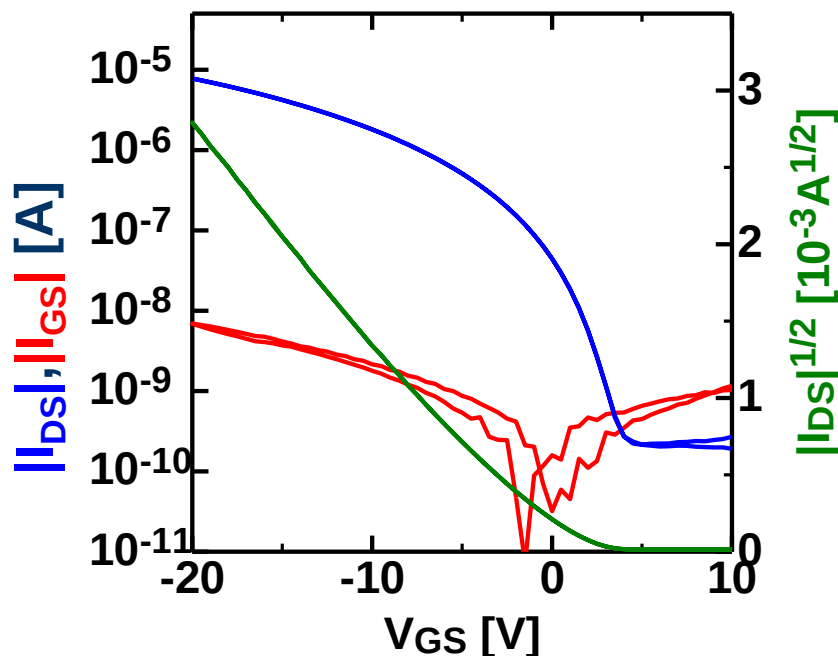


L = 20 μm
W = 1520 μm



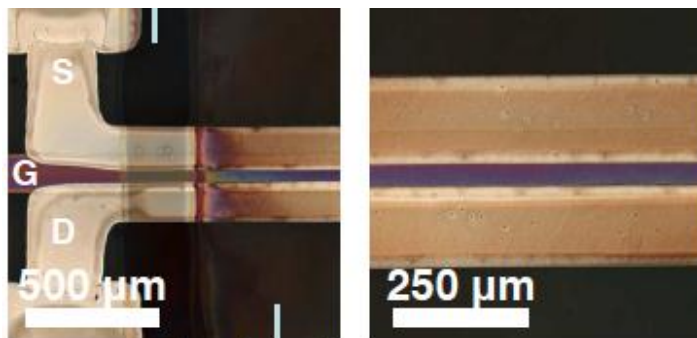
PB16TTT
(Merck)

Reduction of parasitic capacitance



Mobility = 0.03 cm²/Vs
On/off ratio ~10⁴

高性能印刷型有機トランジスタ



PEN (125μm)

OSC: S1200 (Merck) P-type
Contacts SAM: M001(Merck)

Process Temp. = 100°C

S/D (Harima Chem.), G(DIC Co.)

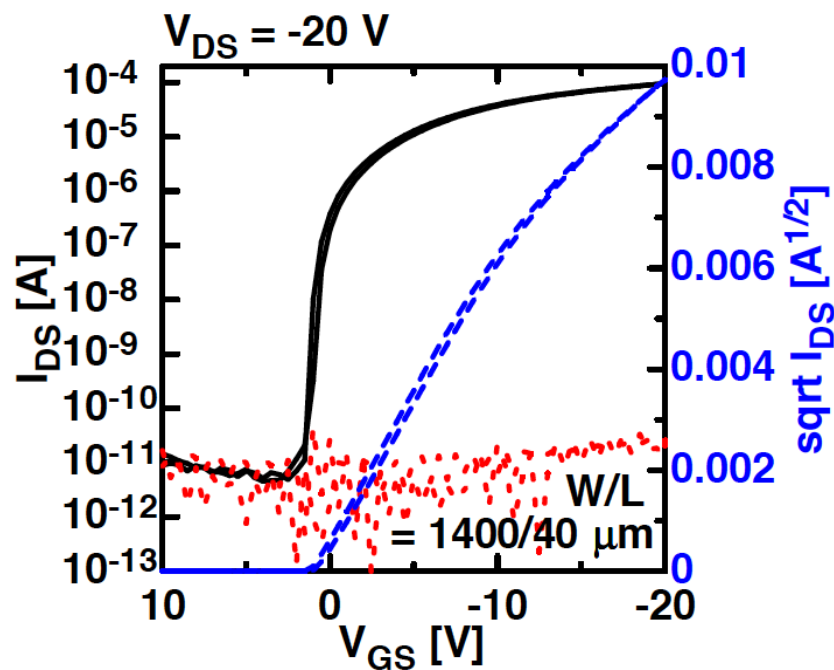
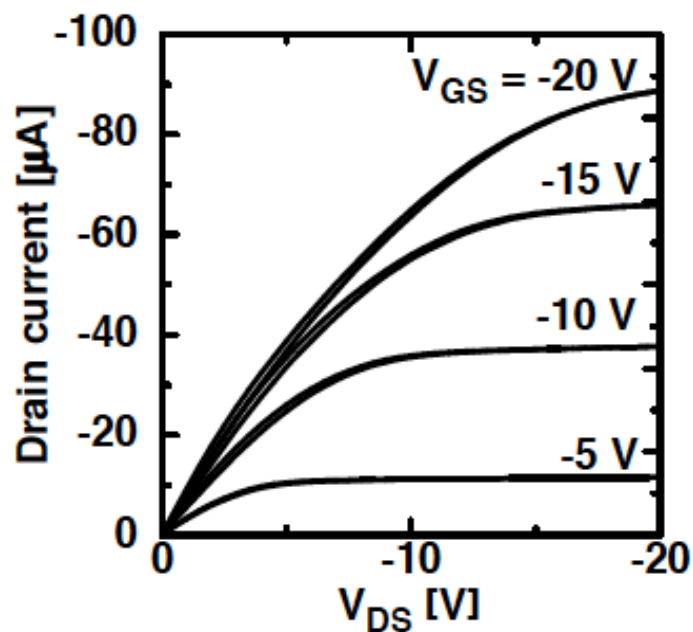


W = 1400 μm

L = 40 μm

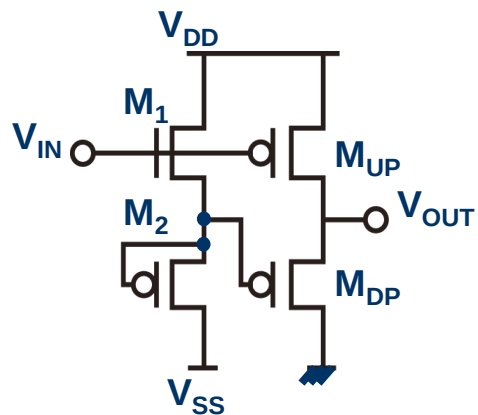
Mobility = 1.2 cm²/Vs

On/off ratio = 2 x 10⁷



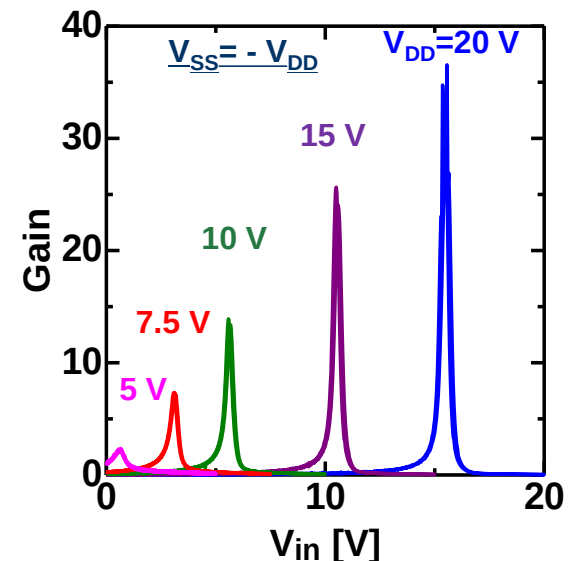
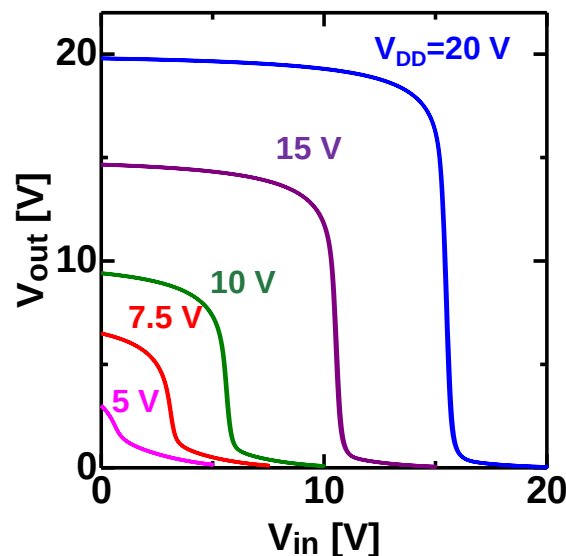
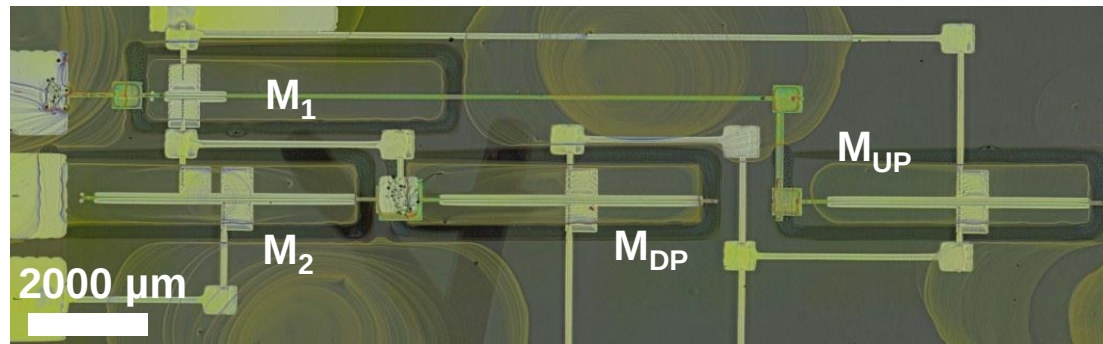
印刷型擬CMOSインバータ回路

OSC: PB16TTT



Pseudo-CMOS Inverter

Huang et al., Trans. Electron Devices, **58**, 141 (2011).

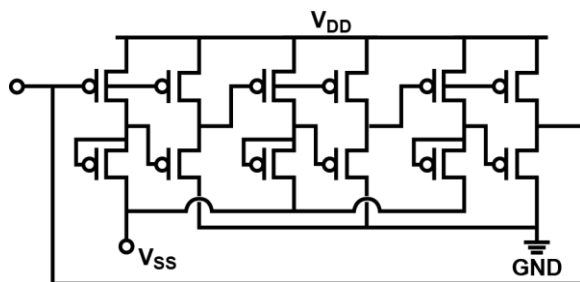


■ 良好なスイッチング特性と高いゲインを実現

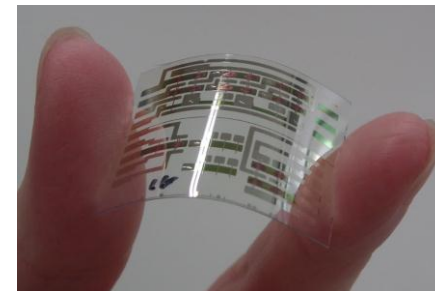
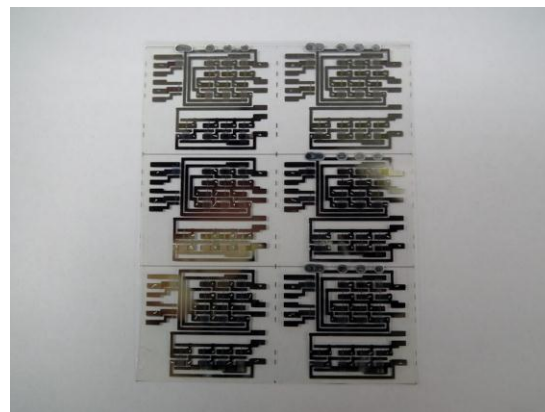
Gain = 35 (@20V)

印刷型有機リングオシレータ回路

3-Stage Ring-Oscillator

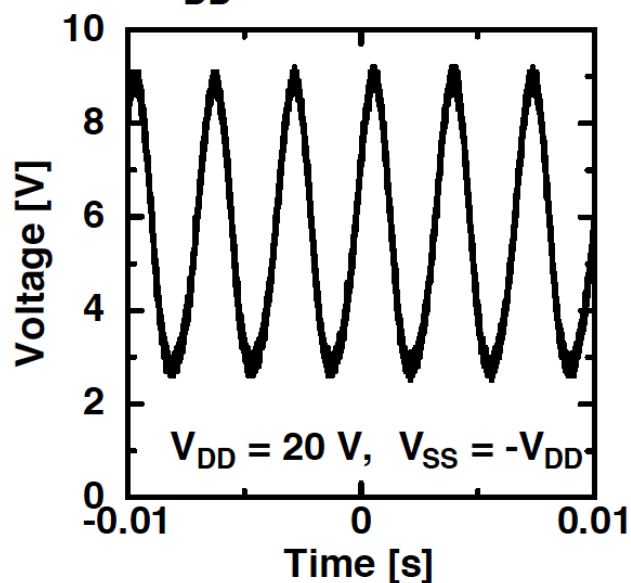


OSC: S1200 (Merck)

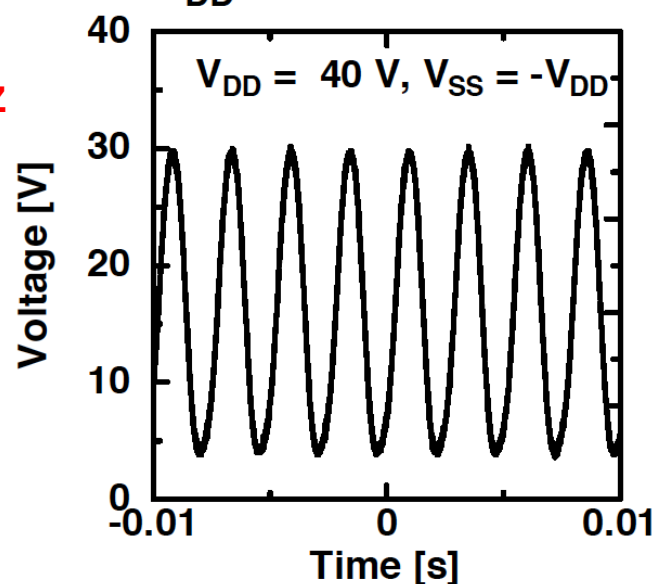


PEN (125 μ m)

$V_{DD} = 20 \text{ V}$

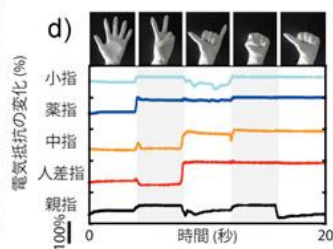
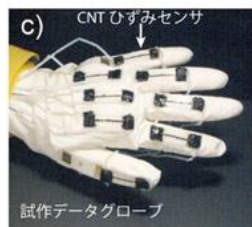
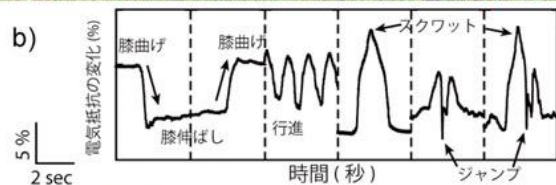
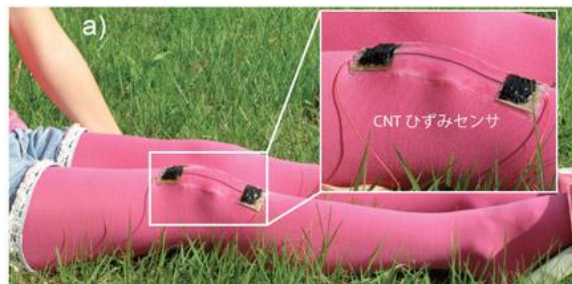


$V_{DD} = 40 \text{ V}$



■ 良好な発振特性を実現

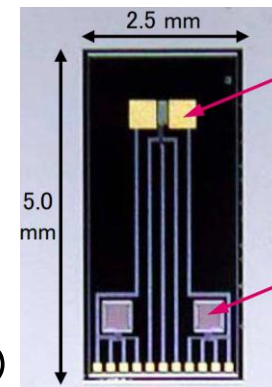
ヘルスケアセンサーへの展開



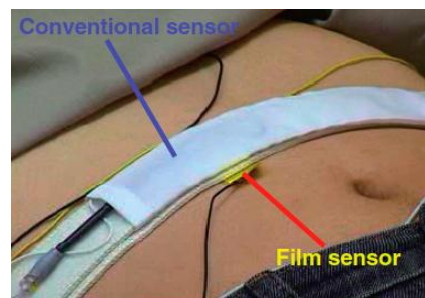
曲げセンサー(産総研)



汗(電解質)センサー(CEA)



酵素センサー
(日立)



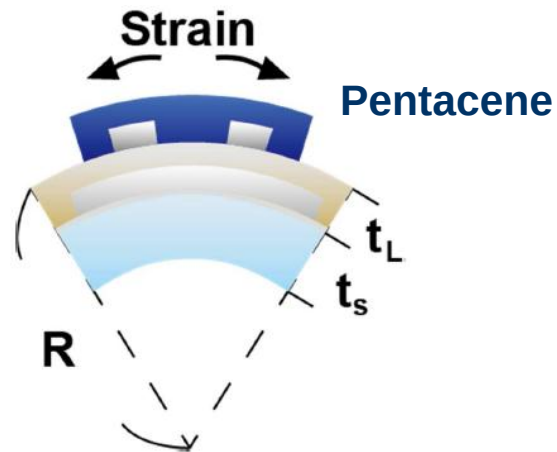
呼吸センサー(産総研)

- 運動情報
- 位置情報
- 生体情報

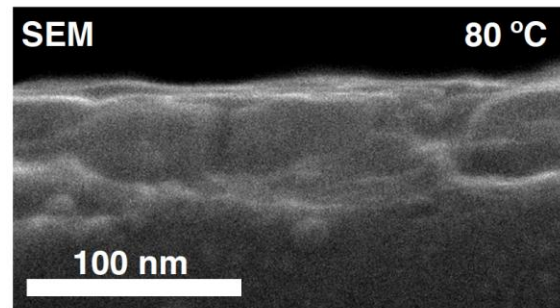
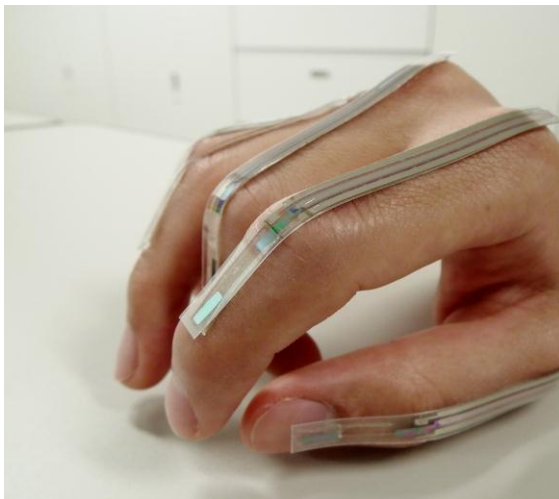
有機トランジスタ型センサーの利点

- 物理的・化学的反応を電気信号で直接検出
- 印刷法で低コストでプラスチックフィルム上に作製可能

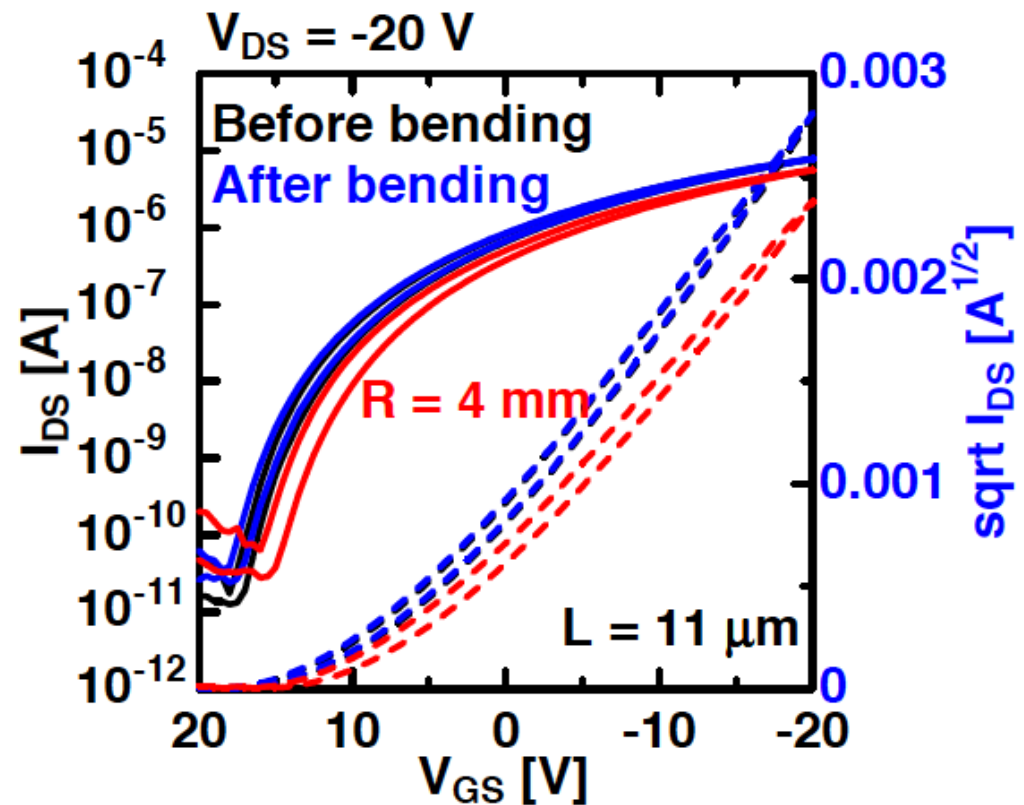
印刷型曲げセンサー



Current decreases with applying tensile stress

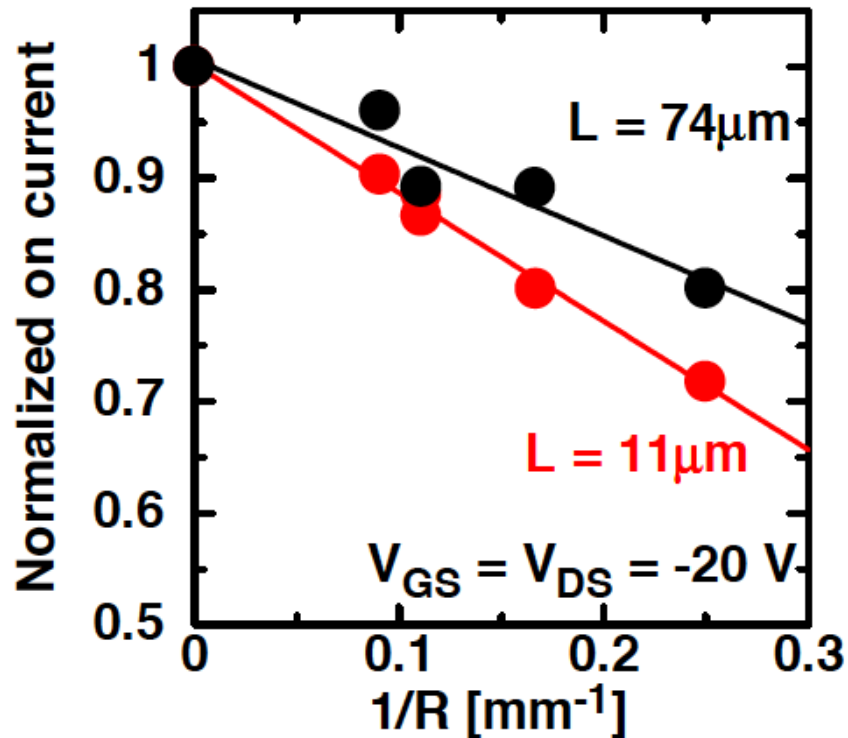


電極/絶縁膜界面
の強固な密着

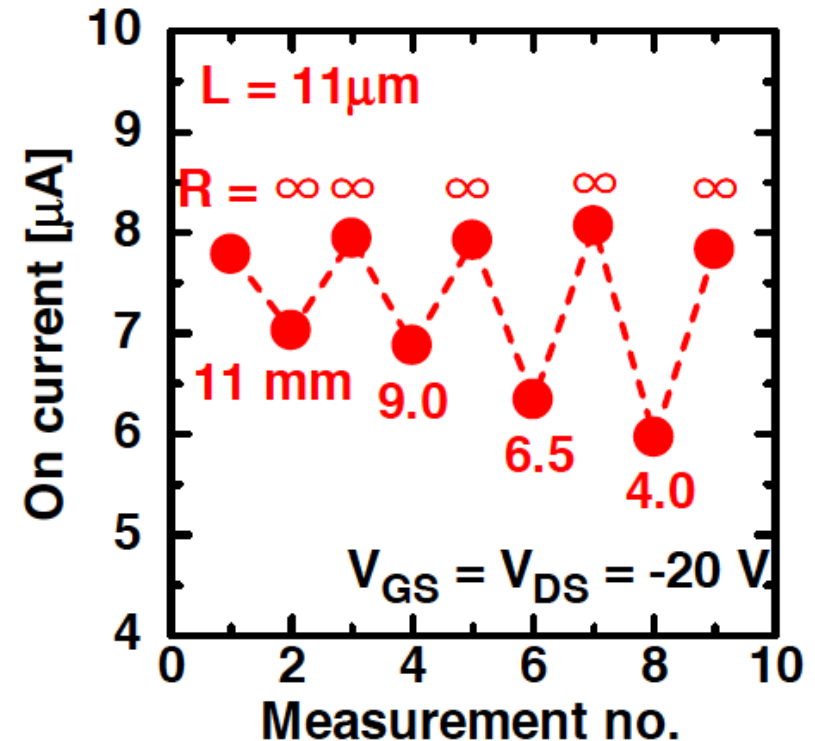


センシング特性

チャンネル長依存性



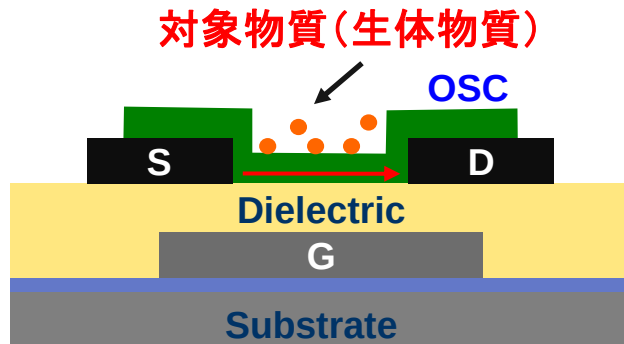
再現性: 繰り返し特性



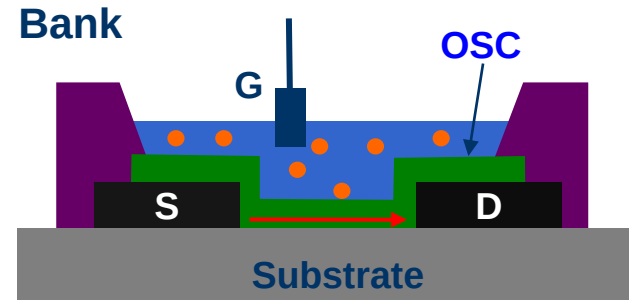
- チャンネル長が短いほど感度が高い
- 半径が4mmまでは再現性の良い特性

バイオセンサー応用

FET Type



EC Type



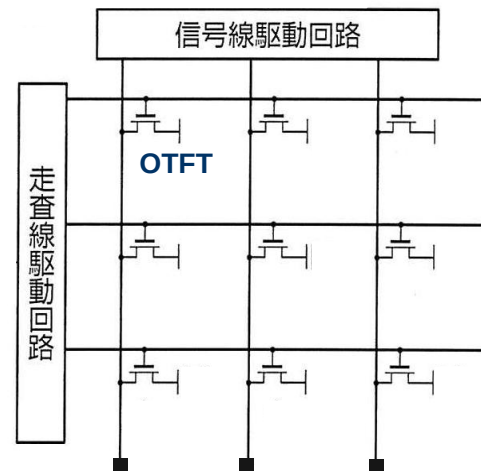
生体物質： 電解質

尿酸、尿素

グルコース

コレステロール

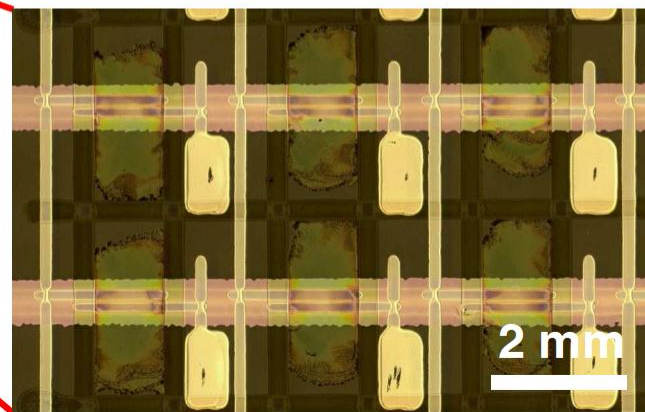
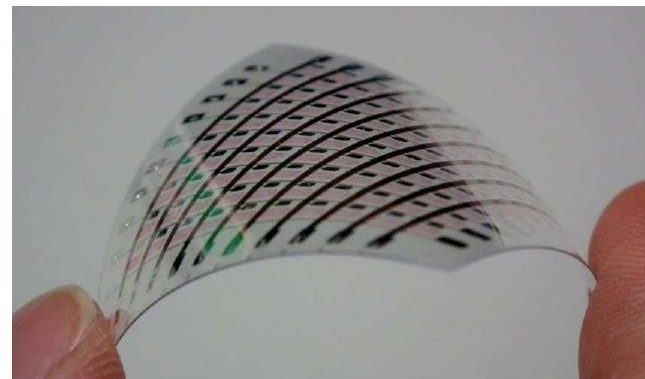
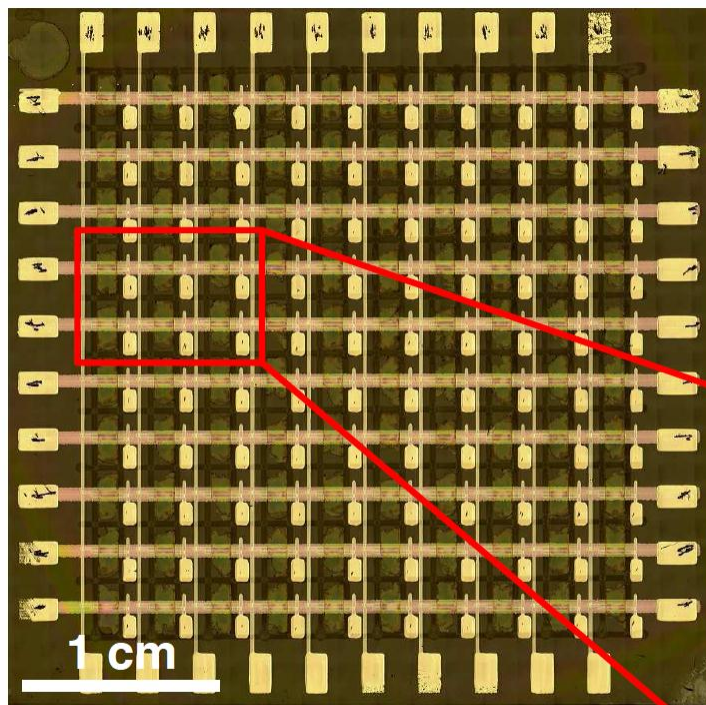
ガンマーカ等



単純マトリックス構造

- 多品種一括検出
- 高感度検出

印刷型センサーチップの試作例



Substrate: PEN (125mm)

10x10=100

* 各TFTはバンク構造を有する
Teflon使用

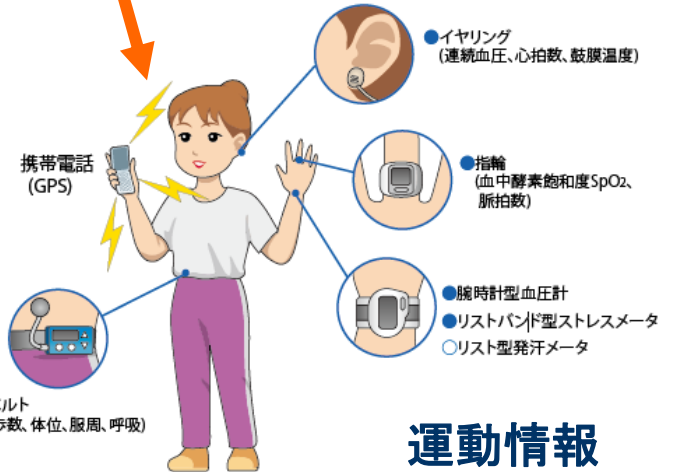
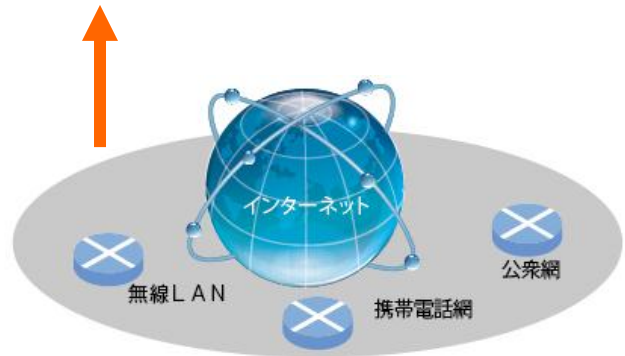
歩留まり: 99%
平均移動度: $0.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

スマート・ライフケア・システムのイメージ

リアルタイム
健康監視
ビッグデータ



ソフトデバイス
機能回復・補助デバイス
機能性食材



運動情報
生体情報

離島医療
独居老人
慢性疾患者



スポーツマン



お年寄り



メタボな方



身体障がい者

技術融合
RFID + センサー

研究室メンバー

Tokito-Kumaki-Fukuda Laboratory



ご静聴、ありがとうございました。