

平成27年 3月31日

プログラム名：「無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現」

PM名：佐橋政司

プロジェクト名：電圧トルクMRAMプロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成26年度

研究開発課題名：

電圧効果ダイナミクスの解明と高性能化

研究開発機関名：

東北大学 原子分子材料科学高等研究機構

研究開発責任者

水上 成美

当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本プロジェクトは、高垂直磁気異方性・低飽和磁化・低ダンピング定数・高スピン分極率といった大容量 MRAM に適した特性を示すマンガン系合金薄膜の電圧トルクダイナミクスを解明することを最終的な目的とする。計画は、マンガン系合金極薄膜素子の作製、ダイナミクス評価の二つの柱からなるが、これまでマンガン系合金薄膜における電圧効果は調べられていないため、非常に挑戦的な課題である。そこでまず平成 26 年度は、次のような課題解決のための基礎的な研究計画を立案・実施した。

マンガン系磁性体極薄膜エピ成長のための超高真空蒸着装置の立ち上げ 本プロジェクトではこれまで実績のあるスパッタ法に加え、その場表面観察可能な超高真空蒸着を併用することで、高い結晶性と原子的に平滑な表面を有するマンガン系極薄膜を作製する。現有の装置に申請備品のマニピュレータ等を設置・装置を立ち上げ、平成 27 年度の初めにはこの作業を完了する。

マンガン系磁性体極薄膜エピ成長のための下地材料の検討 電圧効果を調べるためにマンガン系磁性体のエピタキシャル極薄膜の成長について研究する。そのための、原子的に平坦な下地材料の作製条件の研究を現有のスパッタ装置を用いて行う。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

マンガン系磁性体極薄膜エピ成長のための超高真空蒸着装置の立ち上げ 現有の装置に申請備品のマニピュレータを設置した。装置は超高真空仕様であり、基板温度を最高 800 度まで加熱可能である。反射高速電子線回折装置 (RHEED) により結晶薄膜表面の原子構造を分析できる仕様である。真空度、基板温度等の基本仕様の確認、また、RHEED による表面観察も確認でき、目標をほぼ達成した。今後これを用いた分析と製膜を進める。

マンガン系磁性体極薄膜エピ成長のための下地材料の検討 電圧効果の先行研究の多くは、適切なバッファ層の上に磁性体極薄膜を 0.5-数 nm 堆積し、その上に MgO 等の絶縁体および磁性(非磁性)対抗電極を備えたコンデンサー構造を素子として用いる。この素子構造では、良質な界面と磁気特性を有する極薄磁性層の形成と耐高電圧性を有する絶縁体の形成が重要である。これらを達成するには、そのベースとなるバッファ層の材料や製膜条件の最適化が必須である。Fe、Co をベースとする磁性体を用いたこれまでの多くの研究とは異なり、マンガン系材料では、適切なバッファ層材料や製膜条件が既知ではない。本年度は、従来のバッファ層材料で代表的なマンガン系材料の極薄膜化と電圧効果について予備的な実験を行い、研究の方向性・問題点を明確化させた。また、特殊な下地材料について研究を進め一定の成果を得た。ここまで、研究は順調に進んでいるといえ、その成果について以下要約する。

2-2 成果

1. Cr バッファ層上の Mn-Ga 極薄膜の成長と電圧効果の予備的評価 MgO 単結晶基板上に原子的に平坦な Cr 下地を形成し、その上に L1₀ 構造を有する MnGa 極薄膜の成長を試みた。試料の作製には

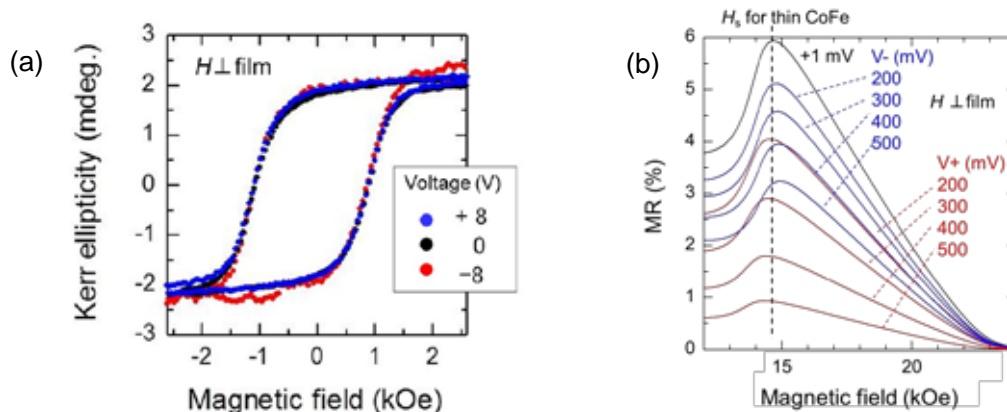


図 1 (a) Mn-Ga の電圧効果の実験結果。 (b)化合物バッファ層の基礎データを取得する目的で作製された FeCo 極薄膜を有する素子の電圧効果の実験結果のデータ。極薄膜の飽和磁場 (H_s) が電圧で変化する。

超高真空スパッタ装置を用いて行った。その結果、厚みが 3 nm 未満になると磁気ヒステリシス曲線が角型性を示さなくなり垂直磁気異方性が著しく減少することが分かった。これは下地材料との格子不整合および原子拡散の影響と考えられる。そこで、3 nm の MnGa 極薄膜に対する電圧効果を試み、素子を作製した。電圧効果の評価には磁気光学効果を用い、MnGa 極薄膜の磁気ヒステリシス曲線を電圧印加しつつ測定した結果を図 1(a)に示す。電圧による変化は誤差の範囲で観測できていない。これは、MnGa の厚みがまだ十分に薄くないため、界面電子状態の変化に対する磁性の変化が十分に見られないものと考えられる。

2. 化合物バッファ層の検討 バッファ層としていくつかの化合物系材料薄膜の成長を試みた。MgO 単結晶基板の上に Cr 層を介して成長することで原子的に平坦な単結晶化合物薄膜が得られることが分かった。Mn 系合金を試みる前に、FeCo 極薄膜 / MgO 絶縁層 / FeCo 電極を当該下地上に積層し基礎データを取得した。数十%程度のトンネル磁気抵抗比を得ると同時に、図 1(b)に示すような電圧効果を観測した。下地材料として非常に興味深く、マンガン系材料への応用を進めている。

2-3 新たな課題など

Cr 上に成長した MnGa 薄膜を用いた予備的な実験から、下地層の最適化と良質かつ 3 nm 未満の極薄膜成長、表面（界面）の構造ならびに磁性の評価が大きな課題であることが再認識された。これについては、当初の計画を着実に進めることで解決できると考えている。また、化合物下地材料上に作製した FeCo 合金の電圧効果はこれまで報告がなく、基礎的なデータとしても重要であり、マンガン系材料とは別に実験を継続する方針である。これによる計画の遅れはなく、むしろ本研究を本質的に加速するものであると考えられる。

3 . アウトリーチ活動報告

研究開発責任者は、中学生に対し磁気メモリ (MRAM) の研究とその重要性・将来性について説明した。その際のインタビューは当機関の広報誌に掲載された。広報誌は日本語版と英語版があり、国内外の研究機関に配布され、我が国における MRAM の研究活動を広めることに貢献したと考えられる。