

平成 27 年 3 月 31 日

プログラム名：無充電で長時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 6 年 度

研究開発課題名：

電圧素子微細加工技術（側壁加工・3 端子素子を含む）

研究開発機関名：富士通株式会社

研究開発責任者：杉井 寿博

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

26年度の目標

シミュレーションによる検討を通して、目標とする微細 2 端子素子に要求される材料案の提示と動作条件の見積もり提示。

26年度の計画

1) 電圧トルク・スピントルク併用 2 端子素子の実現に向けて、26 年度は、まず、マイクロマグネティック・シミュレーションを活用して、2 端子素子動作するために材料に要求される特性や動作条件を見積もる。

2) 本委託研究では、27 年度から、電圧トルク・スピントルク併用型の 2 端子素子を試作し、その動作を確認する計画である。この素子開発に向けて、27 年度早々から、300mm 対応磁性膜スパッタ装置の移設と立ち上げができるように種々な準備をしておくとともに、2 端子素子試作フロー案の作成を 26 年度に行っておく。

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) マイクロマグネティック・シミュレーションによる検討

我々は 20nm を切る微細な電圧トルク・スピントルク併用型 2 端子素子の作製、および電圧の効果によるメモリ動作確認を、平成 28 年度までに行う計画をしている。

平成 26 年度は、マイクロマグネティック・シミュレーションによる検討を通して、目標とする微細 2 端子素子に要求される材料・構造と動作条件の検討を行った。2 端子素子の構造案を設計するにあたり、スピントルク電流の影響を分離して検討した。また、マイクロマグネティック・シミュレーションは、EXAMAG LLG シミュレータ (富士通製) を使用した。

今年度は、まずスピントルク電流が流れない場合の、垂直磁気異方性(K_u)や CoFeB/MgO/CoFeB 間に働く層間結合(JMgO)が、MH ループにどのような影響を及ぼすかを調べた。シミュレーションに用いた素子構造を図 1 (a)に示す。ピン層からの漏れ磁場を低減させるためピン層は SAF 構造にし、さらに、フリー層の下にも漏れ磁場調整のための CoPt 層を挿入している。

まず、JMgO = 100 Oe(一定)にして、 K_u をパラメータとして MH ループを求めた。現実の素子の保持力 H_c (約 1250 Oe)が再現できる $K_u = 1.8E6 \text{ J/m}^3$ を初期値として、値を小さくしたところ、図 1 (b)に示すように、保持力が徐々に小さくなることがわかった。電圧が印加されると K_u が変化すると仮定すると、CoFeB/MgO/ CoFeB 構造に電圧を印加することによって、保持力が変化するという論文結果[1-2]に対応していると思われる。

次に、CoFeB/MgO/CoFeB 間に働く層間結合 J_{MgO} をパラメータとして MH ループを計算させると、図 1 (c) に示すように、層間結合が正の場合に MH ループが正磁場側に、負の場合は負磁場側にシフトすることがわかった。バイアス電圧によって層間に働く交換結合が変化し、その結果磁化の向きが変化するという指摘もある[3]。

垂直磁気異方性(K_u)や層間結合(J_{MgO})が MH ループに影響すること、この影響度合いがバイアス電圧によって変化すると仮定すると、今回シミュレーションに用いた材料や構造をベースにした素子は、2 端子電圧トルク、スピントルク併用型素子動作の可能性があることがわかった。今後、スピントルク電流の効果も取り入れてシミュレーションを行うことで、電圧効果が素子特性にどのように影響するのか見極めていく。

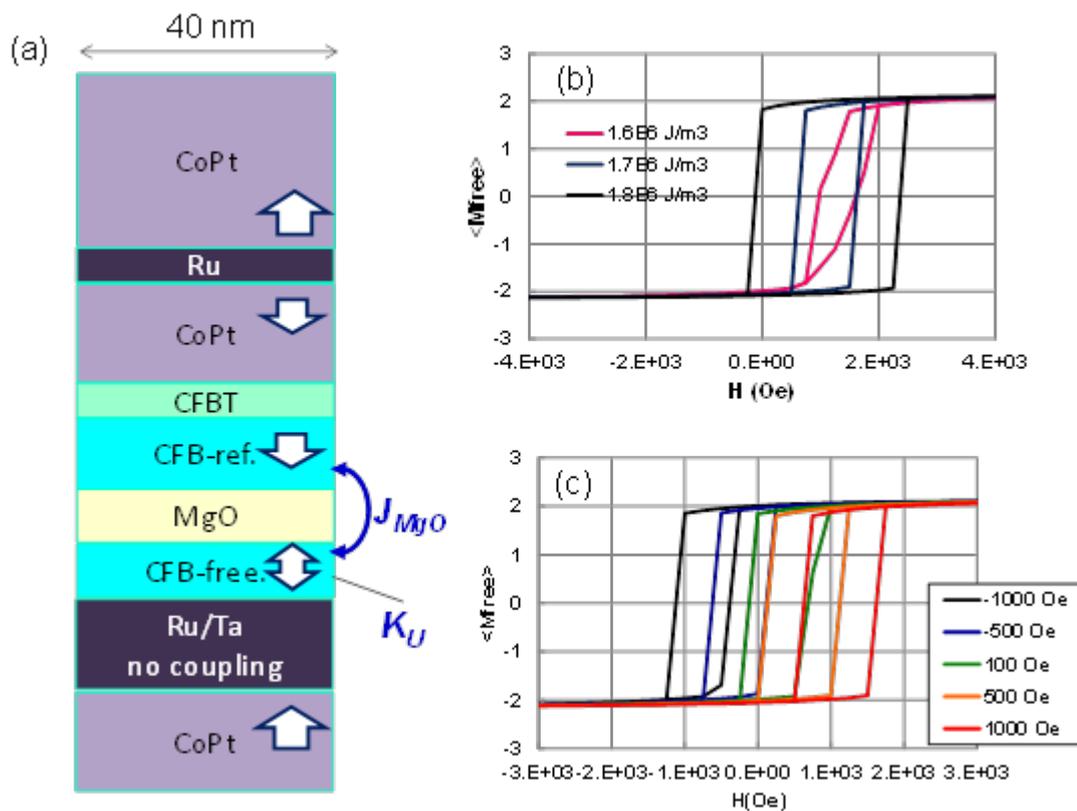


図 1 (a) 2 端子素子の構造、(b) MH ループの K_u 依存性、
(c) MH ループの J_{MgO} 依存性

(計算に用いた飽和磁化 M_s 値は、2.1 T (CoFeB-free), 1.8 T (CoFeB-Ref.), 1 T (CoPt))

[1] W-G. Wang et al., Nature Mater. 11, 64, (2011).

[2] S. Kanai et al., Appl. Phys. Lett., 101, 122403 (2012).

[3] C. Y. You et al., J. Magn. Magn. Mater. 195, 488-500 (1999).

2) 磁性膜スパッタ装置の移設準備関係

移設先クリーンルームの建屋用力は、当スパッタ装置の仕様を満たすことが出来なかったため増強を行った。増強は電気（建屋電源から新規に配線敷設）、実験冷却水（建屋冷却水供給槽から配管新設）、高圧ガス（アルゴンガス、酸素ガス、クリプトンガスのボンベ供給関連設備の新規設置）。

本スパッタ装置は大型で重量がある（総重量 11t、図 2）ため、移設経路に対して次の工事が必要となった。建屋搬入口改修工事（建屋搬入口付近の敷地と搬入ドアに段差が生じていた。そのため搬入口付近の敷地を掘り下げスロープを新設し、スムーズに搬入出来るように改修工事を実施）。

これらの用力増強、改修工事は 2015 年 2 月末までに完了し、4 月からすぐに移設作業に入ることが可能な見通しを得た。



図 2 磁性膜スパッタ装置

3) 素子試作フロー案の検討

27 年度から開始する素子試作にあたり、工数削減のため出来る限り従来使用してきたフローを流用する方向で進める。Magnetic Tunnel Junction (MTJ) 素子の加工に関しては、既存工程の変更や新規工程を追加して、より微細化した素子を目指していく。工程フロー案を図 3 に示す。

既存フローの変更及び新規に追加するのは、Reactive Ion Etching (RIE) による MTJ 加工と、MTJ 素子頭出しによる上部コンタクト形成である。

一般には MTJ 素子の加工はイオンミリングが用いられることが多いが、プログラムで共用予定のイオンミリング装置の納入は先のため、当面は RIE での加工を検討する。RIE による加工はイオンミリングよりもテーパ角が 90° に近く、微細化の制御性が高い。しかし、難加工材料である磁性膜を削るので、レジスト消耗が激しく、メタルハードマスクを用いるのが必須となる。

MTJ 上部へのコンタクト形成については、以下のフローを作成した。MTJ 素子加工後、 SiO_2 等により素子をカバーし、素子形状により生じた凸を SiO_2 -CMP にて平坦化し、次に RIE による全面エッチバックにて、素子上部を露出させ、コンタクト部を形成させる。これらの工程でキーポイントとなるのは、MTJ 加工におけるハードマスクと MTJ の選択比確保と、 SiO_2 -CMP での残膜管理である。この点に注視して 27 年度は素子試作評価を行っていく。

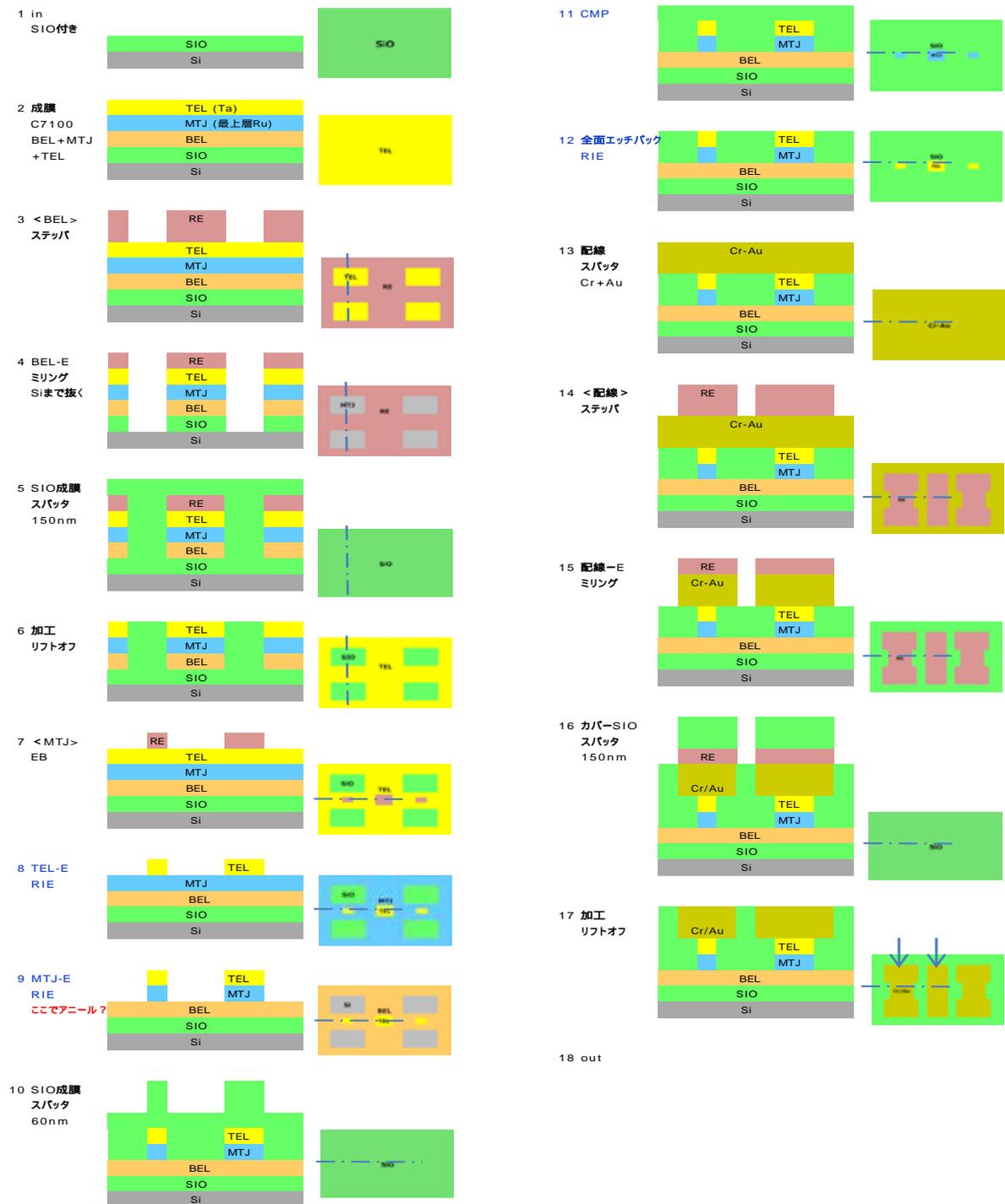


図 3 MTJ 素子作製フロー案

2-2 成果

- 1) マイクロマグネティック・シミュレーション環境の立ち上げ
- 2) 垂直磁気異方性(Ku)や CoFeB/MgO/CoFeB 間に働く層間結合(JMgO)が MH ループに影響することを、シミュレーションで確認
- 3) 垂直磁気異方性や層間結合がバイアス電圧によって変化すると仮定すると、今回シミュレーションに用いた材料や構造で、電圧トルク、スピントルク併用型素子動作の可能性あることを提示
- 4) 磁性膜スパッタ装置移設のための用力増強と建屋搬入口改修工事の実施
- 5) 2 端子素子作製フロー案の提示

2-3 新たな課題など

特に無し

3 . アウトリーチ活動報告

特に無し