

## 電子皮膚応用を目指した

## カーボンナノチューブトランジスタの大規模集積化技術

## Large-scale integration of carbon nanotube transistors for an artificial electronic skin

大阪府立大学<sup>1</sup>, カリフォルニア大学バークレー<sup>2</sup> °竹井 邦晴<sup>1,2</sup>, Ali Javey<sup>2</sup>Osaka Pref. Univ.<sup>1</sup>, Univ. California, Berkeley<sup>2</sup>, °Kuniharu Takei<sup>1,2</sup>, Ali Javey<sup>2</sup>

E-mail: takei@pe.osakafu-u.ac.jp

【はじめに】近年、次世代デバイスとしてウェアラブルデバイス又はフレキシブルデバイスが注目を集めている。本デバイス実現には、トランジスタやセンサなどアクティブ材料のフレキシブル基板(プラスチック、紙、布など)上への形成が必要不可欠である。これまで電子デバイスに用いられてきた無機半導体材料は、ウェハレベルでの使用のため機械的フレキシブル化は困難であった。この問題を解決するため、本研究では機械的に柔軟且つ高い移動度を有する無機半導体ナノ材料(ここではカーボンナノチューブ(CNT))をフレキシブル基板上へ印刷することにより高性能フレキシブルデバイスを実現することを提案する。ナノチューブトランジスタ特性の解析、さらにアクティブマトリクス回路及び増幅器を集積化させた圧力、温度、光のイメージングを可能にする多機能電子皮膚(e-skin)についても報告する。

【実験・結果】まず高性能半導体の大面積化実現へ向け市販されている 99% 半導体の CNT インクの印刷技術を開発した。インクの高密度、均一性を実現するため単分子膜のポリ-L-リシンをポリイミド基板表面に修飾した。この CNT を用いてトランジスタ(TFT)を作製し、さらに触覚圧力、温度、光のセンサと増幅器を集積化させたアクティブマトリクス回路(16×16 アレイ)の e-skin を作製した(図 1a-c)。得られた CNT の密度は  $10/\mu\text{m}^2$  であり、電界効果移動  $\sim 25\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、On/Off 比  $> 10^3$ 、ばらつき  $\sim 10.5\%$  のトランジスタをフレキシブル基板上に実現した(図 1d)。CNT-TFT を 1024 個、センサ合計 768 個を約 4cm 角のポリイミド基板上へ集積化させた。図 1e, f には触覚圧力の二次元分布を示す。

【まとめ】本報告において、半導体 CNT をフレキシブル基板上へ印刷することにより大面積、高性能、多機能 e-skin を実現した。本技術は、e-skin 応用のみに限らず、様々な異種基板上への高性能デバイス実現へ応用することが可能であり、今後の発展が大いに期待できる。

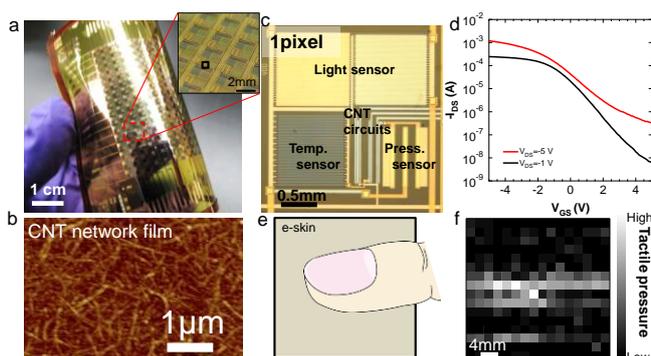


図 1. (a) アクティブマトリクス集積多機能 e-skin (16×16 アレイ), (b) トランジスタのチャネル部分の CNT ネットワークの AFM 像(c) 1 ピクセルの顕微鏡写真, 各ピクセル, 光, 温度, 圧力センサ及び増幅器を集積, (d) CNT-TFT の電気特性, (e)(f) e-skin によって得られた 2 次元圧力分布