

平成27年3月31日

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：スピントロニクス集積回路を用いた分散型ITシステムプロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成26年度

研究開発課題名：

「スピントロニクス集積回路を用いた分散型ITシステム」

研究開発機関名：

「東北大学省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター」

研究開発責任者

大野 英男

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

スピントロニクス技術を活用したエネルギーハーベスティングで駆動する省電力情報処理集積回路向け材料・素子技術、回路・アーキテクチャ技術ならびに集積プロセス技術の開発に取り組み、革新的材料・素子技術と世界最先端 300mm 集積プロセスとの高度な技術統合により、分散型 IT システムに向けた、従来比で 5 倍以上の動作速度、ならびに 1/20 以下の待機時電力を達成する 50 万素子規模の革新的超低消費電力マイコン等の実現に向けた基盤技術の開発方針および仕様の基礎検討を行う。

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

エネルギーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向け材料・素子開発

エネルギーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路のコンセプト実証を目指し、スピントロニクス素子の書き込み電力を削減する革新的材料・素子の開発指針に関する検討、さらにこれを受けて導入する政府調達の対象となる設備備品の仕様検討を行った。

具体的には、高い熱安定性を維持しながらダンピング定数の低減により書き込み電力を削減する材料・素子の開発指針を検討するとともに、この開発を加速することを目的として導入を予定している高機能合金積層薄膜形成用スパッタ装置の仕様検討を行った。加えて、スピントロニクス集積回路のコンセプト実証を目指し、CMOS 集積化の配線工程で必要となる 350 - 400 の熱処理耐性を得る開発指針のもと 300mm 製造・評価設備を使用し材料・素子開発を行った。

エネルギーハーベスティングで駆動する集積回路向け回路・アーキテクチャ開発

従来比で 1/20 以下の待機時電力を達成する新しい超低消費電力な回路技術とアーキテクチャ技術の開発を目指している。本年度は、エネルギーハーベスティングで駆動する革新的な超低消費電力マイコン等の基盤技術の開発方針に関する基礎検討を行った。

具体的には、次年度に予定されている超低消費電力マイコンの開発に先立ち、ベースとなるマイコンアーキテクチャについて検討を行った。性能面における「従来比で 5 倍以上の動作速度ならびに 1/20 以下の待機時電力」というプロジェクト目標を達成しつつ、かつ開発できたときの世の中へのインパクトをも考慮し、FIRST プログラムにおいて開発したスピンマイコン、およびその他市販のマイコンも含め、各マイコンアーキテクチャについて調査を行った。加えて、スピントロニクス技術を活用したマイコン（スピンマイコン）搭載の各機能ブロック回路およびその動作モードに応じた電力制御技術、ならびにスピンマイコン内データ転送部に関する検討など、スピンマイコンチップ開発において必要となる要素技術の準備を行った。上記に関連して、マイコン開発のための設計ツールに関する基礎検討も行った。

エネルギーハーベスティングで駆動する集積回路と 300mm 集積プロセスの開発

3Xnm 世代のスピントロニクス素子を CMOS 回路上に集積化し、上記研究課題で設計される超低消費電力マイコン等（50 万素子規模）を実証するための世界最先端の 300mm 集積プロセス開発を目指している。当該年度は、エネルギーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路を支える 300mm 対応革新的要素プロセス開発、ならびに 300mm 対応革新的集積化プロセス開発に関する仕様検討を行った。

具体的には、スピントロニクス集積回路を形成するために 300mm 対応設備を用い MTJ 成膜・加工

等の要素プロセス開発を進め、半導体ファウンドリとのウェハ受け入れ基準も含め集積化プロセスの工程仕様を検討した。

2-2 成果

エネルギーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向け材料・素子開発

高い熱安定性を維持しながら書き込み電力を削減する材料・素子の開発指針を提示することができ、政府調達の対象となる成膜装置の仕様を決定した。また、 のエネルギーハーベスティングで駆動する集積回路と 300mm 集積プロセスの開発チームと協力して、300 mm ウェハ上に成膜した 2 重 CoFeB-MgO 界面 p-MTJ においてもこれまでに報告してきた小口径ウェハ上に成膜した p-MTJ と同等の特性がより高い 400 の熱処理温度で得られ、標準 BEOL で必要となる 400 の熱処理耐性を実証することができた。

エネルギーハーベスティングで駆動する集積回路向け回路・アーキテクチャ開発

超低消費電力マイコン設計のために必要な開発環境の立上げを進めた。これにより、マイコンを用いたシステムの動作を C/C++ 言語などの一般的プログラム言語で記述して、マイコン命令レベルの動作解析が可能となった。この開発環境を用いて不揮発マイコンによる効果的な低電力動作法の検証が可能となった。また、スピンマイコン搭載の各機能ブロック回路およびその動作モードに応じた電力制御技術、ならびにスピンマイコン内データ転送部に関する検討など、スピンマイコンチップの構成要素に関する基盤技術について具体化を進めた。

エネルギーハーベスティングで駆動する集積回路と 300mm 集積プロセスの開発

3X nm 世代のスピントロニクス素子を CMOS 回路上に集積化し、超低消費電力マイコン等(50 万素子規模) を実証するための世界最先端の 300mm 集積プロセスの開発に向け、300mm 対応設備を用いた MTJ 成膜・エッチング加工等の要素プロセス開発を進め集積化に向け課題抽出するとともに、半導体ファウンドリのパーティクル・汚染等のウェハ受け入れ基準も含め CMOS 上への MTJ 形成から配線工程までの集積化プロセスの各工程仕様の策定を進めた。加えて、 のエネルギーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向け材料・素子開発チームと協力して、300 mm ウェハ上に成膜した 2 重 CoFeB-MgO 界面 p-MTJ においてもこれまでに報告してきた小口径ウェハ上に成膜した p-MTJ と同等の特性がより高い 400 の熱処理温度で得られ、標準 BEOL で必要となる 400 の熱処理耐性を実証することができた。

2-3 新たな課題など

限られた予算内での、300mm 集積化プロセス開発に限りがあり、またトリビアな回路設計までも研究開発者が行うことから研究開発時間が削られている。同様の理由でステージゲートまでに設計・実証サイクルが 1 回と限られている。

3 . アウトリーチ活動報告

東北大学電気通信研究所通研公開 2014 (2014/10/4 ~ 5 開催) および東北大学イノベーションフェア (2014/12/4 開催) において、ImPACT での取り組みについてポスターで紹介した。

2-2 の成果の内、 および について、電子デバイス分野で権威ある国際会議である IEDM (2014 年 12 月開催) で報告した。