SiO₂ 粒子が孤立したフェライト・SiO₂ 複合電磁波吸収体の特性評価

非会員 楠 祐樹* 非会員 平木 聖大*
 非会員 近藤 隆俊* 非会員 高田 和志*
 正 員 吉門 進三*

Characteristics of the Electromagnetic Wave Absorbers of Composites Made of Ni-Zn Ferrite and Isolated SiO₂ Particles

Hiroki Kusunoki*, Non-member, Kiyohiro Hiraki*, Non-member, Takatoshi Kondo*, Non-member

Kazushi Takada*, Non-member, Shinzo Yoshikado*, Member

It is found from simulation study that electromagnetic wave absorbers made of composites of Ni-Zn ferrite and SiO₂ particles, which are mutually isolated each other in the continuous medium of Ni-Zn ferrite, show absorption in the frequency region both below and above 1GHz. The spray method is proposed to fabricate such composites in this study. The thin films of Ni-Zn ferrite can be coated on the surface of SiO₂ particles by the spray thin film deposition method. It is confirmed by XRD and the electromagnetic characteristics measurement. The measured complex permeability approached to the calculated result using the isolation model of SiO₂ particles in the Ni-Zn ferrite medium than using Lichtenecker's logarithm mixed low.

キーワード：複合電磁波吸収体，Ni-Zn フェライト，SiO₂，複素比透磁率，スプレー法，表面被覆

Keywords : composite electromagnetic wave absorber, Ni-Zn ferrite, SiO₂, complex permeability, spray method, surface coating

1. はじめに

金属を裏打ちした単層型電磁波吸収体において，試料の複素比透磁率 μ_r^* ，複素比誘電率 ϵ_r^* の周波数特性は，所望の吸収特性を示す電磁波吸収体を設計するにあたり重要な要素である^{(1)~(6)}。ところで目的とする周波数領域において良好な吸収特性を示す電波吸収体材料を開発するために単一の組成の材料を用いるよりは磁性体と誘電体の複合体を用いる方が μ_r^* および ϵ_r^* を制御できる範囲が広がると考えられる。

2 種類以上の材料を混合してどちらの物質も粒子として孤立せずお互いに接触している場合，複合体の平均の μ_r^* あるいは ϵ_r^* を与えるものとして Lichtenecker の対数混合則が知られている⁽⁴⁾⁽⁷⁾。Lichtenecker の対数混合則を用いることにより，複合体の電磁気的特性は，混合する各物質の電磁気的特性と体積混合率のみにより算出することが可能である。しかし，複合磁性体材料を構成するフェライト，あるいは SiO₂ のどちらか一方の粒子が他方の物質媒質の中に孤立した複合体の電磁気的特性は Lichtenecker の対数混合則に従わず，Ni-Zn フェライト粒子あるいは SiO₂ がもう片方

の物質の中に孤立したモデルで定性的に説明される。実際に Ni-Zn フェライトが SiO₂ 中に孤立する割合を大きくした複合体を作製したところこのモデルから求めた電磁気的特性の値に近づくことをすでに報告した⁽⁶⁾。

本研究の目的は複合磁性材料を構成するフェライト媒質中で誘電率の小さい SiO₂ 粒子を孤立させた場合の電磁波吸収特性を評価することである。すでに SiO₂ 粒子が Ni-Zn フェライト媒質中に孤立したモデルに対して，その複合体の電磁気的特性および電磁波吸収特性を実測およびシミュレーションにより評価した⁽⁶⁾。シミュレーションの結果，この複合体を用いた単層型電磁波吸収体では組成を変化させることなく 1GHz 以下の周波数領域では整合厚は増加するものの，Ni-Zn フェライト単体と同程度の吸収帯域幅が得られると同時に，1GHz 以上の周波数帯域においても 99%以上の電磁波が吸収されることがわかった。

そこで本研究において Ni-Zn フェライト媒質中で SiO₂ 粒子が孤立する割合を大きくすることが可能であるかを検討した。SiO₂ 粒子と Ni-Zn フェライトの超微粒子を用いて焼結体を作製する方法と Ni-Zn フェライト焼結体中に SiO₂ が孤立するようにするためスプレー法を用いて SiO₂ 粒子表面をあらかじめ Ni-Zn フェライト薄膜で被膜する方法を用いて作製した複合材料の電磁気的特性および電磁波吸収特性を評価したので報告する。

* 同志社大学工学部
 〒610-0321 京田辺市多々羅都谷 1-3
 Faculty of Engineering, Doshisha University
 1-3, Tatara-Miyakodani, Kyotanabe 610-0321

2. 実験原理

2 種類の物質を混合した混合体の平均複素比透磁率 μ_r^* および平均複素比誘電率 ε_r^* の周波数特性を説明する混合則である Lichtenecker の対数混合則は次式で与えられる⁽⁷⁾。

図1 透磁率 μ_{1r}^* の立方体粒子が透磁率 μ_{2r}^* の媒質中に均等に孤立したモデル

Fig. 1. The model with cubic grains of μ_{1r}^* in a medium of μ_{2r}^* .

$$\log \mu_r^*(\omega) = \delta_1 \log \mu_{1r}^*(\omega) + \delta_2 \log \mu_{2r}^*(\omega) \quad (1)$$

$$\log \varepsilon_r^*(\omega) = \delta_1 \log \varepsilon_{1r}^*(\omega) + \delta_2 \log \varepsilon_{2r}^*(\omega) \quad (2)$$

ただし μ_r^* および ε_r^* は混合体の平均複素比透磁率および平均複素比誘電率。 μ_{1r}^* , ε_{1r}^* および μ_{2r}^* , ε_{2r}^* は各物質の複素比透磁率, 複素比誘電率。 δ_1 および δ_2 は各物質の混合体積率。

混合体の電磁気的特性が Lichtenecker の対数混合則に従うとすれば, その複合体の電磁気的特性を混合する各物質の電磁気的特性とその体積混合率のみにより算出することが可能である⁽⁶⁾。

Ni-Zn フェライトは SiO_2 とほとんど固溶体を作らず, 焼結体は混合体になることが報告されている⁽⁴⁾。平均複素比透磁率 μ_r^* の周波数特性は, 図1に示されるモデルのように複素比透磁率 μ_{1r}^* の粒子が複素比透磁率 μ_{2r}^* の磁性体媒質中に孤立したモデルを用いて説明される。この時, 複合体の平均複素比透磁率 μ_r^* は以下のようになる⁽⁶⁾。

$$\mu_r^* = \mu_{2r}^* \left\{ \frac{(1-\delta)^2 + \delta^2(2-\delta) + \frac{\mu_{2r}^*}{\mu_{1r}^*} \delta(1-\delta)(2-\delta)}{\delta + \frac{\mu_{2r}^*}{\mu_{1r}^*} \delta(1-\delta)} \right\} \quad (3)$$

$$\delta = 1 - \exp\left(\frac{\ln \delta_2}{3}\right) \quad (4)$$

図2に SiO_2 の混合量が 50mol% と 80mol% の複合体の式(3)より求めた μ_r^* の値を用いて計算した吸収中心周波数について規格化した -20dB 吸収帯域幅の計算値を示す。平均複素比誘電率 ε_r^* として, SiO_2 の複素比誘電率を $3.8-j0$ として体積比より算出した値を用いた。 SiO_2 を 50mol% 混合した場合, Ni-Zn フェライトの微細粉を用いた複合体では, 整合厚が厚くなるが Ni-Zn フェライト単体と同程度の吸収中心周波数および -20dB 帯域幅が得られる。従って, この混合体では目立った改善は見られない。一方, SiO_2 を 80mol% 混合した場合, 整合厚は異なるが低周波数領域と高周波数領域の両方において -20dB 以下の良好な吸収特性を示す。これは低周波数領域では μ_r^* 周波数特性が Ni-Zn フェライトと似ていることと, 高周波数領域では μ_r^* の実部が Ni-Zn フェライトよりも大きくなるためである⁽⁶⁾。

3. 実験方法

〈3・1〉 試料の作製 Ni-Zn フェライト超微粒子- SiO_2 複合体: Ni-Zn フェライト中に SiO_2 粒子が孤立するように, 平均粒径約 10nm の Ni-Zn フェライト超微粒子 $\text{Ni}_{0.351}\text{Zn}_{0.637}\text{Fe}_{2.008}\text{O}_4$ (堺化学工業, FNZ-1) および焼結補助剤 B_2O_3 を 3mass% 電子天秤にて計量を行う。計量した試料をメノウ乳鉢で, 純水で 1 時間湿式混合を行い, Ni-Zn フェライト超微粒子を十分に分散させた後, Ni-Zn フェライト中に

図2 SiO_2 粒子が Ni-Zn フェライト媒質中に完全に孤立した複合体の吸収中心周波数と規格化 -20dB 帯域幅のシミュレーション値

Fig. 2. Simulated values of normalized -20dB bandwidth and absorbing center frequency of the composite in which SiO_2 particles are completely isolate by Ni-Zn ferrite medium.

図3 スプレー法を用いて SiO₂ 粒子表面に Ni-Zn フェライト被膜を作製した試料の概念図

Fig. 3. Schematic drawing of the SiO₂ particles coated by Ni-Zn ferrite thin films using spray method.

SiO₂ 粒子が孤立しやすいように平均粒径約 200nm の SiO₂ (ケイ砂, ナカライテスク) を添加し SiO₂ 粒子を粉砕しないように混合を行う。その後加圧成形 (320MPa) を行い直径 20mm のペレットを作製し, ホットプレス法により約 29MPa で 1100℃, 2 時間焼成を行って焼結体を得る。

〈3・2〉 スプレー法による Ni-Zn フェライト被膜の作製

Ni(NO₃)₂・6H₂O, Zn(NO₃)₂・6H₂O, Fe(NO₃)₃・9H₂O を所定量混合した水溶液を 400℃付近に加熱したガラス基板に噴霧すると Ni-Zn フェライト薄膜が堆積することが報告されている⁽⁸⁾。従ってこの方法を SiO₂ 粒子に応用した場合, 図3に示すように粒子の表面を Ni-Zn フェライト薄膜で被膜できると考えられる。〈3・1〉節の Ni-Zn フェライト超微粒子の Ni, Zn と Fe のモル比と同じになるように Ni(NO₃)₂・6H₂O を 0.348g(0.007M), Zn(NO₃)₂・6H₂O を 0.566g(0.013M), Fe(NO₃)₃・9H₂O を 2.424g(0.040M) 計量し純水 150g に溶解して水溶液を作製した。この割合で作製した水溶液を濃度 A の水溶液とし, これに対して水溶液濃度 2 倍(B), 5 倍(C)および 100 倍(D)のものを作製した。図4に示すように平均粒径約 200nm の SiO₂ (石英砂, ナカライテスク) をステンレス容器に入れ, ホットプレートにより約 400~500℃に加熱し, 水溶液をスプレーガンにより噴霧する。噴霧直後, 温度が低下するため, 温度が噴霧前まで回復するまで待ち, 再び水溶液を噴霧する。これを繰り返し, Ni-Zn フェライト被膜を SiO₂ 粒子の表面に堆積させる。これに〈3・1〉節で用いた Ni-Zn フェライト超微粒子を加えて所定の混合量に調整し加圧成形 (320MPa) を行い, 直径 20mm ペレットを作製し, ホットプレス法により約 29MPa で 1100℃, 2 時間焼成を行って焼結体を得る。

〈3・3〉 評価方法 得られた焼結体をトロイダルコア状 (外径: 約 7mm, 内径: 約 3mm) に加工し, 同軸線路に隙間ができないように装荷する。同軸管壁との接触を良くするためにトロイダルコアの内外側面に導電性ペースト(藤倉化成, D-500)を塗布する。ベクトルネットワークアナライ

図4 スプレー法による SiO₂ 粒子表面への Ni-Zn フェライト被膜作製法

Fig. 4. Coating technique of Ni-Zn ferrite thin film on the surfaces of SiO₂ particles.

ザ (アジレントテクノロジー, 8719ES, 8722ES) を用いて 2 port 法により S パラメータの反射係数 S_{11} および透過係数 S_{21} を測定し, 複素比誘電率, 複素比透磁率およびリターンロスを算出する⁽⁶⁾⁽⁷⁾。リターンロス R は以下の式で表される。

$$R = 20 \log_{10} | \Gamma | \dots\dots\dots (5)$$

ただし Γ は試料前面における複素電圧反射係数

X線回折装置 (Rigaku, Miniflex) を用いて複合体および被膜の構造を評価した。SiO₂ 粒子表面の観察には全体的に焦点が合った画像が得られる光学顕微鏡(NIKON ECLIPSE ME600 および All-in-Focus)を用いた。

4. 実験結果および考察

〈4・1〉 Ni-Zn フェライト超微粒子と SiO₂ の複合体の複素比透磁率 Ni-Zn フェライトの連鎖ができるように, 焼結補助剤 B₂O₃ を 3mass% 添加し, ホットプレス法により充填率の向上を図った。Ni-Zn フェライトに SiO₂ を混合させた複合体は, 密度の増加に伴い導電性が増加し, 吸収特性が劣化するが, MnO 等を少量添加することにより導電性を低減させることが可能である⁽⁶⁾。しかし, ここではこのような添加物を添加しないで焼結体を作製した。

Ni-Zn フェライト超微粒子に SiO₂ を 70mol% 混合した複合体に焼結補助剤 B₂O₃ を 3mass% 添加した場合の複素比透磁率 μ_r^* の実部 μ' および虚部 μ'' の周波数特性を図5に示す。SiO₂ を 70mol% 混合した複合体において, μ' の周波数特性は高周波側で平坦化し, μ'' は低周波側で大きくなり, 周波数特性はほぼ Lichtenecker の対数混合則から計算されるものと同様であった。これは Ni-Zn フェライト超微粒子を

図5 Ni-Zn フェライトに SiO₂ を 70mol%混合した複合体の複素比透磁率 μ_r^* の周波数特性

Fig. 5. Frequency dependence of (a) the real part and (b) the imaginary part of μ_r^* for composite materials made of super fine grain of Ni-Zn ferrite-30mol% and SiO₂-70mol%. Plots show measured values.

用いても Ni-Zn フェライト中に SiO₂ を孤立させることができず、Ni-Zn フェライトの連鎖が弱かったためであると考えられる。この原因として Ni-Zn フェライト粒子の作製過程においてチーズと呼ばれる水分を含んだ超微粒子を乾燥させる際に粒子同士が弱く結合したことが考えられる。従って乾燥工程の前段階で SiO₂ 粒子と混合することが必要であると考えられる。また焼結の段階で Ni-Zn フェライトは SiO₂ 超微粒子の場合と異なり、粘性が大きい表面張力が大きいために SiO₂ 粒子の周りを十分に被覆できないことが原因の1つであると考えられる。

〈4・2〉 スプレー法により作製した複合体の特性 図6にスプレー法を用いて SiO₂ 粒子表面に Ni-Zn フェライト被膜を堆積させた試料の XRD 回折結果を示す。Ni-Zn フェライト被膜を堆積させた SiO₂ 粒子を 1000℃、1 時間で熱アニール後、粒子を粉砕して測定を行った。濃度 D の水溶液を用いた場合には、2θが35度付近に Ni-Zn フェライトの回折ピークが確認された。これ以外の濃度では膜の成長速度

図6 スプレー法を用いて Ni-Zn フェライト被膜を作製した SiO₂ 粒子の XRD パターン

Fig. 6. XRD patterns of SiO₂ particles coated Ni-Zn ferrite by spray method.

が極端に小さく、ほとんど Ni-Zn フェライトのピークは観測されなかった。以上のようにスプレー法により SiO₂ 粒子表面に Ni-Zn フェライト被膜を堆積させることが可能であることがわかった。

スプレー法を用いて Ni-Zn フェライト被膜を堆積させた SiO₂ 粒子の表面の光学顕微鏡写真を図7に示す。濃度 D の水溶液を用いて Ni-Zn フェライト被膜を作製したものは SiO₂ 表面に Ni-Zn フェライト被膜が厚く堆積しているが、膜厚にはむらがあり、部分的に膜がはがれて被覆されていないところがあることがわかった。

図8に濃度 A および D の水溶液を用いてスプレー法により Ni-Zn フェライト被膜を堆積させた SiO₂ を用いて作製した複合体の複素比透磁率を示す。濃度 D の水溶液を用いて Ni-Zn フェライト被膜を堆積させた SiO₂ を用いた場合、噴霧量が少なくと透磁率の実部、虚部共にわずかに Lichtenecker の対数混合則から計算される値からずれるにとどまった。しかし同じ濃度の水溶液を2倍量噴霧して Ni-Zn フェライト薄膜を堆積させた SiO₂ を用いた場合、複素比透磁率の実部、虚部共に低周波領域では Lichtenecker の対数混合則から求めた値からさらにずれ、孤立モデルに近づいた。濃度 D の水溶液を多量に噴霧した場合、SiO₂ に堆積される Ni-Zn フェライト薄膜の厚みが増加し SiO₂ 粒子が孤立化する割合が増加したためであると考えられる。

図9に濃度 D の水溶液を用いてスプレー法により Ni-Zn フェライト被膜を堆積させた SiO₂ を用いて作製した複合体の複素比誘電率を示す。噴霧が多いほど実部、虚部ともに

(a)

(b)

(c)

図7 スプレー法で平均粒径約 200nm の SiO_2 粒子表面に Ni-Zn フェライト被膜を作製した試料の光学顕微鏡写真：(a)石英砂，(b)濃度 A，(c)濃度 D の水溶液を用いてスプレーした石英砂

Fig. 7. Microphotographs of (a) SiO_2 and SiO_2 coated by Ni-Zn ferrite by using (b) solution A and (c) solution D. Average grain size of SiO_2 is approximately 200nm.

低周波領域で値は大きくなった。1GHz 以下では虚部は周波数に反比例しているため、低周波領域で虚部が大きくなる原因は複合体の導電率が大きくなるためであると考えられる。 SiO_2 および今回用いた組成の Ni-Zn フェライトは単体では絶縁体であるため、導電率が大きくなった原因として

(a)

(b)

図8 濃度 A および D の水溶液を用いてスプレー法により作製した SiO_2 を 70mol% と Ni-Zn フェライト超微粒子を 30mol% 混合した複合体の複素比透磁率 μ_r^* の周波数特性(プロット)

Fig. 8. Frequency dependence of (a) the real part and (b) the imaginary part of μ_r^* for composites made of super fine grain of Ni-Zn ferrite-30mol% and SiO_2 -70mol% coated by Ni-Zn ferrite thin film by the spray method using solutions A and D. Plots show measured values.

以下のことが考えられる。Ni-Zn フェライト中の鉄は通常 3 価であるが、 SiO_2 粒子と複合体を形成することにより一部の鉄が 2 価に変化し導電性が発現する。2 価の鉄の存在の検証は現在研究中である。

図 10 に μ_r^* の周波数特性が SiO_2 粒子が Ni-Zn フェライト媒質中で完全に孤立したモデルを用いて計算した μ_r^* の周波数特性に最も近い試料のリターンロスの周波数特性を示す。どの厚みにおいてもリターンロスは -20dB 以下にはなかった。この原因として図 8 に示すように複素比透磁率の虚数部すなわち、導電性が大きいためであると考えられ、前述のように SiO_2 粒子を Ni-Zn フェライト中に完全に孤立するか MnO 等を適量添加することにより導電性が小さくすることができればシミュレーションより求めた吸収特性に近づくことが期待される。

図9 濃度 A および D の水溶液を用いてスプレー法により作製した SiO_2 を 70mol% と Ni-Zn フェライト超微粒子を 30mol% 混合した複合体の複素比誘電率 ϵ_r^* の周波数特性(プロット)

Fig. 9. Frequency dependence of (a) the real part and (b) the imaginary part of ϵ_r^* for composites made of super fine grain of Ni-Zn ferrite-30mol% and SiO_2 -70mol% coated by Ni-Zn ferrite thin film by the spray method using solutions A and D. Plots show measured values.

図10 スプレー法で濃度 D の水溶液を用いて作製した SiO_2 複合体の各試料厚のリターンロス

Fig. 10. Frequency dependences of the return loss for composite materials made of super fine grain of Ni-Zn ferrite-30mol% and SiO_2 -70mol% deposited Ni-Zn ferrite by the spray method using solution D.

5. 結 論

(1) Ni-Zn フェライトと SiO_2 の複合体において Ni-Zn フェライト粒子を SiO_2 媒質中に孤立させることは SiO_2 超微粒子を用いることで可能であるが、逆に SiO_2 粒子が Ni-Zn フェライト媒質中で孤立させるには Ni-Zn フェライトの超微粒子を用いても現段階では不可能なことが分かった。

(2) スプレー製膜法を用いることによって SiO_2 (石英砂) 粒子表面に Ni-Zn フェライトの被膜の堆積が可能であることが分かった。

(3) Ni-Zn フェライト被膜を堆積させた SiO_2 (石英砂) を用いて作製した複合体の複素比透磁率の値は SiO_2 (石英砂) 粒子が Ni-Zn フェライト媒質中で孤立するモデルから算出した値に近づくことが分かった。

(4) SiO_2 粒子が Ni-Zn フェライト媒質中に完全に孤立していないと考えられ、 SiO_2 粒子が Ni-Zn フェライト媒質中で完全に孤立したモデルによるシミュレーションで得られる電磁波吸収特性は得られなかった。

謝 辞

Ni-Zn フェライトの超微粒子を提供してくださった堺化学工業(株)に深く感謝いたします。本研究は京都府地域結集共同研究事業および同志社大学 R C A S T の支援のもと遂行されました。感謝いたします。

(平成 15 年 6 月 23 日受付, 平成 15 年 11 月 21 日再受付)

文 献

- (1) Y. Naito, K. Suetake, E. Fujiwara, and M. Sato : "the Characteristic of the Ferrite Absorbing Wall", *IEICE Trans.*, Vol. J52-B, No.1, pp.26-30 (1969-1) (in Japanese)
内藤喜之・末武国弘・藤原英二・佐藤正明 : 「フェライト吸収壁の電波吸収特性」, 信学論 B, **J52-B**, 1, pp.26-30 (1969-1)
- (2) Y. Kotsuka : "Ferrite Electromagnetic Wave Absorbers", *J. Magn. Soc. Jpn.* Vol. 21, pp. 1159-1166 (1997) (in Japanese)
小塚洋司 : 「フェライト電波吸収体」, 応用磁気学誌, **21**, pp. 1159-1166 (1997)
- (3) H. Ueno, T. Kondo, and S. Yoshikado : "Development and Evaluation of the Composite Electromagnetic Wave Absorbers Made of Composite Ferrite", *T. IEE Japan*, Vol.22, pp.881-884 (1998) (in Japanese)
上野秀典・近藤隆俊・吉門進三 : 「複合電波吸収体材料の開発と評価」, 応用磁気学誌, **22**, pp.881-884 (1998)
- (4) T. Kondo and S. Yoshikado : "Electromagnetic Characteristics of a Ceramic Composite", *J. Ceram. Soc. Japan*, Vol.109, pp.326-331 (2001) (in Japanese)
近藤隆俊・吉門進三 : 「セラミックス複合体の電磁気的特性について」, *J. Ceram. Soc. Japan*, **109**, pp.326-331 (2001)
- (5) H. Kusunoki, T. Kondo, and S. Yoshikado : "Improvement of the Electromagnetic Wave Absorbers of Ferrite- SiO_2 Composites and the Evaluation of the Incident Angle Characteristics", *T. IEE Japan*, Vol.122-A, No.5, pp.485-492 (2002-5) (in Japanese)
楠 祐樹・近藤隆俊・吉門進三 : 「フェライト・ SiO_2 複合電磁波吸収体の吸収特性の改善および斜め入射特性の評価」, 電学論 A, **122**, 5, pp.485-492 (2002-5)
- (6) H. Kusunoki, T. Kondo, K. Hiraki, K. Takada, and S. Yoshikado : "Grain-size Dependence of Absorption Characteristics of the Electromagnetic Wave Absorbers of Ferrite- SiO_2 Composites", *IEEJ Trans. FM*, Vol. 123, No.2, pp.125-131 (2003-2) (in Japanese)
楠 祐樹・近藤隆俊・平木聖大・高田和志・吉門進三 : 「フェライト・ SiO_2 複合電磁波吸収体の吸収特性の粒径依存性」, 電学論 A, **123**, 2, pp.125-131 (2003-2)

- (7) K. Lichtenecker and K. Rother : “die Herleitung des Logarithmischen Mischungsgesetzes aus Allgemeinen Prinzipien der Stationären Strömung”, *Phys. Z.*, Vol.32, pp. 255-260 (1931)
- (8) A. Takayama, K. Kondo, M. Okuya, and S. Kaneko : “Preparation and Characterization of NiZn Ferrite Thin Films by a Spray Pyrolysis Deposition Method”, *J. Ceram. Soc. Japan*, Vol.110, pp.916-920 (2002) (in Japanese)
高山昭夫・近藤和匡・奥谷昌之・金子正治 : 「スプレー熱分解法によるNiZn フェライト薄膜の作製とその特性」, *J. Ceram. Soc. Japan*, **110**, pp.916-920 (2002)

楠 祐 樹

(非会員) 1978年6月2日生まれ。2001年4月同志社大学大学院工学研究科 電気工学専攻博士前期課程入学。現在に至る。電子情報通信学会会員。

平 木 聖 大

(非会員) 1979年4月2日生まれ。2003年4月同志社大学大学院工学研究科 電気工学専攻博士前期課程入学。現在に至る。

近 藤 隆 俊

(非会員) 1975年10月18日生まれ。1998年4月同志社大学大学院工学研究科電気工学専攻博士前期課程入学。現在、東日本旅客鉄道(株)勤務。

高 田 和 司

(非会員) 1978年11月10日生まれ。1998年4月同志社大学工学部電気工学科入学。現在に至る。

吉 門 進 三

(正員) 1952年11月13日生まれ。1978年3月電気通信大学大学院電気通信学研科修士課程修了。1982年4月同志社大学工学部助手。助教授を経て1995年教授。現在に至る。博士(工学)。主として電気電子材料工学に関する研究に従事。日本物理学会, 応用物理学会, 電子情報通信学会会員。