

湯浅 新治

(独)産業技術総合研究所 ナノスピントロニクス研究センター  
研究センター長

革新的プロセスによる金属／機能性酸化物複合デバイスの開発

## § 1. 研究実施体制

### (1) 産総研グループ(キヤノンアネルバ含む)

- ① 研究代表者:湯浅 新治 (産業技術総合研究所ナノスピントロニクス研究センター、研究センター長)(研究代表者)
- ② 研究項目
  - ・フェライト系酸化物/MgO ハイブリッド障壁型トンネル磁気抵抗素子の開発
  - ・フェライト超薄膜を用いた MgO 上強磁性金属超薄膜の濡れ性改善
  - ・MgO 2重障壁構造における電圧磁気異方性制御
  - ・Co フェライト( $\text{CoFe}_2\text{O}_3$ )を用いたスピンフィルター型強磁性トンネル接合素子の開発
  - ・Co フェライトを用いた MgO(001)表面の濡れ性改善技術の開発

### (2) 大阪大グループ

- ① 主たる共同研究者:鈴木 義茂 (大阪大学大学院基礎工学研究科、教授)(主たる研究者)
- ② 研究項目
  - ・電圧効果新材料の研究
  - ・電圧効果物質の電子状態の研究
  - ・電圧効果新機能素子の研究

## § 2. 研究実施の概要

H25年度は、(i)高い磁気抵抗効果の実現を目標としたフェライト系酸化物スピニフィルター素子の改良、(ii)電圧駆動3端子素子の重要な構成要素である極薄強磁性中間層を作製するためのMgO表面の濡れ性改善、(iii)電圧誘起磁気異方性変化率の増大、(iv)電圧誘起磁気異方性変化の詳細な物理機構の研究、などの項目について研究開発を行った。

(i)フェライト系酸化物スピニフィルター素子に関しては、 $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO ハイブリッド型のトンネル障壁層を用いることで低温ではFe/MgO/Fe-MTJ素子を超える磁気抵抗比(MR比)を実現できることを昨年度に報告した。しかし、MR比の温度変化が大きいため室温ではFe/MgO/Fe-MTJ素子よりも小さなMR比しか得られず、このような温度依存性の抑制が課題となっていた。種々の厚さの $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を用いて系統的な実験を行った結果、スピニに依存しないホッピング伝導の成分があることが、MR比の大きな温度依存性を引き起こす原因であることが明らかになった。このことから、酸化条件の最適化等によりホッピングサイトの抑制が可能となれば、室温MR比のさらなる向上が可能であることが示された。

(ii) MgO表面の濡れ性改善技術に関しては、準安定なbcc構造のCo超薄膜をMgO上に作製する手法を開発した。MgO(001)層上に厚さ0.4nmの超薄 $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を成長し、その上に厚さ僅か0.6nmでも連続膜で良好な強磁性特性を持つbcc Co層を作製することに成功した。準安定なbcc Coは極めて大きなMR比を示すが、MgO上に良好な連続膜を作製できないことが問題となっていた。今回の成果により、bcc Co電極層のMTJ素子や圧駆動3端子素子への応用の道が拓かれた。

(iii)電圧誘起磁気異方性変化率の増大については、大きな垂直磁気異方性を示すFe-B層の両側を2枚のMgO層で挟んだMgO/FeB/MgO構造の電圧誘起磁気異方性変化を調べた。MgO/FeB/MgO構造波STT-MRAMに応用可能な実用構造であるとともに、電圧駆動3端子素子の中間電極としても使用できる重要な構造である。MgO/FeB/MgO構造に電圧を印加して磁気異方性の変化調べた結果、従来の最高値のさらに3倍という巨大な電圧誘起磁気異方性変化を観測した。これは、電圧書き込み型MRAMや電圧駆動3端子素子の実現に向けた重要な成果である。

(iv)電圧誘起磁気異方性変化の物理機構の研究については、過酸化界面では電圧印加によって局所的な酸化還元が起こること、などを明らかにした。

### § 3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### 論文詳細情報(国内)

##### 論文詳細情報(国際)

1 Takayuki Nozaki, Hitoshi Kubota, Akio Fukushima and Shinji Yuasa, “Enhanced Tunnel Magnetoresistance Effect in an Epitaxial Magnetic Tunnel Junction with a Hybrid  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MgO Barrier”, Appl. Phys. Exp., vol. 6, pp.053005\_1-3, 2013 (DOI:<http://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.053005>)

2 Takayuki Nozaki, Kay Yakushiji, Shingo Tamaru, Masaki Sekine, Rie Matsumoto, Makoto Konoto, Hitoshi Kubota, Akio Fukushima and Shinji Yuasa, “Voltage-Induced Magnetic Anisotropy Changes in an Ultrathin FeB Layer Sandwiched between Two MgO Layers”, Appl. Phys. Exp., vol. 6, pp.073005\_1-3, 2013 (DOI:<http://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.073005>)

3 Takayuki Nozaki, Tadakatsu Ohkubo, Yoichi Shiota, Hitoshi Kubota, Akio Fukushima, Kazuhiro Hono, Yoshishige Suzuki and Shinji Yuasa, “Growth of a High-Quality Ultrathin Fe(001) Layer on MgO(001) by Insertion of an Ultrathin  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Layer”, Appl. Phys. Exp., vol. 6, pp.053005\_1-3, 2013 (DOI:<http://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.113004>)

4 Hiroyuki Hosoya, Yoshinori Nagamine, Koji Tsunekawa, Vadym Zayets, and Shinji Yuasa, “Characterization of Ultrathin Fe–Co Layer Grown on Amorphous Co–Fe–B by In situ Reflective High-Energy Electron Diffraction”, Appl. Phys. Express 6, 063003, 2013 (DOI: [10.7567/APEX.6.063003](http://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.063003))

5 Y. Shiota, F. Bonell, S. Miwa, N. Mizuochi, T. Shinjo, Y. Suzuki, “Opposite signs of voltage-induced perpendicular magnetic anisotropy change in CoFeB|MgO junctions with different underlayers”, Appl. Phys. Lett., 103, 082410, 2013 (DOI: [10.1063/1.4819199](http://dx.doi.org/10.1063/1.4819199))

6 D. D. Lam, F. Bonell, S. Miwa, Y. Shiota, K. Yakushiji, H. Kubota, T. Nozaki, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki, “Composition dependence of perpendicular magnetic anisotropy in Ta/Co<sub>x</sub>Fe<sub>80-x</sub>B<sub>20</sub>/MgO/Ta (x=0, 10, 60) multilayers.”, Journal of Magnetism, 18(1), 5-8, 2013 (DOI: [10.4283/JMAG.2013.18.1.005](http://dx.doi.org/10.4283/JMAG.2013.18.1.005))

7 D. D. Lam, F. Bonell, S. Miwa, Y. Shiota, K. Yakushiji, H. Kubota, T. Nozaki, A. Fukushima, S. Yuasa, Y. Suzuki, “MgO overlayer thickness dependence of perpendicular magnetic anisotropy in CoFeB thin films”, J. Korean Phys. Soc. 62,10,1461-1464, 2013 (DOI: [10.3938/jkps.62.1461](http://dx.doi.org/10.3938/jkps.62.1461))

8 F. Bonell, D. D. Lam, Y. T. Takahashi, Y. Shiota, S. Miwa, T. Nakamura, Y. Suzuki, "Investigation of Au and Ag segregation on Fe(001) with soft x-ray absorption.", Surface Science, 616.125-130, 2013 (DOI: 10.1016/j.susc.2013.05.010)

9 S. Yuasa, A. Fukushima, K. Yakushiji, T. Nozaki, M. Konoto, H. Maehara, H. Kubota, T. Taniguchi, H. Arai, H. Imamura, K. Ando, Y. Shiota, F. Bonell, Y. Suzuki, N. Shimomura, E. Kitagawa, J. Ito, S. Fujita, K. Abe, K. Nomura, H. Noguchi, and H. Yoda, "Future Prospects of MRAM Technologies", IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) Technical Digest, 56-59, 2013 (DOI: 未確定)

### (3-2) 知財出願

- ① 平成25年度特許出願件数 (国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数 (国内 4 件)