

## ナノ印刷技術による伸縮自在な大面積シート集積回路 Stretchable Large-Area Integrated Circuits by Nano- Printing Technology

染谷 隆夫 (SOMEYA TAKAO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授



### 研究の概要

ナノ印刷技術を駆使して、あらゆる局面を覆うことができるゴムのように伸縮自在な大面積シート集積回路を実現し、ヒトと機械のシームレスなインターフェースを実現することをねらいとする。特に、アトリットル・インクジェット印刷と自己組織化単分子膜を融合した独自のナノ印刷技術を確立し、有機トランジスタをナノ寸法まで微細化、高性能化し、機械的特性に優れた大面積シート型集積回路を実現する。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：有機トランジスタ、フレキシブルトランジスタ

### 1. 研究開始当初の背景

有機トランジスタは、機械的フレキシビリティや、印刷やリール・ツー・リールプロセスを利用して、大面積の集積回路が低コストで作製できるといった、シリコンを中心とした既存の電子デバイスにはない優れた特徴を有することで注目を集めている。本研究では、ナノ印刷技術を駆使してゴムのように伸縮自在な大面積シート集積回路を実現することをねらう。

### 2. 研究の目的

ナノ印刷技術を用い、機械的特性に優れた伸縮自在な大面積シート集積回路の実現を目指す。作製プロセスにおいてはアトリットル・インクジェット印刷と自己組織化単分子膜を融合したナノ印刷技術を確立し、有機トランジスタをナノ寸法まで微細化することで、周波数特性の向上を狙う。特に、インク材料においてもナノ粒子と分散剤の最適化を行い調整する。印刷プロセスで製造された有機トランジスタとしては世界最高性能である駆動電圧 3V でカットオフ周波数 1MHz を達成する。また、伸縮導体と有機トランジスタを高度に集積化し、自由曲面にも貼れるゴムのような伸縮自在の大面積シート集積回路を実現する。また、自己組織化ナノ材料を

ゲート絶縁膜としてではなく、デバイスの界面へ展開することで、機械的にも電氣的にも優れた界面を実現し、フレキシブル、ストレッチャブルエレクトロニクス of 折り曲げ時、伸縮時の安定性を飛躍的に向上させることを目的とする。

### 3. 研究の方法

伸縮自在の大面積シート集積回路を実現するため、伸縮性電子材料のデバイス物理・界面物性を解明し、さらに作製技術を確立する。

まず、ナノ印刷技術によって、有機トランジスタのチャンネル長をサブミクロン寸法まで微細化し、次年度に有機トランジスタで世界最高性能の駆動電圧 3V でカットオフ周波数 1MHz を達成する。同時に、伸縮自在のカーボンナノチューブ導体材料を実現し、次年度にインクジェットでナノチューブの微細パターンを形成することによって、機械的に信頼性の高い配線を実現する。

特に、世界初の伸縮自在な集積回路の実現に向け、これまで集積回路では全く用いられてこなかったゴムやゲルを配線・コンタクトの材料に応用する。これらの基礎物理・界面物性を解明し、更に、この知見を最大限に活用した伸縮性のある大面積シート集積回路

を実現して、自由曲面に貼り付けた状態での動作を確認する。

#### 4. これまでの成果

初年度は、まず印刷プロセスで有機トランジスタをナノ寸法に微細化し、実用レベルまで性能を向上させた。また、カーボンナノチューブをゴムに均一に分散させる技術を開発し、伸縮性のある配線を実現した(導電率 57S/cm と伸張性 38%を同時実現)。

更に、H21 年度は、ナノチューブをゴムの中に均一分散させる技術を進めることで、ナノチューブ・ゴムのコンポジットを作製し、印刷手法を用いて微細にパターンニングする技術を確認した。具体的には、導電率 100S/cm で伸縮率 30~40%、導電率 10S/cm で伸縮率 100%を示す新しい伸縮性導体の開発に成功した。特に、新しい分散方法により、ペーストの粘性を 10Pas 以上まで向上させ、スクリーン印刷を用いて 100 ミクロンのパターンニングを行うことができた。これを用い、世界で初めてアクティブマトリクス駆動の伸縮性有機 LED ディスプレイの作製に成功した。一連の成果は、2009 年 5 月の Nature Materials 誌に掲載された。

有機トランジスタの高性能化と高速動作かに関しては、自己組織化単分子膜をゲート絶縁膜に用いる技術開発をさらに進め、2V 駆動で移動度  $2\text{cm}^2/\text{Vs}$  を実現するなど、特筆すべき成果を上げることができた。

この低電圧駆動可能で高性能有機トランジスタを用いて、世界初の有機フラッシュメモリ(有機フローティングゲートトランジスタアレイ)の作製に成功した。これは、作製プロセスが容易であるばかりでなく、世界最低駆動電圧のフレキシブル不揮発性メモリである。一連の成果は、Science 誌に掲載された。

H22 年度には、伸縮導体のゴム材料をさらに幅広く展開し、基板との密着性を制御できる新しいナノ材料分散技術の開発に成功した。また自己組織化ナノ材料の製膜技術を用い、曲率半径が 0.1~0.3mm に曲げられる有機トランジスタの試作に成功した。「くしゃくしゃに折り曲げても丸めても特性が劣化しないウルトラ・フレキシブル」な有機 CMOS リング・オシレータや TFT(薄膜トランジスタ)アレイ・シートとして、2010 年 11 月の Nature Materials 誌に掲載された。

#### 5. 今後の計画

次世代のユビキタス社会においては、広い面積を覆うようなシート型のデバイス

が求められる。本研究は、印刷プロセスで有機トランジスタをナノ寸法に微細化し、実用レベルまで性能を向上させる技術を確認することで、大面積性に優れた有機トランジスタの活躍の場を広げる。更に、学術的な寄与として、ゴムやゲルを配線・コンタクトの材料に応用することで、伸縮性電子材料・デバイスの基礎物理・界面物性を解明し、伸縮性エレクトロニクスという新分野の基礎を確認する。

#### 6. これまでの発表論文等

査読付論文 計 21 件(下記、代表論文)

1) T.Sekitani, U.Zschieschang, H. Klauk, T.Someya, “Flexible organic transistors and circuits with extreme bending stability”, Nature Material 9, 1015-1022 (2010)

2) T.Sekitani, T.Yokota, U.Zschieschang, H.Klauk, S.Bauer, K.Takeuchi, M.Takamiya, T.Sakurai, T.Someya, “Organic Non-volatile Memory Transistors for Flexible Sensor Arrays”, Science, Vol. 326, pp.1516-1519 (2009)

3) T.Sekitani, H.Nakajima, H.Maeda, T.Fukushima, T.Aida, K.Hata, T.Someya, “Stretchable active-matrix organic light-emitting diode display using printable elastic conductors”, Nature Materials, Vol. 8, pp. 494-499 (2009).

4) T.Sekitani, Y.Noguchi, K.Hata, T.Fukushima, T.Aida, T.Someya, “A Rubberlike Stretchable Active Matrix Using Elastic Conductors”, Science, Vol. 321, pp. 1468-1472 (2008). Science Express.1160309 (2008)

解説論文 5 件

著書・編著 5 件

国際学会(招待) 99 件(64 件以上)

国内学会(招待) 53(25 件以上)

受賞 5 件

・第 13 回エレクトロニクスソサエティ賞, 電子情報通信学会, 2010

・第 23 回日本 IBM 科学賞, IBM, 2009

・第 5 回日本学術振興会賞, 日本学術振興会, 2009

・第 9 回ドコモ・モバイル・サイエンス賞, ドコモ, 2010

・第 1 回電子情報通信学会電子ディスプレイ先端研究開発賞, 電子情報通信学会電子ディスプレイ研究専門委員会 (EID), 2010

ホームページ等

<http://www.ntech.t.u-tokyo.ac.jp/>