

塗布型電子材料の物質科学と高性能 TFT への応用

Materials Science of Applicable Electronic Materials and Its Use for High-Performance TFTs

東大院工¹, 産総研 FLEC² 長谷川 達生^{1,2}

Univ. Tokyo¹, AIST-FLEC² Tatsuo Hasegawa^{1,2}

E-mail: t-hasegawa@ap.t.u-tokyo.ac.jp

常温・常圧付近における「塗布」を用いて薄膜トランジスタ (TFT) を構築するプリンテッドエレクトロニクス技術は、ここ数年で、半導体・電極配線・絶縁体の各層を印刷するための材料・プロセス技術が大きく進化してきた。半導体については、TFT 構造の形成と高性能化に適した、層状結晶性の高い有機半導体材料に焦点が絞られている。特に溶液を用いた塗布プロセスは、気液界面近傍における分子の自己組織化による高均質薄膜の自発的な形成に有利であり[1]、真空プロセスと比べ高性能 TFT の製造により適している。層状ヘリンボーン型分子パッキング構造は、高い層状結晶性を得る上で有効であり、さらにパイ電子骨格をアルキル鎖で非対称置換した分子を用いると、非対称部位が層間方向に向きを互い違いにして並んだ 2 分子膜型積層構造を形成するため、層状結晶性はさらに増強される[2–4]。高精度量子化学計算により、パイ電子骨格間、及びアルキル鎖間の分子間引力が重畳し、これら層状分子配列構造が安定化することが明らかになっている[4]。これら材料を用いて、2 分子膜の積層数を制御した単結晶薄膜の構築や[5]、単層のみの層厚を持つ大面積超薄膜の構築[6]も可能である。以上の理解を基盤に、有機分子性物質の無限に近い設計可能性を活かし、電極からのキャリア注入効率を高める分子設計や、高い溶解性と耐熱性等を兼ね備えた材料高度化が、実用化を見すえた今後の研究の試金石になると考えている。

一方電極配線については、印刷法により高精細な金属配線パターンを形成できることが最近示された[7]。そこでは銀ナノインク中の銀ナノ粒子が反応性パターン表面上に化学吸着する新しい仕組みを用いており、従来の印刷の常識を超える、最小線幅 0.8 μm の超高精細な金属配線を簡便・高速・大面積に得ることが可能である。以上の技術は、アルキルアミン基 (+微量オレイン酸) で銀ナノ粒子表面が保護された、特殊な保護基/溶媒組成を持つ銀ナノインクにのみ適用できる。さらなる高度なインク設計と印刷技術の開発には、コロイド中で銀ナノ粒子表面を保護する有機配位子の微視的役割を明らかにする必要がある。さらに、以上の電極配線を有機半導体層の印刷形成技術と組み合わせることで、高性能 TFT の全印刷製造が可能になる。このためには、上記で用いられる高撥水性の絶縁層表面に高均質な半導体層を製膜する技術の開発が必要になる。

プリンテッドエレクトロニクス材料技術は、課題がこのように収斂してきた一方、有機強誘電体[8]等の他の機能性電子材料にも適用範囲が広がりつつある。そこでは、塗布プロセスによる薄層形成機構と一体化した物質科学の詳細な理解と、これにもとづく新材料開発が、今後益々重要になると考えている。[1] Yoneya *et al.* *J. Phys. Chem. C*, 2017. [2] Minemawari *et al.* *APEX*, 2014. [3] Inoue *et al.* *Chem. Mater.*, 2015. [4] Minemawari *et al.* *Chem. Mater.*, 2017. [5] Hamai *et al.* *under review*. [6] Arai *et al.* *under review*. [7] Yamada *et al.* *Nat. Commun.*, 2016. [8] Noda *et al.* *Adv. Mater.*, 2015.