

カーボンナノチューブとナノ Ag の複合体の印刷配線の作製と有機デバイスへの応用

Fabrication of carbon nanotube and nano Ag electrodes for organic devices

信州大工¹、高田 明典¹、金井 涼¹、伊東 栄次¹Shinshu Univ.¹, Akinori Takada¹, Ryo Kanai¹, Eiji Itoh¹

Email: eitoh@shinshu-u.ac.jp

1. まえがき 有機エレクトロニクスデバイスは柔軟で可溶性を付与した材料を用いることで、低コスト化に有利な印刷ベースの薄膜形成やフレキシブル、軽量という特徴を持つ。高性能なデバイス作製には μm オーダーの電極等のパターン分解能が要求されるが、既存のスクリーン印刷等では困難であり、インクジェット法はスループットや厚さむらの問題がある。また、フォトリソグラフィを用いた後工程でのパターン化は薬品による他の下地材料へのダメージやエッチングによる廃材の問題も懸念される。こうした中でソフトリソグラフィは高分解能の直接印刷を可能とし、原理的には大面積なものでも安く素早く作ることができる。^[1] また、近年、Au、Cu、Ag 等の直径 10nm 前後のナノ粒子からなるナノメタルインクの開発が進められ、微細パターン化に加えて低温での電極形成が期待できる。しかし、ナノメタルを凝集して得られる金属膜は多結晶であり多くの粒界があり、そこが抵抗増加や断線の原因となりフレキシブル化や耐電流密度向上の弊害となる。^[2] 一方、カーボンナノチューブ(CNT)はナノ Ag と比べて導電性は低いが、曲げに強く、耐電流性が高い。^[3] そこで、本研究では両者の利点を合わせたナノ Ag と CNT の複合配線パターンをソフトリソグラフィにより作製し、さらに有機トランジスタの電極にも応用した。

2. 実験方法 CNT 配線はナノインプリント技術で凸版加工した PDMS スタンプに CNT を塗布し、一旦分散剤を除去してから温度制御して加圧して転写した。ナノ Ag 配線は同スタンプにナノ Ag を塗布し転写後、150°C で加熱処理して作製した。複合配線は CNT とナノ Ag の分散液を塗布後転写し、加熱して作製した。抵抗率やシート抵抗は長さを変えた配線の抵抗を 2 端子法で測定し長さと抵抗の関係から算出した。有機トランジスタの作製はまずパターン化した ITO 付きのガラス基板上に poly(methyl-methacrylate)(PMMA) を凸版に塗布し転写した。次に平らな PDMS スタンプ上全体に、P3HT を塗布し不要な部分を抜きとった後転写した。電極として MWCNT、ナノ Ag、それらの複合体を転写した。作製した有機トランジスタの素子構造を図 1 に示した。チャンネル幅は 2mm、チャンネル長は 40 μm とした。トランジスタ特性は真空チャンバー内で約 30°C で測定した。

3. 結果と考察 MWCNT、ナノ Ag、複合体の抵抗率は 8×10^4 、82、 $6.4 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ となった。ナノ Ag より複合体の方が約 1 桁抵抗が下がり、複合化が低温形成した配線の低抵抗化に有効であることが分かった。図 2 に作製した有機トランジスタのトランスファ特性を示した。MWCNT、ナノ Ag、複合体の素子におけるゲート絶縁層の厚さは 0.6、1.4、1.5 μm となった。図から求めた移動度はそれぞれ 3.7×10^{-3} 、 2.0×10^{-4} 、 $3.1 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、閾値電圧は -5、-15、-6 V、オン/オフ比は 6.4×10^3 、 1.5×10^3 、 4.1×10^4 となった。P3HT の HOMO 準位が 4.9eV なのに対し Ag、MWCNT の HOMO 準位は 4.5-4.7eV、4.8-5.0 eV であるので、ナノ Ag より MWCNT の移動度が高いのは電極から P3HT へ移動する正孔の注入障壁が低いためだと考えられる。複合体は接触抵抗と配線抵抗を下げられるためもっとも移動度が上がったと考えられる。詳細は当日報告する。

4. 謝辞 本研究の一部は JST の FS ステージ(探検)「カーボンナノチューブ/ナノメタル複合体配線の実用化にむけた要素技術開発」(課題番号 AS242Z02102J)により行われた。

参考文献

- [1] 菅沼克照監修, プリンテッドエレクトロニクス技術最前線, シーエムシー出版, (2010)
 [2] Da Zhao, Tao Liu, Jin Gyu Park, Mei Zhang, Jen-Ming Chen, Ben Wang, Conductivity enhancement of aerosol-jet printed electronics by using silver nanoparticles ink with carbon nanotubes, Microelectronic Engineering 96(2012)71-75
 [3] 大竹尚登 榎本和城 安原鋭幸, カーボンナノチューブ複合材料, 日本複合材料学会誌 (28-6-2002), P. 220-227
 [4] Yuan Yuan Zhang, Yumeng Shi, Fuming Chen, S.G. Mhaisalkar, Lain-Jong Li, Beng S. Ong, Yiliang Wu, Poly(3,3'-didodecylquaterthiophene) field effect transistors with single-walled carbon nanotube based source and drain electrodes, APPLIED PHYSICS LETTERS 91, 223512(2007)

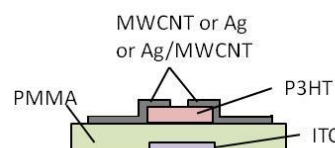


図 1 OFET の素子構造

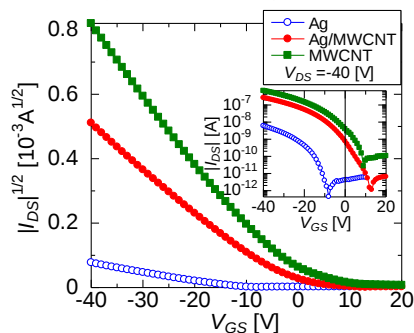


図 2 MWCNT、ナノ Ag 複合体電極のトランジスタのトランスファ特性