

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 2 7 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 ①

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

I 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

本開発では、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、①マンガン系合金極薄膜素子の作製、②ダイナミクス評価の二つの柱からなる。平成26年度には、①の素子開発を達成するための装置の立ち上げと予備的な実験を行い、課題を顕在化させた。そこで平成27年には、

- [1] マンガン系合金極薄膜素子の作製と電界効果の評価
 - [2] 電界ダイナミクス評価のためのパルスレーザーを用いた測定系の構築
- を目的とし、研究を進めた。

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

[1] マンガン系合金極薄膜素子の作製と電界効果の評価

前年度に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結果、厚みが3nm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。また、3nmのMnGa極薄膜を有する素子を作製し、磁気光学効果を用いて電界効果を評価したものの、誤差の範囲で電界効果が観測できなかった。したがって今年度は、昨年度開発した新しい下地の上にMnGa極薄膜ならびにそのトンネル磁気抵抗素子を作製し、電界効果を調べた。次頁に示すように一定の成果を得たが、マンガン系材料に固有の課題が明らかとなった。

[2] 電界ダイナミクス評価のためのパルスレーザーを用いた測定系の構築

平成28年度にピコ秒スケールの電圧ダイナミクスを調べるためには、ポンプならびにプローブパルス光を顕微鏡内でトンネル磁気抵抗素子に集光し、電界を印加した状態で微細な接合試料のダイナミクス計測を行う必要がある。今年度は図1に示すような顕微ポンプ・プローブ計測系の構築を進めた。対物レンズは倍率が50倍であり、レーザーのスポット径は1ミクロン程度である。また、レーザーのスポット位置は可変とし、数ミクロンのサイズの接合内の磁化のダイナミクスを計測でき

る。その際の時間分解能は1ピコ秒以下である。構築した装置を用いて、事頁に示すように従来材料で電界効果の光学的計測を達成した。

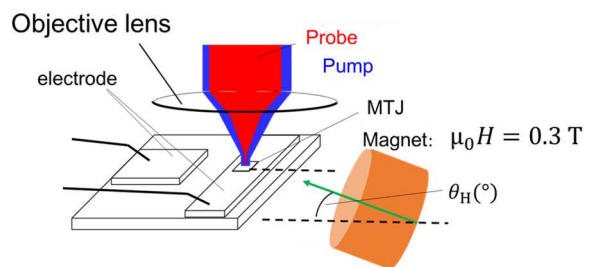


図1 パルスレーザーを用いた顕微光学系における電界効果測定系の模式図

2-2 成果

(1) 新下地材料を用いた MnGa 極薄膜トンネル磁気抵抗素子の開発と電界効果の評価

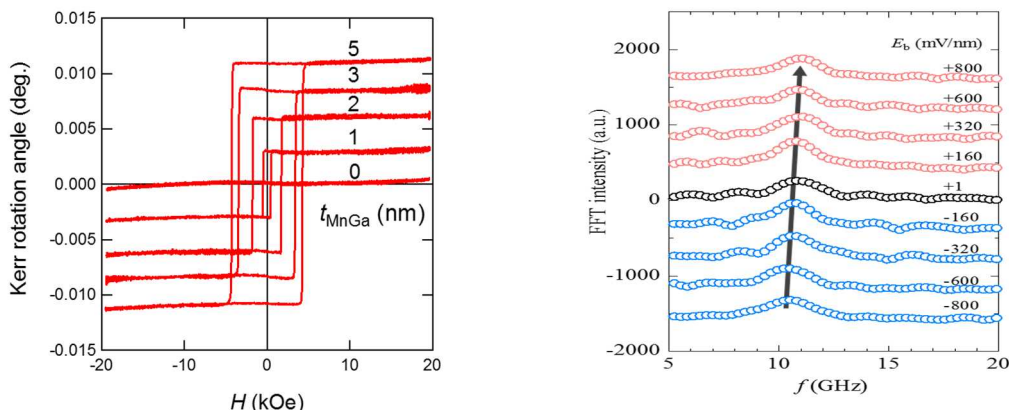


図 2(a) 新材料下地層の上に作製された MnGa 極薄膜の極カーヒステシス曲線。(b)構築した顕微光学装置を用いて評価した CoFeB/MgO/CoFeB トンネル磁気抵抗素子における磁化ダイナミクスの印加電界依存性。

MgO 単結晶基板の上に新下地を作製し、その上に MnGa を室温製膜すると、最小で 1 nm までの極薄膜が規則化した状態で形成されることがわかった [図 2(a)]。また、この極薄膜に MgO バリアおよび上部 CoFeB 電極を積層することで、極薄膜の Mn-Ga を有するトンネル磁気抵抗素子を開発することに成功した (論文投稿中)。これにより、磁気抵抗効果から電界効果を定量的に評価した。

(2) 構築した顕微光学系を用いた従来材料の電界効果ダイナミクスの光学的評価

図 1 に示した測定系を用いて CoFeB/MgO 垂直磁化薄膜における強磁性共鳴の時間分解測定を行った。明瞭な時間分解カー効果のシグナルが観測され、その周波数スペクトラムは印加電界に対し系統的に変化することが分かった [図 2(b)]。その周波数シフトと線幅から垂直磁気異方性と磁気摩擦 (ダンピング) 定数の電界効果を評価した。

2-3 新たな課題など

磁気抵抗曲線を用いて電界効果を評価する手法は一般的であるが、現時点での素子は異方性磁場が大きくかつ磁気抵抗比が小さいため、精度という点で問題があり、磁気抵抗比の増大が課題であることが明らかとなった。また、界面磁気異方性の存在もまだ定かではない。電子顕微鏡解析の結果は、Mn-Ga と MgO の界面が Ga リッチの終端構造となっていることを示唆しており、界面構造の最適化が今後の重要な課題の一つである。他方、顕微光学測定は一定の成果を得ているものの、磁場の大きさや角度がまだ可変ではなく十分な測定が行えていない。磁場印加手法の改善が重要な課題である。

3. アウトリーチ活動報告

該当なし。