

同時発表：

筑波研究学園都市記者会（資料配布）

文部科学記者会（資料配布）

科学記者会（資料配布）



1 ミクロンの解像度で電子回路を印刷

～フレキシブル基板上で成功 ウェアラブルデバイス等の応用に期待～

配布日時：平成28年5月13日14時

解禁日時：平成28年5月17日19時

国立研究開発法人 物質・材料研究機構

株式会社コロイダル・インク

概要

1. 国立研究開発法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトゥクス研究拠点の三成剛生 MANA 独立研究者のグループと、株式会社コロイダル・インクからなる研究チームは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）若手研究 Grant 事業の支援を受け、線幅・線間1ミクロンの解像度で金属配線および薄膜トランジスタ（TFT）⁽¹⁾を形成する印刷技術を開発しました。この手法によってフレキシブル基板上にチャンネル長1ミクロンの有機 TFT⁽²⁾を形成し、実用レベルの動作を確認しました。

2. 機能性材料をインクに溶解し、印刷技術を用いて電子素子を作製するプリンテッドエレクトロニクス⁽³⁾は、低コスト・大面積の新しい半導体素子形成技術として近年注目を集めています。この技術を使えばフレキシブルな基板にも電子素子を作成できるため、ウェアラブルデバイス等の新しいアプリケーションが可能になると期待されています。しかし、従来の印刷技術では、配線や素子の線幅は数10ミクロン以上であり、実用化レベルの微細な素子を形成することができませんでした。そのため、数ミクロン以下の配線を再現性良く作製できる印刷技術の開発が強く望まれておりました。

3. 今回、研究チームは、フレキシブル基板上に1ミクロンの金属配線を形成可能な印刷技術を開発し、微細な有機 TFT の形成を行いました。印刷技術の原理は、波長200nm以下の真空紫外平行光（PVUV）⁽⁴⁾を照射することで表面に微細な親水・疎水性パターンを形成し、金属ナノインク⁽⁵⁾を親水性パターン上へ選択的に塗布するものです。PVUV光源として、ウシオ電機が開発した真空紫外平行光照射ユニットを用いることで、従来の光源と比較して大幅な微細化を行いました。金属ナノインクはコロイダル・インク製の常温導電性インク DryCure-Au を用いることで、素子・配線の形成をすべて常温で行うことにも成功しました。その結果、熱によるフレキシブル基板の歪みが完全に抑制され、ミクロンオーダーの配線の正確な形成と積層が可能になりました。この方法で形成したチャンネル長1ミクロンの有機 TFT では、精度の問題から従来は不可能であったゲートオーバーラップ長⁽⁶⁾の制御も完全に行い、実用レベルの移動度⁽⁷⁾ $0.3 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ を達成しました。

4. 今後、この成果を用いて実際のアプリケーションへの応用を目指していきます。開発したプロセスは生体に近い材料へも適用可能で、医療・バイオエレクトロニクス等の分野への応用も期待されます。

5. 本研究成果は、Advanced Materials 誌オンライン版に平成28年5月17日（現地時間）に掲載予定です。

研究の背景

可溶性有機半導体や金属インクを様々な印刷技術でパターンニングするプリントドエレクトロニクスは、大面積・低コストの電子素子作製技術として大きな注目を集めています。様々な印刷方式が検討されることで、印刷配線の解像度も高まってきましたが、フォトリソグラフィーによって数ミクロン程度の線幅・間隔で配線を形成している従来技術と比較するとパターンの密度や精度は劣っており、実用化に向けてより高い解像度の実現が求められています。

NIMS の国際ナノアーキテクニクス研究拠点の三成剛生 MANA 独立研究者のグループと株式会社コロイダル・インクは、共同でプリントドエレクトロニクスの開発を行い、平成 26 年には「有機薄膜トランジスタを室温印刷によって初めて形成」という発表を行いました。これは、有機 TFT のすべての層を室温における印刷プロセスで形成するものであり、加熱の必要がないことから様々なフレキシブル基板の適用が可能となる成果でした。当時は 10~100 ミクロン程度の線幅で配線を形成していましたが、実用化に向けてさらなる解像度の向上が必要となっていました。

研究内容と成果

今回、研究チームは、線幅・線間隔 1 ミクロンの金属配線が形成可能な新しい印刷法を開発しました。この印刷の原理は、波長 200 nm 以下の紫外線をポリマー表面に照射することで、表面に微細な親水・疎水性パターンを形成し、金属ナノインクを親水パターン上へ選択的に塗布するものです。疎水性のポリマーには、短波長紫外光を露光すると、表面の光化学反応によって親水性に変化するものがあります。研究チームでは、このような親水・疎水性パターンによる印刷は以前より行っていましたが、従来の拡散光源に替えてより直進性の高い PVUV 照射ユニット（ウシオ電機製）を用いることで、親水・疎水性パターンの解像度が飛躍的に向上し、結果として従来より非常に優れた印刷の解像度を実現することができました。金属ナノインクはコロイダル・インク製の常温導電性インク DryCure-Au を用いることで、素子・配線の形成をすべて常温で行うことにも成功しました。その結果、熱によるフレキシブル基板の歪みが完全に抑制され、ミクロンオーダーの配線の正確な形成と積層が可能になりました。

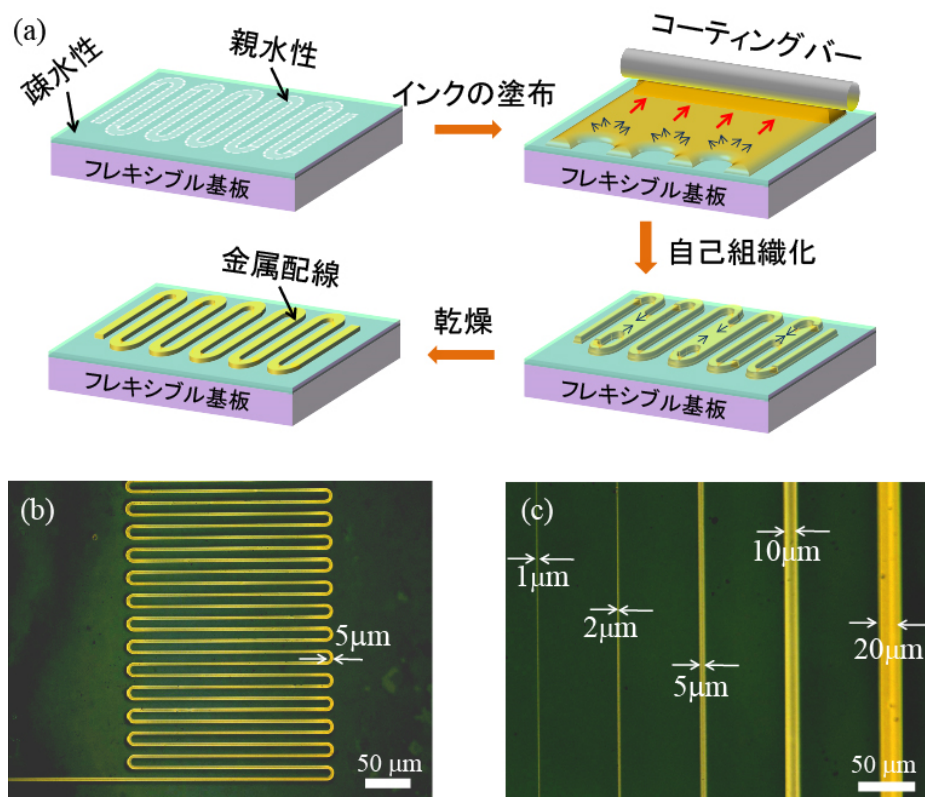


図1 選択的塗布技術による微細配線の形成。(a) 選択的塗布技術の模式図。PVUV 照射によって親水化した部分にのみ金属インクを塗布する。(b) 選択的塗布によって形成した線幅 5 ミクロンの金属配線。(c) 異なる線幅で形成した配線。1 ミクロンの線幅も可能。

この選択的塗布による印刷技術を用いて、チャンネル長1ミクロンの有機TFTの形成も行いました。すべて常温プロセスで素子を形成しているため、熱歪みによる影響を受けることなく、有機TFTの各層を正確に積層することが可能になりました。今回開発した方法を用いることで、精度の問題から従来は不可能であったゲートオーバーラップ長の制御も完全に行うことができるようになり、半導体への電荷注入に最も有利な素子構造を決定できるようになりました。その結果、チャンネル長1、3、5ミクロンの素子で、移動度はそれぞれ0.3、0.9、1.5 $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ となっています。

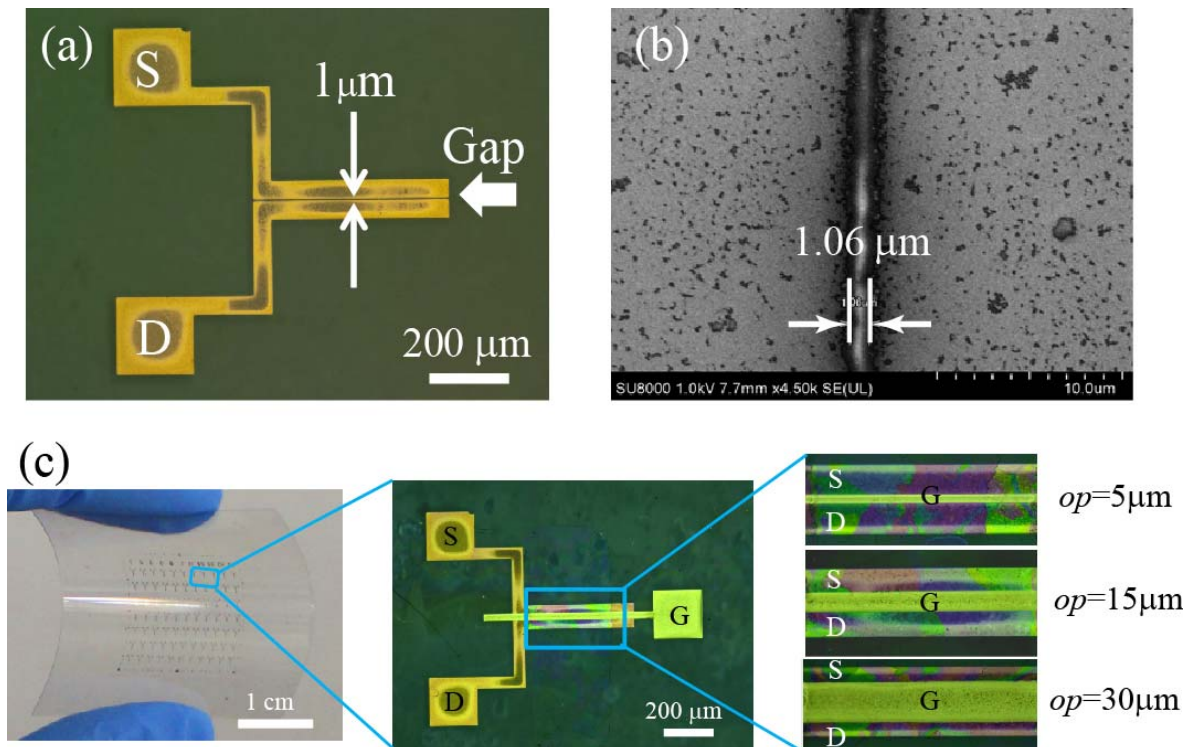


図2 選択的塗布によって形成したチャンネル長1ミクロンの有機TFT。(a) 1ミクロンのギャップを持つ印刷電極。(b) 1ミクロンギャップの走査電子顕微鏡像。(c) プラスチックフィルム上に形成した有機TFT。ゲートオーバーラップ長も正確に制御できる。

今後の展開

本研究で開発した PVUV を用いた選択的塗布技術によって、プリントドエレクトロニクスにおいて数ミクロン以下の配線も正確に制御することが可能になりました。フレキシブル基板にも適用可能であるため、従来にない精密で高精度なフレキシブル素子の開発ができるようになりました。このことから、今後のプリントドエレクトロニクスの研究が飛躍的に加速すると期待されます。

また、今回開発したプロセスでは一切の加熱処理が必要ないため、原理的にはあらゆる材料の表面に回路を印刷することが可能となります。従来想定されていたエレクトロニクス分野のみでなく、医療やバイオといった様々な分野への波及が期待されます。

掲載論文

題目：Spontaneous Patterning of High-Resolution Electronics via Parallel Vacuum Ultraviolet

著者：Xuying Liu, Masayuki Kanehara, Chuan Liu, Kenji Sakamoto, Takeshi Yasuda,
Jun Takeya, and Takeo Minari*

雑誌：Advanced Materials

掲載日時：2016年5月17日

用語解説

(1) 薄膜トランジスタ (Thin-film transistor : TFT)

基本的にソース、ドレイン、ゲートの3端子からなるスイッチング素子であり、主にディスプレイのバックプレーン等に用いられる。

(2) 有機薄膜トランジスタ (Organic thin-film transistor)

活性層として有機半導体を用いた薄膜トランジスタの一種。

(3) プリンテッドエレクトロニクス (Printed Electronics)

従来の半導体作製技術とは異なり、印刷技術を用いて電子素子や回路等を形成するエレクトロニクス作製技術。金属や半導体材料をインク化し、基材の表面にパターンニングすることで行う。高価な真空装置を用いず、スループットも高いと想定されることから、エレクトロニクスの低コスト化が見込まれる。

(4) 真空紫外平行光 (Parallel Vacuum Ultraviolet)

波長 200 nm 以下の紫外線 (真空紫外光) の中でも特に直進性の高い (拡散しない) 光。

(5) 金属ナノ粒子インク (Metal nanoparticle ink)

金属を 1-100 nm 程度のサイズの粒子にし、配位子によって溶液に分散させたもの。金属インクとしてプリンテッドエレクトロニクスに使用できる。一般的には塗布後に焼成することで金属皮膜を得ることができる。今回用いたコロイダル・インク製 DryCure では、焼成なしでも金属皮膜を得ることが可能。

(6) ゲートオーバーラップ長 (Gate overlap length)

TFT において、ソース・ドレイン電極とゲート電極との重なり (オーバーラップ) の幅。有機 TFT では、電極から半導体への電荷注入特性に重要である。

(7) 移動度 (Mobility)

物質の中を電子 (あるいは正孔) が移動する速度のこと。薄膜トランジスタの動作速度の指標としても用いられる。一般的に用いられる単位は $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ である。

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点

MANA 独立研究者 三成 剛生 (みなり たけお)

E-mail: MINARI.Takeo@nims.go.jp

TEL: 029-860-4918

URL: <http://www.nims.go.jp/group/minari/>

(金属ナノインクに関すること)

株式会社コロイダル・インク

代表取締役 金原 正幸 (かねはら まさゆき)

E-mail: info@cink.jp

TEL: 0866-92-5111

URL: <http://cink.jp/>

(報道・広報に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 経営企画部門 広報室

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017

E-mail: pressrelease@ml.nims.go.jp