

審査の結果の要旨

氏名 朴昌範

有機薄膜トランジスタ (TFT) は機械的柔軟性を持っていること、低温プロセスが可能であること、大面積化した際の一素子当たりのコストが安いことなどの利点があるため、次世代のフレキシブルディスプレイなどへの応用が期待されている。有機 TFT の特性としては、トランジスタの高性能化の観点から、いかに高移動度な TFT を形成するかが研究の対象となることが多い。一方、実用化を考えたときには性能もさることながらデバイスの信頼性はもっとも大事な特性であるが、長期的な信頼性を議論する研究は極めて少ない。そこで、本研究ではもっとも標準的に使われている有機半導体材料であるペンタセンに関して、その TFT としての動作信頼性という観点から詳しく研究したものである。

本論文は6章からなる。第1章は序論であり、有機半導体の特徴、TFT 特性の解析、また膜の分子構造と電子構造の基本に関して述べたあとに、本研究の目的と位置づけを明確化している。

第2章は本研究を進めるにあたっての、ペンタセン薄膜材料の形成手法および電界効果トランジスタの作製手法、さらに評価手法について詳述している。製膜には熱蒸着法を用い、また膜の結晶性に関してX線回折 (XRD)、膜中のグレインの大きさの評価に対して原子間力顕微鏡 (AFM) を用いている。また、本研究の特徴として光応答電流 (Photocurrent)、熱刺激電流 (Thermally stimulated current) による解析が後述されるが、その測定原理および目的を明確化している。

第3章は、トランジスタ動作としきい電圧の変化に対する現象論的結果について論じている。特に、表面の改質によって大きく信頼性の程度が変わることに注目し、改質した表面における水との接触角を測定することによって、信頼性の差がペンタセン膜との表面自由エネルギーの差という観点から説明できることを論じている。さらに、膜成長時の基板温度を上げてグレインサイズを大きくするという手法は、しきい値シフトという観点からは劣化を大きくさせていることが示された。この事は現象論的といえども実際に有機デバイスを考えていく上で重要な発見と言える。

第4章は、可視光下でのデバイス動作がしきい電圧シフトにいかなる影響を与えるかを詳しく調べた結果を論じている。可視光は幅広いエネルギーを持っているので、正孔伝導型半導体であるペンタセンにおいても電子が界面に誘起されることになり、ゲートバイアス条件によっては電子がしきい電圧シフトに対して極めて大きな効果を持つことが実験的に示されている。つまり電子が界面あるいはペンタセン膜中にトラップされることによっ

て、しきい電圧が正方向に大きくシフトし、それによって本来のペンタセンTFTの電流が大きく変化してしまう。この結果は、従来無視されてきたペンタセンTFTにおける電子トラップが絶縁膜との界面付近に多量に存在するということを明確に示すものであり、信頼性という観点から重大な発見である。さらに、この特性には大きく分けて二種類の時定数が絡んでいることが実験的に明らかにされた。この時定数の違いはトラップのギャップ内でのエネルギー的深さに起因していると考えられる。さらに時定数の値が一桁程度異なることから、エネルギーギャップ内には明確に分離されたエネルギー位置のことなる二種類の電子トラップ分布が存在することが論じられている。

第5章では、第4章で得られた二種類のギャップ内状態をさらに詳しく調べるために、単色光を用いて光応答電流を照射光子のエネルギーの関数として調べた結果を議論している。その結果は1.8eVと2.5eVに特徴的な変化があることを示しており、それがまさに前章で論じたギャップ内における電子トラップの状態密度に対応していることを考察している。また、熱刺激電流を測定することで、浅いトラップに関しては、さらに二つのピークに分離されること、界面改質によってこの量が減少してくることを実験的に示している。

第6章は以上の総括である。

以上を要するに、本研究は有機TFTの実用化においてもっとも重要な量である信頼性に関して、その起源に遡って議論したものである。特に界面近傍において形成されたエネルギーギャップ内のトラップ準位に着目し、深い準位と浅い準位の存在を実験的に明確化すると同時に、正孔導伝性材料における電子トラップの重要性を示したものであり、有機半導体デバイス分野だけでなく材料工学の観点からも意義は大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。