

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420721

研究課題名(和文)高性能電磁波遮蔽材料の開発及び特定遮蔽周波数の実現

研究課題名(英文) Development of high performance EMI materials for specified shielding frequency region.

研究代表者

倪慶清(NI, QING-QING)

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：00252544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：カーボンナノチューブをベースにした電磁波特性に注目し、ポリマー樹脂とのナノコンポジット化による材料開発を行い、高性能の電磁波遮蔽材料を創出することができた。強磁性中空複合粒子の創成、強誘電体ナノチューブの創成、また誘電体材料の周期構造配置により電磁波遮蔽構造の設計ができた。よって、電磁波遮蔽製品の設計自由度が格段に向上すると同時に、情報・高機密性などの分野への製品開発、電磁波制御が実現できた。創成された誘電体材料を3次元周期構造に設計し、特定周波数の電磁波遮蔽材料構造を開発できた。電磁波遮蔽特性は材料の表面反射、材料内部の吸収(多重反射も)に分けられ、その遮蔽メカニズムの一端が解明された。

研究成果の概要(英文)：The electromagnetic shielding interference (EMI) materials based on carbon nanotube is focused, and the high performance electromagnetic materials are developed by using nano-technology. The strong magnetic porous complex particles, strong dielectric nanotubes, period structures with dielectric property for electromagnetic shielding are fabricated successfully. Based on these results, design freedom of electromagnetic shielding products will be leveled up greatly, which will be benefit for the products development of information and high shielding fields. Furthermore, with a three-dimensional design of dielectric materials, it is possible to develop a specified frequency of EMI materials. The EMI waves could be clarified to be surface reflection, inner absorption and multi-reflections on the interface, corresponding to each component, some of EMI mechanism is made clear.

研究分野：複合材料工学、スマート材料、ナノ機能性材料

キーワード：電磁波遮蔽材料 ナノコンポジット カーボンナノチューブ ナノ材料の創成 EMI最適設計

1. 研究開始当初の背景

IT 技術の進歩とともに高周波電磁波の利用によって、我々の生活は便利で快適なものとなっている。しかし、電磁波を利用した様々な機器が日常にあふれるようになり、電磁波を利用する環境の悪化が問題となっている。これは機器の電磁耐性(EMS: Electromagnetic Susceptibility)の低下および電磁干渉(EMI: Electromagnetic Interference)の増加の2種類の問題を引き起こす。EMS は機器の不要電磁波に対する影響の受けにくさを示している。EMI は機器からの不要電磁波によって自他の機器に影響を与えることである。これらは機器の筐体へのプラスチック材料の使用、回路の集積化、動作周波数の高周波化および携帯機器の増加などが要因とされている。不要電磁波による最大の問題は機器の誤作動である。例えば、航空機内の機器、医療機器および工業用ロボットなどの誤作動があり、運行や治療に重大な支障を与え、人命を危険にさらす可能性がある。また、電磁波の人体への影響も社会問題となっており、懸念されている。

上記の電磁波による問題を未然に防ぐために、EMS や EMI の両方を考慮する必要がある。この考え方を電磁両立性(EMC: Electromagnetic Compatibility)という。これからの社会において、EMC を考慮した環境および設計がますます重要となっている。電磁波問題の機器側の対応としては、材料、回路、アースおよび配線などがあるが、マイクロ波からミリ波までの様々の電磁波を遮蔽するには電磁波遮蔽材料を用いることがもっとも有効である。しかし、現在までの電磁波遮蔽材料は主に金属材料から構成され、省エネと軽量化が要求される今日、金属材料の代わりに新規電磁波遮蔽材料の開発が急務となっている。

2. 研究の目的

本研究では材料の観点から対策方法である有効な電磁波遮蔽材料を開発し、応用することを目的とする。

さらなる高性能の電磁波遮蔽材料を創出するため、強磁性中空複合粒子の創成、強誘電体ナノチューブの創成、誘電体ナノチューブのフォトニック周期構造設計を行う。また、誘電体材料の周期構造配置により必要に応じた特定周波数における電磁波遮蔽を実現する。そのため電磁波遮蔽製品の設計自由度が格段に向上すると同時に、工業応用から特定周波数遮蔽が必要とする情報・高機密性などの分野への製品開発、電磁波制御が実現できる。

3. 研究の方法

1) 強磁性中空複合球の創成

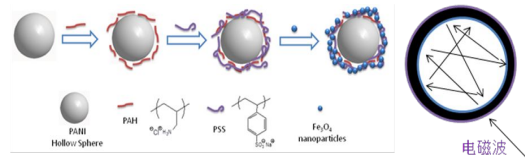


図1 強磁性ナノ中空複合粒子の創成過程及び中空内部での電磁波遮蔽メカニズム

図1に強磁性ナノ中空複合粒子の創成過程を示す。Fe₃O₄と導電性ポリマーPANIを用いて、中高層の直径、磁性粒子のサイズ、磁性粒子層の厚さを調整し、強磁性中空複合粒子を創成する。創成過程での諸条件を制御することにより最適な中空粒子が作成され、中空磁性体における電磁波の多重反射により高効率の電磁波吸収効果を引き起こし、電磁波遮蔽効率を向上させる。

2) 強誘電体チタン酸バリウム (BaTiO₃) ナノチューブの創成

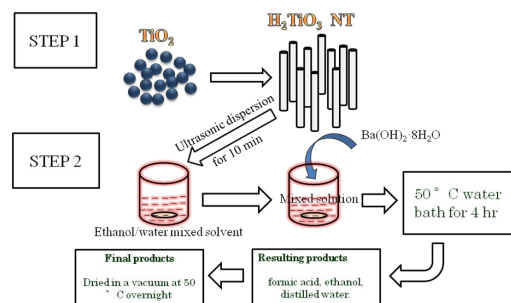


図2 チタン酸バリウムナノチューブの創成プロセスのイメージ図

チタン酸バリウムナノチューブを上記のプロセスによって創成する。同時に最適な生成条件を見出す。BTO 作成過程において温度条件の変化によって BTO チューブまたは BTO 粒子が生成される。

3) 誘電体周期構造設計及び特定遮蔽周波数の実現

より広範囲の特定周波数遮蔽構造を開発するため、創成された誘電体材料を3次元周期構造に設計し、特定周波数の電磁波遮蔽材料構造の開発を行う。

4. 研究成果

1) 強磁性中空複合球の創成

図1に示した強磁性ナノ中空複合粒子の創成過程により Fe₃O₄と導電性ポリマーPANIの強磁性中空複合粒子を創成することに成功した。中空粒子サイズは約100nmである。Fe₃O₄含有量等、創成過程での諸条件を制御することにより最適な中空粒子が作成され、中空磁性体における電磁波の多重反射によ

り高効率の電磁波吸収効果を引き起こし、電磁波遮蔽効率を向上させることができた。

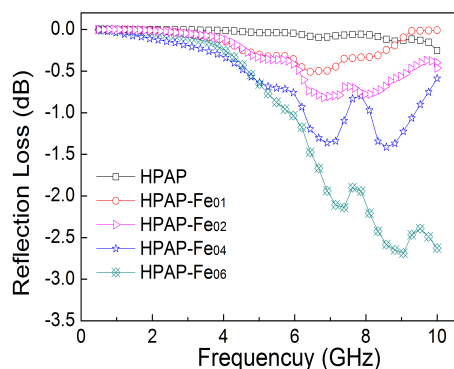


図3 厚さ 2 mmの各種中空複合粒子の電磁波反射曲線

図3に電磁波の反射損失と酸化鉄含有量との関係を示す。図中の電磁波の反射係数($R.L.$)は電磁波伝搬理論により下記の式から求められた。

$$R.L. = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - 1}{Z_{in} + 1} \right| \quad (1)$$

ここで、正規化された入力インピーダンスである (Z_{in}) は次式で与えられる。

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \left(\frac{2\pi f d}{c} \right) \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right] \quad (2)$$

ここで $\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon''$, $\mu_r = \mu' - j\mu''$, f は電磁波の周波数(Hz), d サンプルの厚さ(m), c は自由空間における光速である。図3から酸化鉄の含有量の最適化により高性能の電磁波吸収材が得られた。

2) 強誘電体チタン酸バリウム (BaTiO₃) ナノチューブ

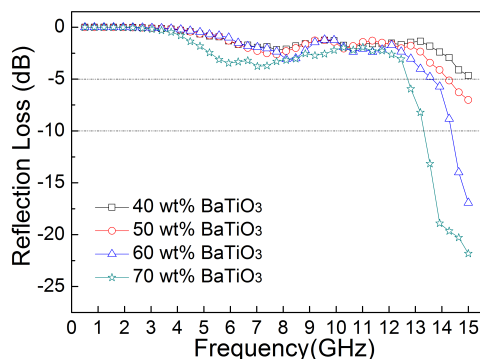


図4 異なる BTO 含有量の電磁波反射損失

チタン酸バリウム (BaTiO₃) ナノチューブは図2に示すプロセスにて作製に成功した。

異なる BTO 含有量における電磁波反射損失を図4に示す。70wt%のサンプルにおいて電磁波反射損失は 20dB 以上に達していることがわかり、優れた電磁波吸収特性を有していることが明白であった。

3) 誘電体周期構造設計 特定遮蔽周波数

より広範囲の特定周波数遮蔽構造を開発するため、創成された誘電体材料を多層構造や三次元構造に設計し、特定周波数の電磁波遮蔽材料構造の開発を試みた。図5に誘電体材料の層構造、マッチング層と吸収層材料の組み合わせによる特定周波数における電磁波吸収特性を示している。Ag と CNT 材料において 3GHz 弱に-50dB 以上の鋭い吸収ピークが観察され、一方 CNT のみでは 7GHz 強のところ特定の吸収ピークが存在している。これらの多層構造をさらに最適化設計することでより広範囲の特定周波数遮蔽構造の実現が可能である。

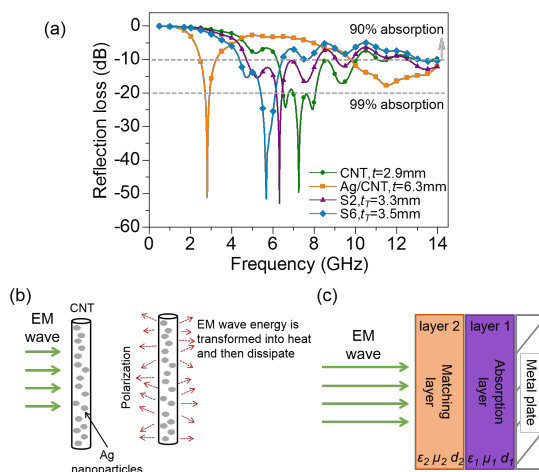


図5 誘電体材料の層構造、マッチング層と吸収層材料の組み合わせによる特定周波数における電磁波吸収特性

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 6件)

- [1] Gan Jet Hong Melvin, Qing-Qing Ni, Zhipeng Wang, Performance of barium titanate@carbon nanotube nanocomposite as an electromagnetic wave absorber, Physica Status Solidi (A), 214, pp.1-6, 2016. 査読有
- [2] Qing-Qing Ni, Gan Jet Hong Melvin, Toshiaki Natsuki, Double-layer electromagnetic wave absorber based on barium titanate/carbon nanotube nanocomposites, Ceramics International, 41,

pp.9885-9892, 2015. 査読有

- [3] Gan jet Hong Melvin, Jun Natsuki, Qing-Qing Ni, Toshiaki Natsuki, Zhipeng Wang, Shingo Morimoto, Masatsugu Fujishige, Kenji Takeuchi, Toshio Hashimoto, Morinobu Endo, Ag/CNT nanocomposites and their single- and double-layer electromagnetic wave absorption proeprties, Sythetic Metals, 209, pp.383-388, 2015. 査読有
- [4] Gan Jet Hong Melvin, Qing-Qing Ni, Toshiaki Natsuki, Electromagnetic wave absorption properties of barium titanate/carbon nanotube hybrid nanocomposites; Journal of Alloys and Compounds, 615 (2014) 84-90. 査読有
- [5] Gan Jet Hong Melvin, Qing-Qing Ni, Yusuke Suzuki, Toshiaki Natsuki, Microwave-absorbing properties of silver nanoparticle/carbon nanotube hybrid nanocomposites; Journal of Materials Science, 49 (2014) 5199-5207. 査読有
- [6] Gan Jet Hong Melvin, Qing-Qing Ni, Toshiaki Natsuki, Behavior of polymer-based electroactive actuator incorporated with mild hydrothermally treated CNTs; Applied Physics A: Materials Science & Processing, 117 (2014) 2043-2050. 査読有

〔学会発表〕(計 9 件)

- [1] 森川久明, 倪慶清, 夏木俊明, 電磁波遮蔽評価法を用いた CFRP 積層板の層間はく離損傷評価に関する研究, 第 8 回日本複合材料会議 (JCCM8), 2017-03, 東京, 東京大学.
- [2] ヤンヨンジェ, Juhong YU, 森川久明, 倪慶清, Ag@CNT@PANI ナノ複合材料の開発及び電磁波吸収への応用, 第 8 回日本複合材料会議 (JCCM8), 2017-03, 東京, 東京大学.
- [3] 木虎宏太, 夏木潤, 夏木俊明, 倪慶清, 高導電性材料である Ag/CNT ナノ複合体の合成及び特性評価, 第 7 回日本複合材料会議 (JCCM7), 2016-03, 京都, 京都プラザ.
- [4] 楊拓, 夏紅, 倪慶清, 多次元カーボンファイバー織物複合材料の開発と応用, 第 7 回日本複合材料会議 (JCCM7), 2016-03, 京都, 京都プラザ.
- [5] 柳澤吉徳, 夏木俊明, 夏紅, 倪慶清, CFRP の電磁波遮蔽特性およびその評価法に関する研究, 日本機械学会北陸信越支部第 53 期総会・講演会, 2016 - 03, 長野市, 信州大学.

[6] 倪慶清, 多機能ナノコンポジットの研究開発について, 第 6 回日本複合材料会議 (JCCM6), (招待講演), 2015 - 03, 東京, 東京大学.

[7] Gan Jet Hong Melvin, 夏木俊明, 倪慶清, BTO/CNT ナノコンポジットの作製及び電磁波吸収特性の評価, 第 6 回日本複合材料会議 (JCCM6), 2015 - 03, 東京, 東京大学.

[8] Toshiaki Natsuki, Yusuke Suzuki, Gan Jet Hong Melvin, Qing-Qing Ni, Carbon nanotube decorated with silver nanoparticles and its electromagnetic wave absorption properties, 11th China-Japan Joint conference on composite materials, 2014-10, Chongqing, China, Chongqing University.

[9] Gan Jet Hong Melvin, Toshiaki Natsuki, Qing-Qing Ni, Bending behavior of polymer-based electroactive nanocomposite actuator incorporated with modified CNTs; International Symposium on Fiber Science and Technology 2014, ISF2014 (September 2014, Tokyo, Japan, Big Sight Tokyo Fashion Town (FTF)).

6 . 研究組織

(1)研究代表者

倪慶清 (NI, Qing-Qing)
信州大学・学術研究院繊維学系・教授
研究者番号: 00252544

(2)研究分担者

夏木俊明 (NATSUKI, Toshiaki)
信州大学・学術研究院繊維学系・准教授
研究者番号: 10432171