

論文審査の結果の要旨

氏名 塚本 聖哉

本論文は全4章より構成されており、第1章では研究の背景と目的、第2章ではロジウム置換型イプシロン酸化鉄におけるミリ波吸収と磁場効果、第3章ではミリ波吸収特性における磁場効果に関する Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式を用いた強磁性共鳴シミュレーション、第4章では研究の総括を述べている。以下に各章の概要を示す。

第1章では、本研究の背景として、ミリ波とその用途について述べられている。また、電磁波吸収体について、自然共鳴現象等の吸収メカニズムと代表的な電磁波吸収材料が紹介されている。本研究では、200 GHz を超えるミリ波吸収特性を示すロジウム置換型イプシロン酸化鉄に着目して研究しており、ベースマテリアルとなる無置換型イプシロン酸化鉄とロジウム置換型イプシロン酸化鉄について合成方法、結晶構造、磁気異方性、相安定性、金属置換効果、自然共鳴現象によるミリ波吸収特性に関する先行研究について述べられている。また、自然共鳴現象における磁化のダイナミクスを理論的に記述する Landau-Lifshitz (LL) 方程式と Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式について紹介されている。

第2章は、酸化水酸化鉄ナノ粒子を出発物質としたゾル-ゲル法によるロジウム置換型イプシロン酸化鉄ナノ粒子 ($\epsilon\text{-Rh}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_3$, $x=0.13$ (1) および 0.19 (2)) の合成、物性評価、ミリ波吸収特性の外部磁場による効果に関する研究について述べられている。得られた試料は、透過型電子顕微鏡による形態観察から平均粒径約 15 nm のナノ粒子から構成され、粉末 X 線回折パターンのリートベルト解析により、イプシロン相が主相であることを明らかにしている。また、テラヘルツ時間領域分光装置を用いたミリ波領域の透過測定について述べ、透過スペクトルから、1 は 201 GHz に、2 は 210 GHz に自然共鳴によるミリ波吸収を示すことを示している。さらに、テラヘルツ時間領域分光装置に永久磁石を設置し、永久磁石から発生する外部磁場中での測定について述べられている。外部磁場が磁化の向きと平行、外部磁場が磁化の向きと反平行の2つの条件における透過スペクトルが示され、平行の場合にはピーク周波数が高周波側にシフトし、反平行の場合には低周波数側にシフトすることを見出している。

第3章では、LLG 方程式を用いたシミュレーションによる静磁場中で電磁波照射した際の磁化のダイナミクスについて述べられている。電磁波の磁場成分、異方性磁界に加え、外部磁場が磁化に加わった場合の磁化の動きをシミュレーションしている。第2章で実験に用いられた試料は、磁気異方性の方向が磁場方向に沿って半球方向にランダムに分布していると考えられることから、ランダム配向の平均をとって計算することで3次元的な分布を考慮した計算が行われている。外部磁場を印加することで、共鳴周波数は連続的に変化し、第2章で述べられている外部磁場によって共鳴周波数がシフトする実験結果をシミュレーションすることに成功している。

第4章は、研究を総括し、高周波数ミリ波帯域における電磁波吸収の磁場効果を利用した応用などの展望について述べられている。

以上、本論文では、ロジウム置換型イプシロン酸化鉄を研究対象として、200 GHz 帯域における外部磁場によるミリ波吸収特性の制御を行い、また、LLG 方程式によるシミュレーションによってミリ波吸収特性における外部磁場の影響について理論的に明らかにした。200 GHz 帯のような高周波数帯域における電磁波吸収の磁場効果はこれまでに例がなく、また今後用途の広がりが期待される周波数帯域であることから当該研究分野を発展させるものであると評価できる。なお、本論文第 2 章および第 3 章は、大木裕理絵 氏、井元健太 博士、吉清まりえ 博士、生井飛鳥 博士、大越慎一 教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び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（理学）の学位を授与できると認める。