

有機半導体をシャボン膜方式で塗布 薄膜トランジスタの特性が理論限界に迫る

印刷技術によって軽量で柔らかな電子回路やデバイスを構築する「プリンテッドエレクトロニクス」。常温常圧の条件の下、インクを塗って溶剤を乾かすだけでデバイスを構築できるため、有機半導体による薄膜トランジスタの実現も期待されています。しかし、性能向上に適したフッ素樹脂などの絶縁層の表面上ではインクが強くはじかれ丸くなってしまい、半導体結晶膜の形成に必要な薄く均質な液膜の形成は困難でした。

東京大学大学院工学系研究科の長谷川達生教授らは、シャボンが枠に薄い液膜を張る仕組みにヒントを得て、インクを強くはじく基板上でも溶液先端の湾曲（メニスカス）を延ばして均質な半導体結晶膜を形成できる



図1 シャボン膜は枠に付着して薄い液膜を保持している。

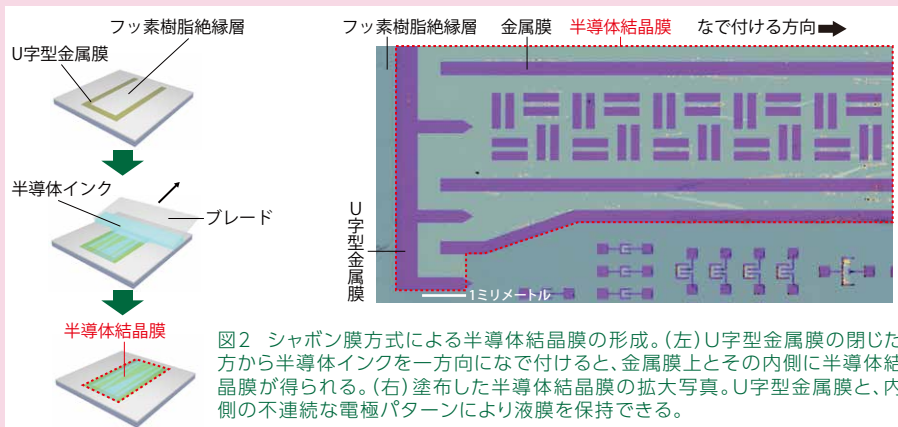


図2 シャボン膜方式による半導体結晶膜の形成。(左) U字型金属膜の閉じた方から半導体インクを一方方向になで付けると、金属膜上とその内側に半導体結晶膜が得られる。(右) 塗布した半導体結晶膜の拡大写真。U字型金属膜と、内側の不連続な電極パターンにより液膜を保持できる。

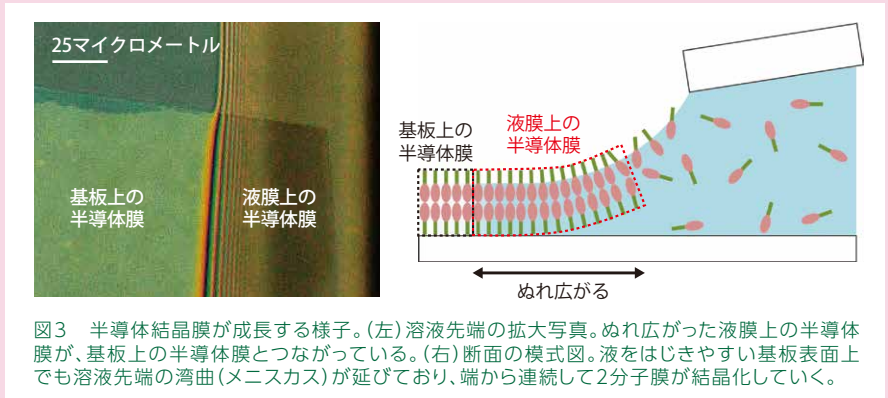


図3 半導体結晶膜が成長する様子。(左) 溶液先端の拡大写真。ぬれ広がった液膜上の半導体膜が、基板上の半導体膜とつながっている。(右) 断面の模式図。液をはじきやすい基板表面上でも溶液先端の湾曲（メニスカス）が延びており、端から連続して2分子膜が結晶化していく。

「拡張メニスカス塗布法」を開発しました(図1)。鍵を握る半導体材料は棒状の有機分子、フェニルベンゾチエノナフトチオフェンです。フッ素樹脂による絶縁層上にU字型の金属膜の枠を形成し、半導体インクをU字の閉じた方から一方向になで付けると、薄さわずか2分子分の半導体膜が金属膜上とその内側にも形成されました(図2)。

膜形成の様子を顕微鏡で観察したところ、U字型の枠で三方を囲われた領域内では溶液がはじかれずにぬれ広がっていました(図3)。シャボン膜の端が枠に付着し、その内側で薄い液膜が保持される現象と似ています。

できた半導体膜を調べた結果、有機

分子が秩序良く並んだ均質な単結晶で構成されていることが確認されました。また、この成膜法で薄膜トランジスタを作製し電気特性を評価したところ、2ボルト以下の低電圧で安定して駆動し、室温動作での理論限界に近いオンオフ応答を示しました(図4)。全て常温常圧の塗布工程により、優れた薄膜トランジスタの開発に成功しました。

今後は実用化に向けてさらなる高性能化を目指し、材料の探索と塗布法の高度化を進めていきます。電子デバイスの軽量化やウェアラブル化、そして省資源化を実現する次世代半導体として期待されます。

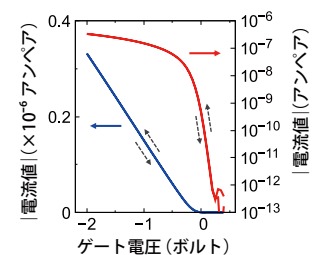


図4 作製した有機薄膜トランジスタの伝達特性。2ボルトで駆動、ドレイン電圧を0.2ボルトに固定して測定した。線形(左軸)を対数(右軸)で表したときの勾配が急峻で、オンオフ応答が良好なことを示している。