FeCo-MgF ナノグラニュラー薄膜における高周波 TMD 効果

池田賢司[1]、小林伸聖[1]、藪上信[2]、荒井賢一[1]
（電磁材料研究所[1]、東北学院大学[2]）

High frequency TMD effect in FeCo-MgF nanogranular films

K. Ikeda[1], N. Kobayashi[1], S. Yabukami[2], K. I. Arai[1]
(Research Institute for Electromagnetic Materials[1], Tohoku Gakuin University[2])

はじめに

ナノグラニュラー薄膜は、数 nm の強磁性金属微粒子を絶縁体のマトリックス中に分散させた構造を有しており、磁性金属の含有量に応じて、高周波軟磁気特性、トンネル型磁気抵抗（TMR）効果などの物性を示すことで知られている。我々のグループは、FeCo-MgF ナノグラニュラー膜において、30 at.%以下の FeCo 組成域において誘電特性を示すことを確認し、磁界によって誘電率が変化する磁気誘電効果を発現することを見出した[1)]。この磁気誘電効果は、隣接する磁性粒子間のトンネル伝導によって形成される電気双極子、すなわちトンネル型磁気誘電（TMD：Tunnelling Magneto Dielectric effect）効果によって説明され、磁性粒子間のトンネル伝導によってその特性が大きく変化する予測される。特に、トンネル伝導の緩和時間の変化は、誘電率の高周波特性に大きく影響すると予測されることから、FeCo 組成の制御によって粒子間距離を変えた試料を作製し、伝送線路の線路間容量の測定を用いて高周波誘電特性を解析した。

実験方法

ナノグラニュラー薄膜は、FeCo と MgF_2 ターゲットを用いたタンデムスパッタ法によって成膜した。成膜は 200℃の加熱雰囲気で行い、Ar 雰囲気(1 Pa)において、石英基板上に約 1 μm 形成した。それぞれのターゲットの電力を変えることによって組成を変えた試料を作製した。組成分析は WDS、微細構造は TEM によって解析した。磁化曲線は VSM を用いて測定した。比誘電率は、ナノグラニュラー薄膜上部に Au 電極で形成したコプレーナ型伝送線路（50Ω整合：終端開放）のシグナル - グランド間の線路間容量を測定し、ナノグラニュラー薄膜による容量の増加量を電磁界シミュレーションの計算結果と比較することによって算出した。容量測定は、ネットワークアナライザー（R&S:ZNB20）を用い、1 MHz から 10 GHz の周波数帯域で測定した。TMD 効果の周波数特性は、電磁石で最大 1 kOe の磁界を印加しながら容量を計測することによって算出した。

実験結果

Fig.1 にナノグラニュラー薄膜の断面 TEM 像を示す。FeCo 粒子（暗部）が MgF マトリックス（明部）に分散した構造が観察されている。FeCo 組成の増加により、FeCo 粒子の若干の粒成長と、粒子間距離の減少が確認される。

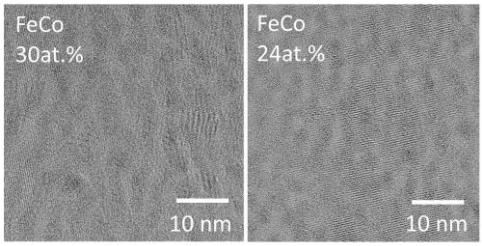

Fig.1 TEM images of FeCo-MgF films.

比誘電率の周波数特性を Fig.2 に示す。比誘電率（実線部）は、全周波数帯域において FeCo 30at.%試料の値が高くなっており、緩和周波数の高周波化を示している。この結果は、FeCo 組成の増加に応じて隣接する磁性粒子間の距離が減少することにより、粒子間のトンネル伝導の緩和時間が減少することに起因すると考えられる。Fig.2 の破線は、緩和時間の分布を取り入れた Debye-Frörich モデルによる計算値であり、ナノグラニュラー薄膜の誘電緩和を良く説明することができる。この計算で用いた緩和時間は、FeCo 組成に応じて減少しており、TEM 観察で確認された粒子間距離の減少と対応した結果が得られている。

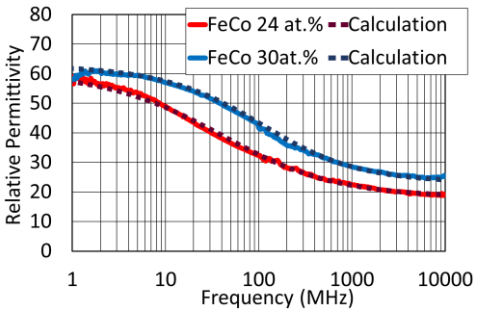

Fig.2 Frequency dependence of relative permittivity.

参考文献

1)　N. Kobayashi et al., Nat. Commun. 5, 5417 (2014).