

焼成鉄ナノ多結晶体における高周波抵抗の局所的消失

Vanishing of Electrical Resistance for Sintered Fe Nano-polycrystalline Body at Local High Frequency

関大システム理工¹ ○佐伯 拓¹, 宮楠大輝¹, 山崎和仁¹, 飯田幸雄¹, 稲田 貢¹

Faculty of Engineering Science, Kansai Univ.¹, °Taku Saiki¹, Daiki Miyakusu¹, Kazuhito Yamazaki¹, Yukio Iida¹, Mituru Inada¹

E-mail: tsaiki@kansai-u.ac.jp

はじめに

金属と磁性体を多層構造とし磁性体の負の透磁率を利用して高周波における表皮効果を低減する研究が進められている[1]。また、焼成金属におけるナノ構造を持つ金属では電流の流れる空間分布が従来と異なり表皮効果による抵抗の増大を軽減できる可能性もある。金属中の高周波電流に対する表皮効果を抑え抵抗値を下げることであれば、シリコンを用いた半導体電子デバイスや金属のエネルギー伝送ロスを抑え、省エネルギー化、発熱の減少が可能となる。一方、金やプラチナなどの微粒子の磁性に関する研究が行われてきた。金属をナノ粒子化すると磁性が強まることが言われていた。フントの法則に従い金属ナノ粒子などの微粒子は、電子による軌道磁気モーメントにより粒子表面の影響が強く表れ、新たな磁性が発現することが示されている[1]。一方、我々のグループはアルミナノ多結晶体やシリコンナノ多結晶が強磁性を示すことを明らかにした[2, 3]。特にシリコンナノ多結晶体では、MHz帯の周波数で抵抗が 0mohm 近くとなる大幅な減少を確認した[3]。今回、前回に続き強磁性体である焼成鉄ナノ多結晶体について磁気特性を調べた。また、高周波の交流電流を流した場合、非常に特異な特定周波数における抵抗の大幅な減少特性も明らかにした。さらに、実験で得られた抵抗の周波数特性は負の透磁率を考慮した計算機シミュレーションで説明できることを確認した。

実験

液相レーザーアブレーション法で還元鉄ナノ粒子を作成した。数 μm の酸化鉄微粒子から調整された鉄ナノ粒子をペースト化し焼成して焼成鉄ナノ多結晶体を得た。抵抗値を調べるために用いたスティック型焼成焼成鉄ナノ多結晶体のサイズは、厚み 0.5mm、幅 5mm 長さ 10mm であった。LCR メータを用いインダクタンスと直列抵抗を計測した。インダクタンスの計測には LCR メータ (3532-50 LCR ハイテスタ、日置電機) を用いた。インダクタンスの計測周波数は 42Hz から 5MHz とした。導体は抵抗とインダクターの直列接続であると仮定し上記 LCR メータにてそれらの数値を測定した。Fig. 1 に計測した抵抗値の周波数特性 (電流 1.0mA) を示す。赤丸は還元鉄ナノ粒子をペースト化した焼成体の結果である。焼成鉄の 100Hz での体積抵抗率はバルクの場合の数倍であった。今回のサンプルは焼成シリコン体の抵抗値の計測結果[3]と同様に 200kHz で抵抗値が少し下がり 3MHz と 5MHz 付近で抵抗が実効的に 0mohm となった。Fig. 2 に直列インダクタンスの周波数特性の実験結果を示す。200kHz、3MHz、5MHz でインダクタンスの飛びが確認された。それらは同周波数での位相の飛びと一致し、これらの周波数は磁気共鳴周波数であると考えられた。これらの磁気共鳴周波数付近で実効的抵抗の大幅な低下が確認された。詳細については報告で行う。

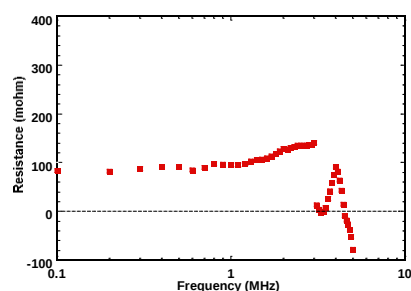


Fig.1. Measured resistance.

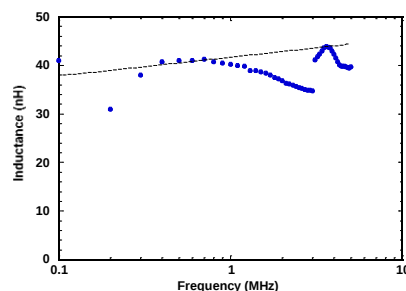


Fig. 2. Self-inductance.

参考文献

- [1] Function Investigation Committee of Nanoscale Magnetic Material, "Nanostructured magnetic materials -physics, function, design-", (Kyoritsu Publishing, Tokyo, JAPAN, 2010), Chapter 1 and 2.
- [2] M. Inada, Y. Iida, T. Saiki, S. Masuda, "Aluminum Nano-polycrystalline Substance with Ferromagnetics and Application to High-Frequency Core Inductor", J. of Electrical and Electronic Engineering, Vol. 5(3), June (2017) pp.98-103.
- [3] M. Inada et. Al., "Magnetic properties of aluminum condensate prepared by laser ablation in liquid.", The 78st JSAP Autumn Meeting (2017), 6p-PA1-4 6 Sep. Nagoya, Japan.