

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 27 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

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

27年度の目標

- 1) 電圧トルク・スピントルク併用2端子素子用磁性多層膜の特性向上。
- 2) 電圧トルク・スピントルク併用型2端子素子への要求や仕様案の提示。
- 3) セルフシュリンク技術の有用性の実証。

27年度の計画

- 1) 300mm 対応磁性膜スパッタ装置の移設・立ち上げを行った後、それを使用しての電圧トルク・スピントルク併用2端子素子用磁性多層膜の特性向上と素子化技術を開発する。
- 2) 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行い、電圧トルク・スピントルク併用型2端子素子動作条件や素子仕様に関する検討を行う。
- 3) セルフシュリンク技術の高精度化開発を通してその有用性を実証する。

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

2-1-1) 300mm 対応スパッタ装置の移設・立ち上げ、それを使用しての電圧トルク・スピントルク併用2端子素子用磁性多層膜の特性向上と素子化技術を開発

電圧トルク・スピントルク併用2端子素子開発の基となる磁性材料の堆積には、産総研所有設備である磁性膜スパッタ装置を利用する。この装置は産総研西事業所の研究クリーンルームに設置してある設備である。しかし、このクリーンルームは2014年12月末で閉鎖しており、このまま使用することは出来ない状況であり、同事業所内ではあるが別棟のクリーンルームへ移設し、立ち上げて使用することとなった。そこで、磁性膜スパッタ装置の移設および立ち上げ作業を行った。

移設の主な工程は、解体、移設、組み立て、検収。主な検収項目は、真空度、成膜レート、磁気特性、ウエハ裏面汚染などである。結果は、大きな問題もなく検収項目をクリアできた。

H26年度に検討した300mm試作ラインでの素子試作フローをベースに、今年度は実際に素子試作を行った。キーとなる工程は、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。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フローとした。MTJ上部へのコンタクト形成については、MTJ素子加工後、SiO₂等により素子をカバーし、素子形状により生じた凸をSiO₂-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した。

試作した素子の R-H Minor ループを測定した結果を図 1 に示す。十分な MR 比（約 100%）で、高抵抗から低抵抗へ磁界スイッチングが観測できた。MTJ の加工サイズは抵抗値から約 40nm と考えている。これにより、本年度目標の磁性多層膜の特性向上が実証できた。

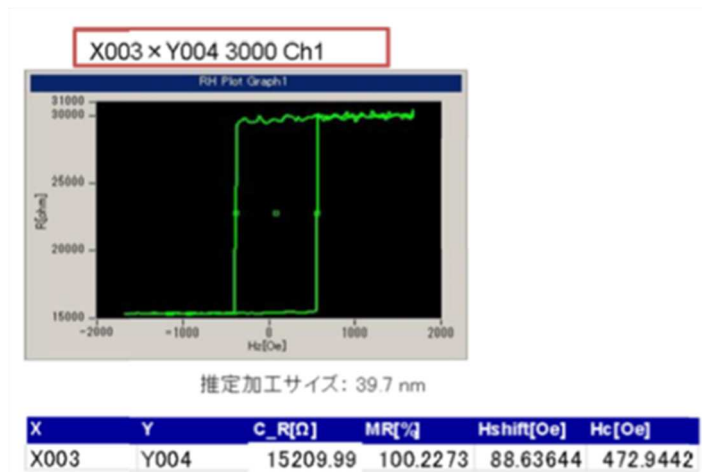


図 1 試作した MTJ の R-H ループ

2-1-2) 電圧トルク・スピントルク併用型 2 端子素子への要求や仕様案の提示に向けた検討

磁気トンネル接合に電圧(電界)を印加すると、バリア/強磁性体界面の磁気異方性が変化し、MTJ の保磁力が変化する VCMA (voltage controlled magnetic anisotropy) アシストユニポーラ磁化反転が可能かどうかを、マイクロマグネティック・シミュレーションによる計算機実験で検討した。

その結果、直径 40 nm の MTJ の場合、VCMA 効果により磁化反転がアシストされるが磁化反転は約 60% に留まることがわかった。これは、面内方向成分を持ったドメインが形成されるためである。しかし、直径を 20 nm に小さくすると、VCMA 効果によりほぼ全体が一斉に磁化反転することが確認できた (図 2)。MTJ の微細化に加えて、VCMA 効果として H_k を 90% に低減する必要があること、電圧トルクに加えてスピントルク電流は $2E6 \text{ A/cm}^2$ 以上必要であることなども明らかにした。これにより、本年度目標の電圧トルク・スピントルク併用型 2 端子素子への要求や仕様案の一部提示を行うことができた。

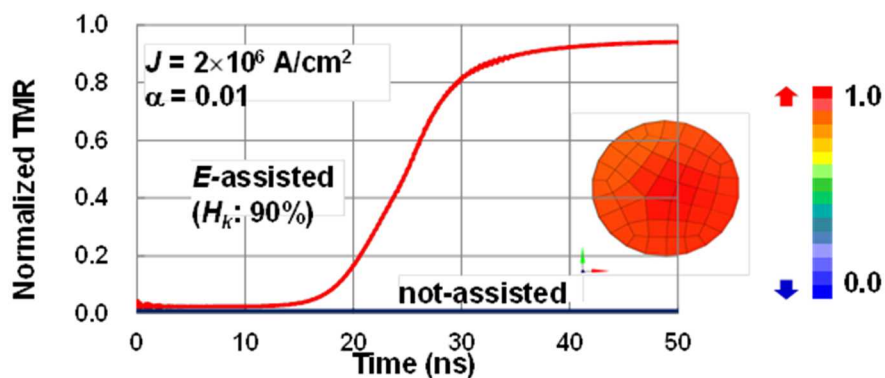


図 2 マイクロマグネティック・シミュレーションによる計算機実験結果

2-1-3) セルフシュリンク技術の高精度化開発を通してその有用性を実証

我々の独自技術であるセルフシュリンク技術とは、MTJ 加工後に酸化を行って MTJ 側壁部を電氣的・磁氣的に不活性にして、加工した物理的な寸法より電氣的・磁氣的に微細化するものである。今年度は、この技術の高精度化を目的に、シュリンクのメカニズムを調べた。図 3 に実験のプロセスフローを示す。ハードマスクを使用して MTJ を加工後、アンモニアプラズマ処理+Si₃N₄膜形成（従来プロセス）、あるいは酸素プラズマ処理+SiO₂膜形成（シュリンクプロセス）を行った。また、アンモニアプラズマ処理時間と酸素プラズマ処理時間の依存性も評価した。測定した特性は、MTJ の抵抗値 (R_p)、MR 比、保持力 (H_c)、書き換え電流 (I) である。

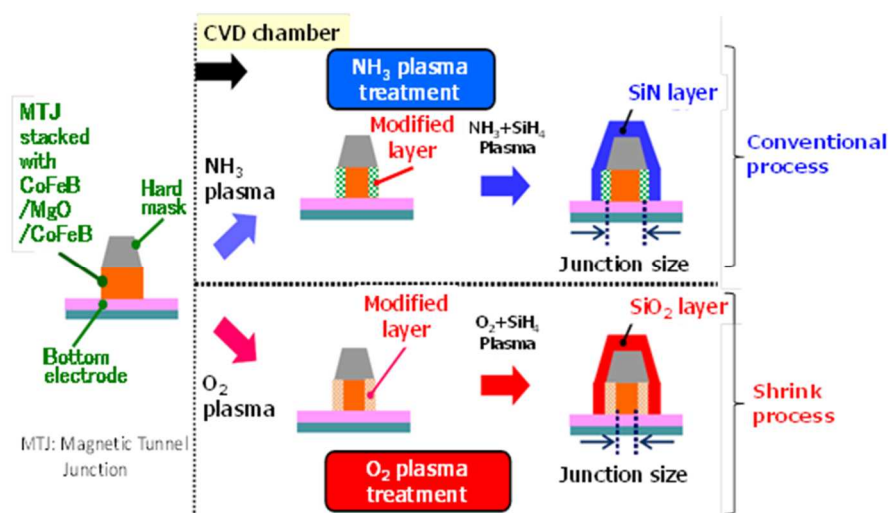


図 3 実験のプロセスフロー

図 4 は処理時間を変えた従来プロセスとシュリンクプロセスについて、MTJ の抵抗値 (R_p)、MR 比、保持力 (H_c)、書き換え電流 (I)、抵抗値と書き換え電流の積をプロットしたものである。これから、従来プロセスでは、アンモニアプラズマ処理時間を長くすると MTJ の抵抗は下がるが、シュリンクプロセスの酸素プラズマ時間を長くすると MTJ の抵抗は上がっているのがわかる。この結果から、シュリンクプロセスは MTJ 側壁（特に MgO 近辺）の酸化反応、従来プロセスはその逆の還元反応が起こっていると思われる。この酸化と還元により、電氣的、磁氣的に有効な MTJ 面積は縮小あるいは増大していると思われる。これまでの我々の検討から、酸素プラズマ 15 秒で、アンモニアプラズマ 15 秒よりも、有効な MTJ 径は 15nm もシュリンクしていることがわかっている。今回の酸素プラズマ 30 秒処理では更に 15nm 程度のシュリンクが可能であることがわかった。これにより、セルフシュリンク技術の有用性を実証できた。また、酸素プラズマ時間を調節することで、目標とする 20nm 径の MTJ の実現が可能であることが実証できた。

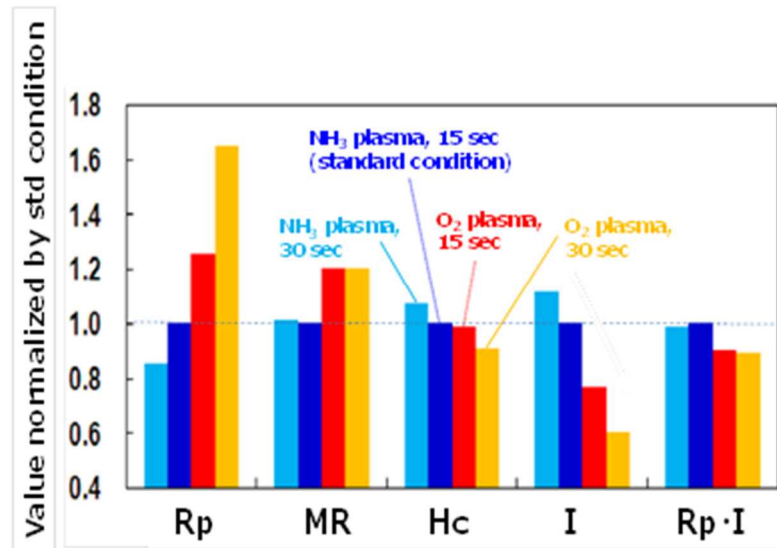


図4 従来プロセスとシュリンクプロセスについて、MTJの抵抗値(Rp)、MR比、保持力(Hc)、書き換え電流(I)、抵抗値と書き換え電流の積

2-2 成果

- 1) 300mm 対応スパッタ装置の移設・立ち上げを行い、良好な磁性多層膜を得た。
- 2) 300mm 径ウエハでの素子試作を行い、その動作を実証した。
- 3) マイクロマグネティック・シミュレーションにより、電圧トルク・スピントルク併用型2端子素子への要求や仕様案の一部提示を行うことができた。
- 4) セルフシュリンクのメカニズムを解明し、20nmΦ化に向けての有用性を実証した。

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