

## Fe-Ga 膜における磁気特性の Ga 組成による変化

川辺 泰之、遠藤 恭、宮崎 孝道 (東北大学)

Change in Magnetic Properties of Fe-Ga Films with Ga Composition

Yasuyuki Kawabe, Yasushi Endo, Takamichi Miyazaki (Tohoku Univ.)

**はじめに** Fe-Ga 合金は磁気ひずみが大きく、飽和磁界が低く、機械特性や加工性が良いといった特長を有しており<sup>1)</sup>、アクチュエータなどの電磁気デバイスへの応用が期待されている。一方、Fe-Ga 膜についても、高速・小型・エネルギー高効率な高周波デバイスへの応用に向けて注目されている<sup>2)</sup>。したがって、これらのデバイス応用の実現を目指して、Fe-Ga 合金や Fe-Ga 薄膜の構造、磁気特性および電気特性に関する検討が行われている。なかでも、磁気特性に関しては、Fe-Ga 合金や Fe-Ga 単結晶薄膜の研究は多数報告されている。しかしながら、Fe-Ga 多結晶薄膜の研究は系統的な報告があまり行われていない。本研究では、Ga 組成の異なる Fe-Ga 膜を作製し、それらの構造および磁気特性を検討した。得られた知見をもとにして Ga 組成による変化について議論する。

**実験方法** Fe<sub>100-x</sub>Ga<sub>x</sub> (Fe-Ga) 膜の作製には DC マグネトロンスパッタリングを用いた。作製した膜の構成は石英ガラス基板上に製膜した 50 nm 厚の Fe-Ga 膜である。また、Fe-Ga 膜の Ga 組成 ( $x$ ) は 18.5 ~ 33.4 at.% と幅広く変化させた。作製した膜の構造に関しては、透過型電子顕微鏡 (TEM) と原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて評価した。膜の結晶構造は Ga 組成に関わらず bcc 多結晶であった。膜の表面粗さは Ga 組成に依存せず Ra ~ 0.9 nm および RMS ~ 1.2 nm であり、また、膜の面内方向の結晶粒径はいずれの Ga 組成でも約 20 nm であった。一方、作製した膜の磁気特性に関しては、振動試料型磁力計 (VSM)、光てこ法を用いた高感度薄膜磁歪装置 (株) 東栄科学産業製) およびベクトルネットワークアナライザと伝送線路を組み合わせたブロードバンド FMR 測定法を用いて評価した。

**結果および考察** 図 1 は Fe-Ga 膜における飽和磁化 ( $4\pi M_s$ ) の Ga 組成 ( $x$ ) 依存性である。Ga 組成の増加とともに、 $4\pi M_s$  は単調に減少した。この挙動は、bcc 構造を有する不規則相の Fe-Ga バルク合金の場合と類似している<sup>3)</sup>。飽和磁気ひずみ ( $\lambda_s$ ) は Ga 組成に著しく依存した (図 2)。すなわち、Ga 組成が 21.7 at.% 以下では、Ga 組成の増加とともに  $\lambda_s$  は 33 ppm から 47 ppm まで増加した。Ga 組成が 21.7 at.% から 27.2 at.% では、 $\lambda_s$  は緩やかに減少し、Ga 組成が 27.2 at.% で極小 (44 ppm) となった。Ga 組成が 27.2 at.% では、Ga 組成の増加とともに  $\lambda_s$  はおよそ 54 ppm まで増加した。 $\lambda_s$  の Ga 組成による変化は、Fe-Ga バルク合金の挙動と類似しているものの、それらの値は従来の Fe-Ga 多結晶膜の結果よりも Ga 組成が 20 at.% 時近傍において低くなった<sup>4)</sup>。この原因は、作製した薄膜の結晶粒の結晶軸が磁気ひずみの値を低くする [111] 方向に配向していることによるものと考えられる。また、ダンピング定数 ( $\alpha$ ) も図 2 に示すように Ga 組成に依存した。すなわち、Ga 組成が 27.2 at.% 以下では Ga 組成の増加とともに  $\alpha$  は緩やかに増加して最大 (0.085) となり、Ga 組成が 27.2 at.% 以上では Ga 組成の増加とともに  $\alpha$  は減少した。いずれの  $\alpha$  の値も、Fe-Ga 単結晶膜の結果<sup>2)</sup>と比べると高くなった。この原因は、物質固有のダンピングに加えて外的要因によるダンピングが重なっていることによるものと考えられる。

**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と、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とで行われた。また、本研究の一部は、科研費基盤研究 (B) (No. 17H03226) の支援のもとで行われた。

**参考文献** 1) A. E. Clark et al., IEEE Trans. Magn., 36, 5, 3238 (2000)., 2) B. K. Kuan et al., J. Appl. Phys., 115, 17C112 (2014)., 3) N. Kawamiya et al., J. Phys. Soc. Jpn., 33, 1318 (1972)., 4) A. Javed et al., J. Appl. Phys., 107, 09A944 (2010).

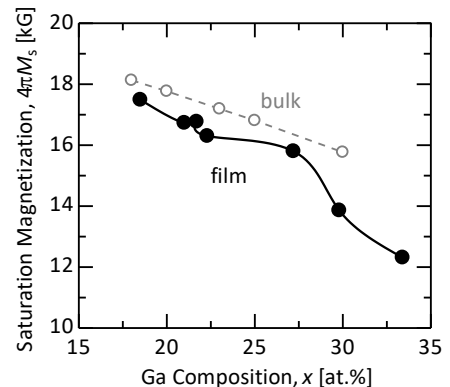


Fig. 1. Dependence of  $4\pi M_s$  on the Ga composition ( $x$ ) for 50-nm thick Fe<sub>100-x</sub>Ga<sub>x</sub> films.

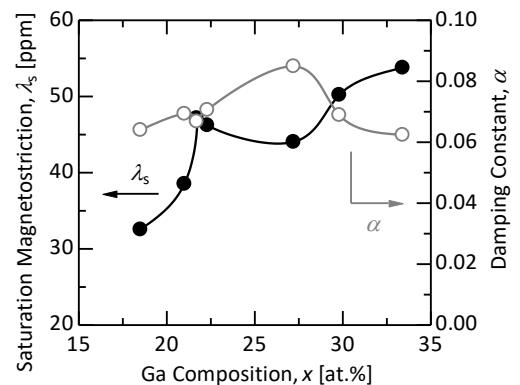


Fig. 2. Relationship between  $\lambda_s$  vs.  $x$  and  $\alpha$  vs.  $x$  for 50-nm thick Fe<sub>100-x</sub>Ga<sub>x</sub> films.