

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (学 術)	氏名	Massango Herieta
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		

論 文 題 目

Electromagnetic Properties and Double Negative Characteristics of Hybrid Granular Composite Materials in the Microwave Frequency Range

論文審査担当者

主 査	教 授	蔦 岡 孝 則
審査委員	教 授	古 賀 信 吉
審査委員	教 授	山 崎 博 史
審査委員	准教授	梅 田 貴 士
審査委員	教 授	荻 田 典 男 (総合科学研究科)

[論文審査の要旨]

本研究は、新奇なマイクロ波アンテナや、周波数選択電波吸収体等の電磁環境制御材料への応用が期待されている「電磁メタマテリアル」を実材料で実現することを目指して、金属微粒子と強磁性微粒子のハイブリッド複合構造における電気伝導、及びマイクロ波の電磁気特性について実験的検討を行ったものである。これまで、金属パターン構造の周期配列構造体でのみ実現されていたマイクロ波領域における負の誘電率・透磁率スペクトルが、金属微粒子分散複合材料の金属相における低周波プラズマ状態に起因する誘電特性と強磁性体の磁気共鳴による透磁率特性を用いて実現できることを明らかにし、同時に負の誘電率・透磁率を特定の周波数領域で有する「電磁メタマテリアル」を、いくつかの強磁性微粒子と銅粒子の複合粒子分散構造を用いて実現した。

本論文は5章から構成されている。

第1章では、研究の背景として「電磁メタマテリアル」のコンセプトとこれまでの先行研究を概観し、本研究の目的とその重要性、及び論文構成について述べている。

第2章では、電磁メタマテリアルの理論的内容と、左手系特性を有する材料が示す新奇な電磁界応答について概観し、金属微粒子分散系の誘電特性を記述するドルーデモデル、孤立微粒子が示す誘電共鳴と強磁性共鳴を記述するローレンツモデル、及び粒子分散複合材料の導電率、誘電率、及び透磁率の分散粒子濃度依存性を記述する混合則理論について考察している。

第3章では、ハイブリッド複合材料を構成する金属銅粒子、金属磁性微粒子(Fe-Ni合金、Fe-Co合金)、及びフェライト粒子(Mn-Znフェライト、Ni-Znフェライト)のミクロな形状とその特性を概観し、複合材料試料の作製、分散粒子濃度の決定法、及び電気伝導率、複素誘電率、複素透磁率の測定方法について記述している。

第4章では、金属銅微粒子分散系における電気伝導率、及び複素誘電率スペクトルの測定結果から、金属粒子分散系における電氣的パーコレーションによって誘起される低周波プラズマ状態について考察し、マイクロ波領域における負の誘電率特性とその発現機構に

ついて述べている。さらに、強磁性微粒子(Fe-Ni 合金やフェライト等)分散複合材料が、ラジオ波領域からマイクロ波領域において示す磁壁共鳴・スピン共鳴に基づく負の透磁率スペクトルにつて、実験結果を基に考察し Cu/Fe-Ni 合金, Cu/Fe-Co 合金, 及び Cu/Ni-Zn フェライト, 及び Cu/Mn-Zn フェライト 4 種類の粒子分散ハイブリッド複合材料が、特定の周波数帯で同時に負の誘電率と透磁率を有すること明らかにし、その起源を第 2 章で考察した理論をもとに数値シミュレーションにより考察・実証している。

第 5 章において、本研究で明らかになった事柄を総括し、本材料の各種電磁波制御デバイスへの応用について考察して、粒子分散型複合材料による左手系電磁メタマテリアル実現への未解決な課題について言及し、今後の研究の方向性について考察している。

以上のように、本研究は、金属微粒子と強磁性微粒子の複合構造を用いて、マイクロ波領域で同時に負の誘電率と透磁率を有する「電磁メタマテリアル」を実現し、その電磁気特性と発現機構を明らかにしたものである。金属微粒子分散系におけるマイクロ波プラズマ状態の発現とパーコレーション機構によって誘起される負の誘電率特性の解析と実証は、世界に先駆けて行っており、実材料を用いた「電磁メタマテリアル」の基礎物性と応用に関する先駆的研究と位置づけることができる。

本論文は、以下の 3 点において高く評価することができる。

- (1)これまで、周波数 1 ギガヘルツ以下のラジオ波領域においてのみ研究・報告されていた金属微粒子複合構造における低周波プラズマ状態を 20 ギガヘルツまでのマイクロ波領域で実現するため、銅粒子複合材料に着目して電氣的パーコレーション機構に基づく伝導電子の低周波プラズマ状態を実現し、負の誘電率特性を実証したこと。
- (2)金属強磁性体である Fe-Ni 合金, Fe-Co 合金, 及び強磁性絶縁体である Ni-Zn フェライト, 及び Mn-Zn フェライト等, 異なる電氣的性質を有する分散粒子を銅粒子と複合化したハイブリッド構造において、マイクロ波領域で同時に負の誘電率と透磁率を有する電磁メタマテリアル特性が実現できる事を世界に先駆けて明らかにしたこと。
- (3)本研究により得られた負の誘電率・透磁率特性を用いて、数値計算により Fe-Ni/Cu 複合材料がマイクロ波領域で負の屈折率を示す可能性がある事を明らかにし、周波数選択電磁波吸収や、超薄形完全電波吸収体等の電磁メタ表面への応用の可能性について考察して、新機能デバイスの実現に向けた複合材料研究の方向性を示していること。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（学術）の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

平成 30 年 2 月 8 日