

高周波複素透磁率測定における反磁界効果

武田 茂、田口 実*、山崎真之介*、本村貞美*、発知富夫*、鈴木洋介*
(Magnontech, *キーコム)

Demagnetization effect in high frequency complex permeability measurement

S. Takeda, M. Taguchi*, S. Yamasaki*, S. Motomura*, T. Hotchi*, H. Suzuki*

(Magnontech, Ltd., *KEYCOM Corp.)

はじめに 高周波複素透磁率 $\mu' - j\mu''$ を測定する場合、遮蔽型短絡マイクロストリップ線路(MSL)を用いて短冊状試料を測定した結果と、短絡同軸線路(SCL)を用いてトロイダル試料の複素透磁率を測定した結果は異なる。前者の低域の透磁率 μ' は減少し、高域における μ'' のピーク周波数 f_r (自然共鳴周波数)は高周波側にシフトする。MSLとSCLの関係は、マクロ反磁界係数 N で1対1に対応させることができる¹⁾²⁾³⁾。一方、高周波磁気工学ではLLG方程式で導入されるミクロな反磁界係数 N_x, N_y, N_z がある。今回、LLG方程式の計算結果でも N_x が大きくなると自然共鳴周波数が高域に移動するという現象を確認した。

実験結果 まず、同じ132 μm のNSS (Noise Suppression Sheet) から5 mm x 16 mmの短冊試料及び7 mm ϕ x 3 mm ϕ のトロイダル試料を切り出す。Fig.1は、それぞれの $\mu - f$ 特性をMSL、SCLで測定した結果を示す。SCLはAPC-7、MSLの諸元は、ストリップ線路幅 $w=7.5$ mm, 線路高さ $h_1=2$ mm, $h_2=6.7$ mm, 治具長 $l=8$ mmである。トロイダル試料の場合、1 MHzで $\mu'=90$ であるが、10 MHzから漸減しはじめ1 GHzでは5程度となる。また、 μ'' は約200 MHzでピークを取る。この周波数が自然共鳴周波数 f_r である。一方、短冊試料では、1 MHzで $\mu'=40$ と低下し、自然共鳴周波数 f_r は750 MHzまで上昇する。次に、MSLのデータを補正し、SCLの結果に一致させた。そのとき得られたマクロ反磁界係数は $N=0.0149$ であった。

計算結果と考察 ミクロ反磁界との関係を調べるためにLLG方程式を計算した。その結果をFig.2に示す。トロイダル試料を5 mm x 2000 mmの短冊試料と仮定した。このときの反磁界係数をチャージモデルで計算し、 $N_x=0, N_y=0.983, N_z=0.0168$ を得た。トロイダルの円周方向に相当する高周波磁界の方向がx方向である。半径方向がz方向、厚み方向がy方向である。ここでは、磁性材料の飽和磁化 $4\pi M_s=5000$ G、z方向の異方性磁界 $H_z=140$ Oe、緩和係数 $\alpha=1$ とした。このときの自然共鳴周波数 f_r は約170 MHzであった。実験の200 MHzより少し低い。また、10 MHz以上で漸減する現象は計算では再現できない。一方、短冊試料の実際の寸法は5 mm x 16 mmであるが、x方向の反磁界係数 $N_x=N=0.0149$ となるように、5 mm x 4.28 mmの短冊試料とした。このときの反磁界係数は $N_x=0.0149, N_y=0.974, N_z=0.0109$ である。Fig.2に示すように、1 MHzでの μ' は30程度と低下し、自然共鳴周波数 f_r は500 MHzにシフトした。定量的な一致は見られなかったが、ミクロ反磁界が増加すると自然共鳴周波数が増加する現象を確認できた。

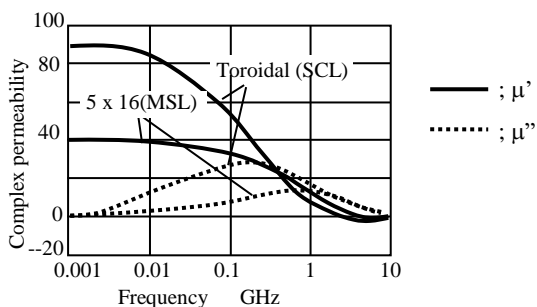


Fig.1 Measured results of NSS by MSL jig and SCL jig ($N=0.0149$).

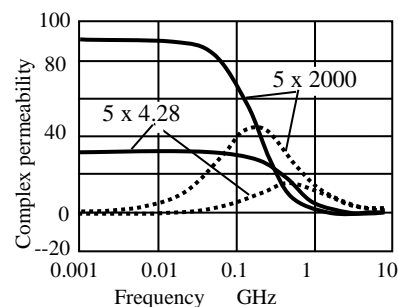


Fig.2 Calculated results by LLG equation for 5 x 2000 ($N_x=0, N_y=0.958, N_z=0.042$) and 5 x 4.28 ($N_x=0.0149, N_y=0.974, N_z=0.0109$).

参考文献

- 1) S. Takeda, T. Hotch, S. Motomura, and H. Suzuki, *Journal of the Japan Society of Powder & Powder Metallurgy*, vol.61, (2014), No.S1, S303-307,
- 2) S. Takeda, et al., *J. Magn. Soc. Jpn.*, **39**, 227-231 (2015),
- 3) S. Takeda, et al., *J. Magn. Soc. Jpn.*, **39**, 116-120 (2015),