

論文審査の結果の要旨

氏名 小塚 裕介

本論文は10章からなり、第1章はペロブスカイト型遷移金属酸化物薄膜を中心とした酸化物エレクトロニクス的发展と現状を概観したのち、それを踏まえて今回の研究の目的を述べている。第2章はこの研究において注目したチタン酸ストロンチウムのバルクについて過去の研究を概観している。特に、フォノン構造と構造相転移、電子バンド構造、超伝導、また、単結晶作製に必要な相図と欠陥構造を詳しく説明している。第3章は今回用いた主な装置である、パルスレーザー堆積用真空チャンバー、構造解析用のX折装置、低温測定用のクライオスタットと希釈冷凍機について一般的原理と今回の実験において特徴的な点を説明している。第4章から第7章は本論文の研究における実験結果について述べられており、各々の章では高品質チタン酸ストロンチウムの薄膜作製、低次元構造の作製、超伝導の次元性転移、低次元電子状態の観測にそれぞれ焦点が当てられている。第8章では実験で用いた低次元構造の電子状態について簡単なモデル計算を行った結果を示している。第9章は今回の結果を踏まえ研究の将来展望を見据えた現在の研究状況を述べている。最後に第10章において全体を総括している。

本論文は非常に多彩な物性を示す遷移金属酸化物に注目し、特にその中でも従来の半導体と同程度な高移動度電子をもち、かつ超伝導を示すチタン酸ストロンチウムにおいて高品質な低次元構造を作製し、その低次元特有の物性を測定することを主題としている。実験の第一段階として、バルク単結晶品質の薄膜が過去に作製されていないことに着目し、薄膜品質改善を単結晶の相図と欠陥生成という基本的な点に立ち返り試みている。その結果、従来のチタン酸ストロンチウム薄膜よりおよそ一桁以上移動度が高く、二桁程度電子濃度の低いバルク品質並みの高電子移動度を示す単結晶薄膜作製に成功している。

その作製手法を用い、従来の半導体で用いられてきたデルタドーピングという方法によって低次元系の作製を行っている。この方法はドーピングされていない半導体の極薄い一部分のみにキャリアをドーピングする手法で高移動度酸化物薄膜においては初めての試みである。結果として金属伝導を保ったままおよそ4 nmの膜厚まで伝導層を薄くすることに成功しており、さらにデルタドーピングの効果によって移動度はバルクのおよそ4倍程度まで増加する結果を得ている。

このような様々な伝導層厚さを持ったデルタドーピングの試料を用い、超伝導の次元性転移を観測している。この結果はセラミックス薄膜では初めての観測であり、高温超伝導体など層状構造を示す多くの超伝導体との類似性からも大変興味深いものである。さらに、試料の高品質さを反映して、低温において抵抗に磁気振動を観測している。特に、伝導層の薄い試料において、フェルミ面は二次元的になっていることわかり、これはペロブスカイト型酸化物では初めての観測である。このような高移動度二次元電子が超伝導を示す物質は他にはないため、今回作製されたチタン酸ストロンチウムの人工低次元

構造は高移動度電子と超伝導電子という二つの量子状態の共存系を調べる事が可能な唯一の系である。さらに電子の希薄でかつ移動度の高い試料を作製することで今後の展開が期待される。

チタン酸ストロンチウムは半導体の一つであるが、従来の半導体と比べ有効質量や誘電率が大きく異なり、ボーア半径やランダウレベルの準位間などが大きく異なり、定性的にも非常に異なった領域に存在する。そのため、今回作製した試料構造に対し簡単なモデルを立て、電子状態の計算を試みている。その結果として、有効質量の大きさからサブバンド間のエネルギー差が少なく、今回の試料においては電子が複数のサブバンドに存在していることを見出しており、単サブバンドのみ電子が占有する完全な二次元系の実現は、従来の半導体に比べ格段に難しいことを示している。しかしながら、最後にそのような系を実現するにあたり克服しなければならない課題とその具体的な解決法の展望が明確に述べられている。

本論文はチタン酸ストロンチウムという物質の低次元系作製という課題を試料の質の改善からその低次元物性測定まで多角的かつ総合的に行われており、酸化物エレクトロニクスにおける一つのブレイクスルーといえる。今回確立された薄膜作製手法と実現された物理系は将来この分野におけるメゾスコピック系物理の基盤になると期待される。

なお、第6章および第7章は金 民祐、ベル クリストファー、金 福基、疋田 育之、ファン ハロルドとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって試料作製、測定、解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。