

2016. 6. 20

産総研STARシンポジウム
「超省電力データ処理ハードウェアの新潮流と将来像」

電圧制御スピンRAM

～超低消費電力不揮発性メモリの実現に向けて～

野崎隆行, 塩田陽一, 鈴木義茂, 湯浅新治

産業技術総合研究所
スピントロニクス研究センター

Cloud computing

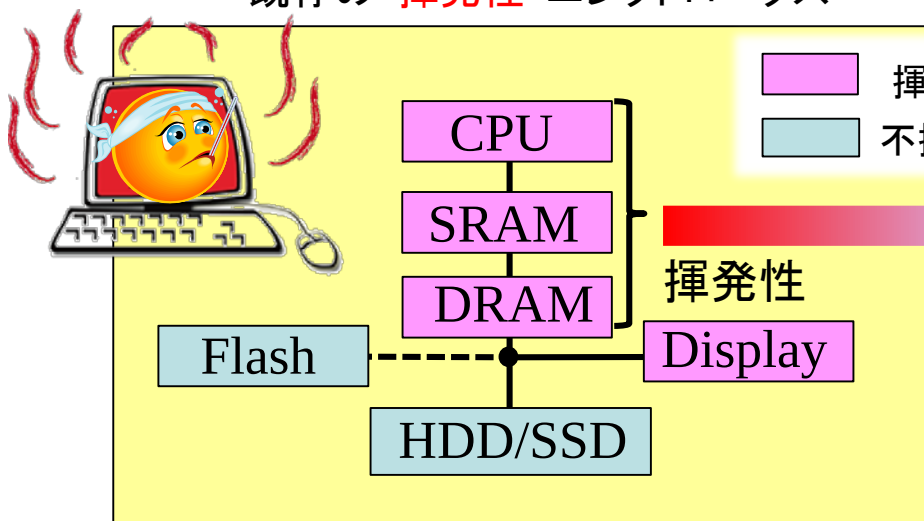


Internet of things (IoT)



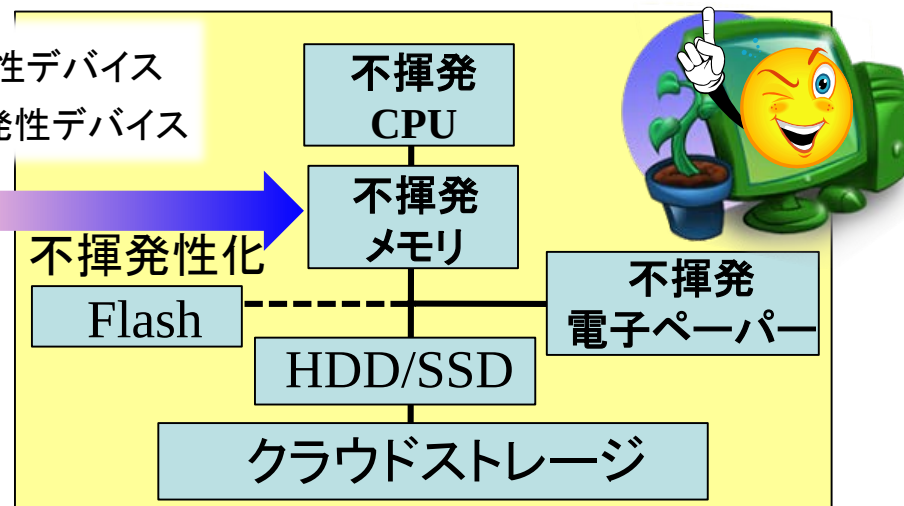
ビッグデータ
消費電力、発熱問題
安全、信頼性

既存の“揮発性”エレクトロニクス

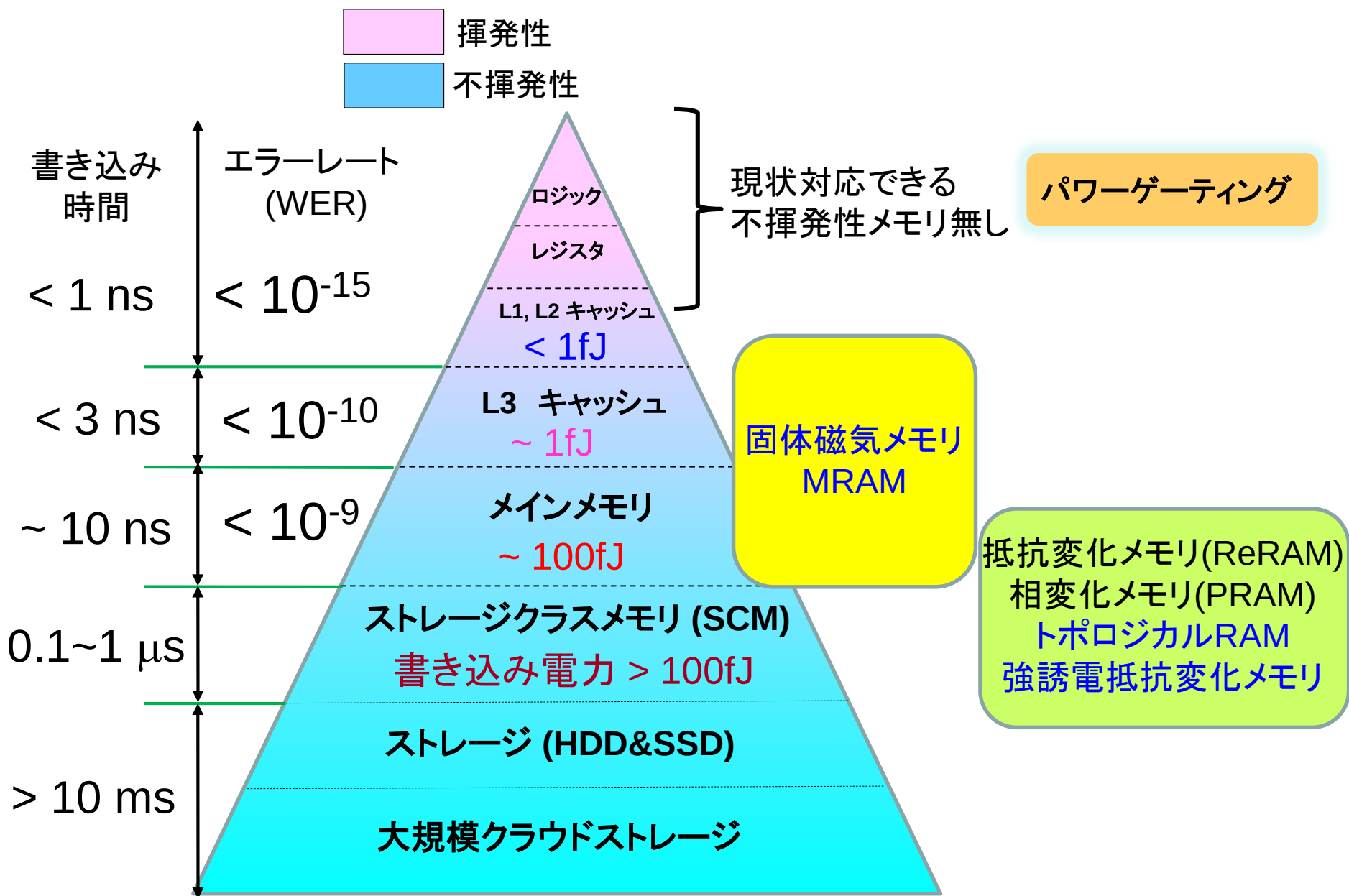


情報保持のために常にエネルギーが必要

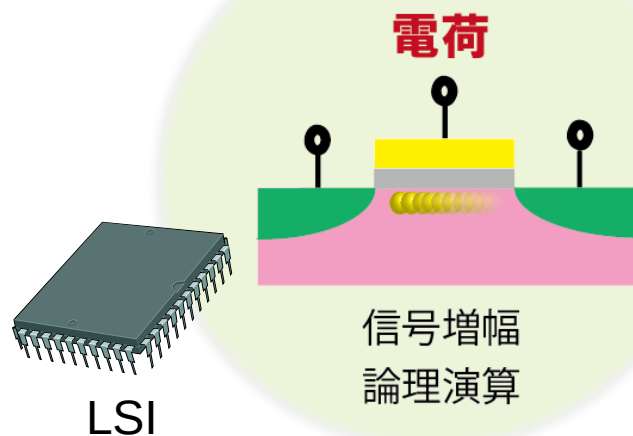
将来の“不揮発性”エレクトロニクス



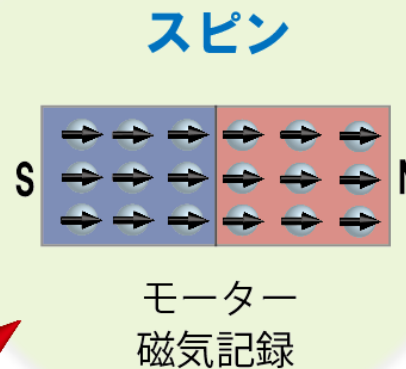
待機電力をゼロに！（ノーマリーオフ）



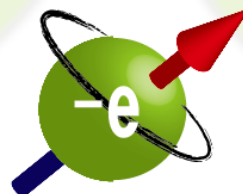
電子工学



磁気工学

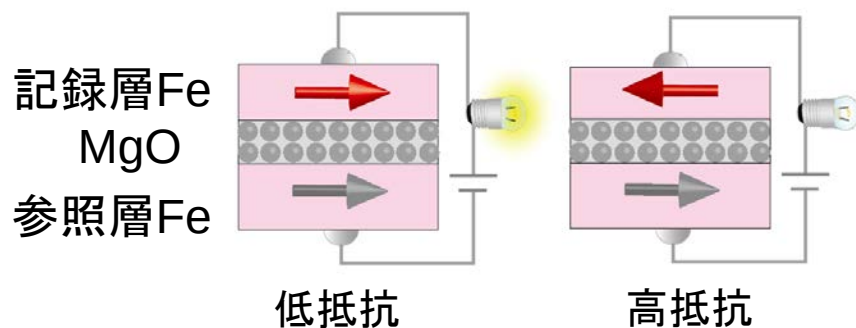


&



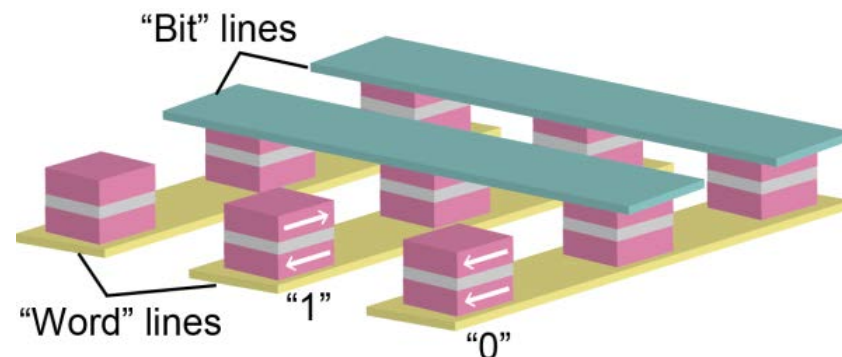
基礎物理現象

巨大トンネル磁気抵抗効果



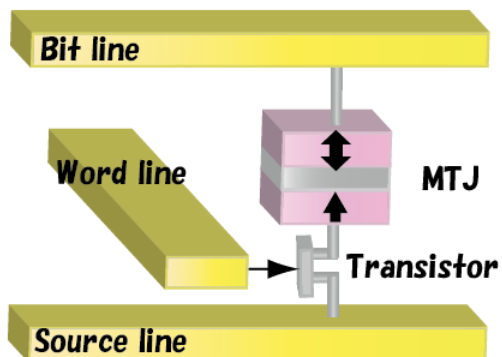
応用

不揮発性固体磁気メモリ



産総研 産総研 産総研
Yuasa et al. Nature Mater.(2004)

不揮発性固体磁気メモリ (MRAM)



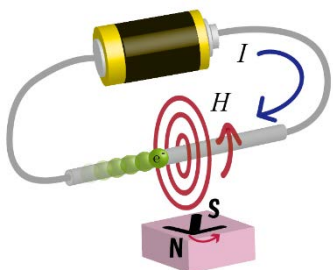
- 不揮発性
- 高速性 (～ナノ秒)
- 大容量性 (超Gbit級)
- 高い書き換え耐性 ($>10^{15}$)
- 半導体プロセスとの親和性

DRAM, SRAMを置き換えるポテンシャル

情報の書き込み (電流)

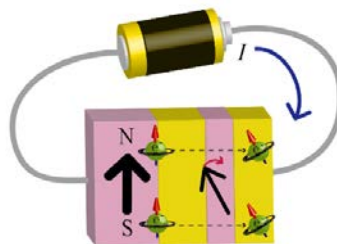
電流磁界

1820年～ Oersted



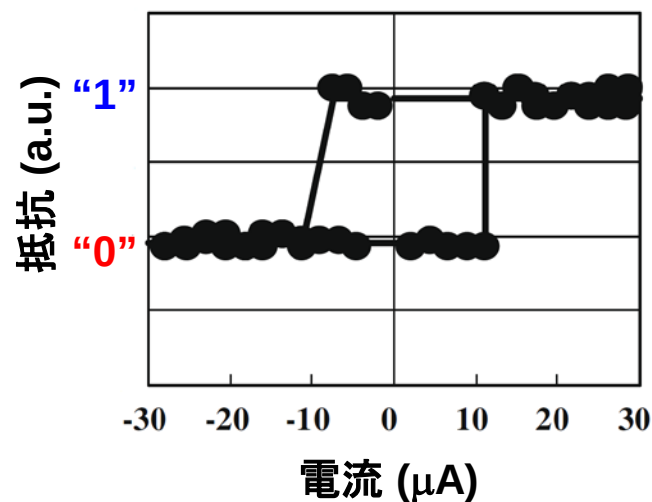
スピントランスファートルク (STT)

1996年～
Slonczewski, Berger

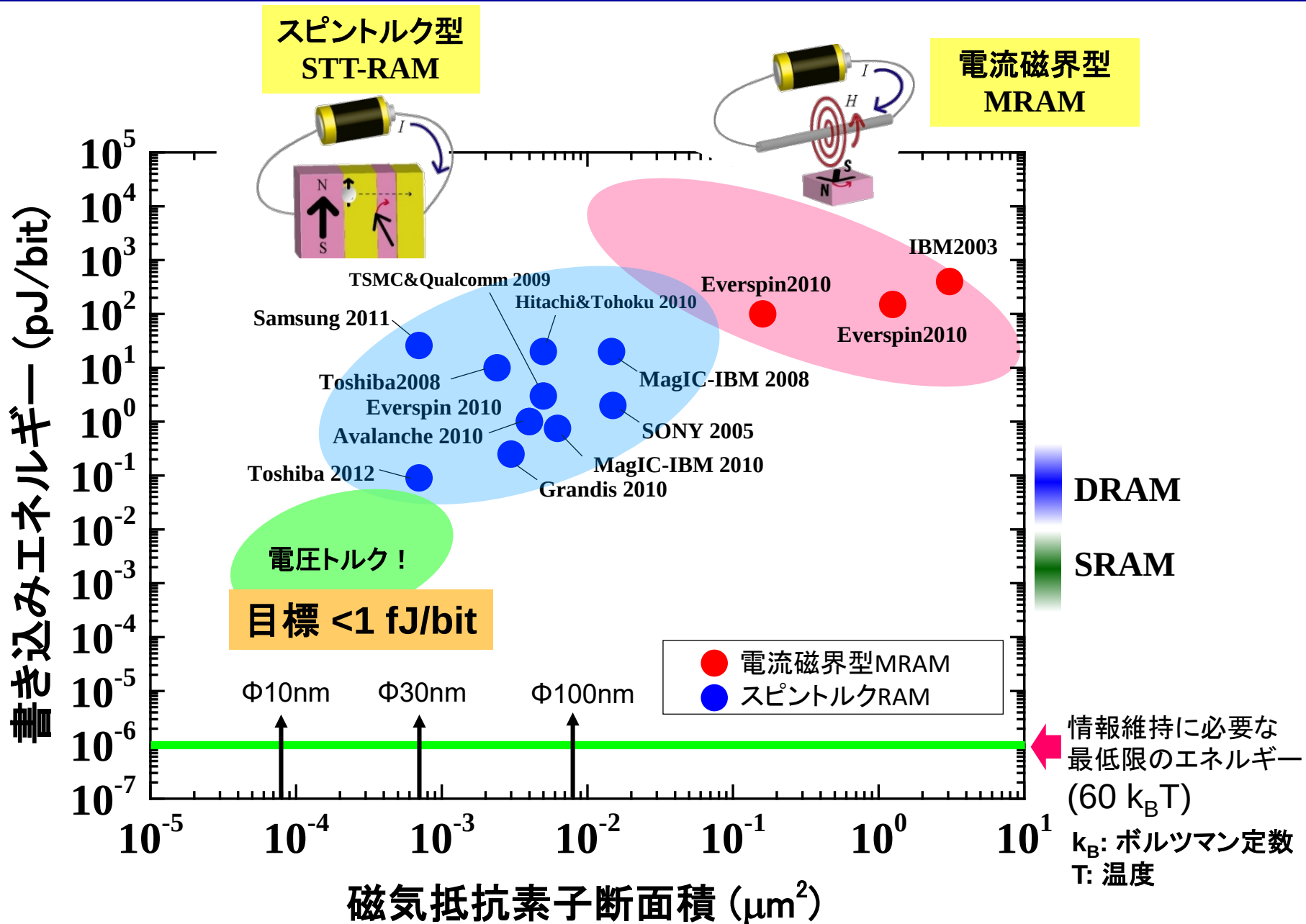


MRAM (～100 pJ/bit)

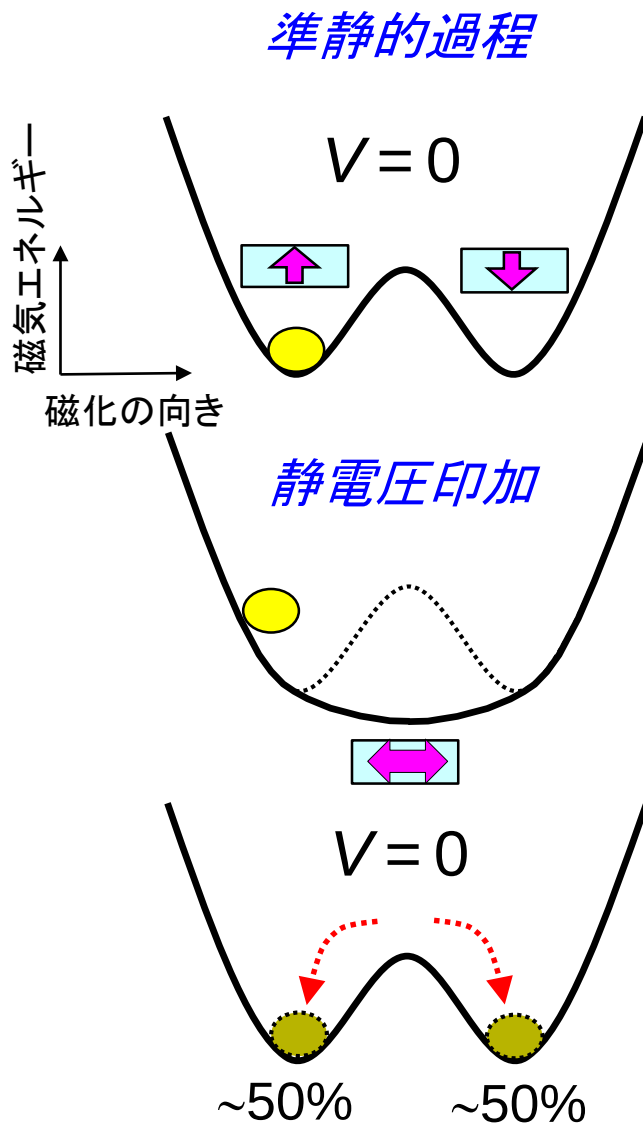
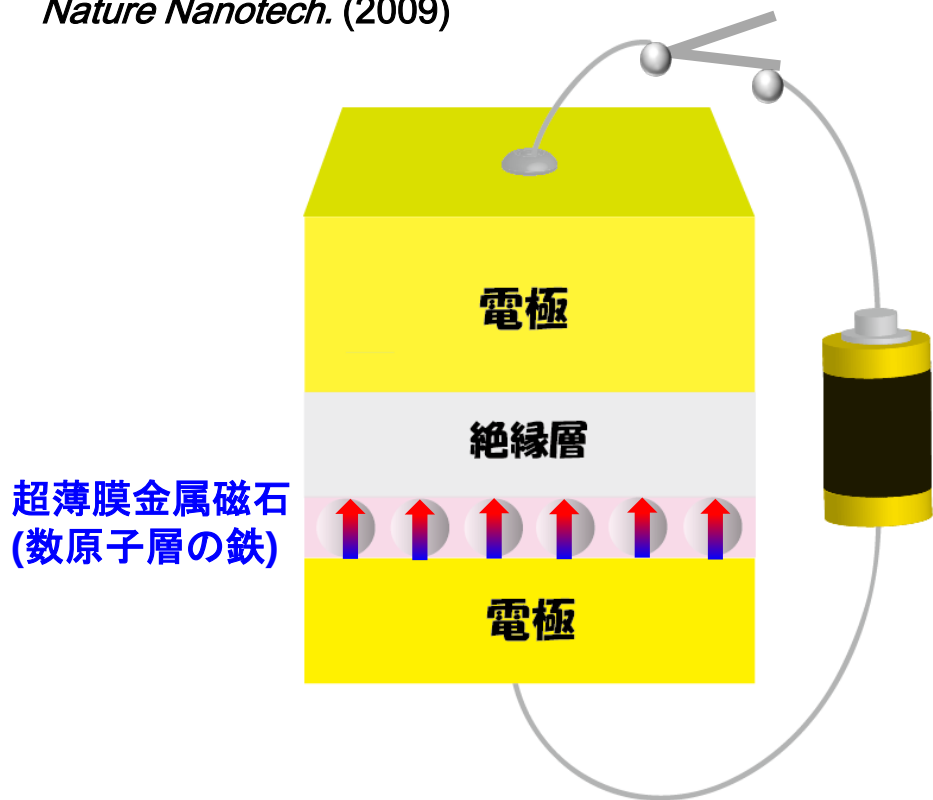
STT-RAM (～100 fJ/bit)



H. Yoda et al. Curr. Appl. Physic. 10, e87 (2010)

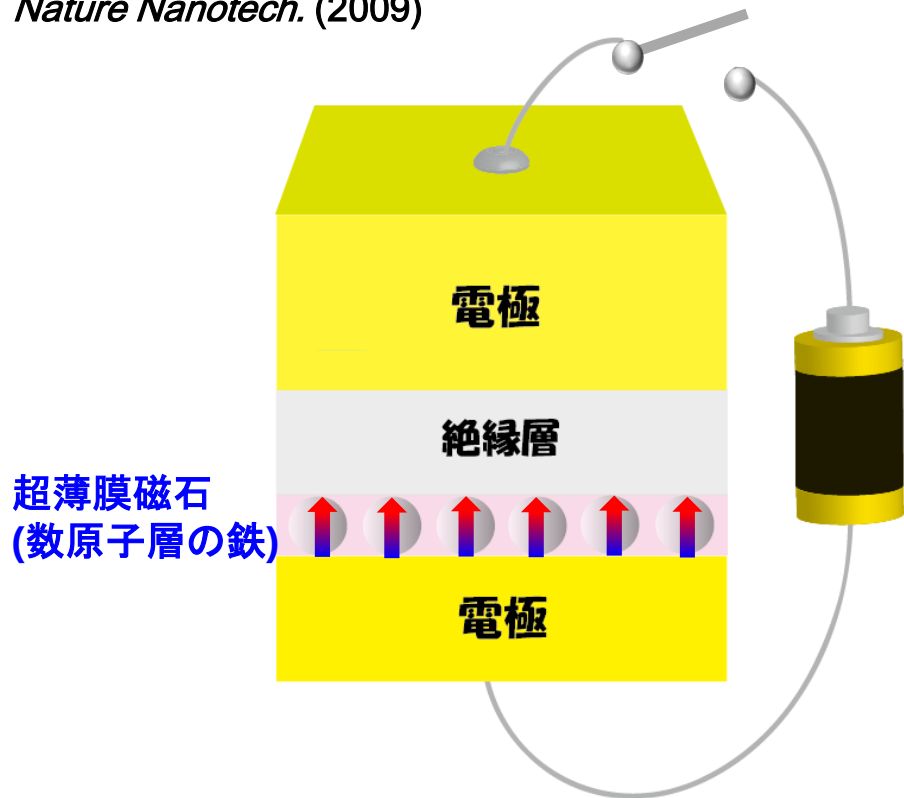


特許：5360774号 野崎隆行、鈴木義茂 他
 T. Maruyama, Y. Shiot, T. Nozaki, Y. Suzuki *et al.*
Nature Nanotech. (2009)



2値状態を制御できない

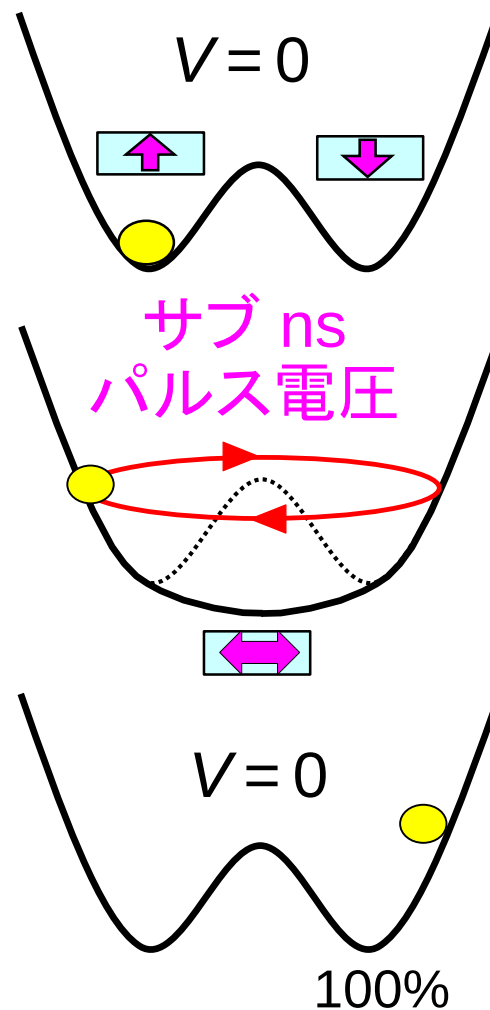
特許：5360774号 野崎隆行、鈴木義茂 他
 T. Maruyama, Y. Shiota, T. Nozaki, Y. Suzuki *et al.*
Nature Nanotech. (2009)



- ✓ 室温安定動作
- ✓ 高速動作性
- ✓ 繰り返し動作耐性
- ✓ 半導体プロセスとの親和性
- ✓ 磁気抵抗素子との複合化

ダイナミック磁化反転

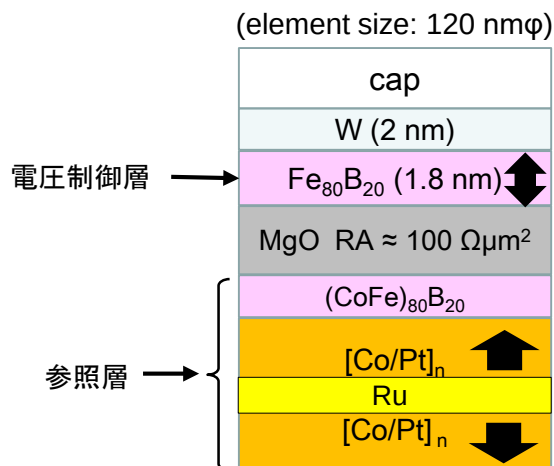
Y. Shiota et al. *Nature Mater.* **11**, 39 (2012)



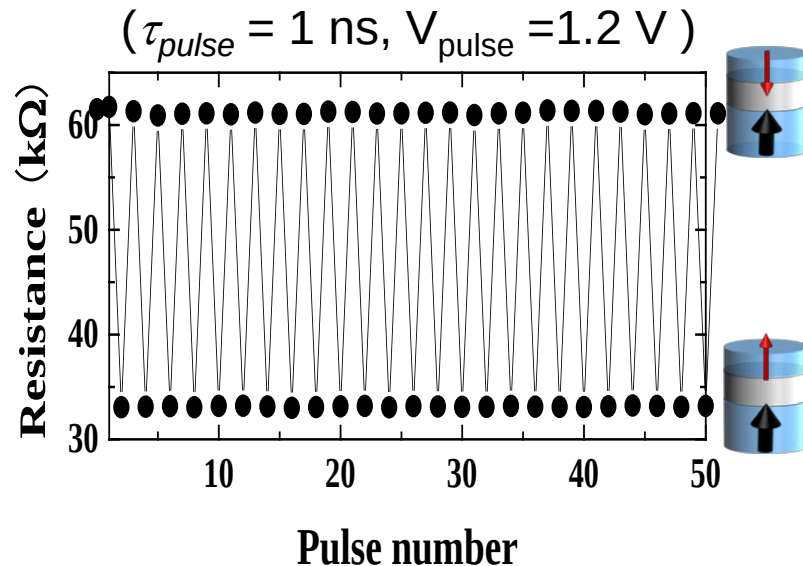
スイッチングが可能！

Y. Shiota et al. APEX 9, 013001 (2016)

電圧駆動型トンネル磁気抵抗素子



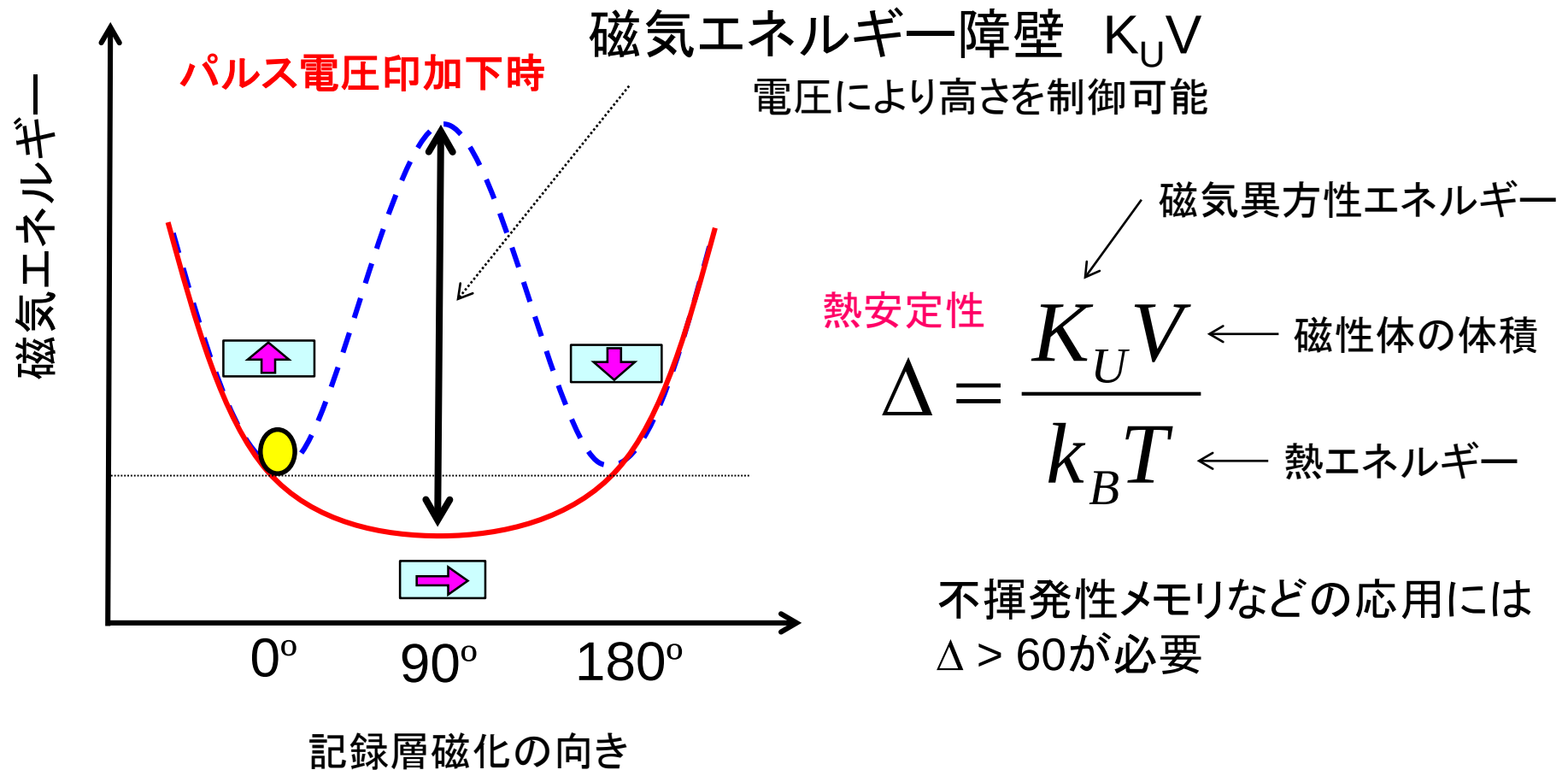
安定な高速電圧スイッチングを確認



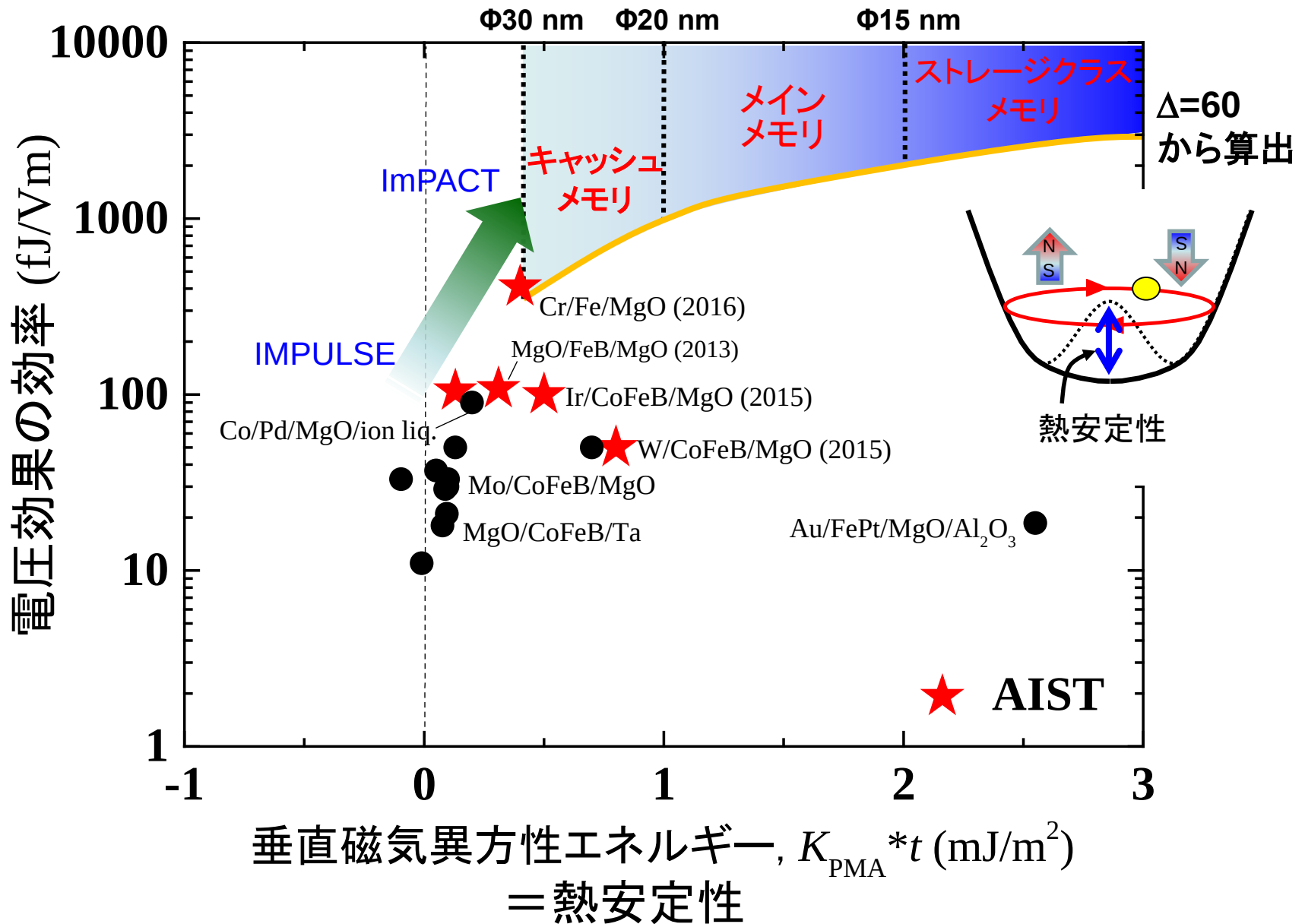
書き込みエネルギー比較

試料	$\Phi 120 \text{ nm MTJ}$ (実測値)	$\phi 10 \text{ nm MTJ}$ (推定値)	$\phi 30 \text{ nm MTJ}^*$ (スピントルク書き込み)
書き込み電力	190 fJ/bit	1.3 fJ/bit	~100 fJ/bit

* Toshiba Co., IEDM2012



素子サイズが小さいほど大きな磁気異方性エネルギーが必要
⇒ 素子微細化とともに大きな電圧効果が必要





プログラムマネージャー
佐橋政司 教授（東北大）



分科会リーダー
湯浅新治センター長

湯浅先端技術開発分科会 電圧駆動MRAM開発タスクフォース

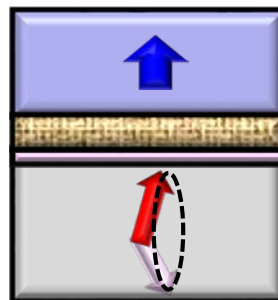
産総研 電圧チーム

電圧効果用新材料・素子の探索
電圧磁化反転の低エラーレート実証

理論チーム

計算科学支援

新原理に基づく電圧磁化反転
新材料探索



金属・半導体チーム

電圧駆動MRAMプロセス技術
およびメモリアレイの開発

単結晶MTJ

微小素子加工 (<20 nmΦ)

三重大
金沢大
東北大
京都工繊

阪大・SPRING8
起源解明
DMI

AII JAPAN体制

NIMS

非MgO系バリア
ホイスラー系
構造解析

WPI

Mn系磁性層
ダンピング評価

東芝

回路・
アーキテクチャ設計

- スピントロニクスデバイスは低待機電力性を特徴とするが、情報書き込みに電流を用いることが駆動電力低減の弊害となっている
- 電圧による新しいスピン制御技術の確立を目指し、超薄膜金属磁石における電圧磁気異方性制御法を開発
- スケーリング実証を目指した高効率な電圧効果を実現する材料開発が鍵

半導体メモリのスケーリング限界を打破するBeyond CMOSテクノロジーの創出へ



電圧スピントロニクス・グリーン・テクノロジー