

論文審査の結果の要旨

氏名 中村 浩之

本論文は、題目「チタン酸ストロンチウムの静電キャリア濃度制御」に表現されるように、代表的なペロブスカイト型酸化物であるチタン酸ストロンチウムを対象として、その多彩な電子物性を電場によって制御することを目指した研究である。論文は全5章よりなる。

第1章では研究の背景と目的が述べられている。物質の電子物性を決めるパラメータとして電子濃度が重要であることが、特に酸化物の電子物性と関連付けて述べられている。この電子濃度を制御する方法として、通常行われる化学ドーピング（元素置換）とこの研究で用いる静電的な手法との違いが強調されている。さらに、静電的な電子濃度制御を可能にする素子としての電界効果トランジスタとその動作原理が述べられている。第1章の最後には、この論文で明らかにしようとするポイントとして、キャリア濃度制御による金属絶縁体転移、二次元電子系の可能性が示唆されている。これまで、酸化物の特異な電子物性がほとんど元素置換によって得られている中で、本論文は「静電キャリア濃度制御」というアプローチを開拓する点に特徴がある。

第2章では、電界効果トランジスタの作製法および測定法が説明されている。本研究に用いた電界効果トランジスタが既存の酸化物トランジスタとは異なり、高分子をゲート絶縁膜に用いるプロセスで作製されたことが述べられている。また、測定は4端子法をトランジスタの素子に応用したことが述べられている。この章の最後には電界効果移動度の測定が、欠陥の無い理想的な場合と欠陥を含む場合とでどのように異なるかが簡易なモデルによって述べられている。

第3章では種々の条件で作製したチタン酸ストロンチウムの電界効果トランジスタの特性が述べられている。電界効果特性を向上させるには、絶縁膜/チャンネル間、およびソース・ドレイン電極/チャンネル間の2つの界面が重要であることが指摘される。そのうえで、まず、高分子をゲート絶縁膜に用いた場合とアルミナを絶縁膜に用いた場合での電界効果特性の比較がなされ、高分子の優位性が確認されている。次に、低温での特性が詳細に説明されており、特にゲート電圧の閾値が移動することがトラップ準位との関連から論じられている。トラップ準位の存在をより明らかな形で示すため、伝導の活性化エネルギーが調べられており、活性化エネルギーがゲート電圧によって変化すること、すなわちチタン酸ストロンチウムのフェルミ準位がゲート電圧によって変化することが述べられている。さらに、低温においてはチャンネルの電流電圧特性が低ゲート電圧において非線形になるが、この原因が電極/チタン酸ストロンチウム間の接触抵抗によるもの

であることが 4 端子測定の結果から示されている。電流電圧特性の非線形は電界効果トランジスタの特性を解析する上で望ましくないが、これが 4 端子測定で除かれることを明確に示した点で意義深い。

第 4 章では、チタン酸ストロンチウム電界効果トランジスタの低温特性の詳細が述べられている。ゲート電圧によってキャリア濃度を増加させると、絶縁体であるチタン酸ストロンチウムが急激に金属に転移することが示されている。金属状態での移動度が電界効果、および磁気抵抗という 2 つの方法によって算出され、 $2000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という非常に大きな値であることが示されている。この値は従来のチタン酸ストロンチウムをチャンネルとしたトランジスタより何桁も大きく、化学ドーピングの試料で測定されている移動度に匹敵する値であり、「電界誘起の金属絶縁体転移」を疑いない形で証明しているといえる。この章の後半では、二次元電子系という観点から、チタン酸ストロンチウムに誘起された金属状態がどの程度の深さまで及んでいるかが実験・理論の両面から議論されている。実験的には磁気抵抗の異方性より、伝導層が 10 ナノメートル程度であることが予想され、理論モデルと矛盾しないことが示されている。最後に、従来のシリコン等のトランジスタと比較した場合の二次元電子系のエネルギースケールが理論的に計算され、チタン酸ストロンチウムにおいては非常に小さいエネルギーに支配されていることが主張されている。

第 5 章では、結論として本論文で行われた研究についてまとめられ、その展望および研究の意義について述べられている。

以上、本論文はチタン酸ストロンチウムという代表的なペロブスカイト型酸化物のキャリア濃度制御に電界効果という手法を応用し、これまでの素子で実現成しえなかった「電界誘起相転移」を発現させた。同時にこの発見をキャリア濃度変化に伴う金属絶縁体転移、酸化物表面の 2 次元電子系等、酸化物の機能物性開拓の新しいパラダイムへと展開させた。これらを総合して、本論文の内容は今後の物質科学研究の発展に寄与するところが大きい。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。