

文部科学省「次世代IT基盤構築のための研究開発」  
「イノベーション創出を支える情報基盤強化のための新技術開発」委託研究

「耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス  
基盤技術の研究開発」  
2014年5月1日(木)



# 「耐災害性に優れた安心・安全社会のための スピントロニクス材料・デバイス基盤技術の 研究開発」プロジェクト概要説明

研究代表者  
大野英男  
東北大学電気通信研究所

# 研究開発の目的

不揮発性スピントロニクスワーキングメモリを実現することで、耐災害性に優れた安心・安全社会のためのコンピュータシステムの構築が可能となる。本研究開発では、20 nm世代以下の不揮発性スピントロニクスワーキングメモリの材料・デバイス基盤技術を構築し、その適用法をシミュレーションで明らかにする。

# 背景

## 現在のコンピュータシステム 分散システム

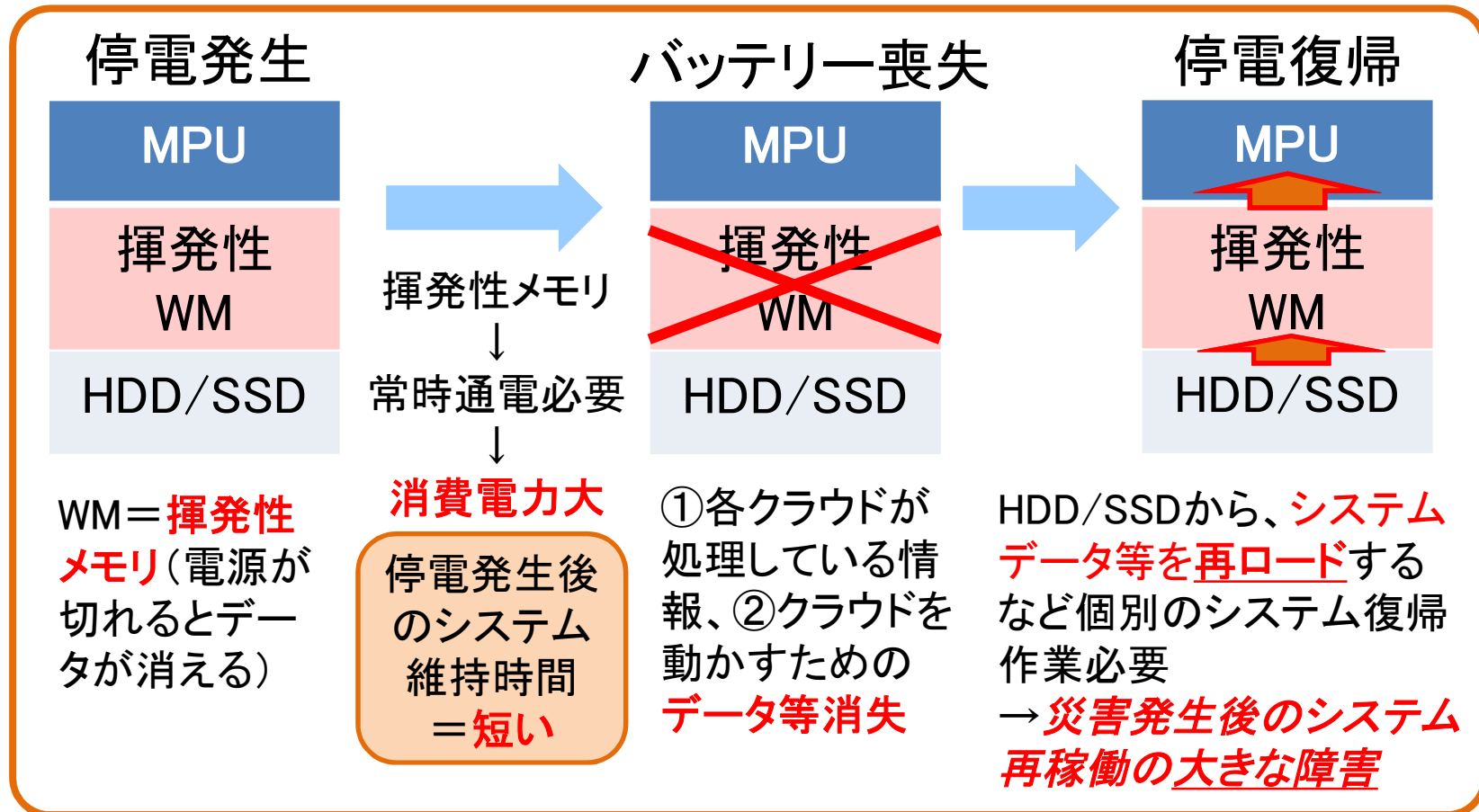
クラウドに分散されたコンピュータシステムでは①処理している情報、②動かすためのデータ等を、ワーキングメモリ(WM)に記憶



ストレージデータは、各ローカルストレージやデータセンターに保存

災害等による停電後は、システム維持の命綱

# 災害時における現在のコンピュータシステムの課題



さらに、既存揮発性半導体メモリ(高速WM用SRAM, 大容量WM用DRAM)では、

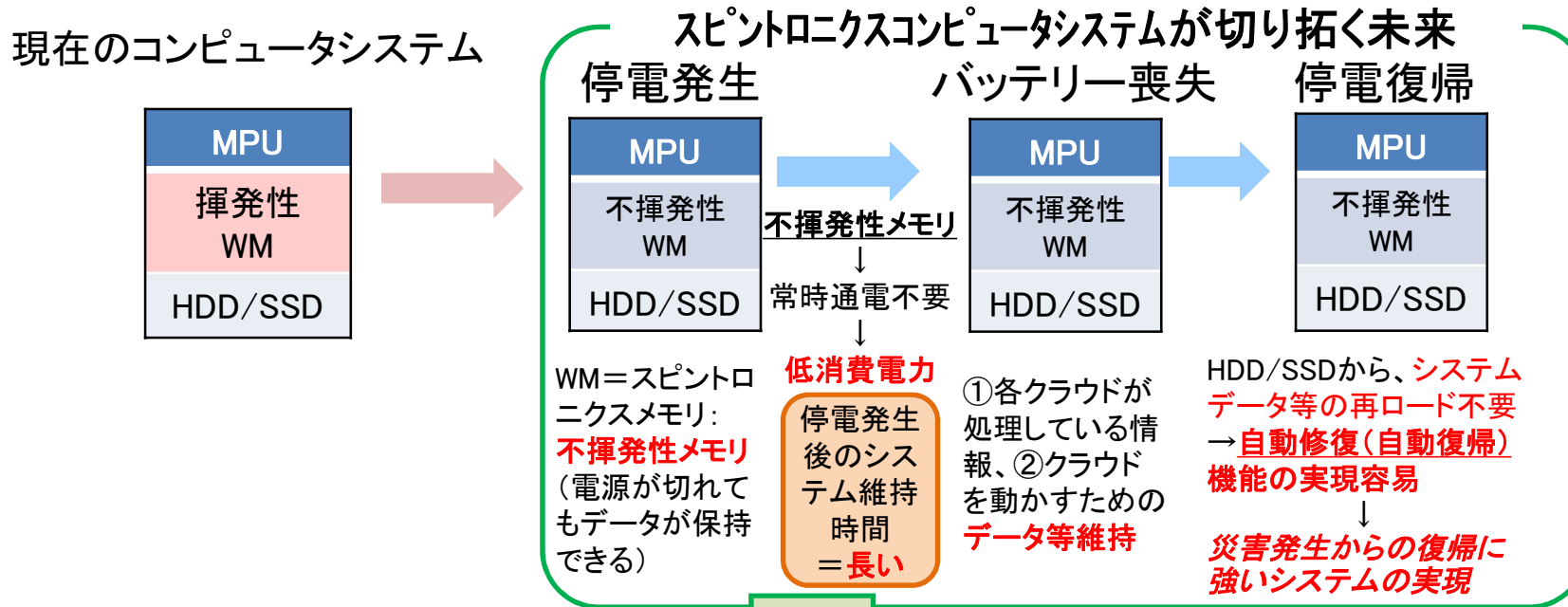
- ・20 nm以下のテクノロジノードが見えていない。
- ・微細化による地上中性子線でのソフトエラーの顕在化。

# 不揮発性スピントロニクス素子の優位性

スピントロニクス素子：“磁化”の方向で不揮発記憶を実現する

不揮発性素子の特徴	フラッシュメモリ	強誘電体素子	スピントロニクス素子
アクセス時間	△	○	○
非破壊読出し	○	△	○
書込み耐性	×	△	○
微細化	○	△	○
低電圧	×	△	○

# 不揮発性ワーキングメモリの必要性



## 本研究の目的:耐災害性の向上

- ①低消費電力化による停電発生後のシステム維持時間の延長&データ処理能力の向上と維持
- ②停電復帰後の自動修復(自動復帰)機能の実現

## 不揮発性WM

高機能

超低消費電力

東日本大震災において被災した地域はもとより、世界的な貢献ができる技術である。被災地域におけるこの分野の国際的研究開発力および産業力の増強が図られる。

# 研究開発体制

研究代表者：大野 英男

プログラム推進委員会

プログラムオフィサー  
有識者

高機能(高速動作)スピントロニクスワーキングメモリ  
向け材料・デバイスの開発

高速動作

耐環境性

自動復帰機能  
性能維持機能


超低消費電力(大容量)スピントロニクスワーキングメモリ  
向け材料・デバイスの開発

20 nmプロセス

低エネルギー  
書き込み動作

新規書き込み手法

**東北大学**  
電気通信研究所 ○大野英男、池田正二、  
羽生貴弘、夏井雅典、鬼沢直哉、  
金井 駿、Enobio E. Christopher  
原子分子材料科学高等研究機構 松倉文礼  
大学院工学研究科 安藤康夫、大兼幹彦、  
永沼博、Yu Tian  
大学院工学研究科、国際集積エレクトロニクス研  
究開発センター 遠藤哲郎



**山形大学**  
○成田克



**京都大学**  
○小野輝男、  
Kim, Kab-Jin



**NIMS**  
○林 将光、  
金 俊延



**JAXA**  
○廣瀬和之、  
小林大輔



**日本電気**  
○杉林直彦、  
崎村昇、  
根橋竜介



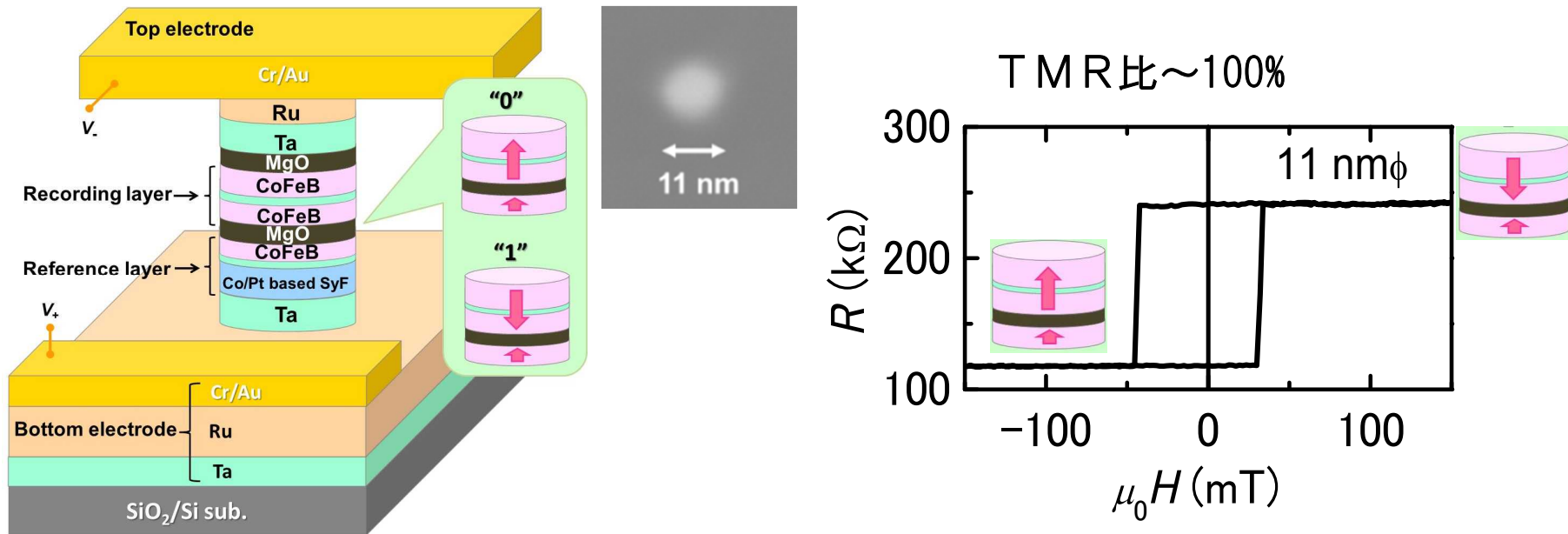
**東栄科学**  
○佐藤茂行、  
大泉貴司、  
浅野真澄



○: 機関代表者

- ・ 参画機関の枠を越え開発項目を分担し、情報を密接に共有し研究開発を遂行
- ・ 東北大学と地元企業の共同開発により被災地域における産業力の増強
- ・ 推進委員会によるステアリング、定期的な会議の開催

# 2端子素子の代表的な成果



本課題で20 nm以下の微細加工プロセスを構築  
世界最小の11 nm径のMTJにおいて特性を確認

➡ 予定よりも先行

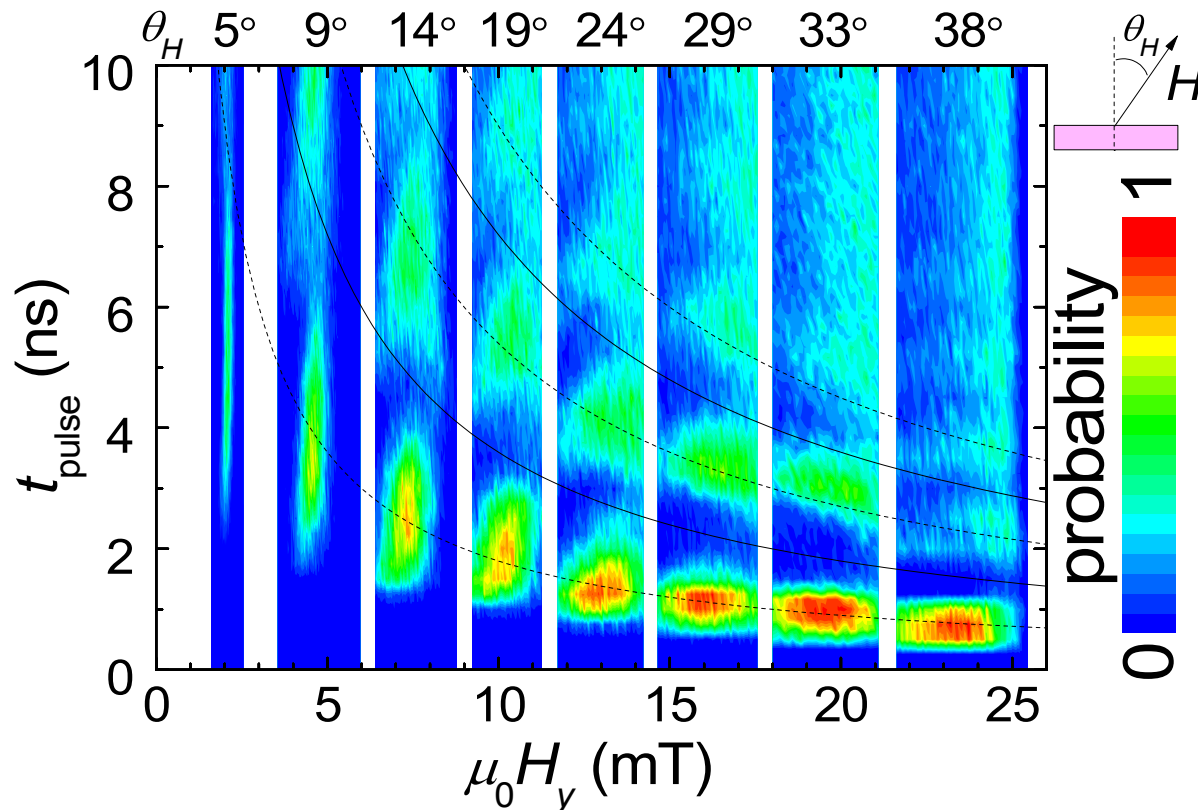
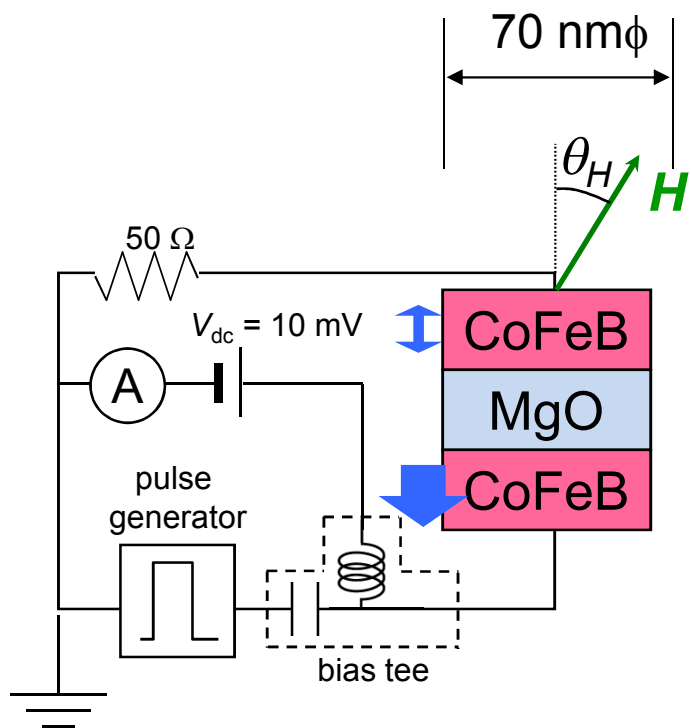
世界最高峰の国際電子デバイス会議 (IEDM) にハイライト論文として選定。

H. Sato *et al.*, IEDM2013, p. 3.2.1.



# 電界書き込み手法の代表的な成果

低エネルギー書き込み動作

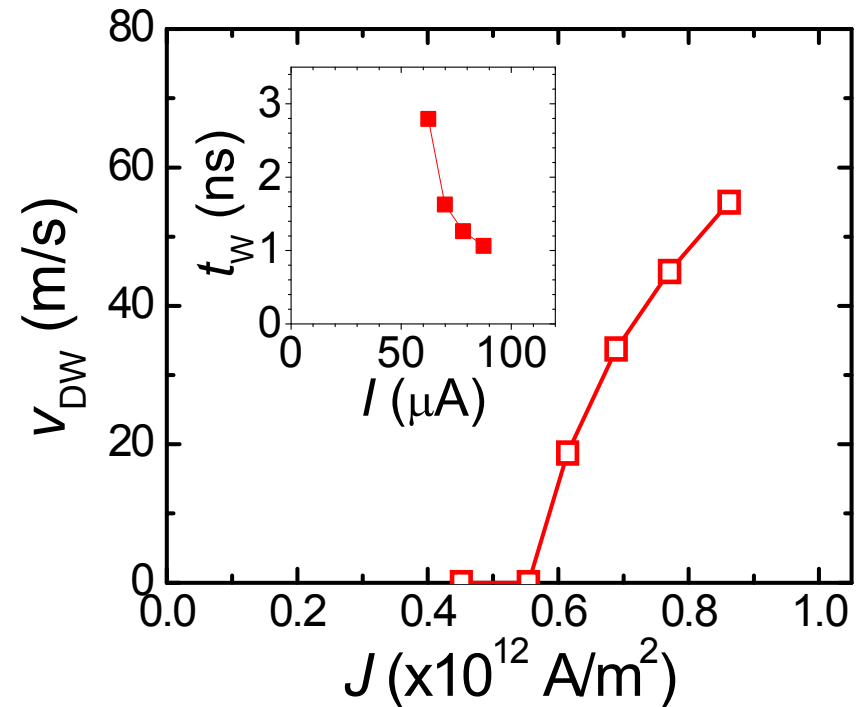
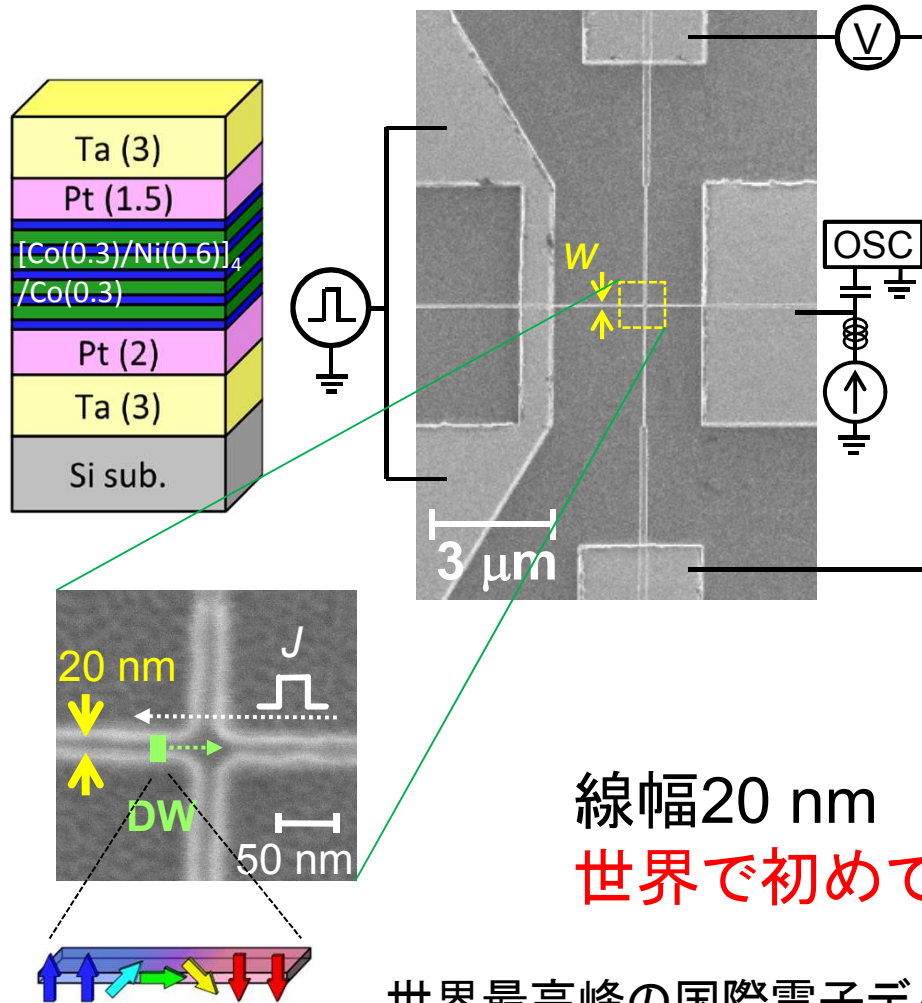


面内磁界を増大することで、ナノ秒以下での電界書き込みを実現

S. Kanai et al., Appl. Phys. Lett. **103**, 072408 (2013).

⇒ 予定通り進捗

# 3端子素子の代表的な成果



線幅20 nm 磁壁移動素子の動作を  
**世界で初めて実証**

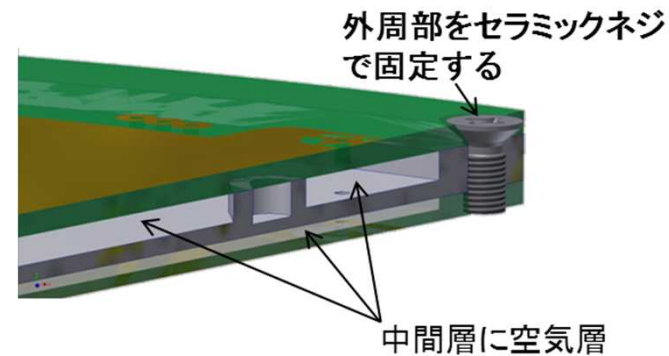
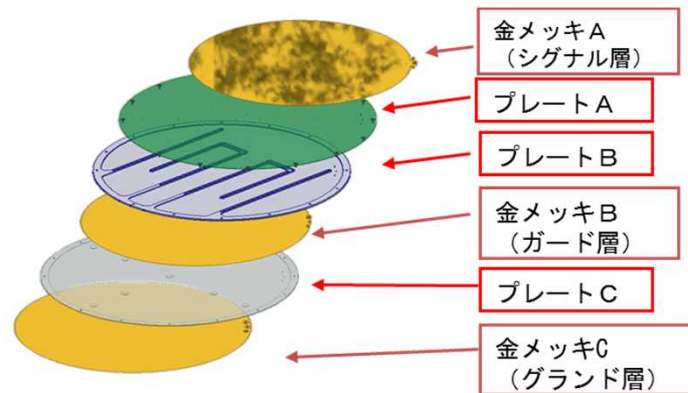
➡ 予定よりも先行

世界最高峰の国際電子デバイス会議 (IEDM) で報告

S. Fukami et al. IEDM2013, p. 3.5.1.

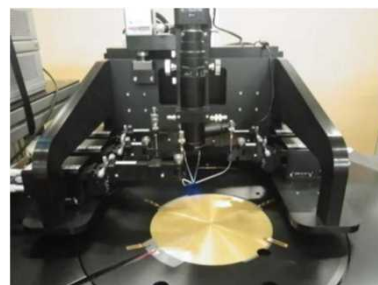
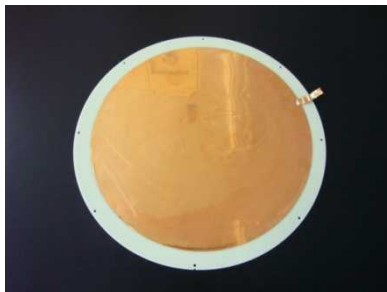
# 高速動作WM評価システム(低リークチャック)の代表的な成果

1、低リークチャックの要素別テストより問題点を抽出、設計構想をまとめた。

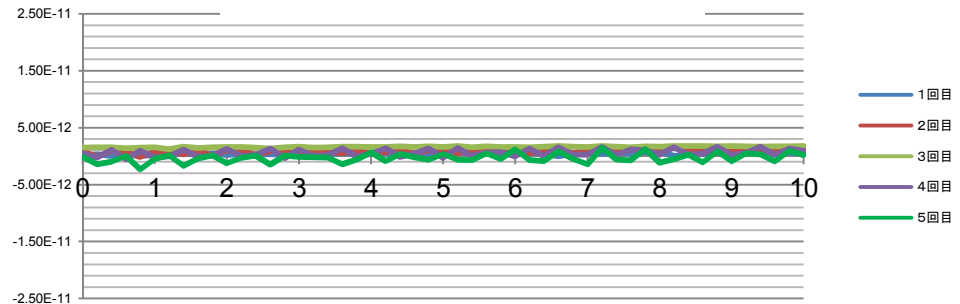


2、試作品を製作、期待通りの結果が得られた。

試作品チャック 計測系への搭載例



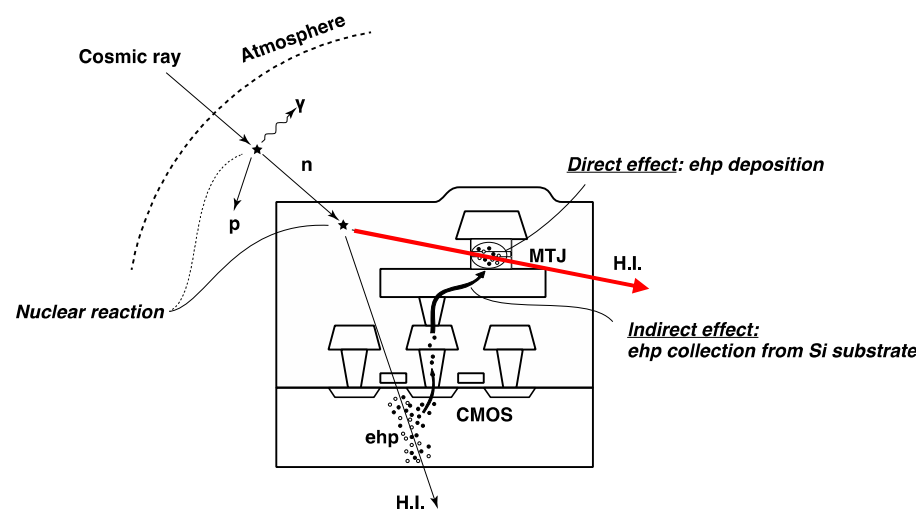
リーク電流評価データ



目標値: 5pA以下を達成 ➡ ほぼ予定通り進捗

※但し繰り返し安定性は今後の検証課題

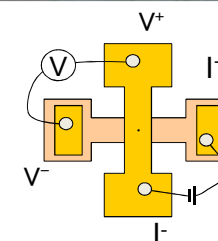
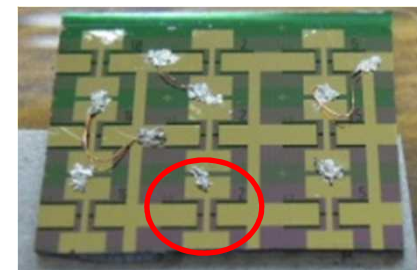
# 耐環境性評価の代表的な成果



70 nmφ

Ta(5)/Ru(5)
CoFeB(1.6)
MgO
CoFeB(1.0)
Ta(0.3)
Co/Pt系 SyF参照層
基板

重イオン照射サンプル



70 nm直径のCoFeB単層記録層の垂直MTJにバイアス 0V / -0.5V / +0.5Vを印加し、15 MeV Si<sup>4+</sup>マイクロビーム(2μmφ)を合計238個照射したが(線エネルギー付与: 14-16 MeVcm<sup>2</sup>/mg, 飛程: 6-9 μm)、MTJにおいてビット反転がないことを**世界に先駆け実証**した。

➡ ほぼ予定通り進捗

(日本原子力研究開発機構・高崎量子応用研究所の重イオン照射施設TIARAを利用)

欧州最大の半導体に対する放射線効果に関する国際会議

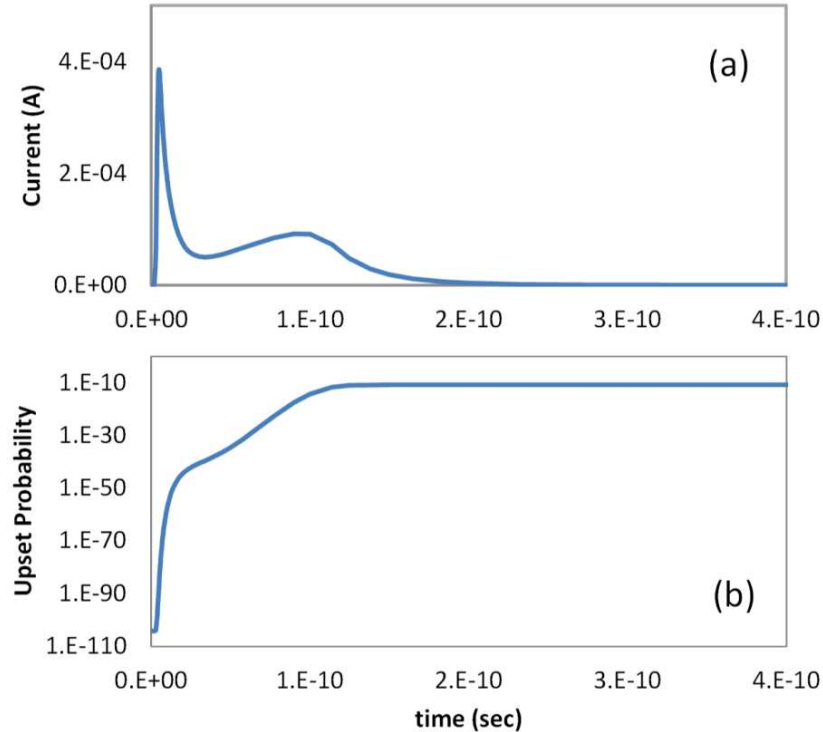
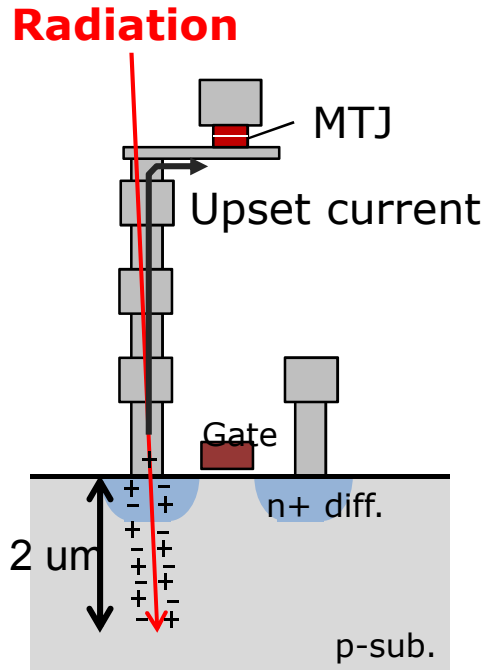
( Conference on Radiation Effects on Components and Systems )で報告

D. Kobayashi et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 2014 採択

2014年 5月 1日

中間評価

# 耐環境性シミュレーションの代表的な成果



宇宙線の影響による過渡電流とそれ  
起因するMTJデータ反転シミュレーション

➡ ほぼ予定通り進捗

磁性と磁性材料に関する最大規模の国際会議(MMM)で報告

N. Sakimura et al. MMM2013, CD-09.

# 独創性・優位性

- 参画機関の枠を越え開発項目を分担し、情報を密接に共有した研究開発体制であり、新しい発想に対し素早く対応・連携し実行できるため、世界に例のない低リークチャックの開発につながっている。
- 国内外の研究機関ではほとんど構築されていない20 nm以下の微細加工技術を構築することで、世界最小の11 nm $\phi$ の素子において特性確認ができており、今後、微細素子材料・デバイスの開発・知財化に対し優位性がある。
- これまでに構築・蓄積した独自技術に基づいて、以下のような最先端のスピントロニクス技術の成果が得られている。
  - ・線幅20 nm 磁壁移動素子の動作を世界で初めて実証
  - ・70 nm $\phi$ の垂直MTJ 単体の放射線耐環境性を世界に先駆け実証



# 成果の利活用

## ・学会発表，特許出願，新聞発表，等

平成26年5月1日

国際会議等 招待講演数	75
国際会議 一般講演数	133
学術論文数	21

特許出願数	22
新聞発表	87
受賞	11

- ・エレクトロニクス分野の国際産学連携コンソーシアム拠点として設置された本学の国際集積エレクトロニクス研究開発センターを活用した産学連携による早期実用化、多種多様なニーズ・シーズの創出



国際集積エレクトロニクス研究開発センター  
(東北大学 青葉山新キャンパス内)

- ・地元企業である東栄科学産業と共同開発によりスピントロニクス材料・デバイスの計測・評価システムの製品化を行っており、被災地域における産業力の増強に寄与

## ・人材育成

- 平成26年度までの3カ年で、ポスドクのべ6(人・年)，大学院学生のべ28(人・年)が研究開発に参加
- 基礎から応用までの一連の研究開発に従事することで、即戦力としての実践能力を養成
- 社会人の再教育のべ18(人・年)に加えて、社会人博士後期課程2名

平成26年度の人員

ポスドク	4名
大学院学生	11名
社会人大学院生	2名

# 5カ年の年次計画に対する進捗状況

・有機的連携により研究開発を効率的に推進

耐災害性・耐環境性スピントロニクスWM  
用材料・デバイス要素技術の開発

耐災害性・耐環境性スピントロニクス  
WM用材料・デバイス基盤技術の確立

