

論文内容の要旨

氏名 (谷 天太)	
論文題名	Transport theory of twisted interfaces in three-dimensional materials (3次元物質のツイスト界面における輸送理論)
論文内容の要旨	
<p>本博士論文では、二つの3次元物質をツイスト積層した「ツイスト3次元物質」における輸送現象を理論的に調べた。</p> <p>近年、ツイスト角の自由度によって多彩な量子物性が実現・制御されることから、ツイスト2次元物質が精力的に研究されている。この系は複数の2次元物質の結晶方位を揃えずに積層することで実現され、その典型例が2枚のグラフェンからなるツイスト2層グラフェンである。この物質では層間のツイスト角度に依存して電子状態が大きく変調され、特に魔法角と呼ばれる特定のツイスト角においてフェルミ準位付近に平坦バンドが出現する。これに起因する超伝導相や強相關絶縁相が実験的に確認されている。さらに近年には、3層以上からなる系や、異種の2次元物質を組み合わせたヘテロ積層系など、さまざまなツイスト2次元物質が注目を集めている。</p> <p>本論文では「3次元物質をツイストするとどのような現象が起きるか」という疑問に焦点を当てる。ツイスト3次元系においては界面を通り抜ける方向の垂直伝導が可能になるが、それを調べるための基礎理論は確立されておらず、ツイストが輸送現象に与える効果は明らかでない。</p> <p>そこで我々はまず、再帰的グリーン関数法を用いた垂直電気伝導の計算手法を開発し、最も基本的なツイスト3次元物質であるツイストグラファイト（二つのグラファイトのツイスト積層系）に適用した。その結果、垂直伝導率はツイスト角に対し非単調な依存性を示すことが分かった。波数分解した伝導度を調べることで、この依存性はフェルミ面の重なり中心における透過係数の極端な減少に起因することを明らかにした。透過係数の減少の原因は、ツイスト2層グラフェンの平坦バンドの名残である界面局在状態が引き起こすファン共鳴であることを、局所状態密度の計算から見出した。ここで発見したメカニズムは一般的なものであり、局在状態を伴う他のツイスト3次元系でも同じ現象が期待される。</p> <p>論文の後半部分では、層状超伝導体からなるツイスト3次元物質を対象として、ツイスト接合が超伝導に与える影響を探った。前半で確立した理論の枠組みを発展させることでBdG方程式に基づく解析手法を開発し、ゾーン端にフェルミ面を持つモデルに適用した。超伝導位相の空間依存性を調べることにより、ツイストが超伝導体間の実効的なバリアとして機能し、一種のジョセフソン接合となることが分かった。さらに、臨界電流の計算により、ツイスト角度によって接合特性を大きく変調できることを明らかにした。従来のジョセフソン接合とは異なり、ツイストという機械的操作のみで接合特性の調節が可能となるため、可変な超伝導デバイスの設計の観点から有益である。さらに、クーパー対が電流を運ぶことに起因して、ツイストにより二つのフェルミ面が離れても電流が流れる。これは常伝導の場合では起こり得ない、超伝導ツイスト系に特有の現象である。</p> <p>本論文で発展させた計算手法は、層状磁性体からなるツイスト3次元系や、全ての層間をツイストしたらせん系など様々な物質に応用可能であり、ツイスト3次元物質の物性研究の領域を拓くものである。</p>	