

審査の結果の要旨

氏名 牧田 龍幸

本論文は5章からなり、有機半導体デバイスにおける理想的な界面形成手法について研究したものである。

第1章では、有機半導体の材料開発と塗布法による単結晶製膜技術、実際のトランジスタ作製における課題についてまとめられている。近年の研究開発によってキャリア移動度 $10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ を超える高性能な単結晶膜を 90 nm 角のスケールで得られるようになっている有機半導体は、次世代電子デバイスの基盤材料として注目されている。実際の積層デバイス作製においては、各構成層のヘテロ界面の制御が重要である。提出者は、有機トランジスタの作製技術について具体例を挙げつつ、界面制御を印刷技術と組み合わせて実現することが求められる有機トランジスタ作製において、デバイス構造に多くの制約があることを述べている。

第2章では、塗布法で製膜された有機半導体単結晶薄膜の転写手法について述べられている。超親水性基板上に塗布された半導体膜が水への浸漬によって、基板から剥離することを見出し、透過型電子顕微鏡観察によって剥離後も単結晶性が維持されていることを確認した。これを利用して別基板上への転写法を開発し、実際にフッ素系高分子絶縁膜上や食品用ラップ基板上といった従来は実現が困難だった構造で高性能なトランジスタを作製することに成功した。さらに、簡便なケミカルエッチングプロセスによって表面に微細な凹凸を形成し、高温でも安定な超親水性を示す基板を新たに開発することで、転写法を利用可能な半導体材料を広げることに成功した。本手法は、良質な単結晶膜の塗布とキャリア伝導に適した半導体/絶縁膜界面をそれぞれ最適化できるという点で理想的であり、高性能な有機単結晶デバイス作製において非常に重要である。

第3章では、真空蒸着法および塗布法で形成された電極の転写手法について述べられている。絶縁性高分子の薄膜と、水溶性高分子の厚膜を組み合わせることで、半導体上に水を用いて貼り付け可能な電極フィルムを作製し、高精細にパターニングされた電極の転写手法を開発することに成功した。弱い分子間力により集合体構造を形成している有機半導体材料は本質的に外部からのダメージを受けやすいが、本手法では、わずかに単分子層の半導体膜に対して非破壊で電極を取り付け、高移動度および低接触抵抗を示すトランジスタの作製を可能とした。本手法は、半導体膜に対して乱れを誘起しない理想的な電極/半導体界面を実現するものである。また無電解金めっきを用いた塗布型電極の転写手法は、低コストなプリントドエレクトロニクスデバイスの作製を可能とする点でも重要である。

第4章では、論理回路応用において不可欠な有機半導体膜のパターニング手法について述べ

られている。本手法は、凹凸のある柔らかいスタンプを利用し、第 2 章で開発された半導体単結晶膜の転写法を応用したものである。パターニングにおいては、塗布法で形成された有機半導体膜が非常に薄く物理的に破断可能であることに着目しているため、幅広い材料に対して適用可能である。4 インチウエハサイズでの大面積でのパターニングや、p 型および n 型半導体の両方を利用したフィルム基板上での CMOS 論理回路作製にも取り組み、本手法が実デバイス作製において有用であることを示している。本手法により、高性能な塗布型有機半導体単結晶薄膜を切り出し、様々な表面上に貼り付けて高機能なデバイスに利用可能となった。

第 5 章では、本研究の総括が述べられている。本研究で得られた知見は、高性能な有機半導体単結晶デバイスに関して、理想的な界面形成を可能とする革新的なものである。また、それぞれの手法について大面積化可能性を実証していることは、実デバイスの作製プロセスとして利用する上で重要である。一方で、従来は試料作製自体が困難であった物性測定が可能となることや新奇材料の評価が容易となるという利点も有しており、デバイス応用研究だけでなく基礎物性研究および材料開発を加速できるという点でも意義があるといえる。

なお、本研究は、熊谷翔平、熊本明仁、三谷真人、鶴見淳人、袴谷凌平、佐々木真理、岡本敏宏、幾原雄一、渡邊峻一郎、竹谷純一、山村祥史、中村良平との共同研究を含むが、手法の考案、デバイス作製・測定、解析を含む主要部分に関して、論文提出者本人が主体となって行ったものであり、十分な寄与があったと判断される。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1 8 5 4 字