

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27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：

千葉大学 大学院・融合科学研究科

研究開発責任者

山田 豊和

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

ナノ磁石へ電界をかけた際、磁気異方性の変化とともに原子・電子構造変化や化学反応が起こりうる。原子分解能を有する走査トンネル顕微鏡 (STM) を駆使することで、電界によるナノ磁石制御プロセスでの磁気・原子・電子・化学構造を原子スケールでその場観察し、ナノ磁石の電圧効果の原理解明を実施できる。磁性金属表面を測定対象とし、電圧トルク MRAM 実現に向けた原理解明と新材料探索を重点的に行う。

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

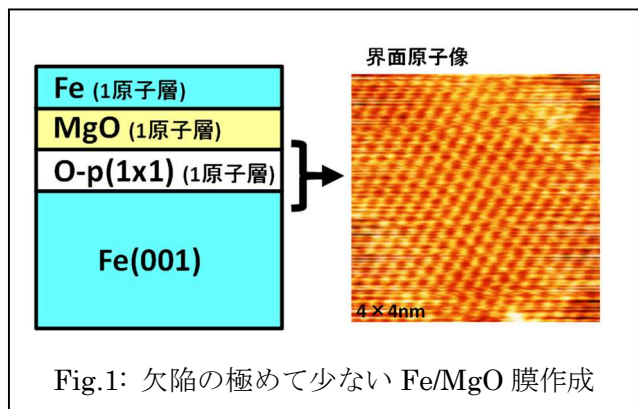
トンネル磁気抵抗素子を用いた次世代磁気メモリー開発において、Fe/MgO(001)界面は現状最も実用化に近い系であり、近年、爆発的に研究開発が進められてきている。この Fe/MgO 系の Fe 超薄膜に電界を印加することで Fe/MgO 界面での磁気異方性の制御が試みられている。そもそも、金属には伝導電子があるため電界は金属中には侵入しない。しかし数原子層レベルまで薄くすることで金属であっても電界を印加できる。しかし、この超薄膜化により新たな問題が生じた。界面での原子欠陥 (原子ステップ、キンク、酸素原子欠陥、等) により、電界による磁気応答が大きな影響を受けてしまう。

2014 年現在になり、Fe/MgO を利用した電界による磁気異方性制御の研究が盛んになるにつれ、Fe/MgO 界面の不完全性がデバイス全体の特性を左右しかねない問題としてクローズアップされるようになり、原因の特定と制御が緊急の課題である。本研究で我々は、欠陥の無い原子レベルフラットな Fe/MgO(001)界面の作成を目指した。これの実現により、デバイス実用化に不可欠な「原子欠陥が電界効果に及ぼす影響」を明確にとらえられる。

2-2 成果

1 個の原子欠陥 (1 原子ステップ等) を観察するには、まず、欠陥のない基準となる膜の作製が最重要と考えた。そこで、2014-2015 年度、原子レベルで平坦な (つまり、原子欠陥が極めて少ない) 磁性/酸化物の単原子膜の作製を行った。系として Fe/MgO を選択した。先行研究から、通常の Fe/MgO 界面には

2nm ごとに原子ステップ欠陥がある (欠陥密度 $\rho = 1 \times 10^{18}$ [個/m²])。さらに 20-40nm 毎に粒界が生じる。我々は、Fe/MgO 界面に、あえて規則配列した酸素原子層を 1 原子層だけ挿入することで Fe の活性をおさえ、原子レベルで平坦で (原子欠陥密度 $\rho = 1 \times 10^{14}$ [個/m²])、これまでの膜よりも 原子欠陥密度を 10,000 倍低くすることに成功した。図 1 は作成した膜の表面原子像である。原子欠陥は確認できない。



原子欠陥の極めて少ない膜を作成できたことにより、“初めて”、1個の原子欠陥が、Fe/MgOの結晶・磁気特性および電界効果にどのような影響を与えるのか正確に探ることができる。

STM 電界実験

STMは顕微鏡であるが、“観る”だけでなく探針を用いて試料に電界を“局所的に”

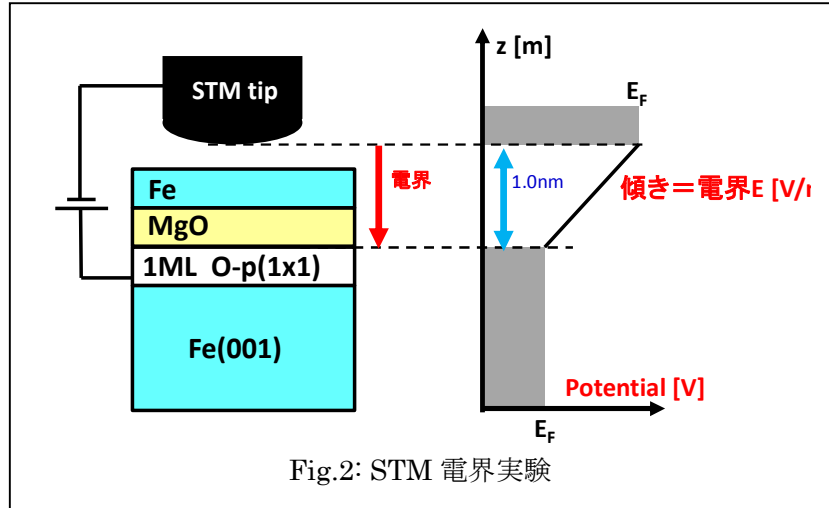


Fig.2: STM 電界実験

印加できる。STM探針による電界印可のモデルを図2に示す。STMでは、探針試料間の電圧[V]を、探針試料間距離[m]で割った電界E[V/m]が試料にかかる。図2中では右側のポテンシャル図の傾きが電界にあたる。STM機構では、計算より 10^6 - 10^{10} V/mレンジの電界をかけられることを確認している。

では、STM探針で、どの程度の領域に強い電界を印加できるのだろうか。図3はCu(111)基板上の鉄膜で行った実証実験である。図3の×の位置に探針をもっていき、 3×10^9 V/mの電界をかけた。すると、右隣の図が示すように、×印の周り約 $1 \times 1 \text{ nm}^2$ 領域だけが明るくなった。この $1 \times 1 \text{ nm}^2$ 領域が

f c c反強磁性からb c c強磁性相に相転移したことを示す。つまり、STM電界実験では、1nmの精度で電界をかけられることが実証できた。このように、1個の原子欠陥の電界応答をさぐるのに

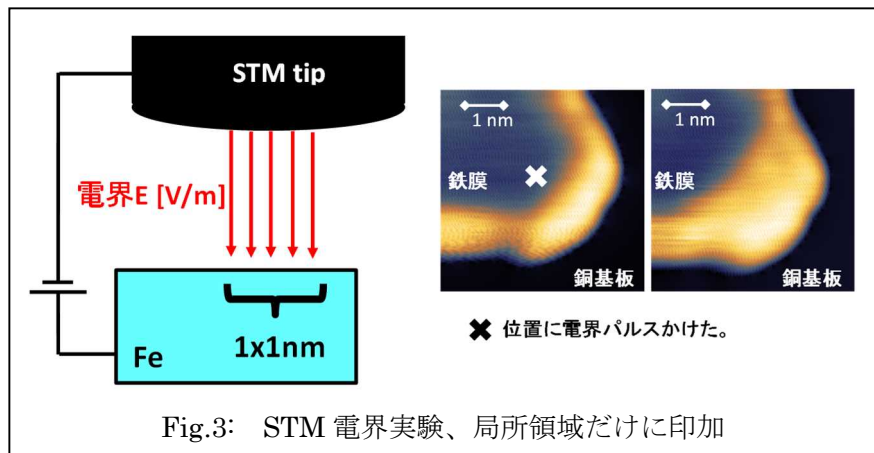


Fig.3: STM 電界実験、局所領域だけに印加

STMは非常に有効な手法といえる。

2-3 新たな課題など

これまでの研究から、原子レベルで平坦な単原子層Fe/MgO界面を作成する技術を確認できた。これにより、初めて、1個の原子欠陥が、鉄磁性膜の磁気特性への電界効果にどのような影響を及ぼすか正確に探ることができる。

3. アウトリーチ活動報告

特に無し。