

ニュース

印刷技術を活用、有機とSiのハイブリッドセンサー

Printable Electronics 2017/nano tech 2017報告

鵜飼 育弘 = Ukai Display Device Institute 代表 2017/03/08 08:00

1. はじめに

2017年2月15～17日の3日間、東京ビックサイトで開催された「Printable Electronics 2017」と「nano tech 2017」の展示会から、筆者が注目した展示を8回にわたって紹介する。第1回目は、山形大学有機トランジスタ研究部門の開発成果を3件、報告する。

2. 印刷で実装した有機とSiのハイブリッドセンサー

山形大学はIoT社会への応用を目指して、ビックデータの利活用を特徴とするセンサーや、あらゆる人やモノへ装着できるセンサーを開発した（図1）。いずれも、フレキシブル基板に印刷法で有機センサーを形成し、さらにSiチップを実装した「フレキシブル・ハイブリッド・センサー」である。有機エレクトロニクスのしなやかさとSiチップ（Si-LSI）の高性能を両立できる。なお、ビックデータの利活用を特徴とするセンサーは、標準規格に準拠した無線通信によるインターネット接続およびセキュリティーを確保している。



図1 IoT社会への応用
山形大学の資料。

2.1 フレキシブル・ハイブリッド・センサー

図2に、ハイブリッドセンサーの回路システム構成を示す。マイクロ波通信回路、NFC（近距離無線通信）の通信回路およびセンシング回路にはSiチップ（Si-LSI）を用い、センサー、印刷配線およびアンテナは有機材料を印刷して作製した。印刷プロセスは、PEN基板を用い、配線はAgインクをインクジェットで印刷し、作製した。アンテナはAgインクをディスペンサーで塗布し、作製した。温度センサーはPEDOT-PSSをディスペンサーで、圧力センサーは強誘電体ポリマー（PVDF）を塗布して作製した。

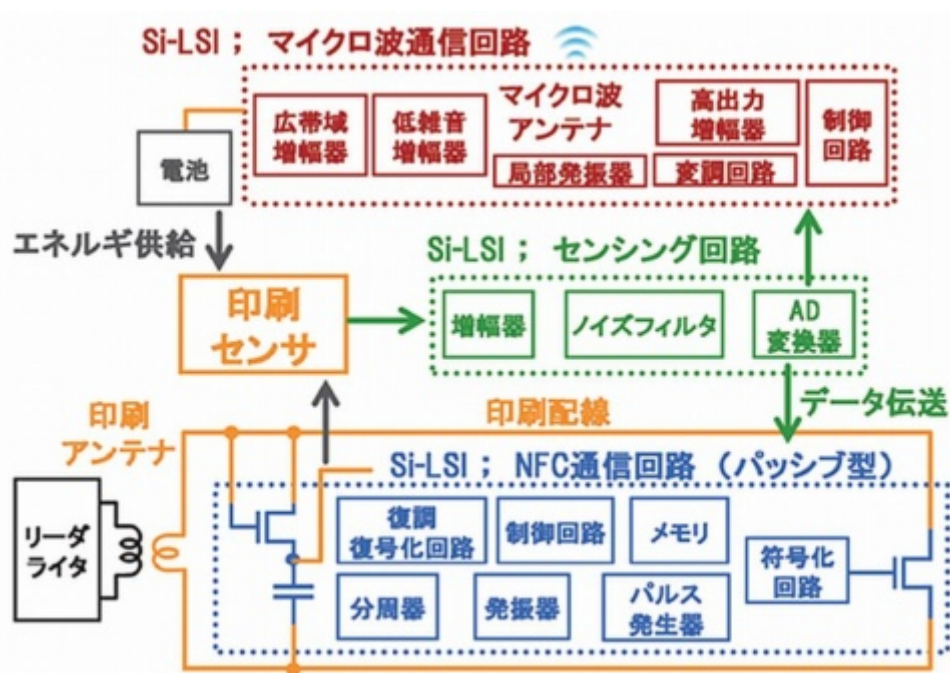


図2 ハイブリッドセンサーの回路システム構成

山形大学の資料。

図3に、NFCと電池搭載の中距離通信用Bluetoothモジュールを示す。NFCの周波数は13.56MHz、動作電圧は3Vで、送信電力は0.3mWである。一方、Bluetoothの周波数は2.45GHz、駆動電圧は3Vで、送信電力は10mWである。



図3 NFCおよびBluetoothモジュール

山形大学の資料。

図4に、パッチ型センサーの実証試験の様子を示す。スマートフォンおよびタブレットPCへのデータ読み取りと表示を確認できた。



・ スマートフォンを用いた NFCによるデータ読取りと表示

・ タブレットPCへの Bluetoothによるデータ転送と表示

図4 パッチ型センサーでの実証試験
山形大学の資料。

2.2 今後の展開

多品種印刷有機センサーの開発と合わせて、印刷有機TFTの高性能化による高機能集積回路を開発する。これにより、Siチップの部品点数を削減することで、低コストのフィルムのように薄いフレキシブル・ハイブリッド・センサーを実現し、IoT分野での社会実装を目指す。

3. 0.5Vバイオ燃料電池で動く、超低電圧駆動有機リングオシレーター

ウェアラブルエレクトロニクスの実現に向けて、印刷回路とバイオ燃料電池を融合した自立型電子デバイスの開発に取り組んでいる。IoT応用に向けた印刷有機回路の実現には、ウェアラブルデバイスでは電源供給に限られる一方で、印刷有機回路の駆動には高い電圧が必要だった。開発したバイオ燃料電池と超低電圧印刷有機回路の構成を、図5に示す。

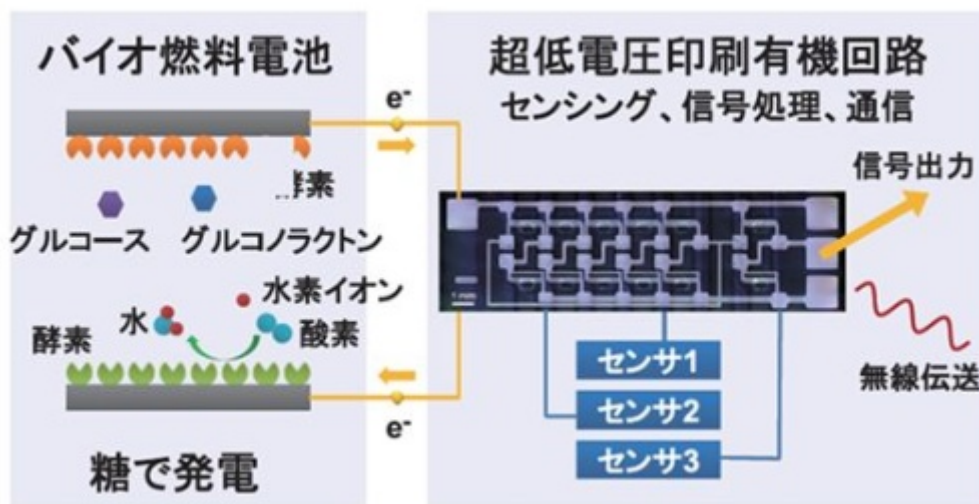


図5 バイオ燃料と有機印刷回路
山形大学の資料。

図6に示すように、バイオ燃料電池にグリコース溶液を滴下すると発電が始まり、約0.5Vの電圧が発生する。次に、0.3V以上の電圧が供給されると、印刷型有機発振回路が駆動し正弦波を出力する。最後に、出力信号を電圧計で読み取り、BLE (Bluetooth Low Energy) 無線通信タブレット送信・表示する。

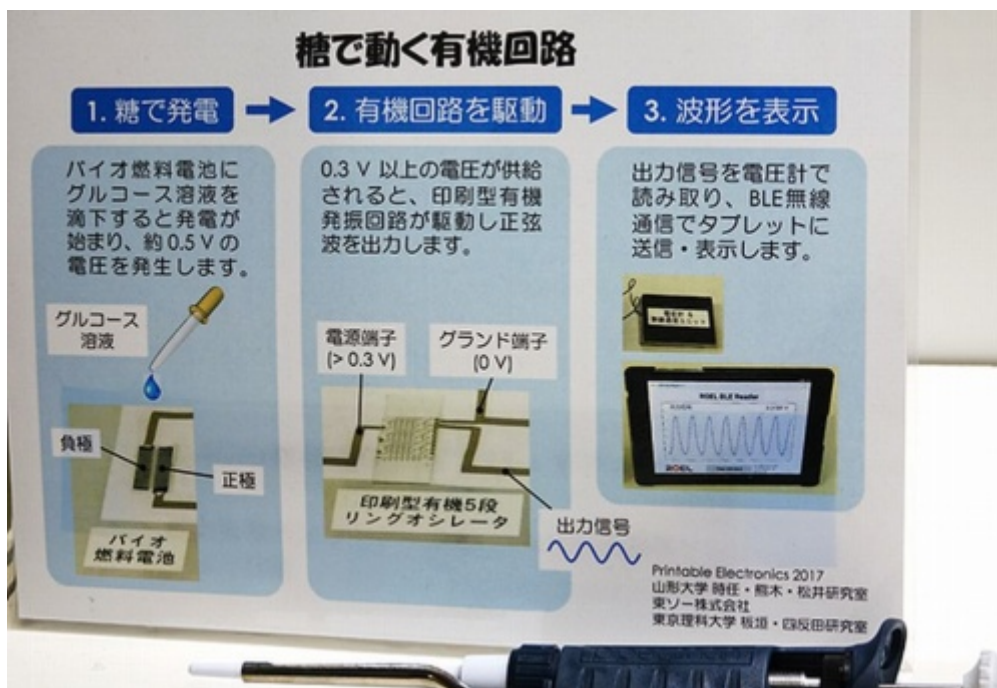


図6 動作原理
展示ブースで筆者が撮影。

3.1 主な開発技術

図7に、主な開発技術を示す。

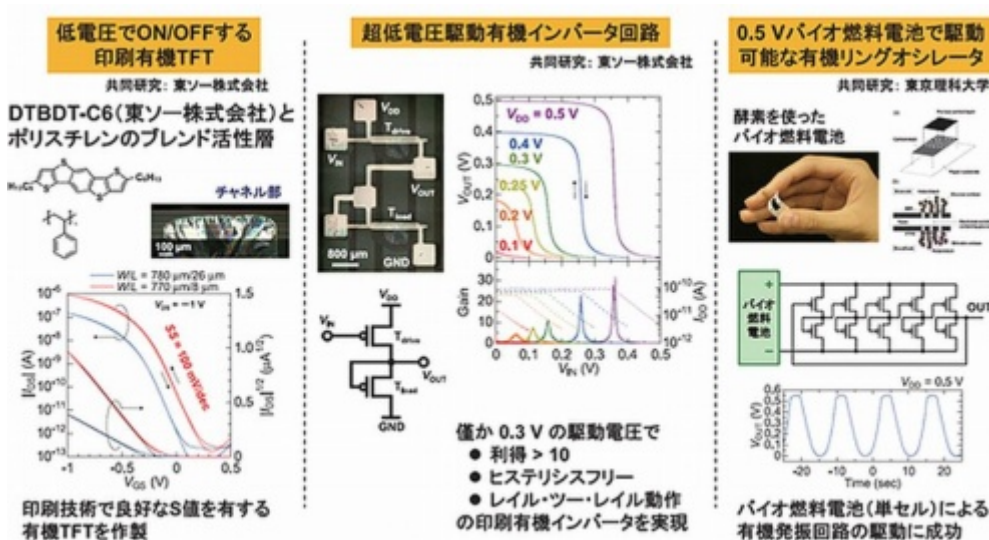


図7 主な開発技術
山形大学の資料。

(1) 定電圧駆動有機TFT

印刷技術で、良好なS値（サブスレッシヨルド係数）^{注1)}を持つ有機TFTを作製した。

注1) 電流値が1桁増えるのに必要なゲート電圧をいう。従来型FETの理論限界はSS = 60mV/decadeである。この値が小さいほど、小さなゲート電圧の変化でドレイン電流が

大きく変化し、急峻なスイッチング特性が得られる。

定電圧でオン/オフする印刷有機TFTの開発にあたって、DTBDT-C6とポリスチレンを混合したものを半導体層として用いた。その結果、図7のようにヒステリシスがなくSS値100mV/decadeの急峻な特性のTFTが得られた。

(2) 有機インバーター回路

図7に示すように、わずか0.3Vの駆動電圧で、利得10以上、ヒステリシスフリーおよびレール・ツー・レール (rail to rail) 動作の印刷有機インバーターを実現した。

注2) railとは電源電圧いっぱいまで動作できること。

(3) バイオ燃料電池と有機リングオシレーター

山形大学は、東京理科大学の板垣・四反田研究室との共同研究で、酵素を使ったバイオ燃料電池を開発した。0.5Vのバイオ燃料電池で駆動可能な有機リングオシレーターの駆動に成功した (図8)。



図8 0.5Vバイオ燃料電池で動く有機リングオシレーター
展示ブースで筆者が撮影。

4. 凸版反転印刷で作る全有機非接触通信タグ

4.1 印刷有機回路作製の課題

印刷法でフレキシブルな有機非接触通信タグを作製することにより、安価でさりげないセンシングを行うための研究に、山形大学は取り組んでいる。

印刷有機回路は低コストに製造できる反面、特性の低さや微細化・集積化の難しさが問題となっている、今回の開発成果は、以下の通り。

- ・サブミクロンの高精細回路印刷
- ・高性能n型有機半導体を用いた相補型回路
- ・わずか30個の有機TFTから成るタグ回路設計
- ・電池レスのパッシブタグ

全有機非接触通信タグのプロセスを高精細な有機ICチップは、図9に示すプロセスで作製した。高精細な有機ICチップは、凸版反転印刷法により、サブミクロンスケールの高精細な有機ICチップを作製。大面積なアンテナと抵抗素子は、スクリーン印刷法により、簡便に大面積アンテナと抵抗素子を作製している。最後に、各々のフィルムを貼り合わせ（Film on Film）、2つのフィルム基板を導電性接着剤で貼り合わせることで、カードサイズのタグが完成する。

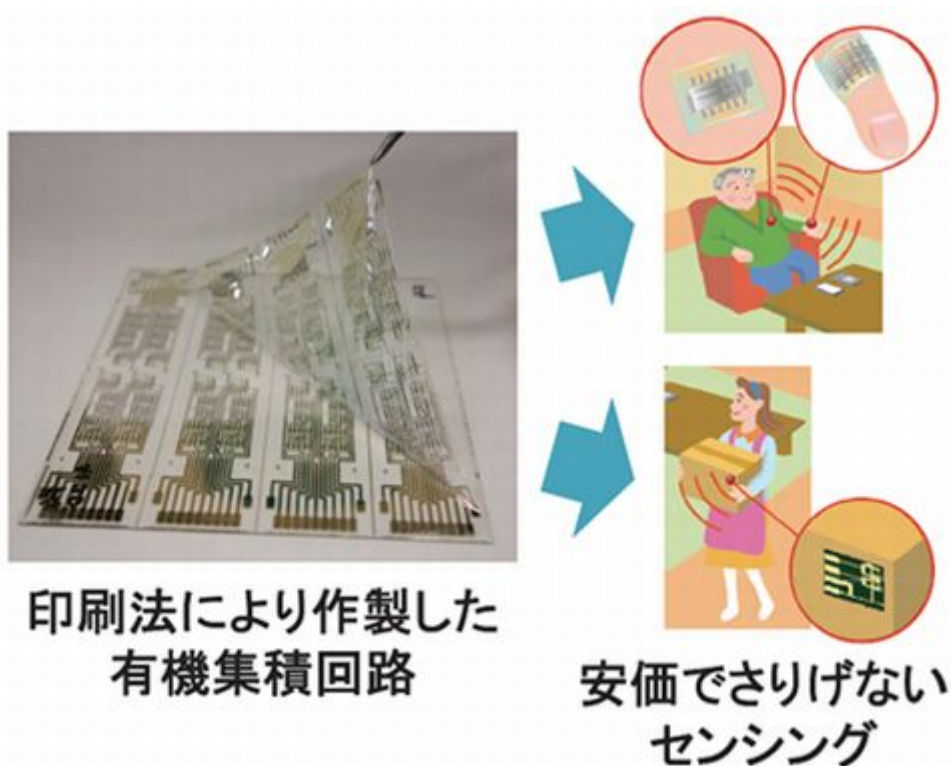


図9 印刷法で作製した有機集積回路と応用
山形大学の資料。

4.2 主な開発技術

図10に、主な開発技術を示す。

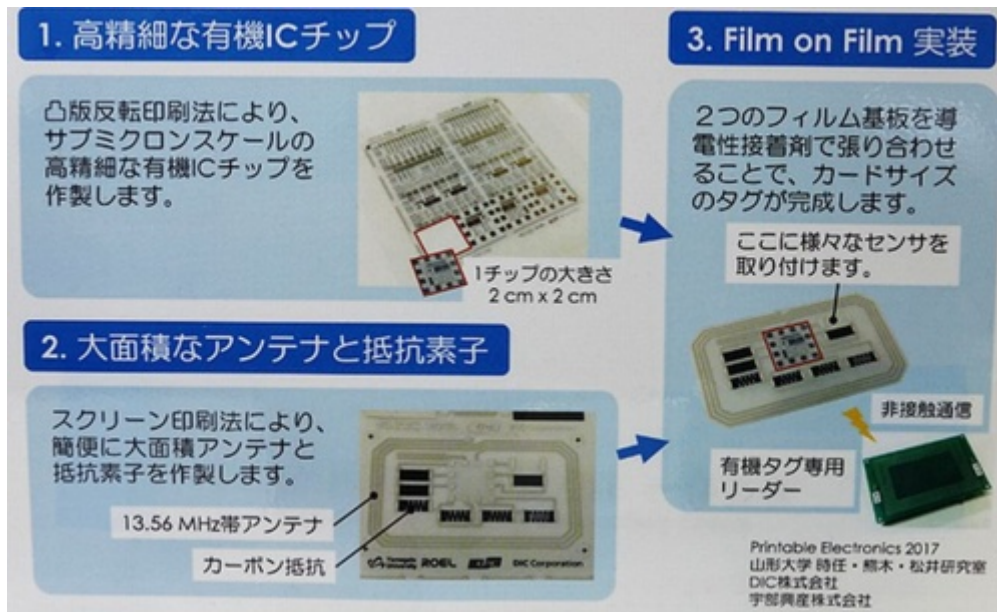


図10 全有機非接触通信タグ
展示ブースで筆者が撮影。

(1) 短チャンネル有機トランジスタの作製方法

凸版反転印刷技術によりサブミクロンスケールの高精細パターンニングを行い、短チャンネル有機TFTを実現した。凸版反転印刷法は、「ブランケットへの全面塗工」「版による不要部分の除去（一次転写）」「基板への転写（二次転写）」の3工程から成る（図11）。凸版反転印刷法による有機デバイス作製技術をさらに向上させることにより、フォトリソグラフィに匹敵する集積度の回路形成が可能になると期待される。

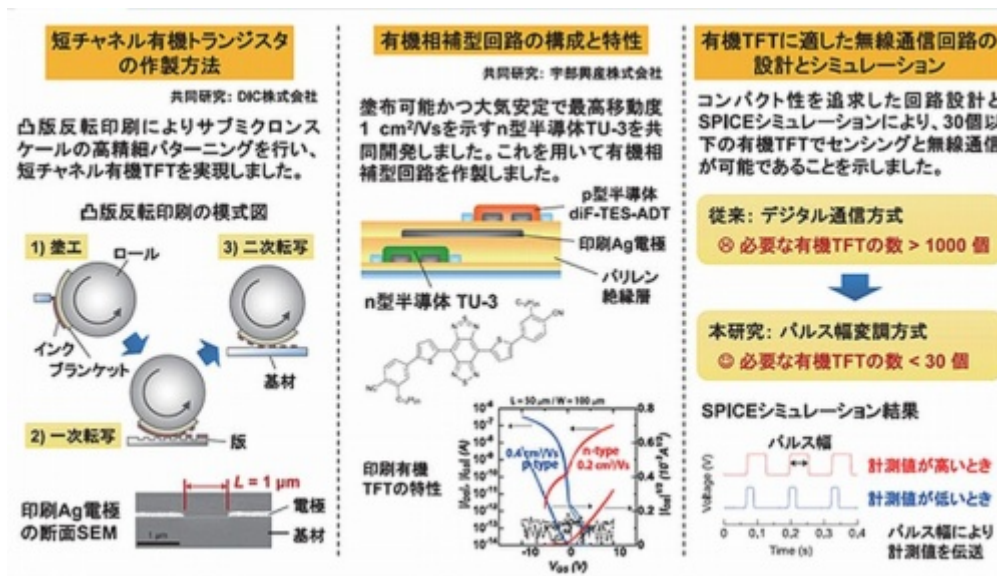


図11 主な開発技術
山形大学の資料。

(2) 有機相補型回路の構成と特性

p型とn型のトランジスタを組み合わせたCMOS回路構成により、有機トランジスタは様々な信号処理を行うことができる。信号処理はアナログとデジタルのいずれも可能で、IoTにおいて非常に重要な機能である。

塗布可能かつ大気安定で最高移動度 $1\text{cm}^2/\text{vs}$ を示すn型半導体「TU-3」を宇部興産と共同開発した。p型半導体「diF-TES-ADT」と組み合わせ、積層型有機CMOS集積回路を印刷法で作製した(図12)。有機半導体膜はインクジェット印刷またはディスペンサーによって形成し、電極と配線は全て銀ナノ粒子インクを用いてインクジェット印刷または凸版反転印刷によって形成した。



図12 凸版反転印刷法による有機回路試作基板と有機非接触通信タグ
展示ブースで筆者が撮影。

(3) 有機TFTに適した無線通信回路の設計とシミュレーション

コンパクト性を追求した回路設計とSPICEシミュレーションにより、30個以下の有機TFTでセンシングと無線通信が可能であることを示した。従来のデジタル通信方式では、必要な有機TFTの数は1000個以上となる。一方、開発したパルス幅変調方式であれば、30個以下で実現できる(図11)。また、シミュレーション結果も合わせて示した(同図)。

5. おわりに

山形大学 有機トランジスタ研究部門センター長で卓越研究教授の時任静士氏から、展示の説明をいただいた。研究部門では、材料からデバイスまでをアンダーワンループで網羅することが大きな目標とのこと。

「これまで以上に、材料・プロセス・回路・情報・バイオの分野横断的な取り組みが必要。分野の垣根を取り払い、プリンテッドエレクトロニクスがますます発展していくように

努めていきたい。ここで紹介した研究成果以外にも、多くの取り組みを進めている。今後はさらなる新分野の開拓に挑戦していくつもりである。単なる学術論文レベルで終わるのではなく、社会実装できる形でつなげたい。それが研究者としての責務と考える」（時任氏）。

頼もしいお言葉。もうかってなんぼである。

この記事のURL：<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/16/030706617/>

Copyright © 2017 Nikkei Business Publications, Inc. All Rights Reserved.

このページに掲載されている記事・写真・図表などの無断転載を禁じます。著作権は日経BP社、またはその情報提供者に帰属します。