

<u>XMCD-PEEMを用いた磁壁移動メモリの</u> 磁区構造および磁壁移動の観察

NECデバイスプラットフォーム研究所 大嶋則和

共同研究者: NEC 沼田秀昭、深見俊輔、永原聖万、鈴木哲広、五十嵐忠二、石綿延行



XMCD-PEEM (BL25SU) を用いて 新しい方式のMRAM:磁壁移動メモリ (Domain Wall Seesaw)の メモリセルについて磁区観察をおこない 基本動作検証と素子性能向上をはかる。



<u>Outline</u>

- ■背景: MRAM技術
- ■磁壁移動メモリ
- ■XMCD-PEEM観察
 - ▷ U字形状パターンの磁区構造観察
 - ➢ in-situ磁場印加による磁壁移動観察
 - ▶ 形状の改良









特徴:

磁化方向で記録 電力供給が無くても維持される 不揮発 高速 磁化反転はナノ秒オーダ 磁化方向は何度変えても劣化しない 繰り返し耐性



電源OFFしてもRAMに情報が残って高速に書きかえ





<u>(従来型)</u>



関連:巨大磁気抵抗効果 2007年ノーベル賞受賞テーマ



<u>MRAM開発の現状</u>

4~16M bit MRAMを実現

世界最小セル(1.29mm²)16Mbit-MRAM





		_
Process	130nm CMOS	
	240nm MRAM	
Chip size	$10.0 \times 7.8 \mathrm{mm}^2$	
Cell size	$1.32 \times 0.98 \mu m^2$	
MTJ resistance	20k	
MR ratio	25%@400mV	
Supply voltage	1.8V	
Organization	1M word × 16	_
Function	8word/16word/	
	Cont. burst mode	
	Asynchronous 8word	
	page mode	<u>л кл</u>
Access time /		411
Burst freq.	32ns / 100MHz	



.........

ナノテク展2008

NEC

Freescale:4Mbit製品出荷NEC-Toshiba:ドライヴレコーダへの適用検討

T. Sugibayashi et al., 2006 ASSCC

NEC-東芝共同開発成果



<u>MRAMの課題と展開</u>

配線磁場を利用する方式の限界

高密度化:

セル微細化とともに記録電流増大(反磁界) 大きな駆動トランジスタが必要(大電流) 記録状態不安定(熱揺らぎ磁化反転) 高速化:

書き込み時間がかかるため素子の高速動作困難 電流値の精密制御



セルサイズ

反転磁界: $H_{sw} \sim H_k + CM_s t/w$ 反転時間: = $_0 exp(-KuV/kT)$

書き込み方式を変える必要

スピン電流による磁化制御









<u>微小磁性体中磁壁電流駆動の特徴</u>

- 1. 電子の流れる方向に可逆的な変化 電流でスイッチング 可能
- 2. 臨界電流密度(Jc)以上で磁壁移動
 微細素子になるほど低電流で
 磁壁移動
- 3. 電流密度が大きいほど磁壁移動 速度が増加 微細素子になるほど高速動作

9

高速、高密度メモリに好適



Jc: $1.2x10^{12}$ A/m² NiFe 10 nm, 240 nm width τ_{p} 0.5 µsec

NE

Yamaguchi et. al., PRL, vol. 92 pp. 077205-1, 2004 $V \sim 3 m/s \sim (J^2-Jc^2)^{1/2}$

> Recent result: *V* ~ *110 m/s* M. Hayashi,et.al. PRL98,037204 (2007)



Domain Wall Seesaw











<u>DW-Seesawの原理動作検証</u>



H. Numata *et al.*, Tech. Digest of Symposium on VLSI technology 2007, 232. SPring-8 2007A期利用報告会





磁場による擾乱のない測定手法が必須 SPring-8 2007A期利用報告会 NEC







S.Imada et.al., Jpn.J.Appl.Phys 39, L585 (2000)

- ➢ 微小パターンの磁化方向、磁区の決定
 印加磁場にとまたら磁区恋化の制容
- ▶ 印加磁場にともなう磁区変化の観察

>試料への磁場影響な〈高分解能な磁区観察が可能
 >装置内で磁場印加可能

DW Seesawの磁壁観察に好適





XMCD-PEEMを用いた磁壁移動型メモリ Domain Wall Seesaw用磁性パターンの磁区観察を 通じて基本動作確認と素子性能向上をはかる。

磁壁導入の確認:初期状態 磁場印加による磁壁移動と2値動作の検証 基本動作の確認 磁壁可逆移動とトラップサイト安定化 素子最適構造設計 電流駆動による磁壁移動の確認 メモリ動作検証



試料

磁性膜構成 Ta/NiFe(10 nm)/Ru(20 nm)//SiO2/Si sub. 少し削り残してチャージアップ防止 微細加工 Photo-lithography、Ar ion milling W=320,400,480nm 着磁 1 kOe、60sec、傾斜10 °



典型的なDW Seesaw memory cell pattern



(Magnetic field)



PEEMSPECTOR (Elmitec社製) SPring-8、BL25SU Ni L III (852.3eV) ノイズの低い観察が可能



PEEMSPECTOR概観



SPring-8のWebsiteより







X-ray



19





W=320nmまで磁化配置が明確にわかる

NC

<u>DW Seesaw初期状態の</u>

磁区観察



- ✓磁化方向の決定
 磁区構造の見積もり Transverse構造
 LLGシミュレーションと対応
- ✓ まあまあの高分解能観察 線幅320nmまで磁化配置が明確
- ✓ <u>U字形状パターンの磁区構造が広範囲で</u>
 <u>一様になることを確認</u>

DW Seesawの磁気構造解析に有効







070703_005_Image_sub.×ml Min=-248. Max=4650



磁場印加:

PEEM装置内に鉄心コイルを導入 Max 100Oeの磁場 磁場印加時間 約1msec 磁場印加方向 磁壁移動領域に平行方向 試料を回転して調整







・ きれいなTW磁壁が形成された場合、意図した2状態が安定

23







磁場印加により磁壁移動領域の磁化が反転

NEC

SPring-8 2007A期利用報告会

24













磁場による磁壁の可逆的移動確認 単磁区化して動かないパターンの存在も確認 SPring-8 2007A期利用報告会

<u>In-situ磁場印加による磁区観察</u>

測定時の擾乱磁場が無いため外部磁場 印加による磁壁移動が観察可能

磁場による磁壁移動

- ✓ トラップサイト間で磁壁移動確認
- ✓ 平均磁壁移動磁界の見積もり
 - 磁壁移動挙動の解析
 可逆変化
 単一磁壁維持
 不可逆変化
 単磁区化

単磁区化は磁化固定層の反転による磁壁消失

<u>形状改良指針:磁化固定層の反転を抑制</u>

磁気異方性を強める形状



磁壁を安定にトラップ U字形状の磁化固定部分の形状磁気異方性増強









29





磁壁移動安定性: <u>U字形状 耳長U字形状 H字形状</u>

磁壁抵抗測定結果とも対応

磁化固定層領域の形状異方性を強めることで、磁化反転を抑制 磁壁移動の安定性、可逆性向上



動作安定な磁壁移動メモリの性能向上指針 異方性制御の検討中





より高分解能な磁区観察

磁壁構造の確認



SPELEEM(BL17SU)の利用、試料最適化など

<u>電流による磁壁駆動の観察</u> 磁壁移動メモリの基本動作確認に必要







チャージアップによる像歪みでU字パターン見えない

PEEM観察用の試料を作製して試みる必要

NEC

まとめ

次世代MRAM: DW Seesawのメモリセルを構成するサブミクロン 磁性パターン中磁壁をXMCD-PEEMで観察した。

- ◆ DW Seesawセルの磁化配置を決定
 - · 着磁で予想される磁化配置を確認
 - ・ LLG simulationとあわせてTransverse Wallを予測

◆ PEEM装置内で磁場印加で磁場による磁壁移動確認

- ・トラップサイト間可逆磁壁移動 DW Seesaw原理動作検証
- ・ 平均磁壁移動磁界の見積もり
- ・磁壁移動パターンの解析で形状改良指針
 - 磁化固定層の形状異方性増強
- ・<u>耳長U字形状、H字形状による安定な可逆磁壁移動実現の検証</u>
- 磁場フリーの高分解能磁区構造観察で解明

磁壁移動メモリの動作検証、性能向上に有効な手法

- - 課題: 高分解能観察、スピン電流による磁壁移動 磁壁移動ダイナミクスの研究



本研究はSPring-8 2006B期戦略活用課題および 2007A期重点産業利用課題で実施されました。

また、本研究は以下の皆さまのご協力を得ています。

ここに感謝します。

XMCD-PEEM観察:

JASRI/SPring-8 木下豊彦氏、福本恵紀氏、中村哲也氏、渡辺義夫氏 磁壁移動メモリの研究

京大化研小野輝男教授、葛西伸哉氏、電気通信大仲谷栄伸教授 SPring-8実験のてびき

JST(元NEC)泉弘一氏、NEC 中田正文氏

この研究の一部はNEDOの委託を受けて実施されました。







