

審査の結果の要旨

氏名 糟谷 直孝

本博士論文は6章からなり、有機半導体単結晶のバンドフィリング制御手法を確立し、有機2次元正孔ガスの性質を詳細に調査した研究である。

第1章では、有機半導体単結晶へのキャリアドーピング手法に関する原理的な課題がまとめられている。有機半導体の単結晶はコヒーレントなキャリア輸送を示し、分子性固体でありながら無機物を基盤とする固体物理学的見地からその物性を理解できるようになりつつある。こうした有機半導体の物性研究の文脈の中で、金属絶縁体転移を始めとする電子相転移に関する基礎研究の重要性は高まっている。提出者は、真性半導体である有機半導体の単結晶に対するキャリアドーピング手法を今一度整理し、課題の指摘と解決方針を提示している。

第2章では、固体-固体界面を利用した有機半導体単結晶への高密度キャリア誘起手法の開発について述べられている。ここでは電界効果トランジスタにおける誘電体の機能性に着目し、有機半導体の構造的乱れを抑制するべく新たにイオン性ポリマー誘電体を開発した。これにより従来型の有機半導体ルブレン単結晶を溶解させることなく高いキャリア密度を誘起することに成功している。同時に、誘電体の電気双極子に由来するポテンシャル乱れが有機半導体のキャリアのコヒーレンスに影響を与えていることも示している。

第3章では、有機半導体分子の構造に着目し、バンドフィリング制御を行っている。提出者は、パイ共役系骨格ユニットと絶縁性の直鎖アルキル鎖ユニットを持つ塗布型有機半導体が自己組織的に量子井戸構造を形成することを見出しており、キャリア伝導を担うパイ共役系骨格だけでなく修飾基も含めた分子設計が電子相転移において重要であることを提示している。さらに分子層数を厳密に制御し分子レベルで平坦な単結晶薄膜を用いることで、高密度キャリア誘起に伴うポテンシャル乱れの問題を克服しており、詳細なバンドフィリング制御の末に単一成分からなる有機半導体単結晶の金属絶縁体転移を世界で初めて実験的に証明している。提出者はこれら成果をもって、量子井戸分子という新しい概念を提唱しており、有機2次元電子系・正孔系の基礎を作り上げた。

第4章では、量子井戸分子となる有機半導体の単結晶に形成した2次元正孔ガスの低温での性質に関して、詳細な評価を行っている。抵抗率の温度依存性や磁気輸送特性の温度依存性から、有機2次元正孔ガスでは強い電子相関の効果が表れていることが明らかとなった。提出者は、1980年代のスケーリング理論に端を発する2次元電子系の理論とのズレがあることも示しており、無機物のような大きな散乱緩和時間をもつ希薄な2次元電子ガスとは対照的な、比較的小さい散乱緩和時間をもつ高濃度な有機2次元正孔ガスに特有の現象であることを見出した。従って有機2次元正孔ガスの理解にはより詳細な実験だけでなく、理論的な発展も必要であり、今後一分野としての発展が期待される。

第5章では、2分子層単結晶に形成した有機2次元正孔ガスに対して、量子井戸に外部電場を印加しポテンシャル変調を行った際の輸送特性の変化を調査している。提出者は、電気二重層トランジスタ構造によるイオンゲーティングと固体誘電体を用いた固体ゲーティングを組合わせてキャリア密度を大きく変調せずに不規則ポテンシャルの影響を調べる手法を確立している。ポテンシャル変調による電気伝導率の応答は大きく、散乱緩和時間の大きな変調が可能であることを明らかにした。これは自発的に形成された有機半導体の2重の量子井戸構造に起因する現象であり、有機半導体単結晶の量子デバイス等への発展性が明らかとなったという点で非常に重要である。

第6章では、本研究の総括が述べられている。提出者の一連の研究において得られた知見は、有機半導体単結晶の物性研究の基礎となるものである。特に量子井戸分子という概念は昨今の有機半導体の合成化学に対して重要な指針となり、また有機2次元正孔ガスを形成する手法の高い汎用性は有機半導体の基礎物性だけでなく、量子コンピュータをはじめとする量子デバイスへの応用研究への道を開拓したといえる。

なお、本研究は、渡邊峻一郎、竹谷純一、鶴見淳人、今泉暁、Sylvain Lectard、岡本敏宏、松井弘之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 1906 字