

論文内容の要旨

博士論文題目

Development of high performance semiconductor devices assisted by
supramolecular material

(半導体素子の高性能化を目指した超分子材料の適用に関する研究)

氏 名 橋間裕貴

(論文内容の要旨)

近年、様々なものをインターネットに接続する IoT(Internet of Things)を目指した高性能・高機能な半導体素子とそれを構築する半導体材料の開発が必要となっている。これらを実現する為に本研究では、超分子材料に着目した。超分子材料は、分子が弱い相互作用により秩序だった構造を形成する事が可能である。これら秩序だった構造は特異的機能を発現する。本研究では、様々な超分子材料を半導体素子に適用させる事で、超分子材料による高性能化を検討し新規手法の提案を行った。

第二章では、超分子材料として生体材料(CDT-1)を、半導体材料にグラフェンを利用した複合材料を利用して、ペロブスカイト太陽電池(PSCs)の光電変換効率向上に関して検討を行った。超疎水性のグラフェンを高密度にタンパク質で被覆することで、水雰囲気下において容易に調整可能になった。また、修飾したタンパク質により水中においてグラフェン上に金属を析出可能になり、TiO₂/CDT-1/グラフェンのハイブリッド化合物を作製した。本材料をペロブスカイト太陽電池の電子輸送層へと応用した。meso-TiO₂ 中へ複合体を 0.5 wt%で混合させた素子において最も高い変換効率 12.5%を示した。これは、0 wt%条件下と比較すると、約 4%変換効率が上昇していることが確認された。このような結果から、従来では太陽電池へ応用利用する材料ではなかったタンパク質を用いることで、簡便かつ環境にやさしい条件を用いて太陽電池の変換効率を改善させることが可能であることが示唆された。

第三章では、分子の基板上における自己組織化現象に着目し、高安定性を有する酸化物半導体 TFT と組み合わせる事で、信頼性の高い化学センサの試作を行った。本研究では高安定性を有する酸化物半導体 TFT のチャネル材料として

In-W-Zn-O(IWZO)を使用した。IWZO-TFT の伝達特性における 100 回繰り返し測定では、IWZO-TFT の閾値電圧の変化は 0.00V と高い安定性を有している事が示された。IWZO-TFT の延長ゲート部位に安息香酸を有する自己組織化単分子膜(SAM)を修飾したセンサにおいては、各濃度点において閾値電圧のブレがほとんど確認されず、分子の官能基の違いが変化量の差として明瞭に検出された。その結果、高い安定性を有する酸化物半導体に SAM を用いる事で、分子間に働く弱い相互作用や官能基の差異を高い精度で読み出せることが可能であると示唆された。

第四章では、3D ディスプレイを目指した固体円偏光発光(CPL)材料の開発を行った。固体円偏光発光材料を合成する際には、複雑な合成手法が必要でありその収率も低いことから発光素子への応用例は少ない。そこで、本研究でキラル源として天然由来のアミノ酸を用いる事で簡易・大量合成を試みた。(S)-1 は一段階かつ HPLC を使用せず 85%の高い収率と 98%の高いキラル純度を達成した。(S)-1 は金属イオン認識能を有しており、固体状態において円偏光発光する事が確認された。また、金属イオンを認識することで蛍光強度の増大と CPL 符号の反転が観測された。多量に合成可能で CPL 特性の調整が可能な本材料を用いて円偏光発光素子への応用開発が可能であると考えられる。

本研究では適切な超分子材料を種々の半導体素子へ応用することで高性能化が可能である事を見出した。本学際領域が更なる半導体素子の発展へ貢献する事が期待される。

(論文審査結果の要旨)

超分子材料は、分子が弱い相互作用により秩序だった構造を形成する事が可能であり、これらの構造は特異的機能を発現する。本研究では、様々な超分子材料を半導体素子に適用させる事で、超分子材料による高性能化を検討し新規手法の提案を行った。

超分子材料として生体材料(CDT-1)を、半導体材料にグラフェンを利用した複合材料を利用して、ペロブスカイト太陽電池(PSCs)の光電変換効率向上に関して検討を行った。修飾したタンパク質により水中においてグラフェン上に金属を析出可能になり、 $\text{TiO}_2/\text{CDT-1}/\text{グラフェン}$ のハイブリッド化合物を作製した。本材料をペロブスカイト太陽電池の電子輸送層へと応用した。 meso-TiO_2 中へ複合体を 0.5 wt%で混合させた素子において最も高い変換効率 12.5%を示した。これは、0 wt%条件下と比較すると、約 4%変換効率が上昇していることが確認された。

また、分子の基板上における自己組織化現象に着目し、高安定性を有する酸化物半導体 TFT と組み合わせる事で、信頼性の高い化学センサの試作を行った。本研究では高安定性を有する酸化物半導体 TFT のチャネル材料として In-W-Zn-O (IWZO)を使用した。その結果、高い安定性を有する酸化物半導体に SAM を用いる事で、分子間に働く弱い相互作用や官能基の差異を高い精度で読み出せることが可能であると示唆された。

さらに、3D ディスプレイを目指した固体円偏光発光(CPL)材料の研究を行った。固体円偏光発光材料を合成する際には、複雑な合成手法が必要でありその収率も低いことから発光素子への応用例は少ない。そこで、本研究でキラル源として天然由来のアミノ酸を用いる事で簡易・大量合成を試みた。その結果、一段階かつ HPLC を使用せず 85%の高い収率と 98%の高いキラル純度を達成した。

本研究では適切な超分子材料を種々の半導体素子へ応用することで高性能化が可能である事を見出した。本学際領域において、更なる半導体素子の発展へ貢献する事が期待される。よって、従って審査員一同は本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。