

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

委託研究実績報告書（成果）

研究実施期間：

平成 2 6 年 1 0 月～平成 2 8 年 3 月

研究開発課題名：

電圧効果新材料開発（側壁成膜を含む）

研究開発機関名：

国立研究開発法人物質・材料研究機構

研究開発責任者

三谷 誠司

# I 実施期間における計画と成果

## 1. 担当研究開発課題の目標と計画

ホイスラー合金に関する研究を手始めとして、界面垂直磁気異方性への電界効果の理解を得るための研究を遂行する。新材料開発を最終的な目標とするため、広範囲の物質系を扱う。具体的には、ホイスラー合金系に加え、Fe 基合金や希土類元素を含む系、さらにはMgOに代わる酸化物バリア層など、多岐にわたる物質群を用いた研究を遂行する。目指す電圧効果の大きさとしては、物質探査研究の中間地点であることから、10 fJ/Vm オーダーの電圧効果とする。

## 2. 担当研究開発課題の達成状況と成果

### 2-1 達成状況

Co<sub>2</sub>FeAl ホイスラー合金の磁気異方性の電圧効果の測定を進め系統的なデータを得た他、Co<sub>2</sub>FeAl/MgO 界面における化学反応等の有無を調べるための測定評価も行った。物質系を拡張して、Fe/MgO 界面の垂直磁気異方性についても実験を行い、200 fJ/Vm 程度の大きな電圧効果が生じることを確認するとともに（産総研の結果の再現実験）、いくつかの特徴的な振舞いを見出した。希土類元素を用いた実験やMgO以外の酸化物層を用いた実験においても、一定の知見を得た。

### 2-2 成果

Ru/Co<sub>2</sub>FeAl/MgO 積層構造による Co<sub>2</sub>FeAl ホイスラー合金膜の界面磁気異方性の電圧効果について、系統的なデータを得た。ホイスラー合金関連では初めての成果である。Fig. 1 に電圧印加による磁気異方性の変化と磁気異方性の電圧による変化の大きさをまとめた。最大で約 90fJ/Vm という比較的大きな電圧効果が得られている。直線的な挙動に加え、電圧の極性によって電圧効果の大きさに明確な差異が見られることも興味深い。なお、この図では電圧の極性の定義が通常と逆であり、電圧効果の符号は Fe や CoFeB での報告と一致している。

上記の Co<sub>2</sub>FeAl ホイスラー合金の磁気異方性の電圧効果について、界面化学反応などによるスローダイナミクスの有無を調べる実験も行った。Fig. 2 がその結果であり、測定磁場は図中に示した通り約 3kOe である。繰り返し電圧印加に対し、ドリフトや減衰傾向はみられない（数 100 回の電圧印加の測定でも同様の結果を得ている）。したがって、Fig. 1 に示した磁気異方性の電圧効果は化学反応などによるものではなく、電子構造起因の真性の効果であると考えられる。

Fe/MgO 系の界面垂直磁気異方性は非常に大きく、実用化に向けた材料開発において Fe 基合金に大きな期待が持たれる。この系の基本的なデータはすでに産総研グループから報告されているが材料探索の指針を得るために、アニール温度依存性や温度依存性を含む広範な研究を行った。Fig. 3 は Fe/MgO 系の界面垂直磁気異方性の試料のポストアニール温度依存性である。200 fJ/Vm を超える大きな電圧効果が得られ、産総研の結果が良く再現されている。また、最適温度によるアニールによって、磁気異方性

が最大になると同時に電圧効果も大きくなっている。特に重要な点として、100mV/nmあたりに極小を持つ傾向が現れており、測定温度を変化させてもこの傾向は変わらない。100mV/nmの極小が電子構造由来である可能性が高く、界面電子構造の制御により磁気異方性の電圧効果の増大化が可能であることが示唆される。

上記の他、希土類元素が界面垂直磁気異方性に及ぼす効果や、MgAlO層とMgO層の差異についても一定の知見を得た。

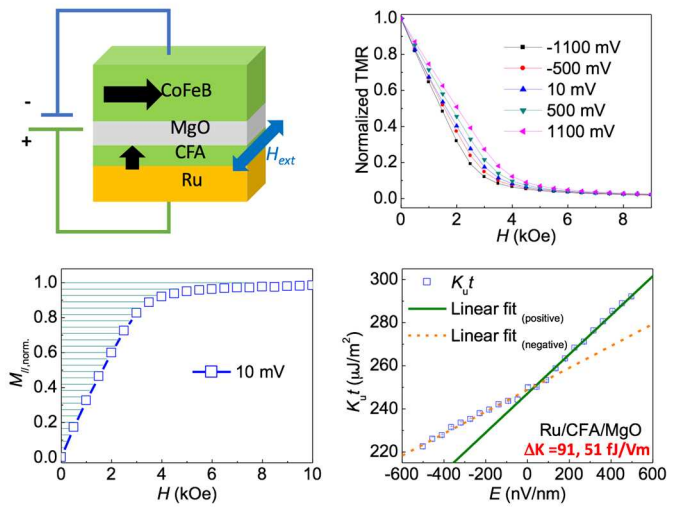


Fig. 1. Ru/Co<sub>2</sub>FeAl/MgO の界面垂直磁気異方性の電圧効果.

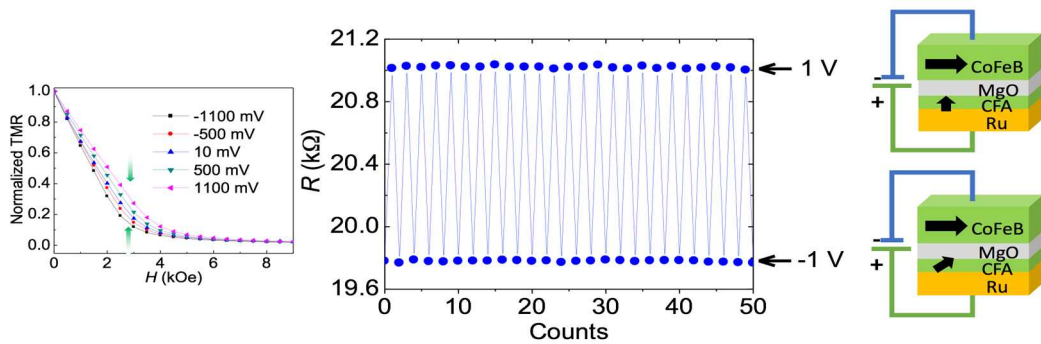


Fig. 2. 電圧を繰り返し印加した場合の界面磁気異方性の電圧効果.

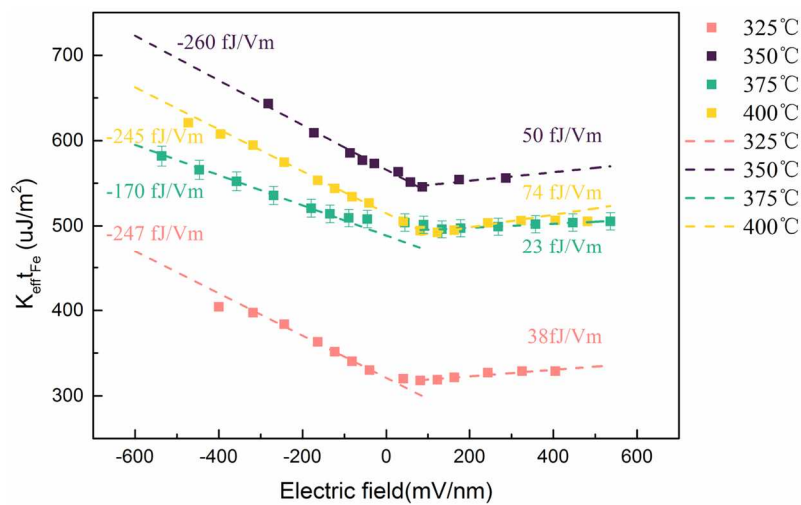


Fig. 3. Fe/MgO 系の界面垂直磁気異方性の電圧効果に及ぼすポストアニール温度の影響.

2-3 新たな課題など

なし。

3. アウトリーチ活動報告

なし。