

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11401

研究種目：奨励研究

研究期間：2020～2020

課題番号：20H00954

研究課題名 強磁性・強誘電薄膜の磁区・分域構造観察に適した高感度磁気・電気力顕微鏡探針の作製

研究代表者

江川 元太 (EGAWA, GENTA)

秋田大学・理工学研究科・技術職員

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 480,000円

研究成果の概要：革新的な次世代記録デバイスとして期待されているレーストラックメモリを低記録電力化および簡素デバイス構造化するために、本研究室では強磁性・強誘電薄膜を用いる事を提案している。その薄膜の性能（電界印加による磁化反転）評価には、磁気力顕微鏡（MFM）と静電気力顕微鏡（EFM）を用いて磁区と分域構造を評価する事が有効であるが、市販の探針では、その評価に適するか不明であった。本研究課題では、種々の条件でCoCrPt系金属磁性薄膜をSi探針母材に成膜し、種々の飽和磁化及び保磁力を有する探針を作製し、強磁性・強誘電薄膜の磁区及び分域構造を高分解能で観察することが可能な最適な特性を有する探針の選定に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、MFMとEFMを用いて強磁性・強誘電薄膜の評価を行う際には、市販の磁性探針が使用されていたが、種類が極めて少なく、かつ磁気特性も不明なものも多く、磁気特性が開示されていても、保磁力や飽和磁化が小さい、保磁力が大きい導電性が無い、など、強磁性・強誘電薄膜の評価には適さなかった。本研究課題で作製したCoCrPt系金属磁性薄膜を成膜した探針は、MFMにおいては磁区構造の明瞭な観察が可能で、EFMにおいても分域構造の極性を正確に測定する事が可能な探針であるとともに、種々の高機能薄膜の高分解能観察に適した特性への調整も可能と考えられることから、今後の次世代デバイスの開発に貢献する事ができる。

研究分野：磁気計測、磁気イメージング

キーワード：強磁性・強誘電薄膜 磁気力顕微鏡 静電気力顕微鏡 磁気・静電気力顕微鏡探針 電界記録型レーストラックメモリ

## 1. 研究の目的

近年、ハードディスクドライブに取って代わる情報記録装置として、磁性細線に情報を記録するレーストラックメモリが注目されている。本研究室ではこれまで、本メモリの低記録電力化および簡素デバイス構造化を実現する、強磁性・強誘電薄膜を用いた電界記録型のレーストラックメモリを提案し、その材料探索および高品位薄膜の作製を行ってきた。

この強磁性・強誘電薄膜の性能(電界印加による磁化反転)評価を行うためには、局所的に電界を印加した領域の磁化状態を観察する事が必要となる。この評価は、走査型プローブ顕微鏡(SPM)の磁気力顕微鏡(MFM)と静電気力顕微鏡(EFM)の機能を用い、探針で試料表面に局所的に電界を印加し、その後、MFMで磁区構造を、EFMで電荷分布を測定することにより行うことが可能である。本研究課題では、成膜条件や組成の制御により飽和磁化( $M_s$ )および保磁力( $H_c$ )を変化させることができるCoCrPt系金属磁性薄膜をSi探針母材に成膜することで、強磁性・強誘電薄膜の磁区および分域構造の高分解能観察に適した、全域で高い導電性、高い飽和磁化、高い保磁力、を併せ持つ、高性能な磁気・電気力顕微鏡探針を作製することを目的とする。

## 2. 研究成果

### 2.1 磁性探針の作製

探針に成膜するCoCrPt系薄膜の磁気特性の測定のため、まず、平板基板(bare-Si, 24×24 mm)に、超高周波(VHF, 5 W)プラズマを1分間照射してその表面のクリーニングを行い、基板加熱(300-600 )しながら、Arガス圧: 10 mTorr、成膜電源: DC (50 W)、膜厚: 30 nmの条件でCoCrPtの成膜を行った。CoCrPt系薄膜の組成は、Co<sub>80</sub>Cr<sub>20</sub>ターゲットにCr, Ptシートを配置し、シートの数により組成を変化させた。薄膜の磁気特性の測定・評価は振動試料型磁束計(VSM)を用いた。そして、得られた結果から $M_s$ が約500, 700, 900 emu/cm<sup>3</sup>の薄膜を選定して、同一条件にてCoCrPt薄膜をSi探針母材に成膜し、磁気・静電気力顕微鏡探針を作製した。その成膜において、探針のごく一部だけを押え板で覆うように基板ホルダーに固定することで、探針全体において導電性を持つ磁性探針を作製した。

### 2.2 強磁性・強誘電薄膜の磁区・分域構造の観察

(Bi,La)(Fe,Co)O<sub>3</sub>(BLFCO)薄膜( $M_s$ : 70 emu/cm<sup>3</sup>,  $H_c$ : 1.8 kOe, 膜厚: 260 nm)を観察試料として使用した。測定は、まずBLFCO薄膜にSPMのコンタクトモードで3 μm×3 μmの走査範囲で電界を印加して書き込みを行い、その後、MFM, EFMで、電界書き込みを行った部分を中心に6 μm×6 μmの走査範囲の磁区構造および分域構造の観察を行った。電界書き込み時には-10 V、EFM測定時には-1 Vの電圧を印加して行った。

### 2.3 実験結果と考察

図1に $M_s$ が約500, 700, 900 emu/cm<sup>3</sup>の探針で測定したMFMの位相像とEFMの位相像の結果を示す。像(a), (b)が $M_s$ 約500 emu/cm<sup>3</sup>、像(c), (d)が $M_s$ 約700 emu/cm<sup>3</sup>、像(e), (f)が $M_s$ 約900 emu/cm<sup>3</sup>の探針で測定したMFM位相像、EFM位相像である。MFMの位相像においては、いずれの探針を用いた場合でも、電界書き込みを行った部分の位相は電界書き込みを行っていない部分の位相に対して明るくなっており、想定通りの「正」であった。一方、EFMの位相像においては、500, 700 emu/cm<sup>3</sup>の探針の場合と900 emu/cm<sup>3</sup>の探針とでは明暗が逆転しており、位相差の符号に違いが生じた。今回の電界書き込みは-10 Vで行ったため、BLFCO薄膜の表面付近に+の電荷が帯電する。そして、EFM測定時には探針に-1 Vの電圧を印加したため、書き込みを行った部分と探針には引力が生じ、全ての探針で極性が「負」となることを想定していた。だが、900 emu/cm<sup>3</sup>の探針で測定したEFM位相像では位相の極性が想定から反転していた。この原因を調査するため、900 emu/cm<sup>3</sup>の探針を用いてEFM測定時の印加電圧を-0.5 V, -1 V, -2 Vにそれぞれ設定して測定を行ったところ、-2 Vにおいて想定通りの「負」となった。このことから、探針磁化が大きく読み取り電圧が小さい場合、試料と探針との間の静電気力よりも磁気力の影響が大きく寄与し、EFM測定において分域構造を正しく測定できなかったと考えられる。ここで、EFM測定時の印加電圧が-2 V以上の場合にはノイズが大きく測定が困難となるため、EFM測定時の印加電圧は-1 V程度が好ましい。よって、今回の(Bi,La)(Fe,Co)O<sub>3</sub>薄膜の磁区・分域構造の観察では、明瞭なMFM像およびEFM像を得るためには、測定に用いた3つの探針の中で約700 emu/cm<sup>3</sup>程度の $M_s$ を有する探針が最も適していることがわかった。

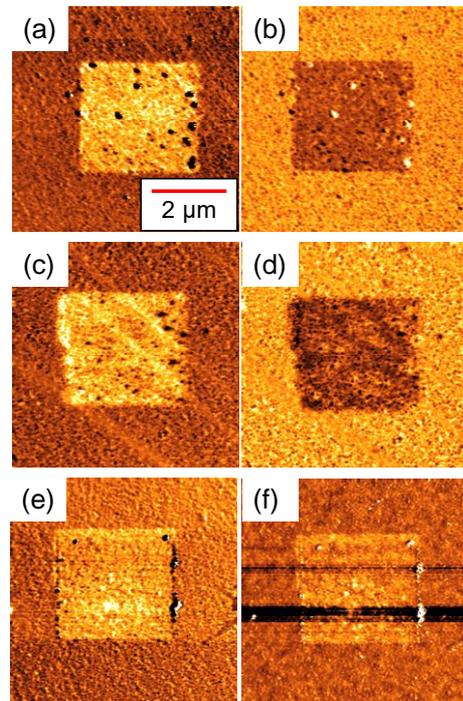


図1 BLFCO薄膜のMFM像(a), (c), (e)およびEFM像(b), (d), (f)

主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 吉村哲, 山本大地, 武田航太郎, 尾関拓海, 江川元太	4. 巻 44
2. 論文標題 電界駆動型光変調素子への応用に向けた磁気Kerr効果の大きいBiFeO3系強磁性・強誘電薄膜材料の探索	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 映像情報メディア学会技術報告	6. 最初と最後の頁 33 - 38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 江川元太, 細谷亮太, 大下直哉, 吉村哲
2. 発表標題 高感度磁気・電気力顕微鏡探針の作製と強磁性・強誘電薄膜の磁区・分域構造観察
3. 学会等名 日本素材物性学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉村哲, 山本大地, 武田航太郎, 尾関拓海, 江川元太
2. 発表標題 (Bi0.5A0.5)(Fe1-XCoX )O3 (A : ランタノイド, X : 0 - 0.3) 薄膜の磁気Kerr効果
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉村哲, 山本大地, 武田航太郎, 尾関拓海, 江川元太
2. 発表標題 強磁性・強誘電/強磁性金属積層膜での電界印加磁気転写に向けた高飽和磁化・垂直磁化BiFeO3系強磁性・強誘電薄膜材料の探索
3. 学会等名 日本磁気学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉村哲, 山本大地, 武田航太郎, 尾関拓海, 江川元太
2. 発表標題 電界駆動型光変調素子への応用に向けた磁気Kerr効果の大きいBiFeO3系強磁性・強誘電薄膜材料の探索
3. 学会等名 映像情報メディア学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

研究組織（研究協力者）

氏名	ローマ字氏名