Fe-Ga 薄膜における高周波磁気特性の膜厚依存性

遠藤 恭, 坂井 拓美, 宮崎 孝道, 島田 寛 (東北大) Thickness Dependence of High-frequency Magnetic Properties in Fe-Ga Films Yasushi Endo, Takumi Sakai, Takamichi Miyazaki, Yutaka Shimada (Tohoku Univ.)

はじめに Fe-Ga 合金は巨大磁気ひずみ、低飽和磁界、高い引っ張り応力特性といった特徴的な磁気特性¹⁾ を有することから、応力センサやアクチュエータといった電磁気デバイスへの応用が期待されている. 最近では、情報通信技術に関連する高速・小型・エネルギー高効率なデバイスの創製に向けて Fe-Ga 薄膜が注目を集めている²⁾. したがって, Fe-Ga 薄膜は, デバイス応用に向けた基礎物性に関する検討が広く行われている. これまでの研究では, 主に磁気ひずみ, 強磁性共鳴周波数, ダンピング定数の Ga 組成依存性に関して検討されてきた^{2,3)}. 一方で, これらの磁気パラメータの膜厚による変化に関しては十分な検討が行われおらず, とりわけ 20 nm 以下のより薄い膜厚領域での結果はこれまで報告されていない. 本研究では, 幅広い膜厚の Fe-Ga 薄膜における高周波磁気特性を検討し, その膜厚による変化を議論する.

実験方法 Fe_{0.78}Ga_{0.22} (Fe-Ga) 薄膜に関しては, DC マグネトロンスパッタを用いて作製した. その膜構 成は, Glass 基板上に製膜した 3-100 nm 厚の Fe-Ga 薄膜である. CPW に関しては, フォトリソグラフィ, DC マグネトロンスパッタおよびリフトオフ法を用いて作製した.その膜構成はガラス基板(厚さ:550 µm, 比誘 電率 ε_r : 7.0) 上に製膜させた Cr (5 nm)/Cu (300 nm)/Cr (5 nm)積層膜であり, その形状は一端が終端された 1 ポート型形状である.

作製した Fe-Ga 薄膜の結晶構造解析には TEM を,その組成分析には EDX を用いた. なお,結晶構造に関 しては,膜厚に関係なく bcc 多結晶膜である.また,静磁気特性に関しては VSM と高感度磁歪計測装置⁴⁾

を、高周波磁気特性に関しては VNA と CPW を組み合わせたブロードバンド FMR 測定法 $^{5)}$ を用いた.

結果および考察 Fe-Ga 薄膜の磁化曲線形状は膜厚によって異な っている(図1). すなわち, 膜厚5nm以下では, 外部磁界の印加 方向を 90 度変化させると、磁化曲線形状が角型形状から直線形状 となり、一軸磁気異方性によるものである.一方、膜厚 7.5 nm 以 上では、磁化曲線形状は外部磁界に依存せず、磁化が面内等方に向 いていると考えられる.この結果は、Fe-Ga 膜の軟磁気特性が膜厚 によって著しく異なることを示している. 図2は Fe-Ga 膜における 飽和磁気ひずみ (λ,) とダンピング定数 (α) の膜厚による変化であ る. λ は膜厚 30 nm 以下では膜厚の増加とともに 15 ppm から 24 ppm へと著しく増加し, 膜厚 30 nm 以上では 18 ppm まで減少した. こ れらの値はすべて多結晶バルクの値 (98 ppm) に比べて低くなった. この原因は、膜面内の結晶軸が [111] 方向となっていることによ るものと考えられる. αに関しては, 膜厚 30 nm で最大となり, そ の値は 0.084 であった. 膜厚 30 nm 以上では, α は 0.068 まで減少 した. これらの値は Fe-Ga 単結晶膜²⁾ に比べて高く, 材料固有の α だけでなく、外的要因が加わったことによると考えられる. これら の結果は、膜厚に関係なく、構造的あるいは磁気的な不均一性がん。 とαに著しく影響を与えていることを示唆している.



謝辞 本研究の一部は、東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター、東北大学国際集積エレクト ロニクス開発センターの支援のものと行われた。また、本研究の一部は、科研費基盤研究(B)(No. 26289082, No. 17H03226)科研費特別研究員奨励費(No. 17F17070)の補助のもとで行われた.

<u>参考文献</u>

1) A. E. Clark et al., IEEE Trans. Magn., 36, 3238 (2000)., 2) B. K. Kuanr et al., J. Appl. Phys., 115, 17C112 (2014)., 3) Y. Yu et al., Appl. Phys. Lett., 106, 162405 (2015)., 4) Y. Endo et al., J. Appl. Phys., 109, 07D336 (2011)., 5) 遠藤恭 他, Digest of The 39th Annual Conf. Magn. JPN 2015, 124 (2015).