

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

齊藤 英治

## 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

本研究開発課題では、電圧による磁化ダイナミクス制御に向けた新原理の開拓と新原理に基づくデバイス構造の提案を目標とし、強磁性絶縁体中のバルク磁化ダイナミクスと電場の新たな結合の探索を行う。強磁性絶縁体では伝導電子による電場遮蔽効果がないことから、印加電圧の効率的な利用が可能になる一方で、強磁性絶縁体の磁化ダイナミクスと電場の結合は未だ開拓途上にある。本研究では研究代表者の有する強磁性絶縁体と隣接する伝導体とのスピンの輸送を始めとする磁化ダイナミクスの高度な制御・検出技術を駆使することで、磁化ダイナミクスと電場の結合を詳らかにし、電圧磁化ダイナミクス制御の新原理を開発する。研究の初期段階としては磁化ダイナミクスと電場の結合についての理論的考察から、本結合を実証できる最適な構造と材料の選定を行って測定系の構築を、後期段階としては新原理に基づくデバイス構造の提案と試作を見込む。平成 26 年度は、強磁性絶縁体における磁化ダイナミクスと電場の結合の探索の諸端を拓くために、本結合を実証可能な実験系について構想を練り、その構築を行うことを目標とした。

### 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

絶縁体における磁化ダイナミクスと電場の結合の探索の諸端を拓くべく、理論的考察を実施して実験系の着想を得た。また、実験系の構築をほぼ完了し、並行して材料探索を開始し、概ね予定通りに進行している。

強磁性絶縁体における磁化ダイナミクスと電場の結合について、電圧による磁化ダイナミクスへ活用可能な現象を見出すべく、相対論的電磁気学に基づき考察し、磁化ダイナミクスによる電場生成現象が重要であるとの結論を得た。強磁性絶縁体におけるスピン角運動量の流れは、磁化ダイナミクスにより形成される。電荷の流れが磁場を生成するように、電磁場の双対性からスピン角運動量の流れは電場を生成することが相対論的效果として期待される。本現象を強磁性絶縁体をはじめとする固体中で見出すことができれば、磁化ダイナミクスと電場の新たな結合として活用可能であり、磁化ダイナミクスの電場制御の新原理開拓につながる。これより、強磁性絶縁体のスピン角運動量の流れによる電場の生成現象の開拓に集中することを決定した。

本現象実証のための実験系の構築を以下のとおり行った。まず、強磁性絶縁体中でスピン角運動量を輸送する進行波を励起するべく、高周波アンテナ上に磁性絶縁体を設置し、アンテナからの高周波磁場によりスピン波を共鳴的に励起する手法をとった。高周波アンテナの設計については、シミュレーションを援用するなどして検討し、幅 100  $\mu\text{m}$  と信号線が細いものを用いた。また、スピン角運動量の流れによる電場の生成、すなわち電気分極の生成の検出を行うべく、磁性絶縁体の上面および下面に様に電極を形成し、電気分極の時間変化である電流を測定した。実際の測定では、一定の外部磁場を印加し、高周波磁場の周波数を掃引し、スピン波の共鳴励起スペクトルと分極電流スペクトルの取得を行った。これらのスペクトルを比較して解析することで、上記の現象の探索を行う。また、電力依存性、周波数依存性および外部磁場角度依存性を測定することで磁化ダイナミクス-電場結合の解明をする。

試料には、強磁性絶縁体としてバルクのイットリウム鉄ガーネットを選択し、電極として上面及び下面に金を約 100nm 成膜した構造を用いた。本試料において、進行スピ波を共鳴的に励起した際の電気分極の時間変化である電流による測定を行った。印加磁場の強さを制御し、高周波アンテナによるスピ波の励起周波数を変えた測定を行ったところ、全体的な傾向として YIG がスピ波共鳴を示す近傍で、ピコアンペアより小さい範囲で電流変化が現れているようだが、バックグラウンドの変化も大きく、特定には更なる解析と測定系の改良が必要である。また、試料の材料探索の一環として、イットリウム鉄ガーネットにおけるイットリウムサイトを、相対論的効果の増強が見込まれるスピ軌道相互作用の大きいビスマスやガドリニウムに置換した材料についてもスピ波共鳴スペクトルの取得を試みた。

## 2-2 成果

強磁性絶縁体における電圧-磁化ダイナミクス制御の新規原理の開拓に向けて、進行波を形成する磁化ダイナミクスと電気分極の生成現象の探索が寄与することを、理論より見出した。実際にマイクロストリップラインを用いた進行スピ波の励起と電気分極信号スペクトルの取得が可能な実験系を構築した。また材料探索として、フェリ磁性絶縁体 YIG および Y 原子を Bi や Gd といったスピ軌道相互作用が大きいと予想される物質においてスピ波の励起スペクトルを取得し、十分な量のスピ波が励起可能であることがわかった。

## 2-3 新たな課題など

実験系の考案と構築に成功したが、構築した実験系における信頼性の向上が課題となる。取得した電気信号スペクトルは予想される分散型だけでなく、ローレンツ型にもなることが、印可磁場を変えて励起周波数を変えた測定により分かっている。電気分極は電流信号の積分形であり、電流信号がローレンツ型になる際には、その積分形はスピ波励起前後で電気分極が異なることとなり、電気分極の変化が不可逆であることになる。このため、測定信号には何らかの信号が重畳していることが考えられる。予想よりも強磁性共鳴時のマイクロ波吸収に伴う発熱の影響が大きく、焦電効果や浮遊容量の変化に由来して測定電流に影響している可能性が大きいと考えており、平成 27 年度でのマイクロ波アンテナの設計の一新と、ロックイン法を用いた測定などによる改良を見込む。また、電気分極生成の逆現象の実験の構想も行い、新原理開拓の可能性を高める。

## 3 . アウトリーチ活動報告

該当なし