

2011年7月、(独)産業技術総合研究所を中心とする研究グループは、インクジェット印刷により基板上の任意の位置に単結晶の有機半導体膜を作製する技術を発表した。試作した有機薄膜トランジスタ(TFT)は、電界効果移動度が印刷法で作製した従来のTFTの約100倍の値で、現在液晶ディスプレイに用いられている非晶質シリコンTFTや酸化物TFTを超える性能であった。高い移動度を有する単結晶の有機半導体膜をTFTに用いたことで、液晶や有機ELディスプレイの高画質化が図れ、さらにインクジェット印刷技術の適用により、高コストの真空プロセスを不要とし省エネルギーかつ低コストでの製造を可能とする。さらに、高効率で低コストの大面积有機太陽電池の実現の可能性もある。

トピックス3 インクジェットにより高移動度単結晶有機デバイスを作製する技術

有機半導体を用いた電子デバイスは、軽い・薄い・落としても壊れない特徴を持った、より高度なマン・マシン・インターフェースの実現や、印刷技術が利用可能なため、省資源・省エネルギーによる低コストでの生産が期待できる。しかしながら、これまで印刷法によって結晶性の高い有機半導体膜を基板上に形成する技術はなく、非晶質シリコン半導体膜に比較して移動度が低いことが、実用化への課題の一つとなっていた。

2011年7月、(独)産業技術総合研究所を中心とする研究グループは、インクジェット印刷により基板上の任意の位置に単結晶の有機半導体膜を作製する技術を発表した(図表)¹⁾。この技術を用いて試作した有機薄膜トランジスタ(TFT)は、電界効果移動度が平均で $16.4\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を示した。これは、印刷法で作製した従来の有機TFTの約100倍の値で、現在液晶ディスプレイに適用されている非晶質シリコンTFTや酸化物TFTを超える性能である。

単結晶有機半導体膜は、有機半導体($\text{C}_8\text{-BTBT}^*$)を含む半導体インクと結晶化インクの2種類のインクを用い、2基のインクジェットヘッドから塗布して作製された。まず、1基目のインクジェットヘッドから結晶化インクを塗布し、続いて2基目のヘッドから半導体インクを結晶化インクに重ねて塗布して、基板上に3ナノリットルの混合液滴を形成する。混合液滴の内部では、有機半導体は直ちに過飽和状態になり、液滴表面において緩やかに半導体結晶の成長が始まり、最終的には半導体結晶が液滴表面全体を覆う。膜厚は塗布条件により30~100 nmと変えられるが、均一性は極めて高く、膜の表面は分子レベルで平坦である。さらに、基板上に予め親水/疎水表面処理を施して、塗布した液滴の形状を制御することにより、結晶の成

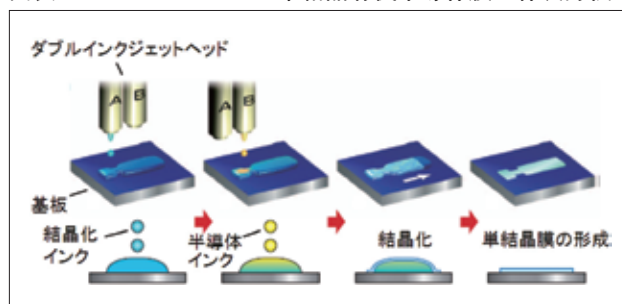
長方向も制御できる。

研究グループでは、単結晶有機半導体膜上に金電極と有機高分子からなる絶縁層を形成し、TFTを試作した。このTFTは高移動度特性を有し、スイッチング電流のon/off比が、実用化されている非晶質シリコンTFTと同等の5~7桁で、8ヵ月空气中に放置した後も電流値減少は10%以下であった。研究グループでは、今後、さらに素子の安定性の向上とともに、電極も含め全印刷方式でのプロセス開発を行う予定である。

大面积への形成が容易なインクジェットによる高移動度単結晶有機半導体膜を用いたことで、液晶や有機ELディスプレイの高画質化が図れ、さらに軽量性やフレキシブル性と併せての用途拡大に可能性がある。また、インクジェット印刷技術の適用によって、これまで半導体膜製造に不可欠であった高コストの真空プロセスを不要とし、省エネルギーかつ低コストでのデバイス製造が可能になる。さらに研究グループでは、有機半導体インクの研究開発が進めば、高効率で低コストの大面积有機太陽電池が実現する可能性もあると考えている。

* $\text{C}_8\text{-BTBT}$: 2,7-diocetyl [1] benzothieno [3,2-b] [1] benzothiophene

図表 インクジェットによる単結晶有機半導体膜の作製方法



参考文献¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

参 考 1) H. Minemawari et. al., "Inkjet printing of single-crystal films", Nature, vol.475, 364 (2011)