

論文審査の結果の要旨

氏名 岡崎 壮平

本論文は以下の5章より成る。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的が述べられている。局所的な導電性を評価するため様々な手法が用いられているが、その中の一つとして走査型マイクロ波顕微鏡 (S μ M) がある。本装置は共振回路に接続した探針の先端から近接場マイクロ波を印加し、探針直下の試料表面における電気物性を共振周波数 f_0 や Q 値など共振特性の変化より評価するものである。本章では S μ M を用いた従来の研究について述べ、特に薄膜試料の場合に電場応答の複雑さからこれまで困難であった導電率の定量評価を目的とすることが述べられている。

第2章は、有限要素法による解析と組成傾斜薄膜に対する S μ M 測定から共振周波数特性の導電率および膜厚依存性を明らかにし、薄膜試料の定量解析手法の開発について述べている。まず、球と仮定したプローブが基板上の薄膜と接しているモデルを用いて有限要素法により S μ M の電場分布を求め、これより f_0 および Q 値のシフト量 ($\Delta f, \Delta Q$) を算出している。シミュレーションの結果、膜厚が増加するに従って $\Delta(1/Q)$ の極大は低導電率側にシフトし、この依存性は基板により膜内の電場分布が影響を受けるために起きており、膜厚が薄いほどその効果が顕著なことが示されている。さらに膜厚 100nm、200nm の Ti $_{1-x}$ Nb $_x$ O $_2$ 組成傾斜薄膜 (Nb 含有量 $x = 0 \sim 0.06$) を LaAlO $_3$ (100) 基板上にコンビナトリアル PLD 法で成膜している。この試料は Nb 含有量とともに導電性が増加しており、Nb 含有量 x の増加につれ $-\Delta f/f_0$ は単調に増大するのに対して $\Delta(1/Q)$ はピークを示し、膜厚依存性も含めてシミュレーションと傾向が一致している。以上の結果をもとに、未知試料の導電率を定量評価する新たな手法として、試料と同じ基板・膜厚を有し導電率が既知の標準試料を用いる方法が考案されている。この手法を用いて、PLD 法によって成膜した Sr $_{1-x}$ La $_x$ Ti $_y$ Al $_z$ O $_3$ 三元組成傾斜薄膜の導電率を S μ M により定量評価している。この結果、LaTiO $_3$ と SrTiO $_3$ の中間に導電率が最も高い領域が存在する一方で、LaAlO $_3$ が豊富な領域では導電率が急激に減少している。S μ M により定量した導電率は既報の値とよく一致し、今回開発した薄膜導電率の定量手法が正確であることが示されている。

第3章は、低温走査型マイクロ波顕微鏡(LT-S μ M)の開発について述べている。液体へ

リウムによる冷却とヒーターユニットを併用して 4K～室温の範囲で試料温度を制御する LT-S μ M を開発し、PLD 法によって成膜した Nd_{1-x}Sr_xMnO₃ 組成傾斜薄膜 (Sr 含有量 $x = 0.4 \sim 0.6$) の電気物性評価を行なっている。100～200K における測定結果より、100K において NSMO 薄膜は $x = 0.47$ 以下では強磁性金属、 $x = 0.47 \sim 0.5$ では電荷整列絶縁相、 $x = 0.5$ 以上では反強磁性絶縁相であることが示されている。また 150K では強磁性金属相はそのまま電荷整列秩序相の範囲は $x = 0.47 \sim 0.48$ に狭まっており、200K では試料全体が常磁性絶縁体となっている。これらの結果をバルク試料と比較すると転移温度や相境界の組成が異なっており、薄膜がエピタキシャル成長したことで生じた歪みが影響していると考えられる。以上より、今回開発した LT-S μ M によって低温での電氣的な相分離を観察し、薄膜の電気相図を作成できることが示されている。

第 4 章は、水晶振動子プローブを用いる高空間分解能 S μ M の開発について述べている。Si ウエハーを標準試料に用いてマイクロ波検出回路部の開発を行ない、試料導電率の増加と共に $-\Delta f/f_0$ は単調増加する一方で $\Delta(1/Q)$ はベルボトム型の挙動を示し、従来型のプローブと同様に試料導電率の定量が可能である事が示されている。また水晶振動子によるアプローチ試験を行ない、共振周波数が 2 価関数的に変化することを見出している。音響的な効果によって μ m オーダーでこのような傾向が表れたものと考えられ、探針-試料間距離の検出に有効な事が示されている。第 5 章は総合的な結論である。

以上のように、本研究では、有限要素法による解析と組成傾斜薄膜に対する S μ M 測定から薄膜試料の定量解析手法を新たに確立し、これを用いて常温での薄膜導電率の定量マッピングに成功した。さらに低温で測定可能な S μ M を開発し、低温での局所的な薄膜導電率の測定を行なってバルク試料との違いを明らかにした。また高空間分解能 S μ M の開発を行ない、水晶振動子プローブの有効性を示した。これらの研究は理学の発展に大きく寄与する成果であり、博士 (理学) 取得を目的とする研究として十分であると審査員一同が認めた。なお本論文各章の研究は複数の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断する。

従って、博士 (理学) の学位を授与できると認める。