

平成 21 年 6 月 9 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760458

研究課題名（和文） GHz 帯域で電波透過特性を有する金属材料の実現

研究課題名（英文） EM wave transmittalbe metal at GHz frequencies

研究代表者

松村功德 (Katsunori Matsumura)

東京大学・先端科学技術研究センター・助教

研究者番号 20447329

研究成果の概要： 数 10nm オーダーの金属粒子相と粒子表面の数 nm の酸化物誘電体層を基本構造として持つ材料を作製した。この材料の電波透過特性と材料構造の関係を調べ、電波透過のメカニズムが金属粒子相間の電気的なパーコレーション現象に起因することを明らかにした。また、金属相粒子相直径と金属相体積率の関係を制御することにより、数 10GHz の周波数帯域において 60%以上の電波透過率を持つ材料を実現した。特に、金属相の体積率が 20%以上、試料暑さ 1mm 以上の材料において、電波透過性を持つ誘電体と同等の電波透過率である透過率 80%を実現できた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	450,000	3,750,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属物性

キーワード：金属ナノ粒子、誘電体層構造、電波透過特性、電気伝導率、GHz 周波数帯域

1. 研究開始当初の背景

近年、GHz 帯域における電波が無線 LAN などの情報通信分野で積極的に利用されるようになった。電波を効率よく利用するためには、電波を透過する材料、反射する材料、吸収する材料を適切に組み合わせたデバイスや環境が必要となる。電波を透過する材料に関しては、セラミックスやポリマーといった誘電体材料に限られており、空孔などを導入することによって高い電波透過率を目指した研究に主眼が置かれてきた。高い金属相体

積率を持ち、かつ低誘電率の誘電体と同等の電波透過特性を有する材料が実現すれば、電波透過材料の選択肢が格段に広がり、通信環境においても電波を反射することなく金属を使うことが可能となる。

一般に、誘電体電波を透過するのに対して、金属は電波を透過しないことが知られている。これは、材料中の自由電子によって材料の表面近傍で表皮深さと呼ばれる数 100nm の範囲で電波が急激に減衰し、反射されるためである。

近年、研究代表者は表面に厚さ 3-5nm の酸化物層を持つ Al ナノ粒子が数 10GHz の周波数帯域の電波に対して高い透過性を持つ現象を見出した。この誘電体表面層と金属粒子からなる構造を利用すれば、電波に対して透明な材料が実現できるのではないかとこの発想に至った。

2. 研究の目的

Al ナノ粒子を用いて金属ナノ粒子と数 nm の酸化物誘電体層を基本構造として持つ材料を作製する。

で作製した材料の電波透過特性を測定し、電波を透過するための構造と条件を明らかにする。

で得られた指針をもとに、試料厚さ 1mm 以上、数 10GHz の周波数帯域において 60% 以上の電波透過率を有する電波透過材料を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

基本構造に持ちうる酸化物誘電体層/Al ナノ粒子の作製

空気と不活性ガスの混合比率を制御した雰囲気中で Al ナノ粒子を酸化処理することにより、粒子表面に 3-5nm のアモルファス Al 酸化物層を持つナノ粒子の作製を行った。実験に用いた Al ナノ粒子は直径 10nm-100nm の材料を用いた。TEM、SEM、XPS を用いてナノ粒子の評価を行った。粒子の直径分布および酸化物誘電体層厚さ分布の評価を行った。

酸化物誘電体層/Al ナノ粒子を基本構造に持つ材料の作製

ナノ粒子をエポキシ樹脂と混合し、金属粒子相及び誘電体層厚さを変化させた試料の作製を行った。試料厚さを 1-3mm の範囲で変化させ、試料表面が 50mm × 50mm の試料を作製した。作製した試料の組織を、TEM、SEM、XPS を用いて観察を行った。また、比較のため、粒子直径が数 μm のマイクロメートルオーダー Al 粒子、粒子直径が 10nm-100nm の Al₂O₃ ナノ粒子、および粒子直径が 20nm-50nm の Ag ナノ粒子を用いた試料を同様のプロセスで作製した。

GHz 周波数帯での電波透過・反射特性および電気特性の評価

自由空間法を用い、低誘電率レンズから電波を試料表面に垂直に照射し、透過した電波をレンズで検出し、ベクトルネットワークアナライザを用いて試料の電波透過スペクトルおよび電波反射スペクトルの測定を行った。図 1 に用いた装置の概略図を示す。周波数帯域は 13-40GHz の範囲とした。電波の集光は試料表面において直径~30mm とした。

また、4 端子法を用いて試料の電気伝導率の評価を行った。

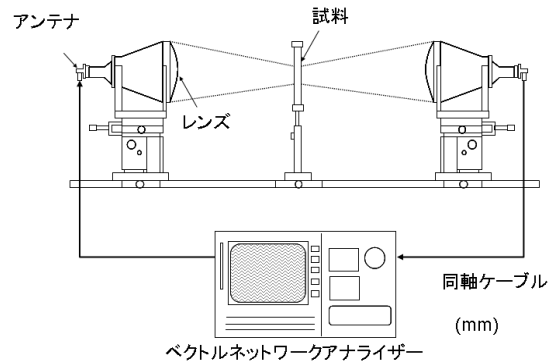


図 1 自由空間法の装置概略図

4. 研究成果

試料

Al 粒子の酸化処理条件を変化することで、Al 粒子の酸化物層および金属相の条件を制御できることが明らかとなった。TEM の回折パターンの結果から、Al 酸化物層の構造はアモルファス構造であることが明らかとなった。また、TEM 観察の結果から求めた酸化物層の厚さは 3-5nm の範囲であることが明らかとなった。図 2 に、酸化処理後の Al ナノ粒子の TEM 像の一例を示す。

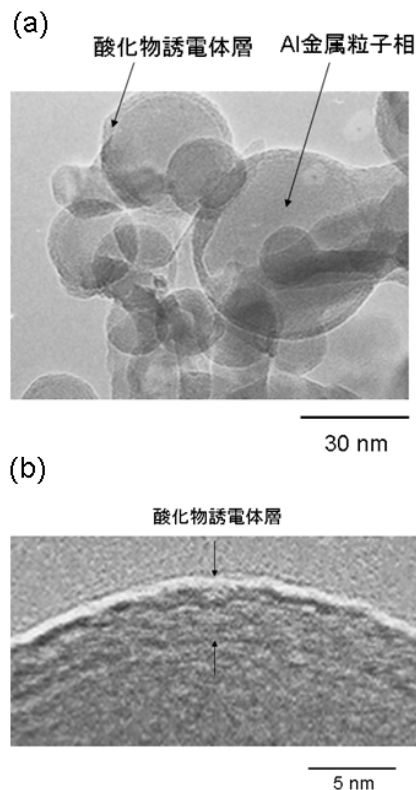


図 2 酸化処理により生成した酸化物誘電体層/Al ナノ粒子(a)と酸化物誘電体層(b)の TEM 写真の一例

Al 粒子を複合化した材料の SEM 観察の結果からは金属粒子相の凝集が観察された。混合の回転速度と脱気プロセスの時間を制御して試料の作製を行い、凝集が少ない構造を得るための最適な条件を明らかにした。また、基本構造となる酸化物誘電体層/Al ナノ粒子が均一に分散するための混合条件を明らかにした。

試料の電波特性

測定した電波透過特性 T および電波反射特性 R は材料の構造により変化し、電波反射スペクトルには電波の干渉に起因すると考えられる金属単体材料では見られないピークが確認された。図 3 に、測定した試料の電波透過率および電波反射率の一例を示す。

これら測定したスペクトルから、電波吸収特性 A および電波の減衰係数を算出した。また、基本となる粒子構造が電波の波長から比べて非常に小さいことから試料を均一体と仮定し、ニコルソン-ロス法を用いることにより、試料の平均の複素誘電率 ϵ_1 および ϵ_2 を算出した。

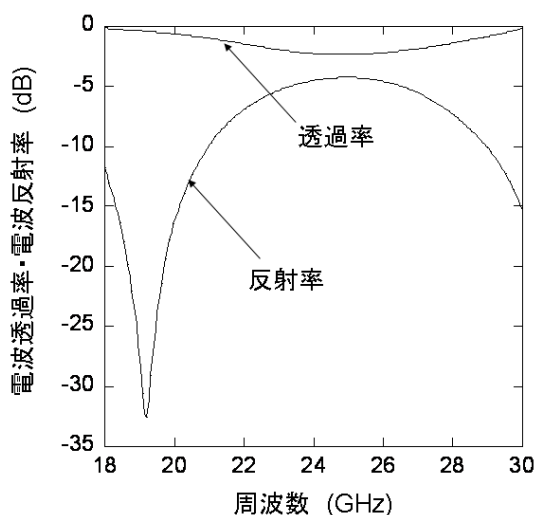


図 3 測定した電波透過率および電波反射率の一例

材料の金属粒子相体積率および電波特性、複素誘電率の関係から、材料中の金属粒子相の平均直径がナノメートルオーダーの場合、同一体積率のマイクロメートルオーダー金属粒子相に比べ、高い透過率、低い誘電率実数部と虚数部を示した。この結果は、誘電体層の厚さのみでなく、金属粒子相の大きさが電波透過特性に大きな影響を与えていることを示している。

電気特性測定の結果、Al 粒子を複合化した材料では電気伝導性が確認されなかった。これは、Ag 粒子を複合化した材料が電気伝導性

を示した結果とは異なり、数 nm 程度の厚さの Al 粒子表面の酸化物誘電体層が高い電気伝導性を有する Al 粒子間の電氣的な接触を妨げていることを示している。

電波透過のメカニズムおよび電波透過材料の作製

試料の電気伝導率と電波透過率の関係から、電波透過特性には金属粒子相間の電子の移動が大きく関わっていることが明らかとなった。この結果、金属相と電波透過特性の両立には、金属相間の電氣的なパーコレーション現象を制御することが必要であり、本研究で用いた数 nm オーダーの誘電体層の役割が重要であることが明らかとなった。また、金属粒子相表面の誘電体層の存在だけでなく、金属粒子相自身の大きさも電波透過特性に影響することが明らかとなった。同体積率の金属相を含む場合、マイクロメートルオーダー粒子に比べナノ粒子の場合には誘電率の実数部、虚数部ともに低い値を示したことから、粒子のナノサイズ効果が電波透過特性を高めるためには重要であることが明らかとなった。

以上の得られた結果をもとに、金属相粒子相直径と金属相体積率の関係を制御することにより、目的とする透過率 60% 以上の材料を実現することができた。特に、金属相の体積率が 20% 以上、試料厚さ 1mm 以上の材料においては、電波透過誘電体と同等の電波透過率である透過率 80% を実現することができた。

この結果は、大きさなどの一定の条件を満たす金属相の場合、誘電体層で金属相同士を電氣的に絶縁することによって、材料中に金属相を含んでも金属的な電波との相互作用を避けることが可能となることを意味する。この結果は、低損失の誘電体と同様に電波透過特性を保持しつつ、金属相を組み合わせることによって熱的特性や機械的特性などを変えることができる可能性を示しており、従来は誘電体に限られていた電波透過材料が、金属も含めた材料から選択して組み合わせられた設計が可能になることを示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

K. Matsumura and Y. Kagawa, Transparent behavior of aluminum nanoparticle compacts at microwave frequencies, Journal of Applied Physics, vol. 103, 093105 (2008).

[学会発表](計 3 件)

宇都野正史、松村功德、香川豊、電波透過特性に対する金属粒子間距離の影響、日本金属学会秋季大会、岐阜、2007年。

K. Matsumura and Y. Kagawa, Interaction of metal nanoparticle compact and electromagnetic wave at GHz frequencies, Materials Science & Technology, USA, 2008.

S. Utsuno, K. Matsumura, and Y. Kagawa, Microwave transmittance of nano-aluminum particle-dispersed epoxy matrix composites, Materials Science & Technology, USA, 2008.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

特に無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松村功德、東京大学先端科学技術研究センター、助教

研究者番号：20447329

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし