印刷講座（第6講）
J. Jpn. Soc. Colour Mater., **94**〔8〕，234-241（2021）

プリンテッドエレクトロニクスの新展開

時任静士*,†

*山形大学有機エレクトロニクス研究センター　山形県米沢市城南4-3-16（〒992-8510）
† Corresponding Author, E-mail: tokito@yz.yamagata-u.ac.jp

（2021年6月29日受付，2021年7月16日受理）

要　　旨

近年，膨大な数のセンサを社会に実装する“Society 5.0”の実現が提言されている。そのためには，多種多様なデータを吸い上げるセンサシステムが必要不可欠である。これらの社会ニーズに応えられる新しいセンサ製造技術として，また新しいセンサデバイス創成の観点からプリンテッドエレクトロニクスへの期待が高まっている。本稿では，筆者らが進めている研究開発を中心に，この分野の印刷技術，印刷可能な材料，そして各種のフレキシブル印刷センサを紹介する。センサの種類としては，温度センサ，圧力センサ，歪みセンサ，湿度センサに特化し，センサ構造と特性を示す。また，新しい潮流として，既存のシリコン技術も活用したフレキシブルハイブリッドエレクトロニクスについて，ヘルスケアや物流への応用を検討しているので紹介する。

キーワード：プリンテッドエレクトロニクス，センサ，印刷技術，フレキシブルハイブリッドエレクトロニクス

1. はじめに

近年，材料を溶液状にして塗るという印刷法で，その材料の固体薄膜を基板上に形成するプリンテッドエレクトロニクス（印刷エレクトロニクス）が注目されている。それにかかわる研究開発は国内だけでなく，欧州や米国，アジアの各国で精力的に進められている[1,2]。印刷法の大きな特徴は，真空プロセスを用いたものづくりと比較して，多品種，少量生産や大面積電子デバイスの製造に適していることや，省エネルギーでCO_2排出を抑えた低環境負荷の製造方法にある。また，低温プロセスのため，非常に薄く柔軟，さらには伸縮可能なプラスチックフィルムを基板として使えるため，従来にないフレキシブルあるいはストレッチャブルな電子デバイスが実現できることも挙げられる。

一方で，有機材料の特長を活かしたエレクトロニクスが注目されており，有機ELや有機太陽電池，有機トランジスタ，さらには有機センサの研究が精力的に進められている。有機材料は分子が基本単位であることから低温で溶媒などに溶けやすく，溶液からの乾燥や加熱処理で緻密な固体薄膜を形成することが可能である。つまり，本質的に印刷法を用いたエレクトロニクス，とくにプラスチックや紙などの基材（基板）の上にデバイスを形成するのに適していると言える。

一方で，膨大な数のセンサを社会に実装し，データを吸い上げて利活用することで，生産性や安全性の大幅な向上，さらには健康管理にまで適用しようとするモノのインターネット（IoT）の活用と，新しい社会“Society 5.0”の実現が求められている（**Fig. 1**）[3]。フィジカル空間とサイバー空間を高度に融合させたシステムの実現であり，そのためには，フィジカル空間から高精度に多種多様なデータを吸い上げるセンサシステムが必要不可欠である。たとえば，農作物栽培のための重要な環境情報，工場現場内のインフラ管理情報，物流における冷凍・冷蔵商品の管理情報，ヘルスケアや医療分野での健康状態にかかわる情報など，さらには，自動車やロボット分野でも膨大な数の多種多様な低コストセンサが必要となる。これらの社会ニーズに応えられるのがプリンテッドエレクトロニクスであると考える。筆者らは長年，この分野で，印刷技術，印刷可能な材料の開発，印刷型有機薄膜トランジスタ（TFT）およびその集積回路，各種の印刷センサ，さらにはその応用技術まで網羅した研究開発を行ってきた[4,5]。本稿では，センサの研究を中心にその作製技術，デバイス，応用展開について最新技術を紹介する。

2. 印刷法によるデバイス作製技術

配線や電子デバイスを印刷法で実現するには，「印刷材料」，つまりインク（ペースト），それをパターン形成する「印刷プロセス」，および「デバイス」そのものの高い専門性が必要となる（**Fig. 2**）。この三つの分野が連動することで最適な条件が整い，実用化に耐えるエレクトロニクスが実現できる。従来の加飾の分野とは大きく異なり，印刷パターンの精細度や膜質が非常に重要となる。とくに，印刷薄膜の電気的特性が要求性能を満足する必要がある。また，何層にも重ね合わせて異なるパターン

〔氏名〕ときとう　しずお
〔現職〕山形大学有機エレクトロニクス研究センター長，卓越研究教授
〔趣味〕旅行，映画観賞，少林寺拳法
〔経歴〕1987年九州大学大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士），同年同大学院助手。1989年米国カリフォルニア大学サンタバーバラ校博士研究員。1990年豊田中央研究所研究員。2001年NHK放送技術研究所主任研究員。2009年には同研究所研究部長。2010年山形大学大学院理工学研究科卓越研究教授。2015年から現職。

【図表について】電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai/-char/ja/

© 2021 Journal of the Japan Society of Colour Material