

顕微XMCD法によるパターン媒体の 磁気特性評価

近藤 祐治, 千葉 隆, 田口 香, 有明 順

秋田県産業技術総合研究センター

本多 直樹

東北工業大学

鈴木 基寛, 河村 直己, 高垣 昌史

高輝度光科学研究センター/SPring-8

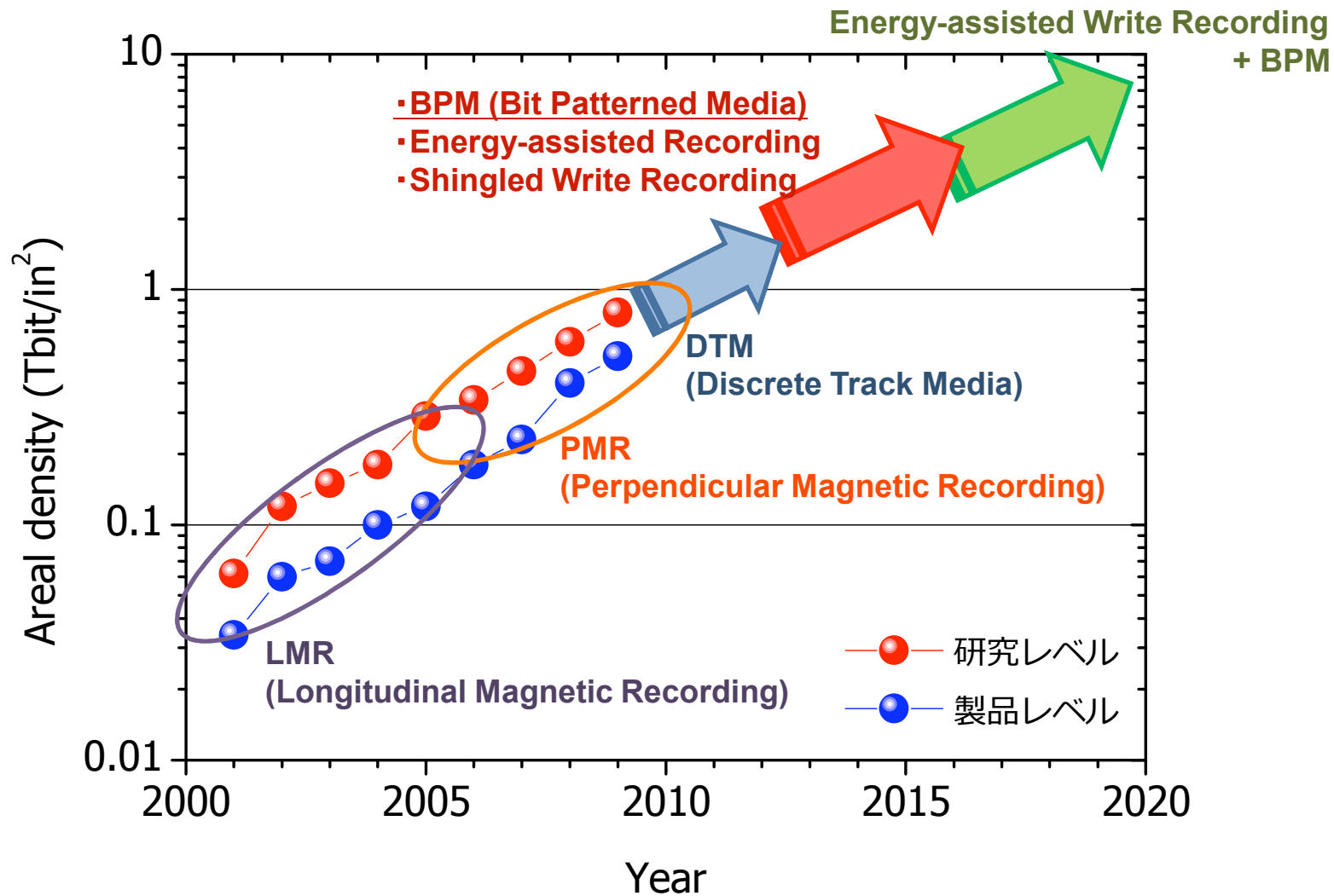
B. M. Zulfakri, 保坂 純男

群馬大学

長谷川 崇, 石尾俊二

秋田大学

HDDの面記録密度ロードマップ



IDEMA JapanのHPより参照

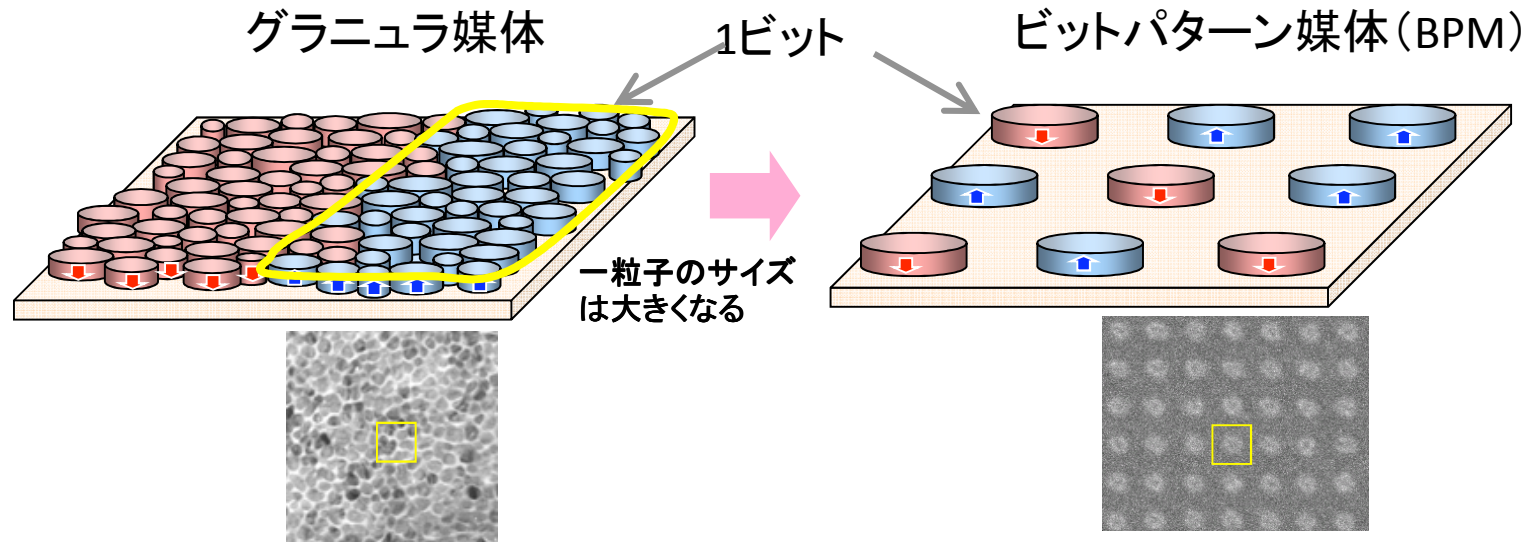
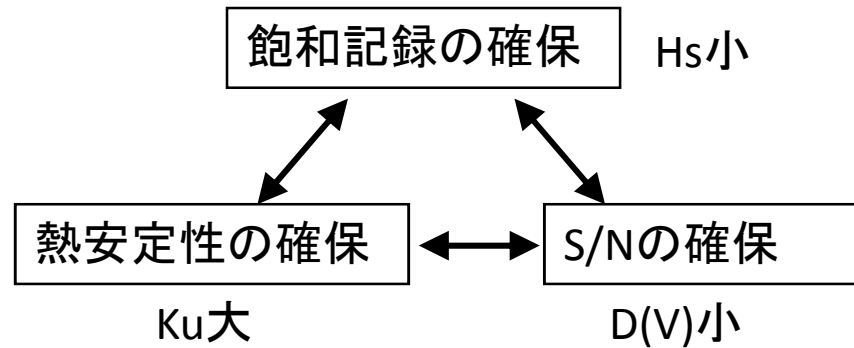
ビットパターン媒体(BPM)記録

高密度化に伴って、垂直記録においてもトリレンマの問題が発生

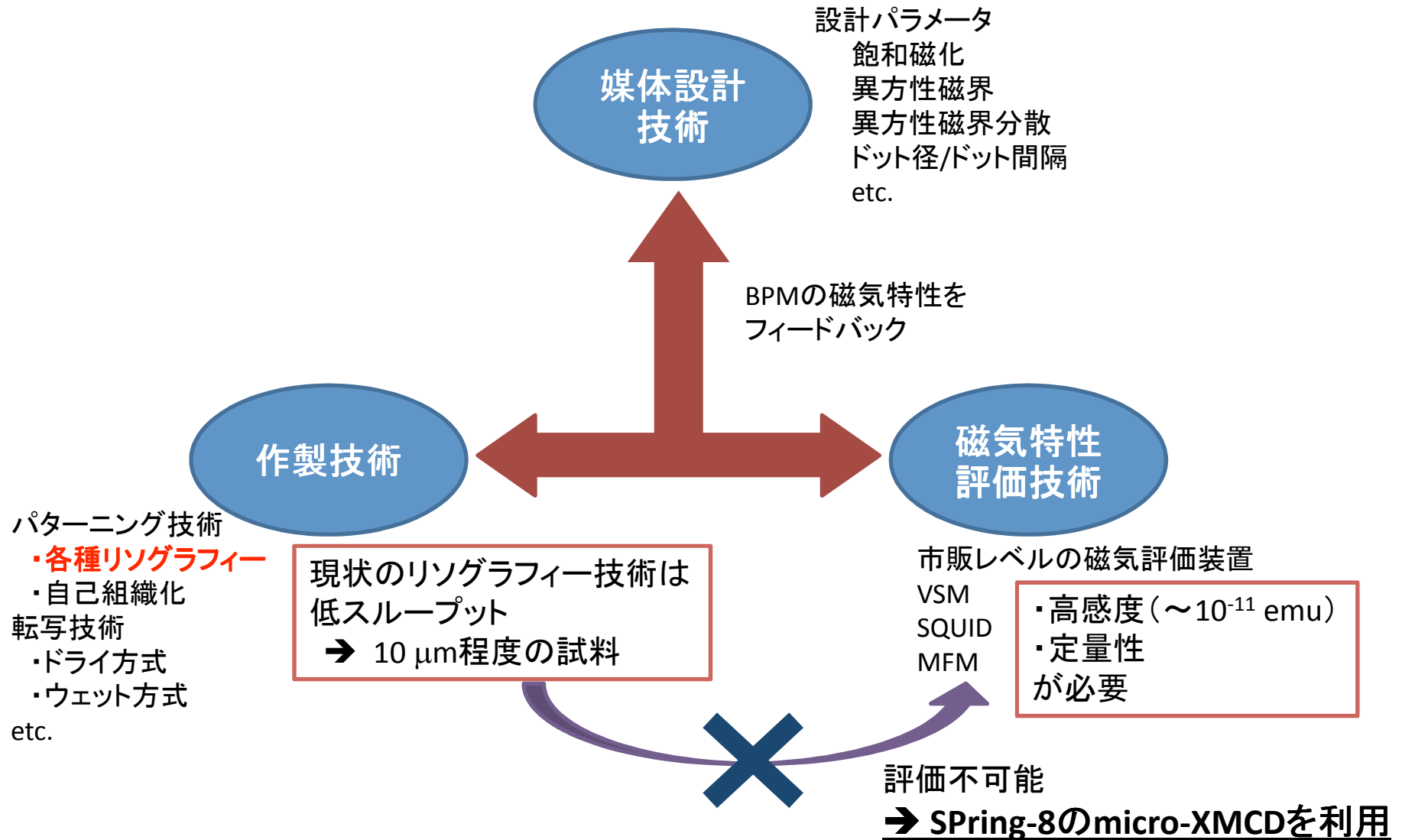
1粒子を1ビットに対応させたパターン媒体記録

磁化反転単位粒子体積の増大により書き易く、熱的に安定

高密度化のトリレンマ



BPMの研究開発の現状



目的

ビットパターン媒体の設計指針の構築

◆作製プロセス技術開発

- 低ダメージプロセスの提案
- 本プロセスの有効性の確認(ダメージの低減)

◆1 Tbit/in²級ドットアレイの作製

- 磁気特性評価(SFD解析)



micro-XMCD(顕微磁気円二色性)による磁気特性評価

高感度微小磁力計

Beamline: BL 39 XU in SPring-8

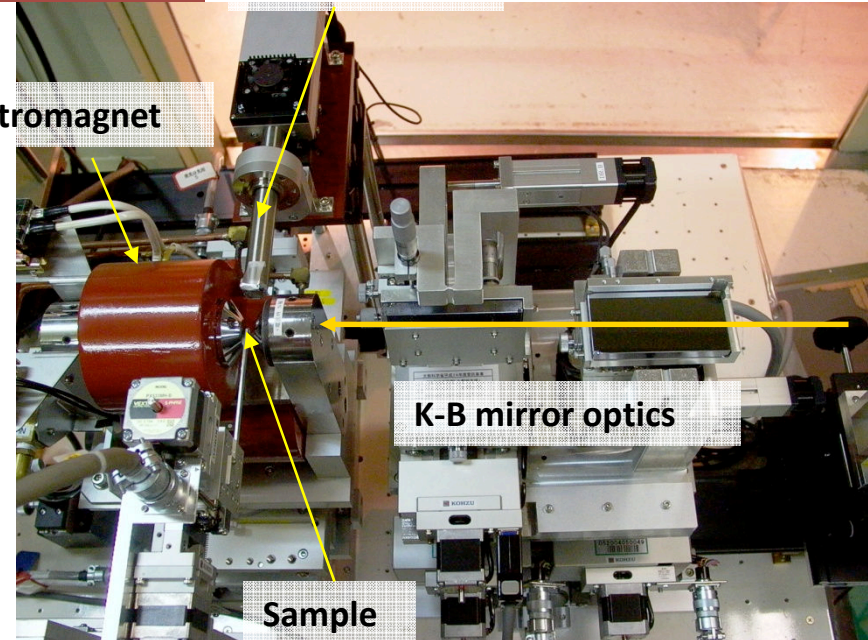
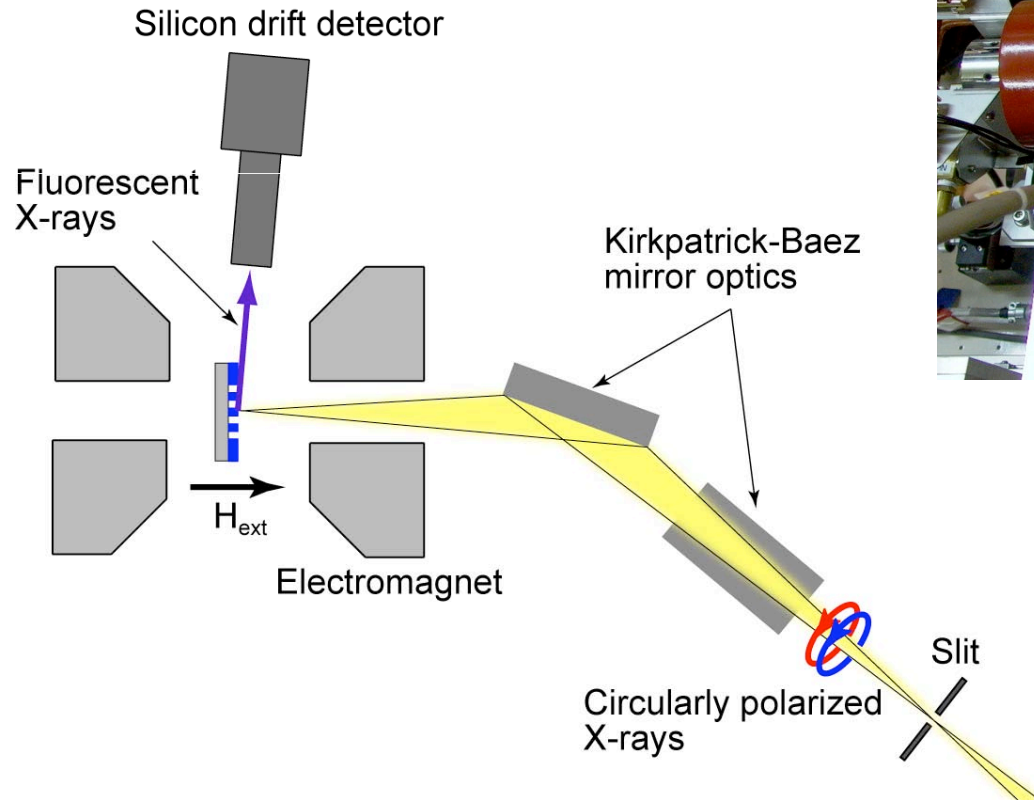
輸送部

光源: 真空封止型アンジュレータ

分光器: 二結晶型

エネルギー領域: 5~37 keV

分解能 $\Delta E/E: 2 \times 10^{-4}$



末端部

集光ミラー: K-Bミラー

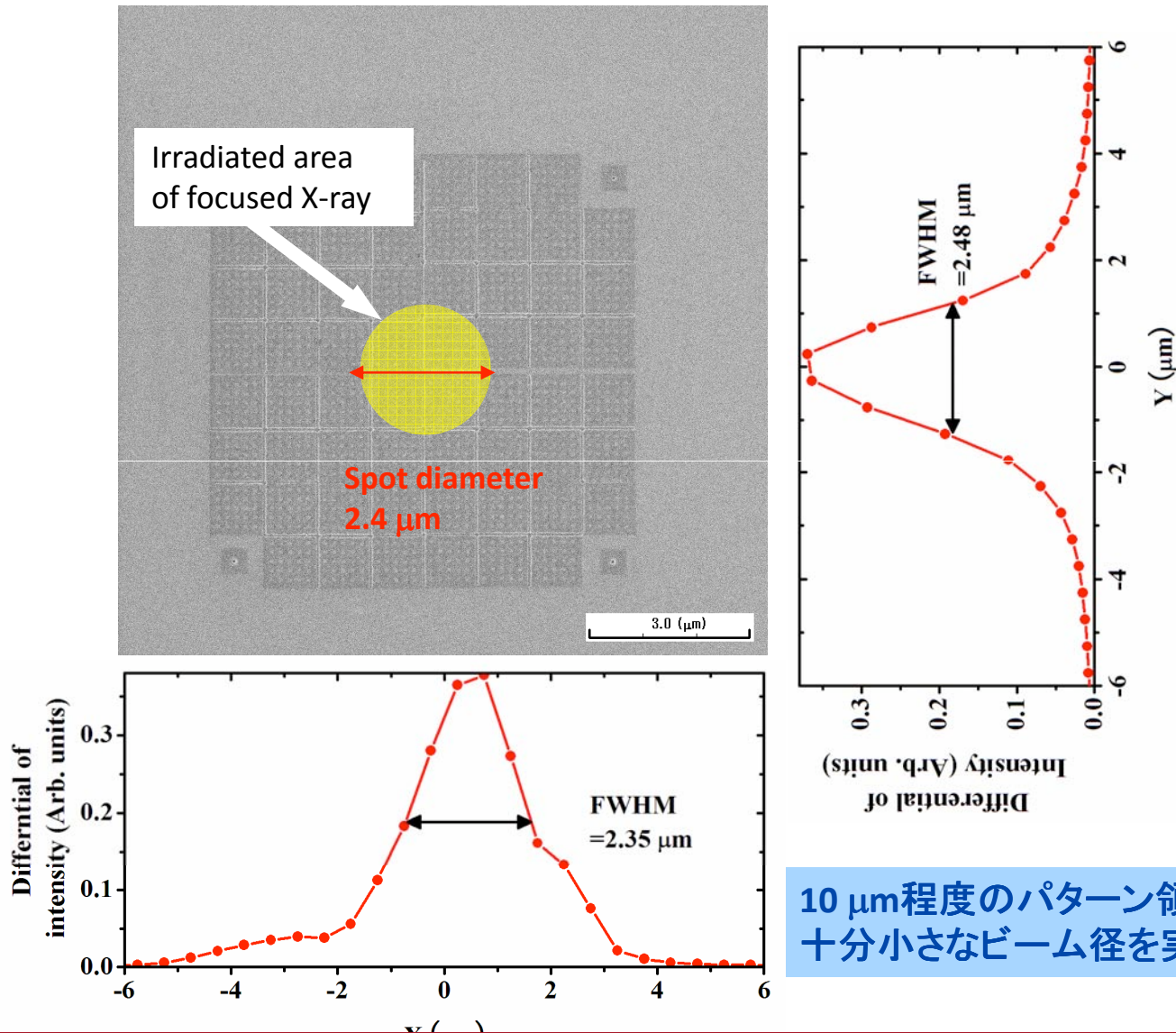
電磁石: $H_{max} = 12 \text{ kOe}$ @ギャップ6 mm

8 kOe@ギャップ10 mm

試料ステージ: 角度可変 (0~90 deg)

検出器: シリコンドリフト検出器

X線ビーム径



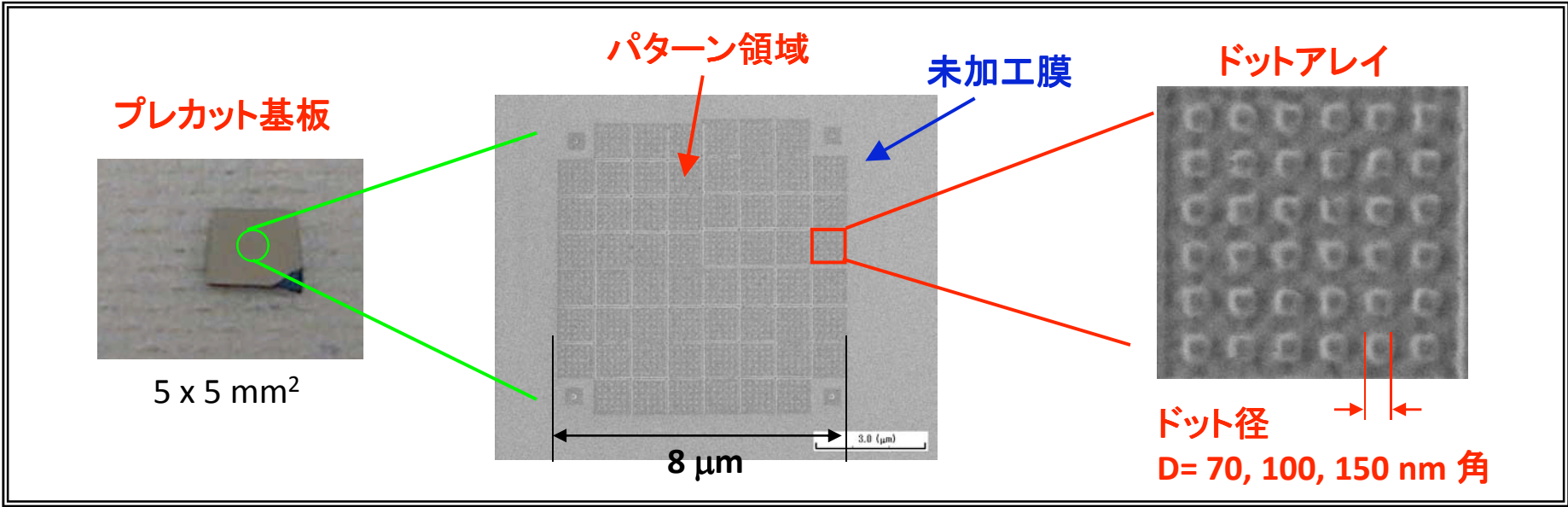
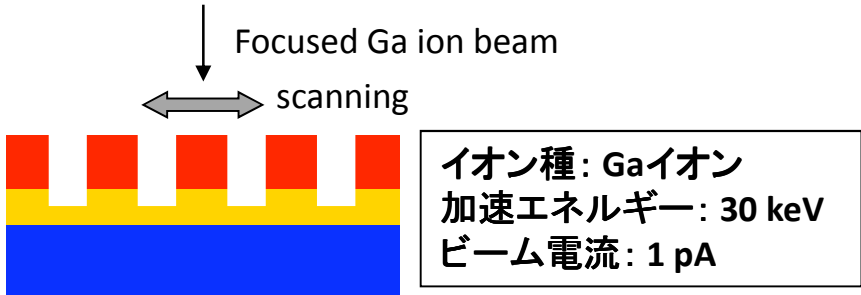
10 μm 程度のパターン領域に比べて
十分小さなビーム径を実現

FIB (Focused Ion Beam) 加工によるBPM作製

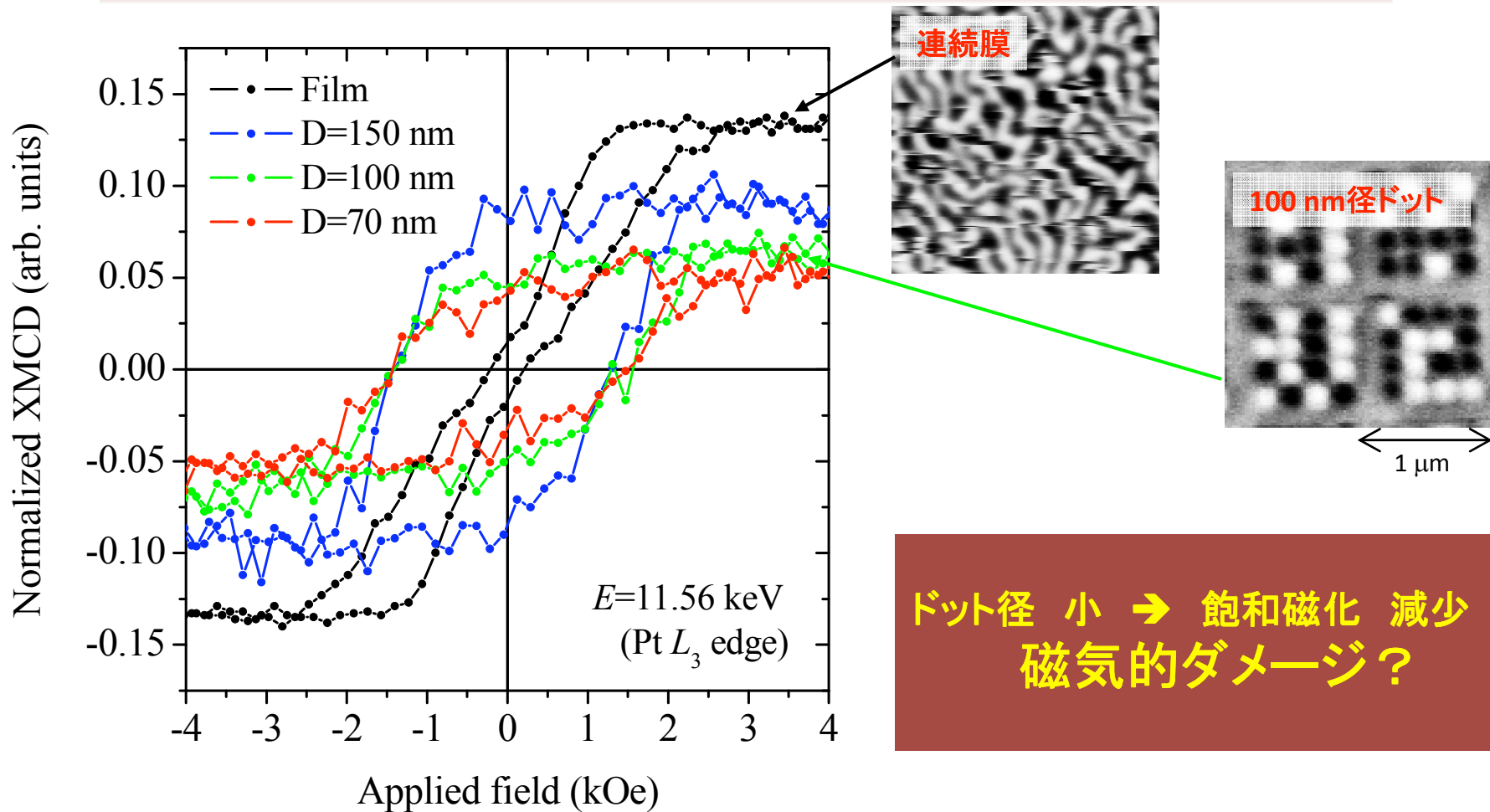
Process 1:
CoPt/underlayer deposition



Process 2:
Direct patterning by FIB



FIB加工によるBPMの磁気評価



ドット径 小 \rightarrow 飽和磁化 減少
磁氣的ダメージ？

$$\text{XMCD} : \Delta I(E, H) = I^-(E, H) - I^+(E, H) \propto M \cos \theta$$

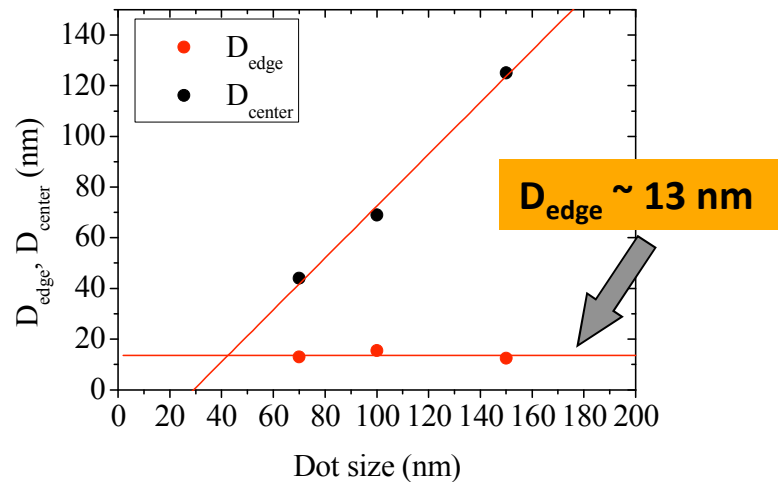
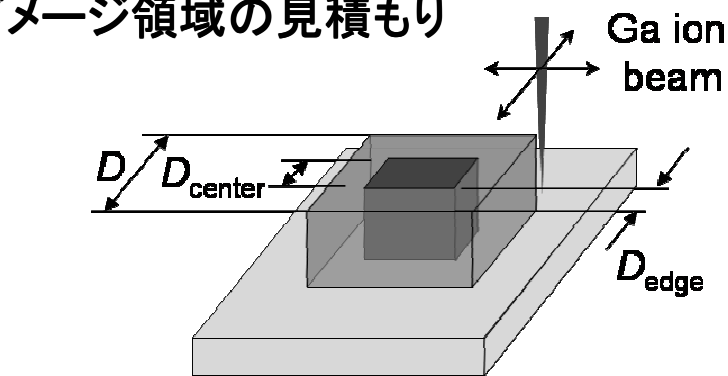
※通常の磁気測定と符号が同じになるように、通常のXMCDの定義と逆になっていることに注意

飽和磁化減少検証モデル

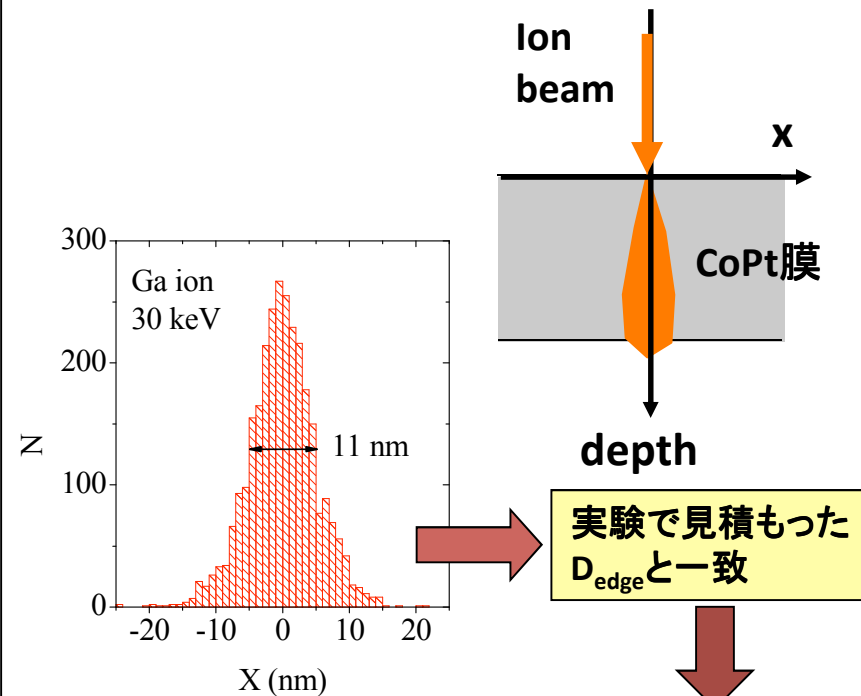
Gaエッチングにより作製した磁性ドットは以下の二つの領域から成ると仮定

1. ドット中央部 (D_{center}) $\rightarrow M_{\text{center}} = M_{\text{film}}$
2. ドット周辺部 (D_{edge}) $\rightarrow M_{\text{edge}} = 0$

ダメージ領域の見積もり

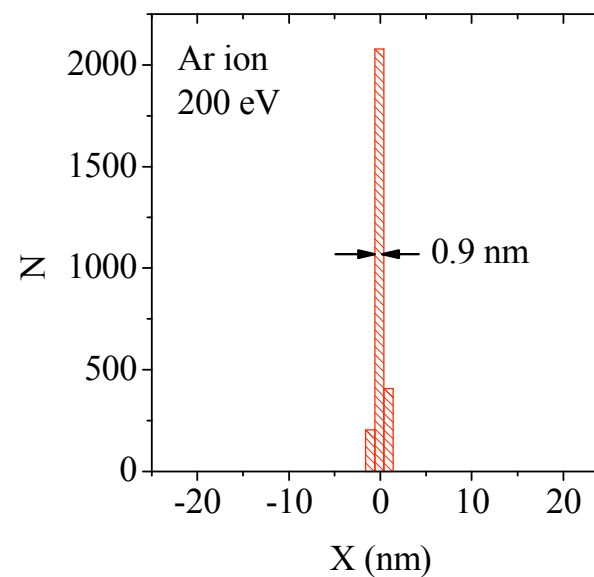
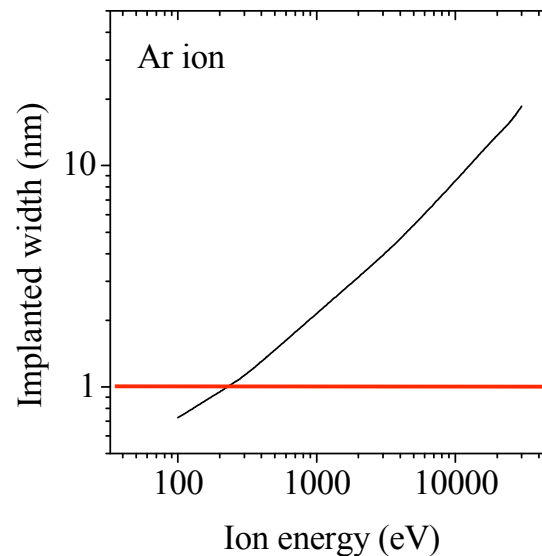
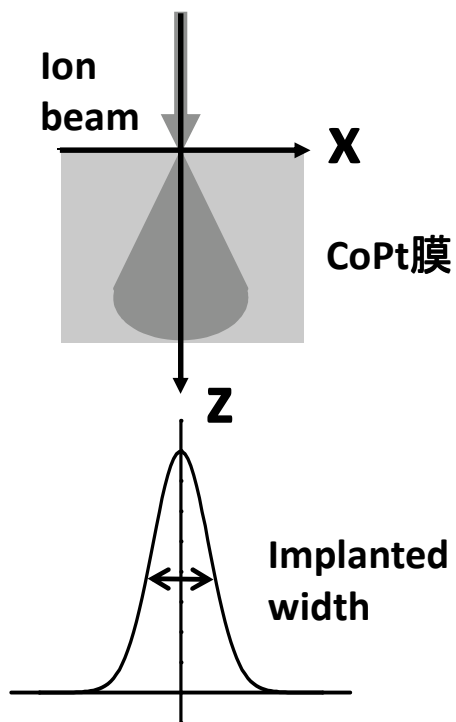


モンテカルロシミュレーション



ドット周囲の磁化が消失したのは
Gaイオンが打ち込まれたことが原因

1 Tbit/in²級BPM作製プロセス



低ダメージプロセスの提案



低エネルギーイオンの利用

打ち込み幅: 1 nm以下

⇔ イオンエネルギー: 200 eV以下

低エネルギーAr⁺エッチングによるBPM作製

パターニングプロセス: 電子線描画 + Arイオンミリング

プロセス 1:
磁性膜の成膜



磁性膜の特性

膜構造:

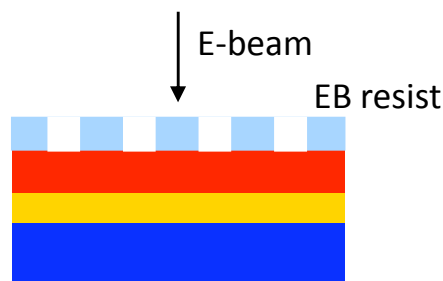
Co₈₀-Pt₂₀ (7 nm)/Ru/Pt/sub.

H_c ~ 0.4 kOe

H_k ~ 7.7 kOe

M_s ~ 860 emu/cm³

プロセス 2:
EBレジストのパターニング



EB描画条件

加速電圧: 50 kV

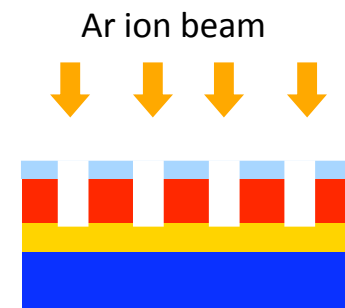
ビーム電流: 50 pA

電子線レジスト: calixarene

レジスト膜厚: 15 nm

現像液: o-xylene

プロセス 3:
Arイオンミリングによる
磁性膜へのドット転写



ミリング条件

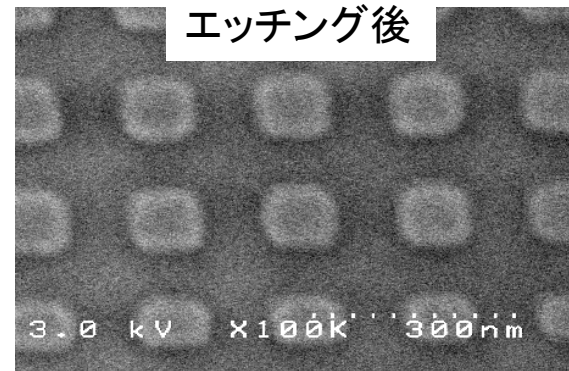
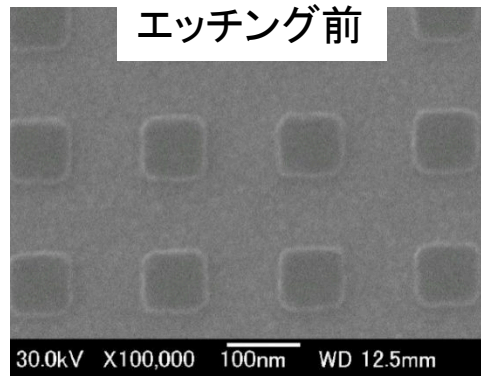
加速電圧: 200 V

ビーム電流: 60 mA

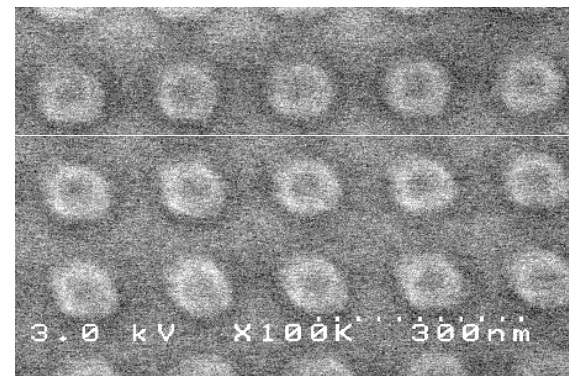
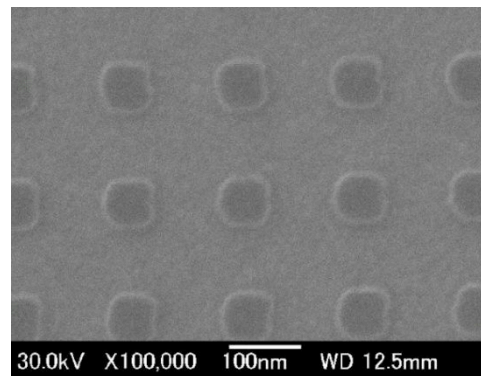
照射角度: 30 deg

エッチング前後のドット形状

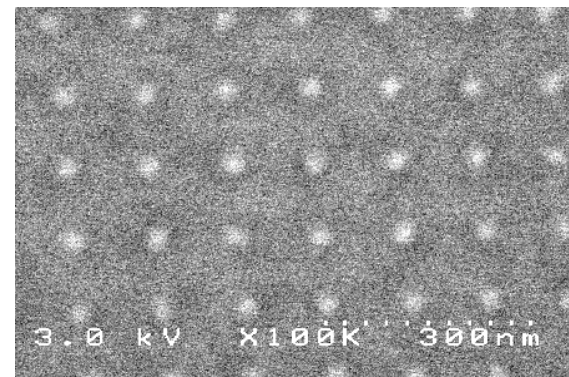
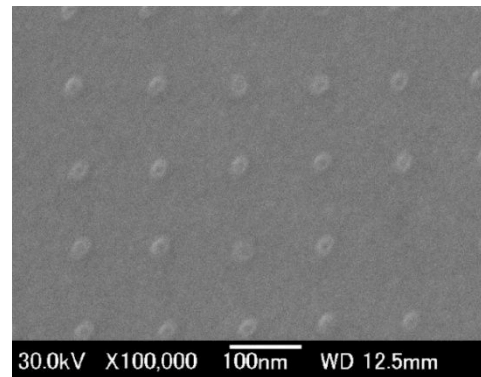
100 nm径



70 nm径

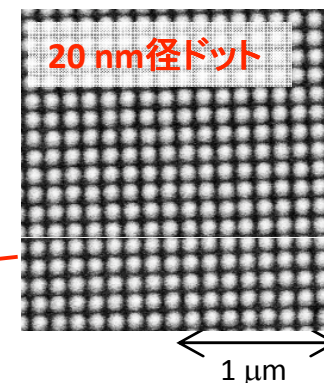
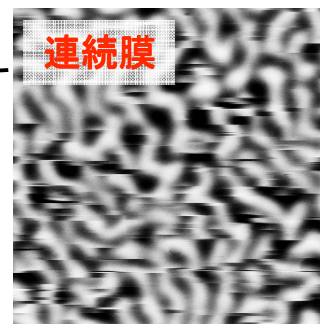
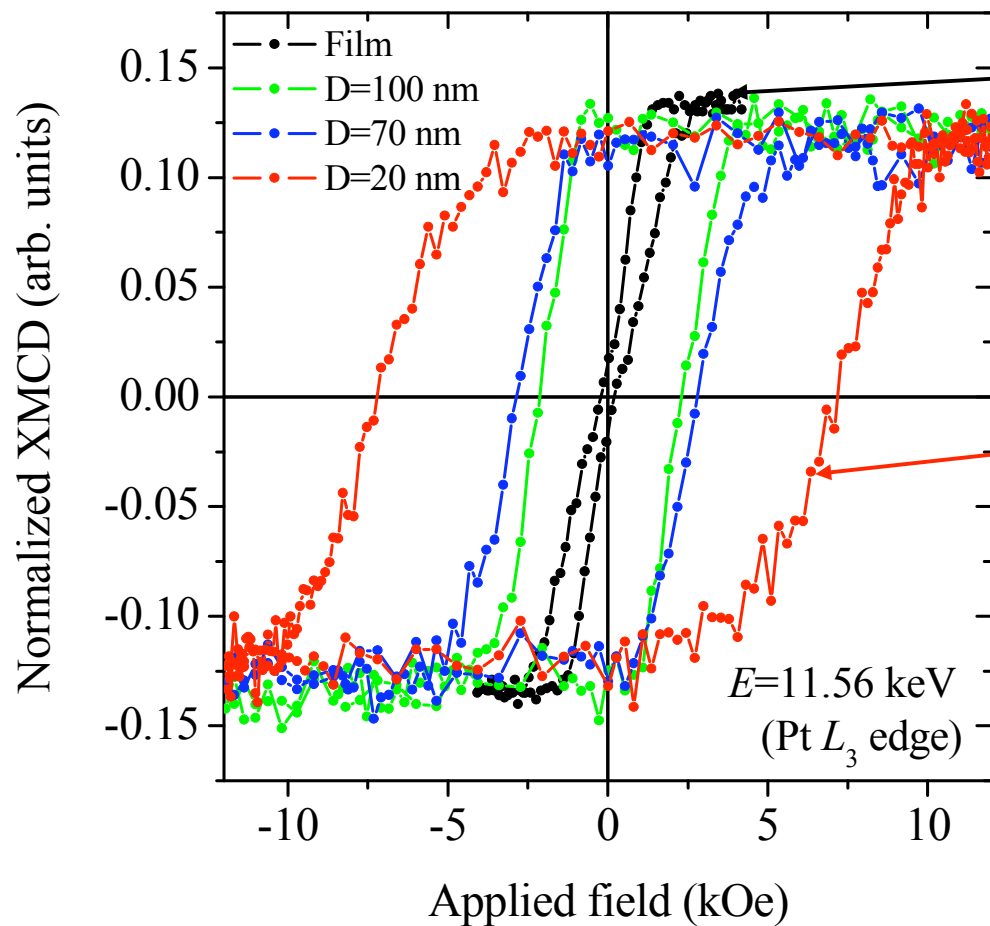


20 nm径



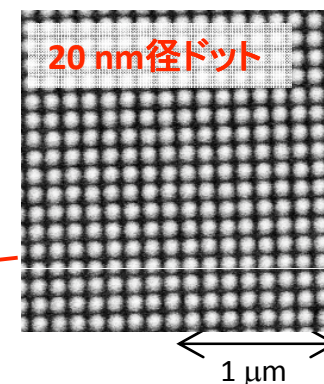
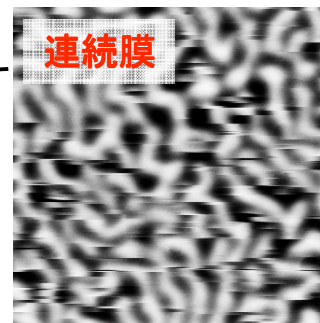
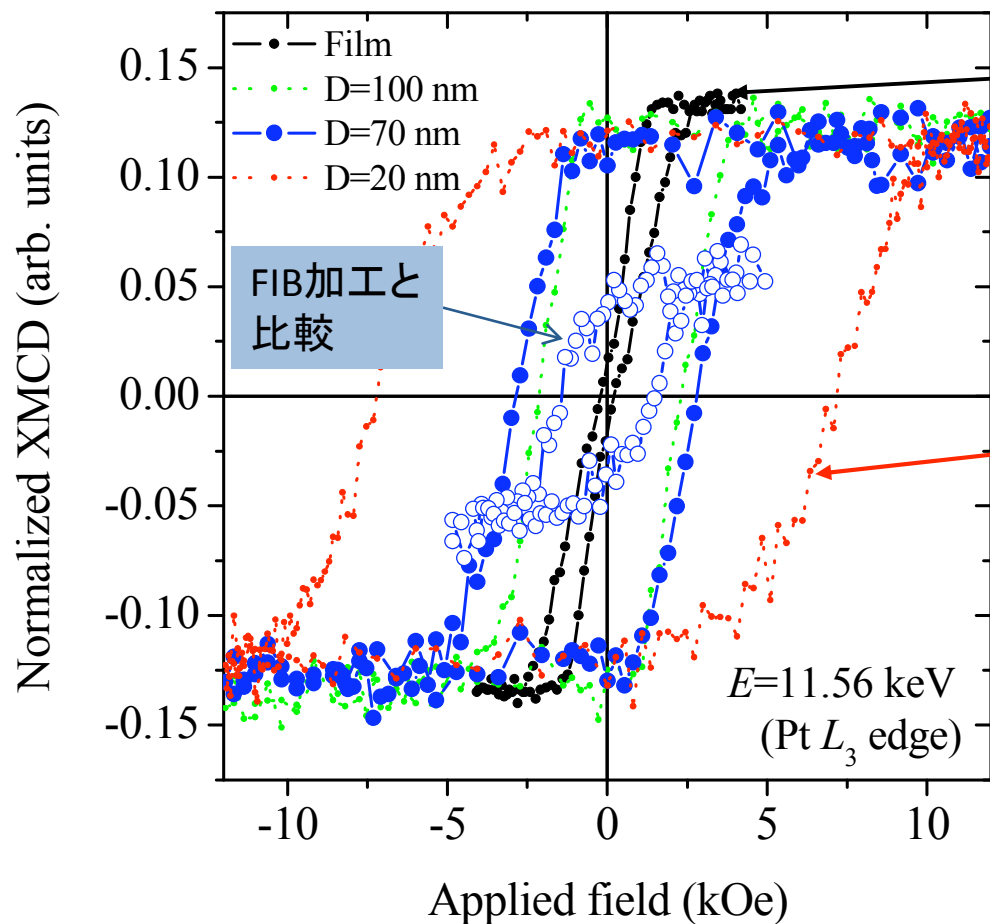
磁化曲線のドット径依存性

2007B重点ナノテクノロジー支援課題の実験結果



ドット径が変化しても
飽和磁化 減少なし

低エネルギーAr⁺エッチングFIBの比較

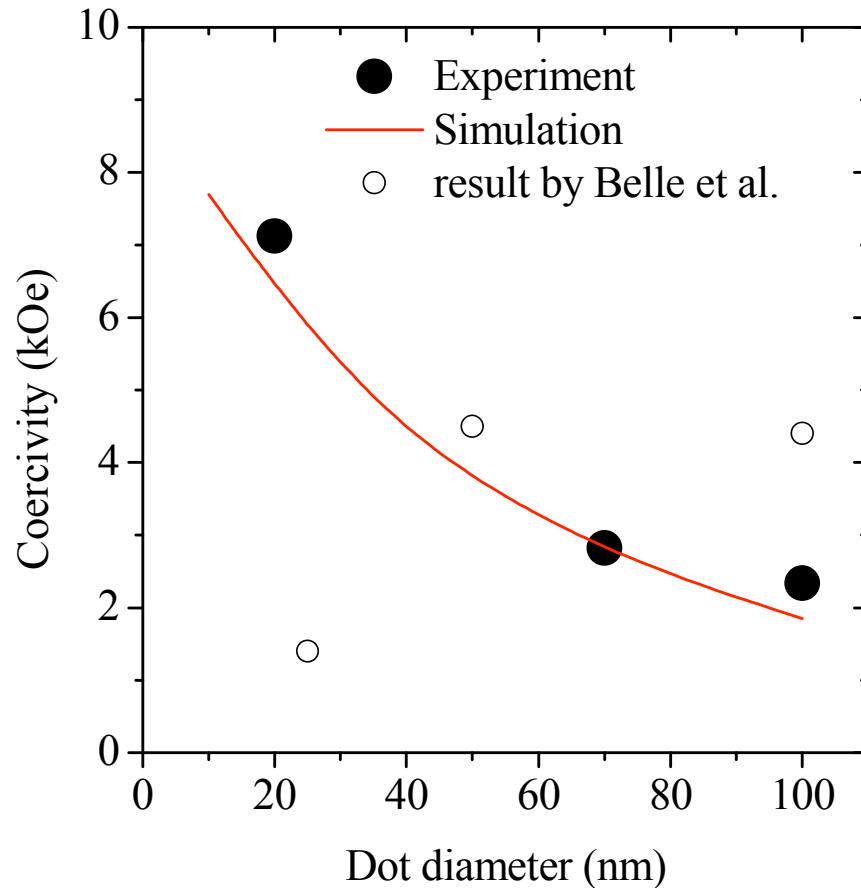


Arエッチング
によるBPMのHc > FIB加工による
BPMのHc

磁気異方性 減少なし

低エネルギーイオンによるエッチングでは、磁性ドットの磁気ダメージを低減できる

保磁力のドット径依存性



マイクロマグネティクスシミュレーション
計算パラメータ

$t=20$ nm
 $M_s=800$ emu/cm³
 $\langle H_k \rangle=8.0$ kOe
 $\sigma H_k=15$ %
 $\sigma \theta=3$ deg.
spacing: 100 nm

Belleらの研究

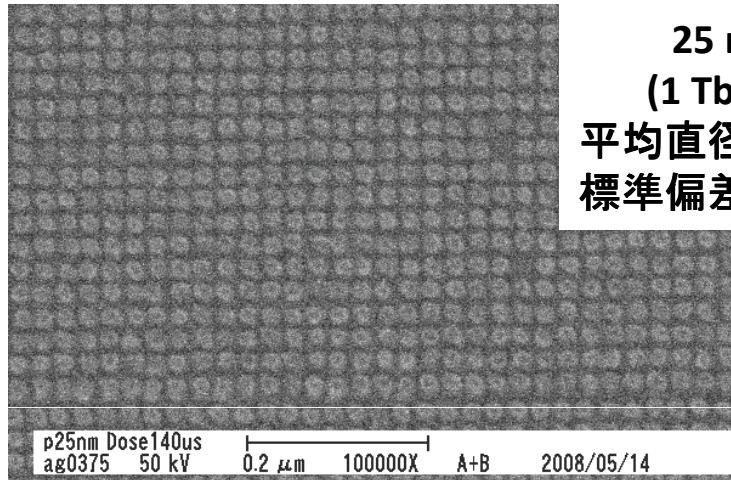
(B. D. Belle et al., J. Appl. Phys., 107, 09F517-1 (2007))

- Co/Ptドット
- エッチング条件: イオンエネルギー2 keV

ドット径が小さくなるにつれて、抗磁力は増大(計算結果と一致)
→ エッチングによる垂直磁気異方性エネルギーの低下も少ない

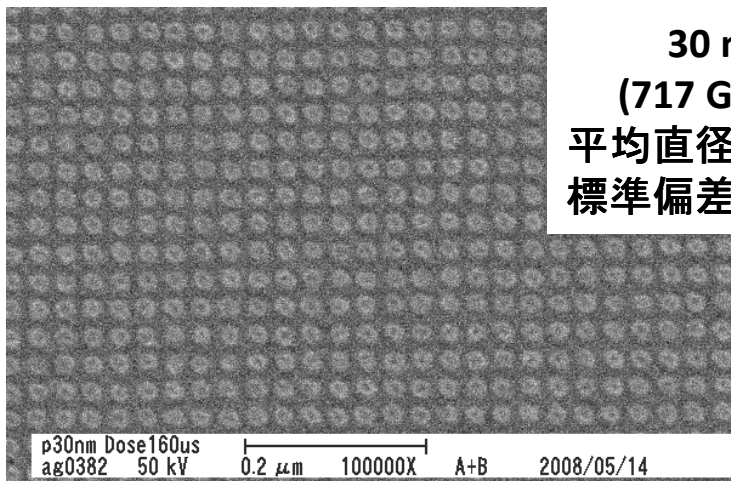
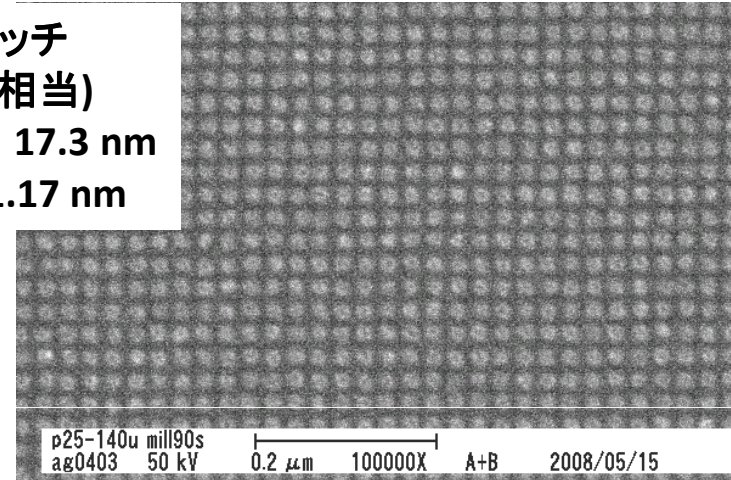
1 Tbit/in²級磁性ドットのSEM像

Arイオンミリング前

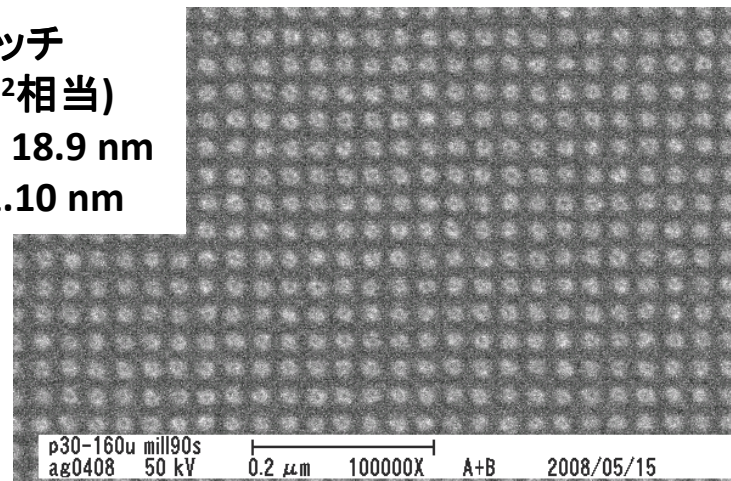


25 nm ピッチ
(1 Tbit/in²相当)
平均直径<d> 17.3 nm
標準偏差 σ 1.17 nm

Arイオンミリング後



30 nm ピッチ
(717 Gbit/in²相当)
平均直径<d> 18.9 nm
標準偏差 σ 1.10 nm

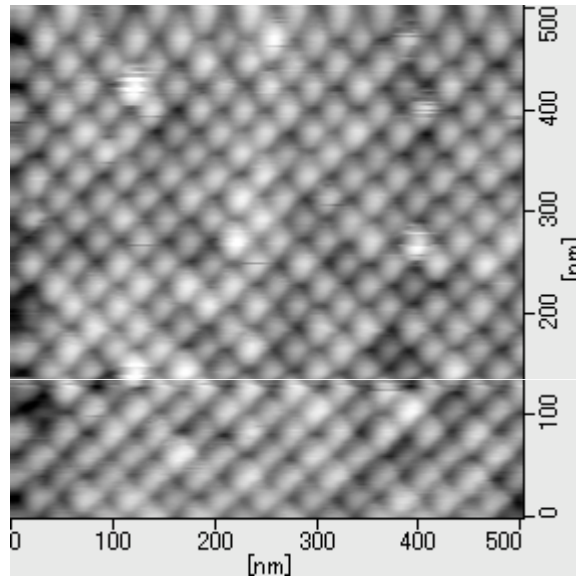


MFM像

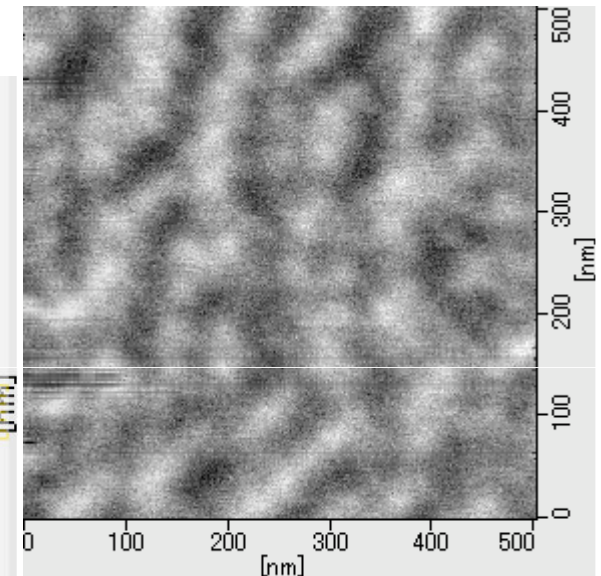
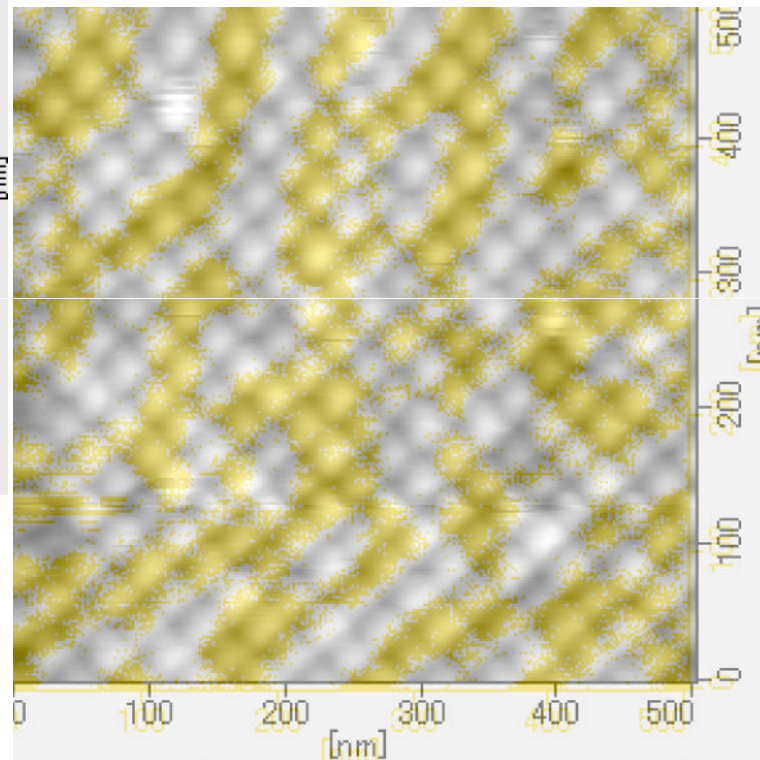
AC消磁状態でのMFM像

$p=30$ nm

AFM像とMFM像を重ねた像



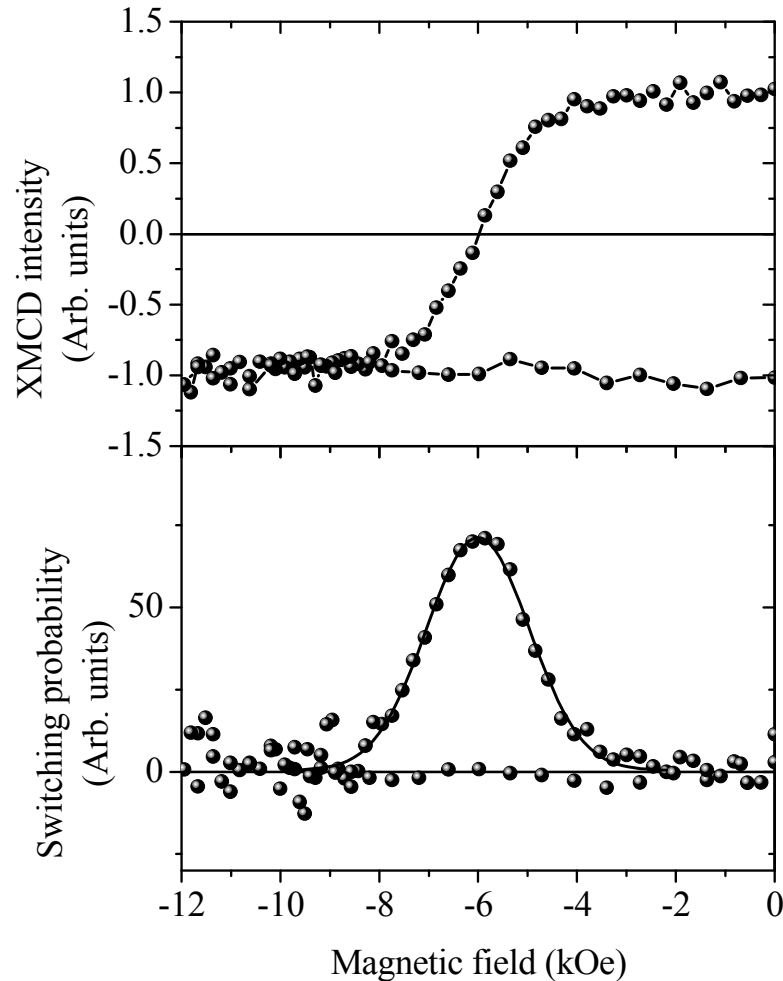
AFM像



MFM像

個々のドットに対応した磁気信号を確認
→ 磁氣的に孤立

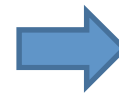
30 nmピッチドットアレイの磁気特性評価



SFDの要因

- ・ H_k 分散
- ・配向分散
- } 磁性膜の物性
- ・ドット径分散
- ・ドット形状分散
- } 微細加工精度
- ・静磁気相互作用
- } ドット間スペース

$\langle H_{sw} \rangle = 6.0 \text{ kOe}$
 $\sigma H_{sw} = 1.04 \text{ kOe } (\sigma)$



$SFD \equiv \sigma H_{sw} / \langle H_{sw} \rangle \sim 17 \%$

まとめ

◆作製プロセス技術開発

○高エネルギーGaイオンエッチング

- ・ ドット径とともにXMCD強度が減少
- ・ モデル解析の結果, ドット外周部に13 nm程度の領域で磁化を消失
- ・ モンテカルロシミュレーション解析の結果, 11 nmのイオン打ち込みがある



磁氣的ダメージを低減するためには
低エネルギーイオンの利用が有効

○低エネルギーArイオンエッチング

- ・ ドット径に依存せずXMCD強度がほぼ一定
- ・ 高エネルギーGaイオンにより作製したドットと比較すると, Hcが大きい
 - 低エネルギーイオンを用いることで, 磁化および磁気異方性エネルギーの低下を抑制できる.

◆1 Tbit/in²級のドットアレイ作製

○SEM観察 → ドット径平均17~19 nm程度, サイズ分散 1 nm程度

MFM観察 → 個々のドットに対応した磁気信号を確認

○micro-XMCDによる磁気特性評価

→ 17%程度のSFDがあることがわかった

謝辞

外部資金

本研究の一部は

- ・科学研究費補助金(若手研究(B) 課題番号19760243)
- ・NEDOグリーンITプロジェクト

の補助により実施された。

SPring-8実験課題

本研究は

- ・文科省先端大型研究施設戦略活用プログラム(2005B～2006B)
- ・重点ナノテクノロジー支援課題(2007B～2009B)

で行われた。