

## 博士論文審査の結果の要旨

氏名	LI FENGYU
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 796 号
論文題目	Development of magnetic carbon nanomaterials for high performance microwave absorption (高性能マイクロ波吸収用磁性カーボンナノ材料の創製)
論文審査委員	主査 夏木 俊明 市川 結 橋本 佳男 FU SHAOYUN (重慶大学, 中国)

(博士論文審査の結果の要旨)

本学位論文は、マイクロ波吸収材料の開発を行い、特にバイオマス材料と金属有機骨格を用いた高性能磁気炭素系複合材料を創製し、電磁波吸収特性を系統的に検討したものである。主な研究結果は以下に示す。

1) まず、バイオマス誘導体として、卵白を炭素と硫黄源として初めて利用する簡便で低コストの作製プロセスを考えた。マイクロ波吸収材料を製造するために、硝酸コバルト、硝酸第二鉄、硝酸ニッケルからなる三元合金を磁性材料として用い、合金の量は卵白由来のカーボンのマイクロ波吸収性能を調節することができる。作製した複合体の反射損失は 13.8GHz において厚さ 1 mm で 47 dB に達した。また、卵白由来のカーボンフレークがマイクロ波を吸収するだけでなく、マイクロ波減衰能力を高める際の合金導入の役割も明らかにしている。

2) Ni<sup>2+</sup>と Co<sup>2+</sup>を前駆体としてゼオライト化イミダゾレート骨格 (ZIF) を設計し、自発的な三次元ネットワークを持つ NiCo 合金と n 共ドーパ炭素を得た。結晶化における Ni/Co 比を制御することにより複合材料の形態を制御できる。熱分解中、n ドープ炭素と NiCo 合金を持つ 3D ネットワーク構造を特定の Ni/Co 比で触媒することができた。優れたマイクロ波吸収性能を有し、最小反射損失は 1.5 mm で -41.9 dB、2.6 mm で全 X バンド吸収が達成された。

3) 多層複合材料の設計を行い、特定の材料または構造を用いて制御可能なマイクロ波吸収材料を調製することができた。遺伝的アルゴリズムを用い、計算の最適化を図り、EWC-1 と Ni<sub>1</sub>Co<sub>2</sub>@C 多層複合材料を最適化する構造設計を有限要素法により解析した。多層複合材料構造において単層の厚さ、層数、間隔距離など諸因子は多層複合材料のマイクロ波吸収特性に影響を与えていることを明確にした。遺伝的アルゴリズムを用いて多層複合材料の最適化において 5 層構造で表面層が EWC-1、複合体の厚さ 4.7 mm で C バンド吸収を示し、Ni<sub>1</sub>Co<sub>2</sub>@C 複合体のマイクロ波の減衰に重要な役割を果たし、多層複合材料による新しいマイクロ波吸収材料の開発のための理論的指針を与えた。

以上のことから、本学位論文では、卵白及び金属有機骨格を用いて超薄及び X バンド吸収材料を作製するに成功した。電磁パラメータを解析することにより、マイクロ波吸収特性に及ぼす成分と形態の影響を系統的に検討することができた。また、遺伝的アルゴリズムを用いた有限要素

解析により、多層複合材料の減衰機構及びマイクロ波吸収メカニズムの一端を明らかにし、多層複合材料の設計と開発に有効な指針を与えた。

以上を総合して、本学位論文の学術的価値及び工学応用に対する有用性が認められ、審査委員全委員一致して博士学位論文に値すると判断した。また、本論文はマイクロ波吸収材料の開発を行い、高性能磁気炭素系複合材料を創製したものであり、工学分野における応用展開が大きく期待される。その研究内容は博士（工学）の学位論文として十分価値があると判断する。

（公表主要論文名）

- 1) Fengyu Li, Hong Xia, Qing-Qing Ni, Egg-white-derived magnetic carbon flakes with enhanced microwave absorption properties[J]. Synthetic Metals, 2021, 278: 116827.
- 2) Fengyu Li, Hong Xia, Qing-Qing Ni, Co, Ni-coordinated ZIF derived nitrogen doped carbon network with encapsulated alloy for microwave absorption[J]. Diamond and Related Materials, 2021, 120: 108669.