

CoFeBTa アモルファス軟磁性層を用いた TMR センサ

Mahmoud Rasly, 中谷友也, 李 江南, Hossein Sepehri-Amin, 介川裕章, 桜庭裕弥
(物質・材料研究機構)

TMR sensors with amorphous CoFeBTa soft magnetic layer

M. Rasly, T. Nakatani, Jiangnan Li, H. Sepehri-Amin, H. Sukegawa, Y. Sakuraba
(National Institute for Materials Science)

はじめに

トンネル磁気抵抗 (TMR) を用いた磁気センサにおいて, 用途に応じてセンサの磁気特性を設計することが重要である. 生体磁気や欠陥検査など微弱な磁界の検出には, 軟磁性で高感度かつ, 低ノイズのセンサが必要である. そのような TMR センサの自由層として, NiFe (パーマロイ) と CoFeB の積層構造が報告されているが[1], 一般に NiFe と結晶化 CoFeB の結晶対称性の違いにより TMR 比が低下することが問題である. CoFeSiB などアモルファス軟磁性材料も有効であるが[2], 300 °C 程度で結晶化して軟磁性が損なわれることが課題である[3]. そこで本研究では, CoFeB に Ta を添加することで結晶化を抑制した, CoFeBTa (CFBT) を自由層に用いた TMR 素子の磁気特性, TMR および低周波ノイズ特性を調査した.

実験方法

TMR 素子の積層構造は, 下部電極/Ta (5)/CFBT (20)/Ta (0.3)/CoFeB (3)/MgO (1.8)/CoFeB(2.5)/CFBT (0.6)/CoFe (0.5)/Ru (0.8)/CoFe (3)/IrMn (8)/Ru (8) (膜厚は nm) の上部ピンのスピバルブである. CFBT は $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$ と Ta の同時スパッタにより成膜し, Ta 濃度は 9 at. % である. スピバルブ素子を磁界中で 2 度アニールすることで, 固定層磁化と自由層の容易軸が直交した磁化配列[1]を実現した. 単一素子およびフルブリッジの低周波ノイズ特性を, FFT アナライザにより測定した.

実験結果

図 1 に TMR-磁界特性を示す. 2 度目のアニール温度 (T_{2nd}) が 200 °C の場合, y 方向の自由層の磁気異方性と, x 方向のピン方向の直交関係により, ほとんどヒステリシスのない線形な TMR 曲線が得られ, 磁気センサとして好ましい特性である. $d\text{TMR}/dH (= dR/dH \cdot 1/R_{min})$ で定義される感度は最大 70 %/mT である. 一方, $T_{2nd} = 250$ および 280 °C の場合, TMR 曲線はヒステリシスを示す. これは, x 方向にも誘起された自由層の磁気異方性により, Stoner-Wohlfarth モデルで説明できる.

図 2 は 50 μm 径の単一素子の, 中間磁化状態 (図 1 で $\mu_0H = +1$ mT) におけるノイズスペクトラムである. 1 Hz–10 kHz の周波数帯域では $1/f$ ノイズが支配的であり, その電圧密度 ($\sqrt{S_v}$) はバイアス電圧 (V_b) に比例して増大する. また, $V_b = 60$ mV においてランダムテレグラフノイズが観測された. 10 Hz における V_b で規格化したノイズレベル ($\sqrt{S_v}/V_b$) は, 中間磁化状態で 1.3 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ /mV, および平行磁化状態で 0.7 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ /mV であり, NiFe を用いた場合の 3.3 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ /mV (平行磁化状態) に比べ小さく, アモルファス CFBT の優位性が示された. また, 最小検出磁界 (detectivity) は, 10 Hz において 2.2 nT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ であった.

参考文献 [1] Fujiwara et al. J. Appl. Phys. 111, 07C710 (2012), Jpn. J. Appl. Phys. 52, 04CM07 (2013). [2] Kato et al. Appl. Phys. Express 6, 103004 (2013). [3] Jimbo et al. J. Appl. Phys. 117, 17A313 (2015).

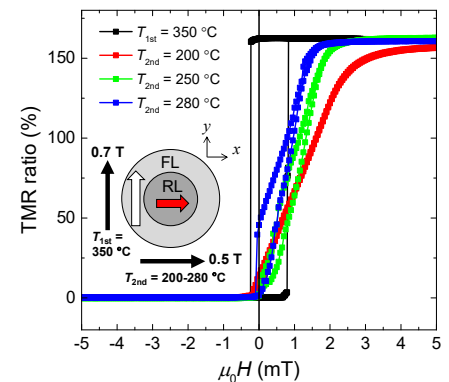


図 1 TMR 曲線のアニール温度依存性

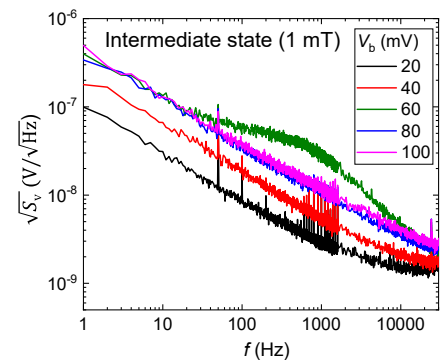


図 2 単一 TMR 素子のノイズ特性