

戦略的情報通信研究開発推進制 (SCOPE) 成果発表会

平成20年6月11日(水), 於大手町サンケイプラザ

超ギガビット磁気メモリの 基盤技術の開発

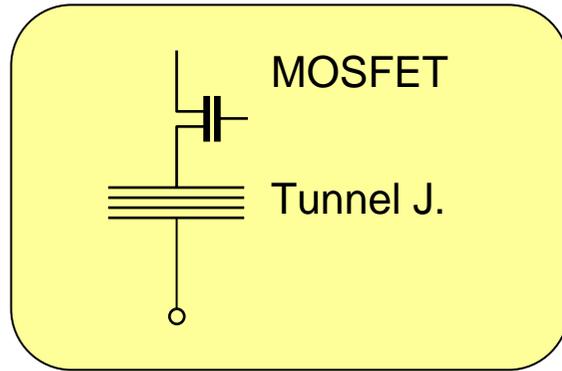
研究代表者

宮崎 照宣 (東北大学)

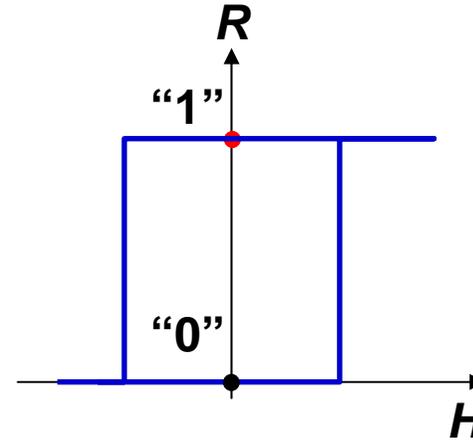
磁気メモリ研究の歴史

- 1965年 パーマロイ磁性薄膜メモリ
- 1967年 磁気バブルメモリ
ブロッホラインメモリ
- 2000年 GMRを使ったMRAM
以降TMRを使ったMRAM
- 2003年 本プロジェクトの開始

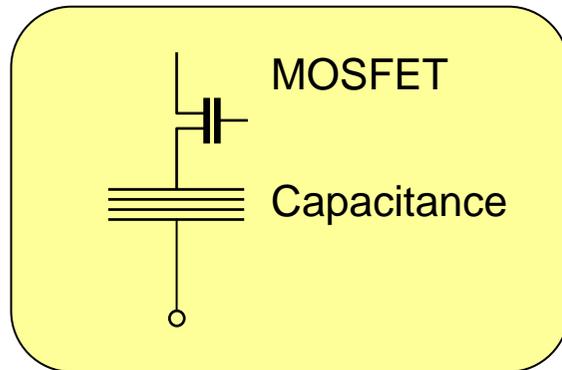
(a)



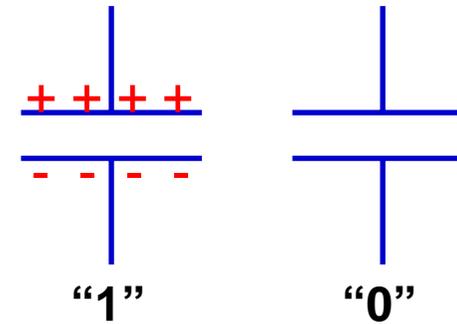
MRAM Memory cell



(b)

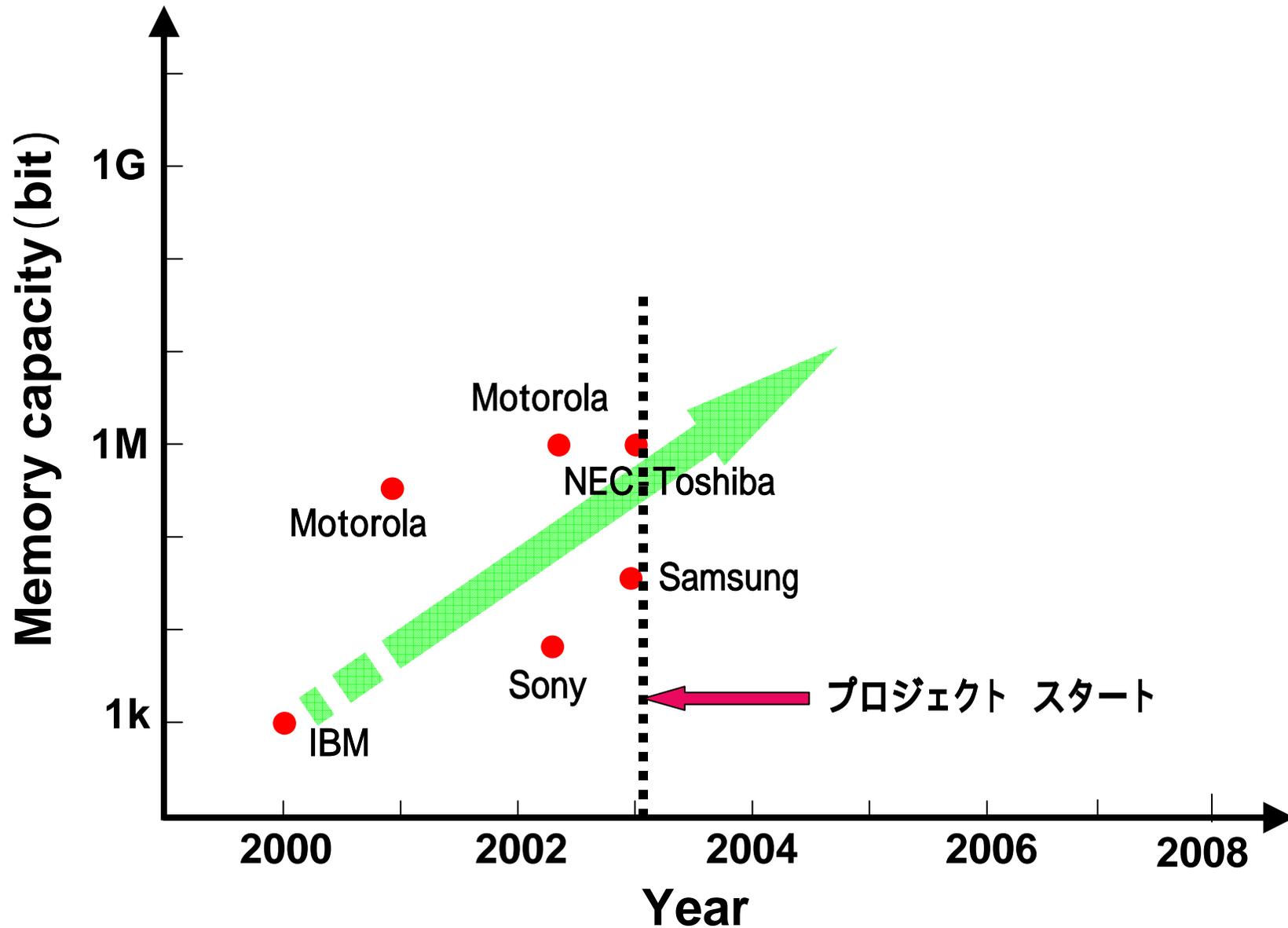


DRAM Memory cell



Principle of memory cell (a) MRAM and (b) DRAM

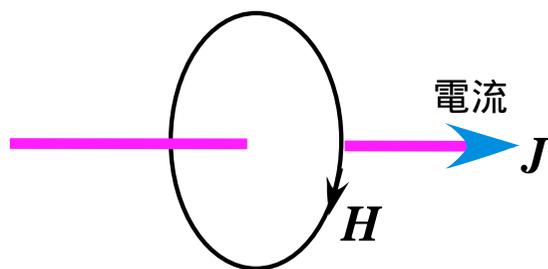
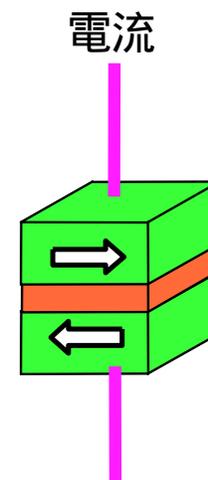
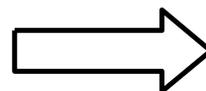
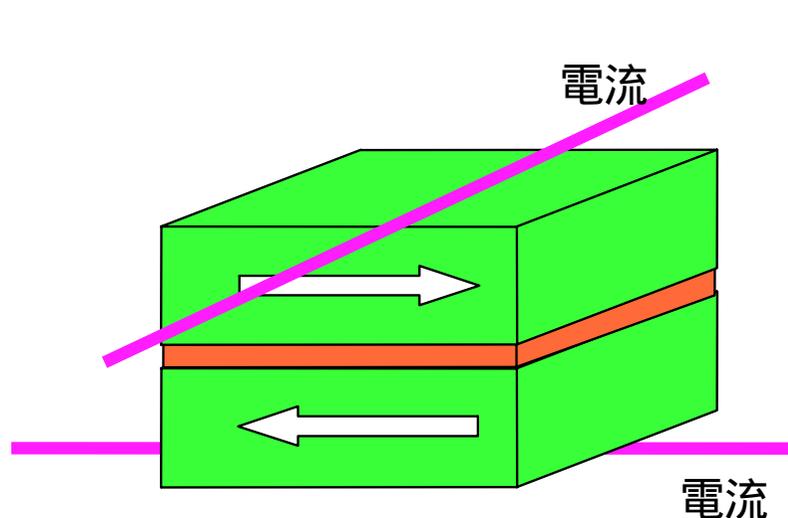
History of MRAM Development



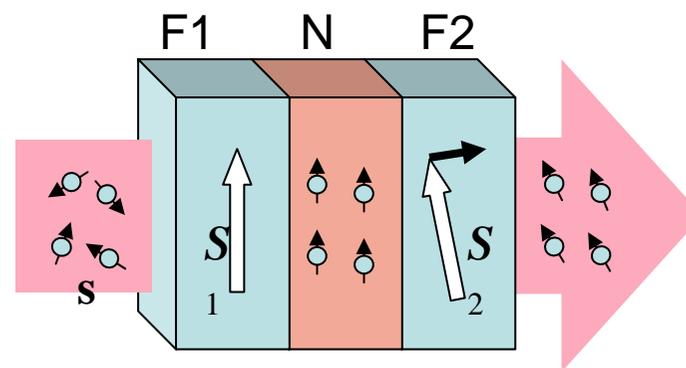
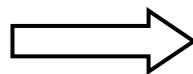
メモリに要求される基本特性

- 大容量 > Gbit
- 高速 n sec オーダー
- 繰り返し耐性 10^{16}
- 低消費電力 μW

大容量MRAM (Spin RAM)の可能性



アンペールの法則



スピントランスファートルク

研究開発内容と体制

東北大学

宮崎照宣, 安藤康夫, 大兼幹彦, 劉智亨
Anis F. Md. Nor, 山崎晋



産総研

鈴木義茂, 福島章雄
久保田均, A. Tulapurkar



低電流スピン注入
磁化反転技術



アルバック

小風豊, 山本直志
今北健一



0.1 μ m TMR素子
加工プロセス

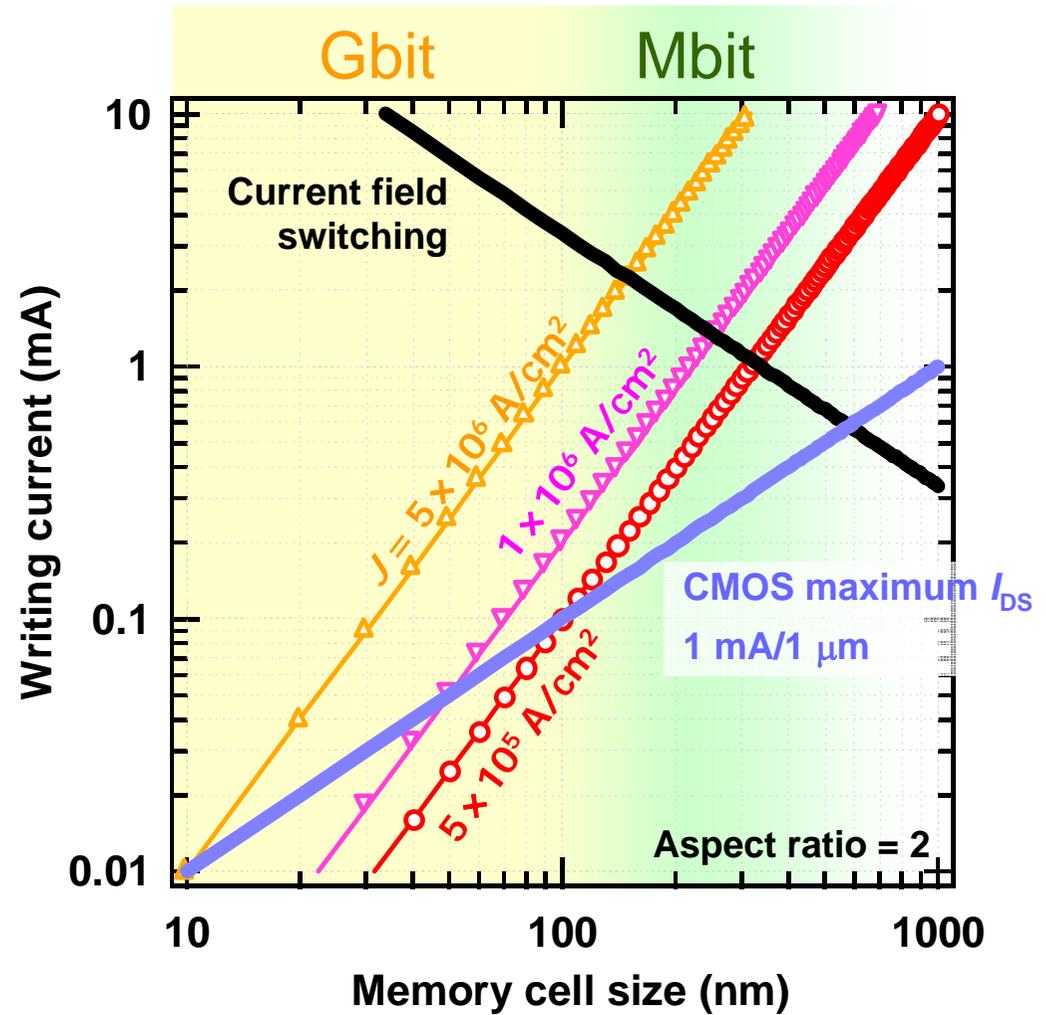
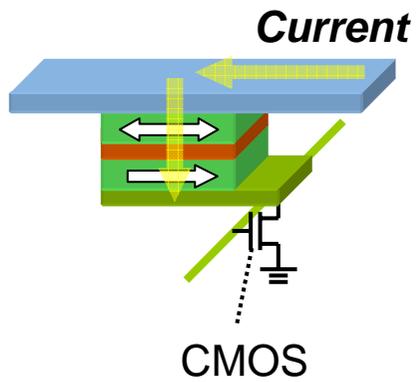


超ギガビット磁気メモリ

TMR素子におけるスピン注入 磁化反転技術の開発

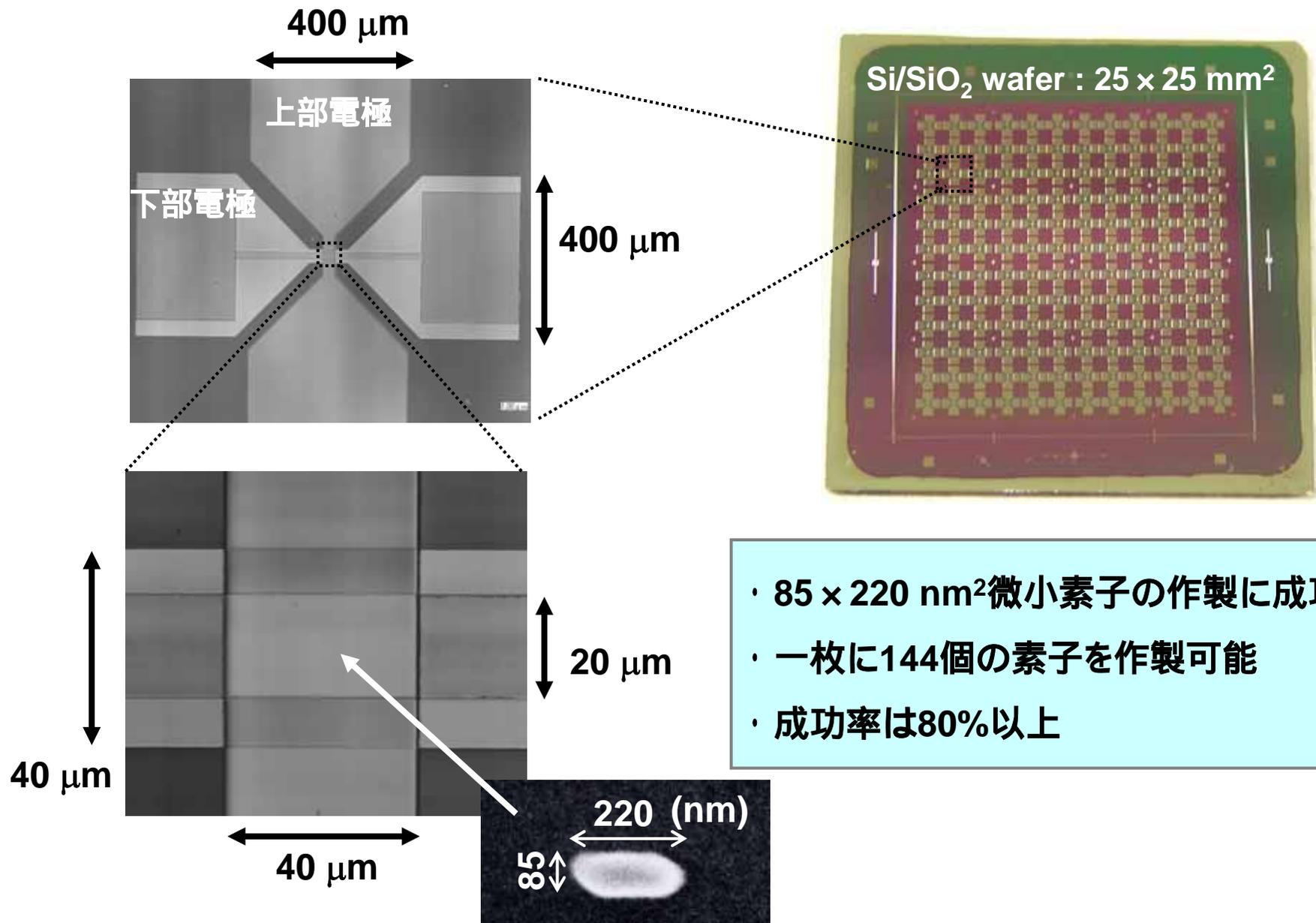
Issues for Spin-RAM

Spin transfer switching



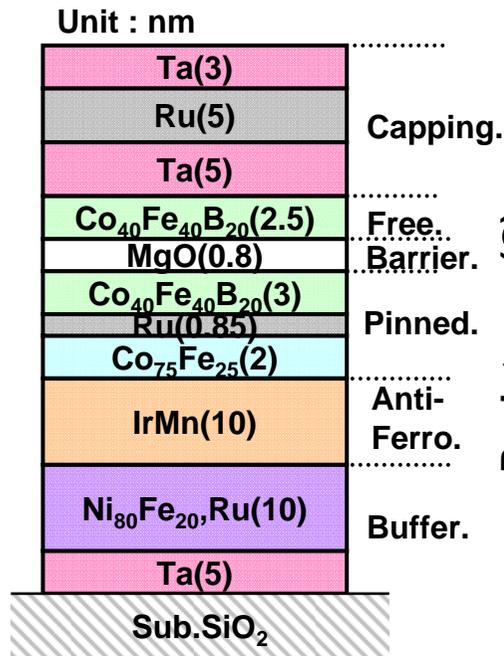
Switching current : $J_{C0} \sim 1 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$

電子線リソグラフィによる0.1 μm サイズTMR素子の作製

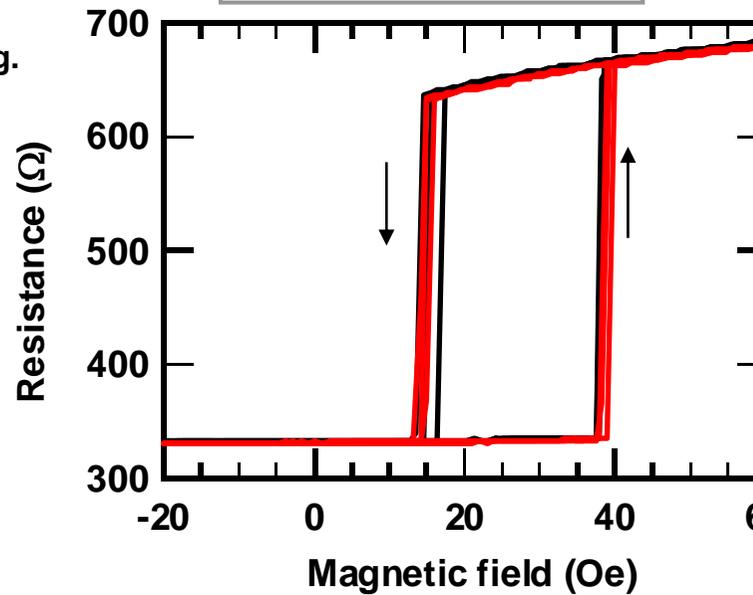


高性能TMR素子の作製とスピン注入磁化反転の観測

TMR素子構造

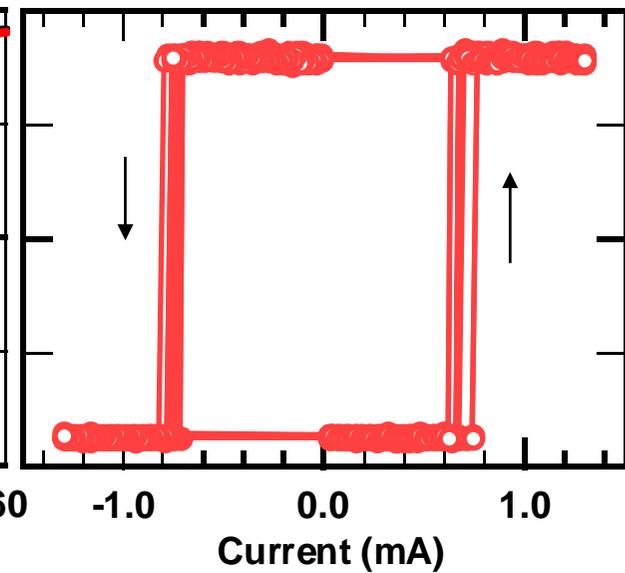


磁場による抵抗変化



TMR = 110 %

電流による抵抗変化



$I_c \sim 0.7 \text{ mA}$

$J_c \sim 2.4 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$

高TMRかつ低抵抗TMR素子を作製し、スピン注入磁化反転の観測に成功

スピン注入磁化反転電流密度の理論との比較

JMMM 159 ,L1 (1996), PRB 71, 024411(2005)

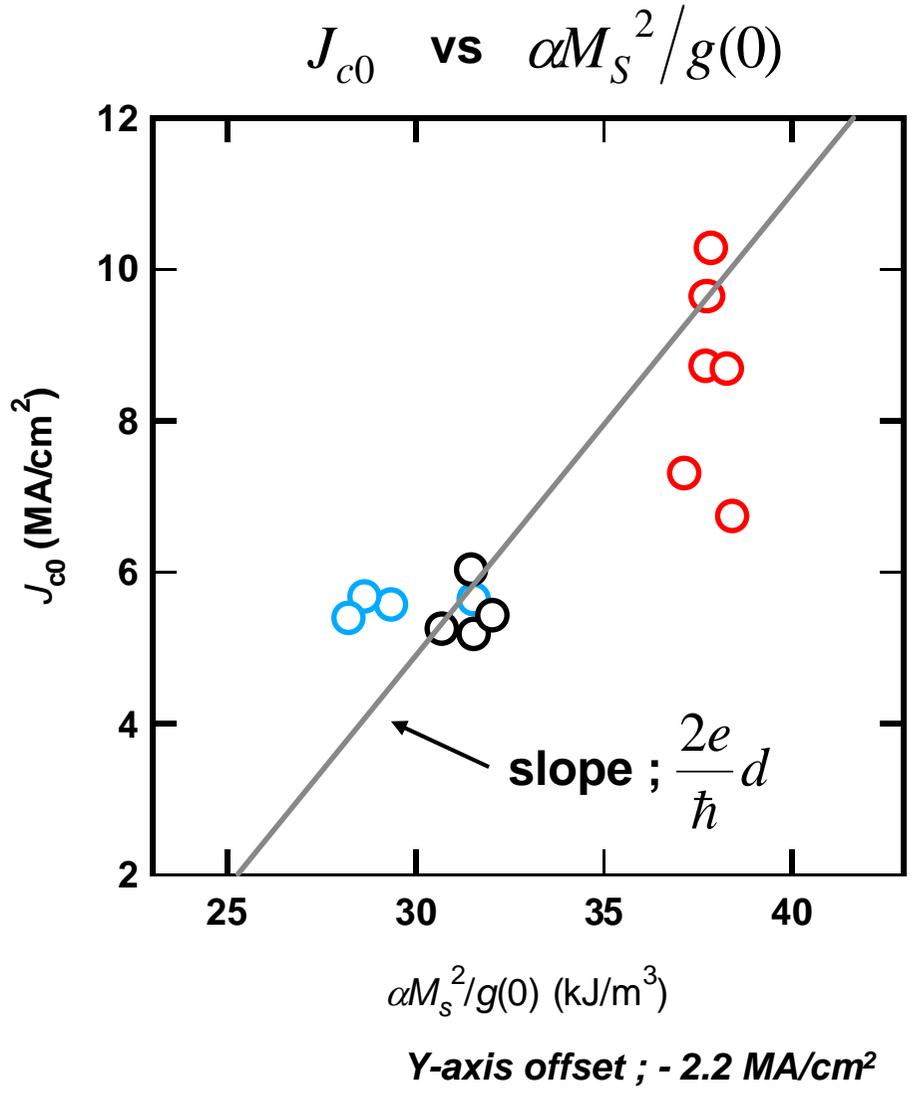
$$J_{c0}^{\pm} = \pm \frac{2e}{\hbar} \alpha M_S d (H_K + 2\pi M_S)$$

$$g(\theta) = P / (1 + P^2 \cos \theta)$$

各パラメータの測定値

Boron %	α	M_S emu/c	P_{eff}
20	0.014	1370	~ 0.58
25	0.014	1150	~ 0.49
30	0.017	950	~ 0.34

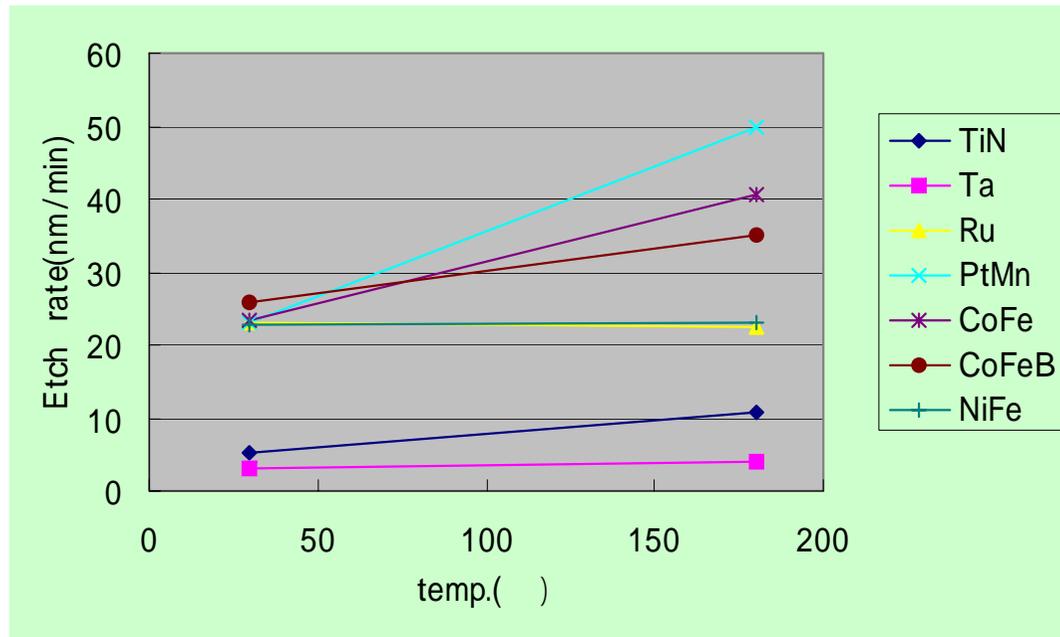
$\theta = 0$ (P-state)
 $d = 2.0$ nm



J_{c0} は理論と同様の傾向を示すことを明らかにした

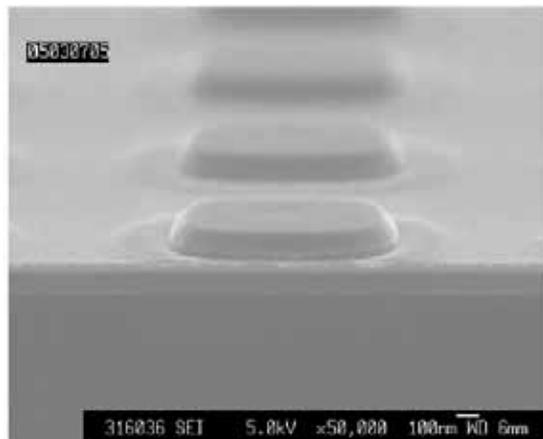
TMR素子における 微細加工技術の開発

反応性エッチングガス種を選択と基礎特性評価

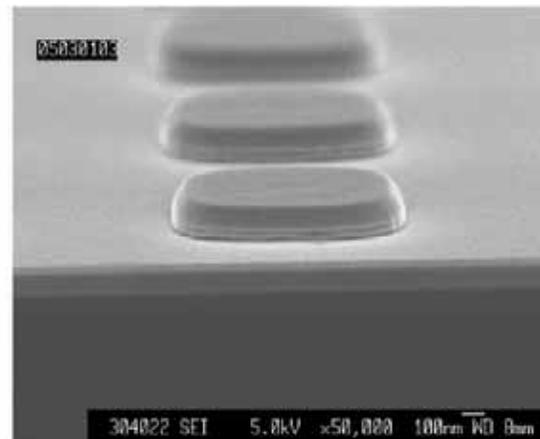


十分なエッチングレートおよび
マスク材料との選択比を得る
ことに成功

Cl₂ガスを用いたエッチングレートの材料依存性



従来のArエッチング



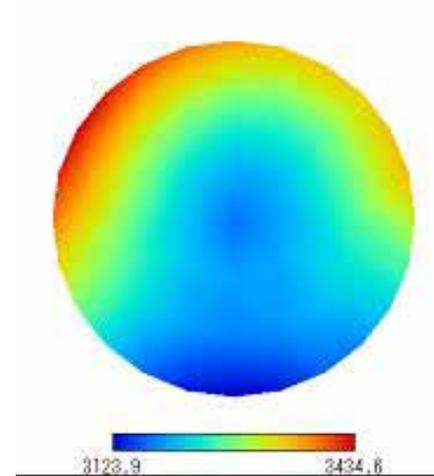
Cl₂を用いたエッチング

従来のArエッチングよりも
シャープな素子断面形状を
得ることに成功

300mm エッチング装置の製作と0.1 μ mTMR素子の作製

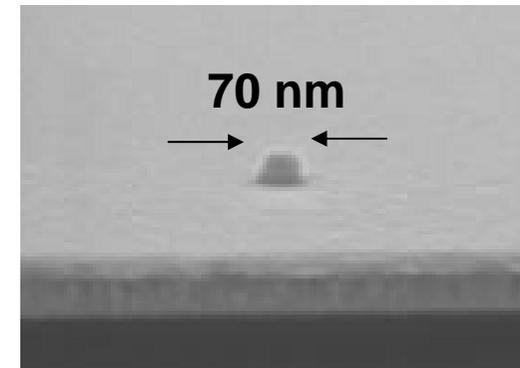


製作したエッチング装置



レート:
163.2nm/min
分布: $\pm 4.7\%$

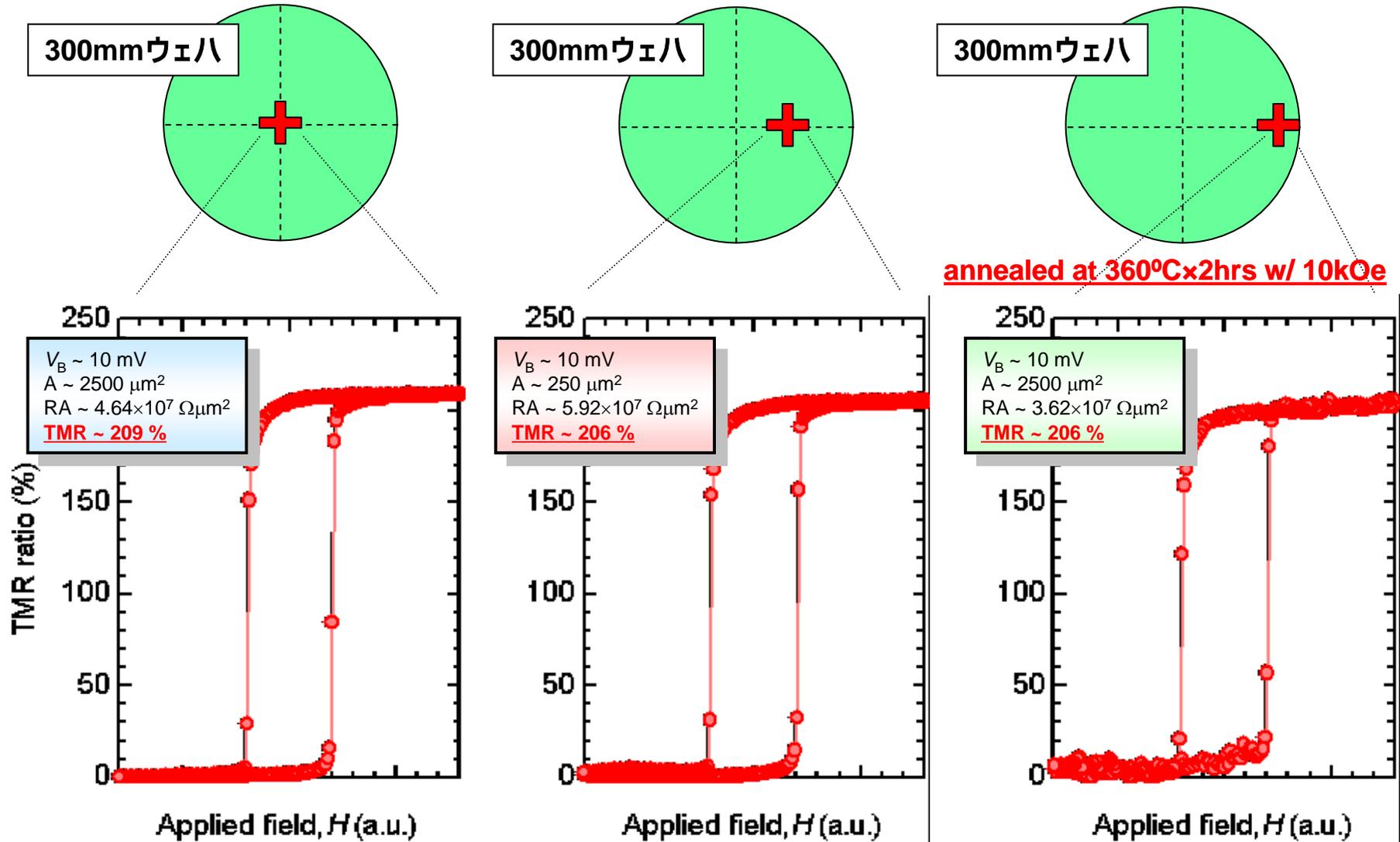
300mm 上のエッチングレート分布



作製した微小TMR素子のSEM写真

300mm ウェハ対応の装置を製作し, 良好なエッチング特性を得た

300mm ウェハに作製した0.1 μm TMR素子の特性評価



300mm ウェハ上で200%以上のTMR比を分布なく得ることに成功した

本プロジェクト成果のまとめ

1. TMR素子におけるスピン注入磁化反転技術の開発

- ・ 低抵抗かつ高TMRの高品位TMR素子の作製に成功した
- ・ 高品位TMR素子においてスピン注入磁化反転電流の評価に成功した
- ・ 磁化反転電流が理論と同様の傾向を示すことを明らかにした

2. TMR素子における微細加工技術の開発

- ・ エッチング装置を製作し，良好なエッチング特性が得られた
- ・ 300mm ウェハ上に微小TMR素子を作製し，高TMRを観測した

3. その他の波及成果

- ・ 金属ナノコンタクトにおけるペルチェ効果を発見した
- ・ 巨大交換結合 $\text{Mn}_3\text{Ir}/\text{CoFe}$ 積層構造を開発した

Development history of MRAM

