

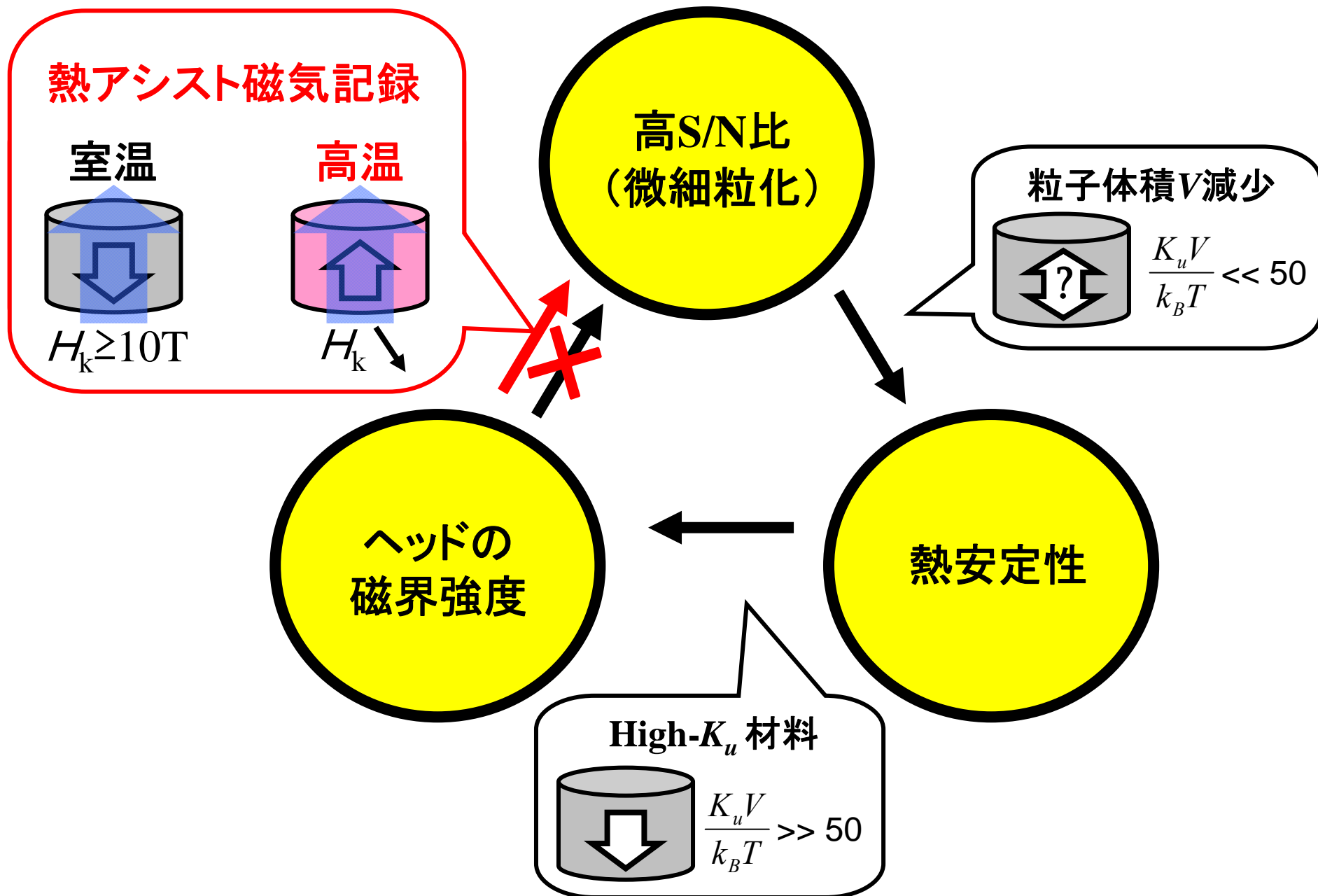
SPring-8利用推進協議会 先端磁性材料研究会 第3回研究会
「パターン媒体の先端技術開発とナノ磁気イメージングからのアプローチ」

熱アシスト記録媒体用 FePt系合金薄膜の作製と磁化過程解析

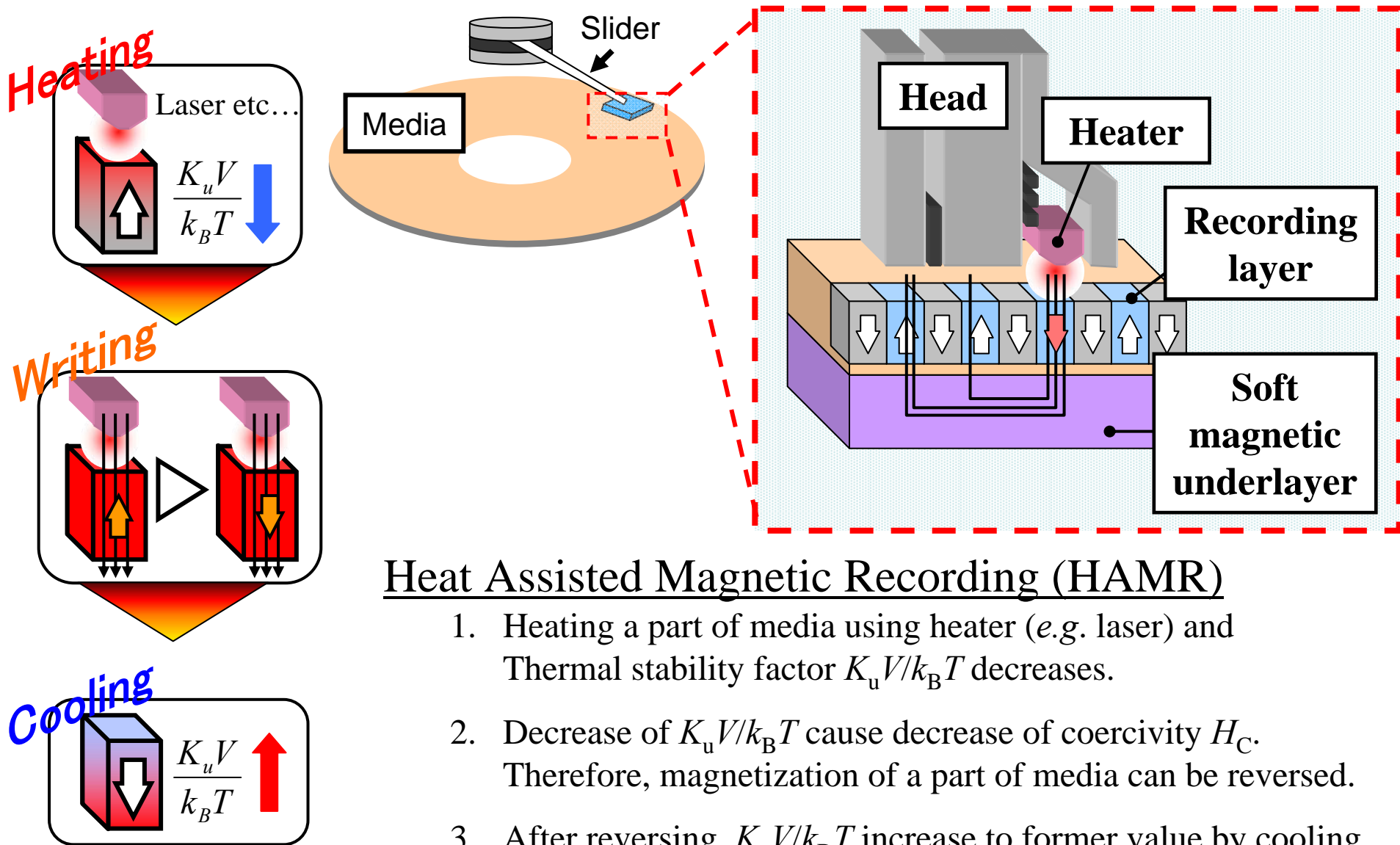
中川 茂樹

緒方 祐史, 今井 康晴

東京工業大学大学院
理工学研究科電子物理工学専攻



3 熱アシスト磁気記録 (HAMR)



Heat Assisted Magnetic Recording (HAMR)

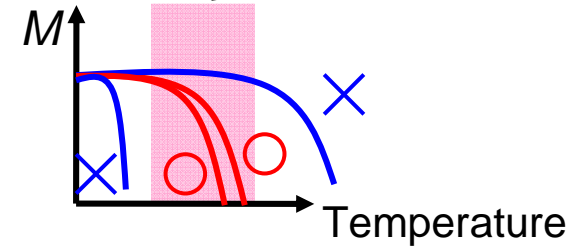
1. Heating a part of media using heater (e.g. laser) and Thermal stability factor $K_u V/k_B T$ decreases.
2. Decrease of $K_u V/k_B T$ cause decrease of coercivity H_C . Therefore, magnetization of a part of media can be reversed.
3. After reversing, $K_u V/k_B T$ increase to former value by cooling

熱アシスト磁気記録媒体に求められる物性

① 熱アシスト領域のキュリー温度

- ✓ 熱アシスト加熱温度: $\sim 200^\circ\text{C}$
 - ➡ 200 $^\circ\text{C}$ 付近で十分小さな保磁力
 - 200 $^\circ\text{C}$ 付近のキュリー点

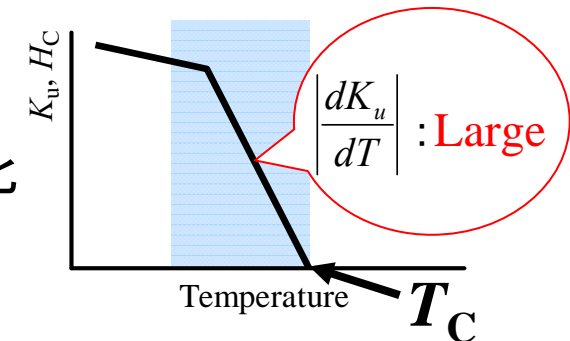
熱アシスト加熱領域 ($\sim 200^\circ\text{C}$)



② キュリー温度近傍の急峻な熱応答性

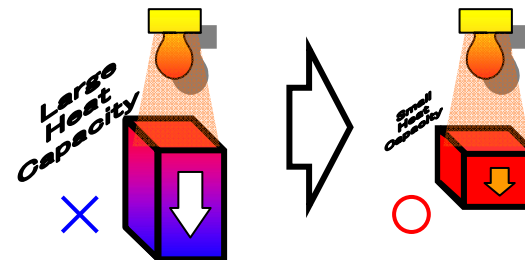
- ✓ 熱擾乱が顕著な領域を最小にする
 - ➡ 急峻な熱応答により熱揺らぎ時間を最小化
- ✓ 短時間照射効果による熱擾乱の最小化

Ref : Kikitsu, T et al. IEEE Trans.Magn. n37, (2001). 1250



③ 熱容量小(薄膜)

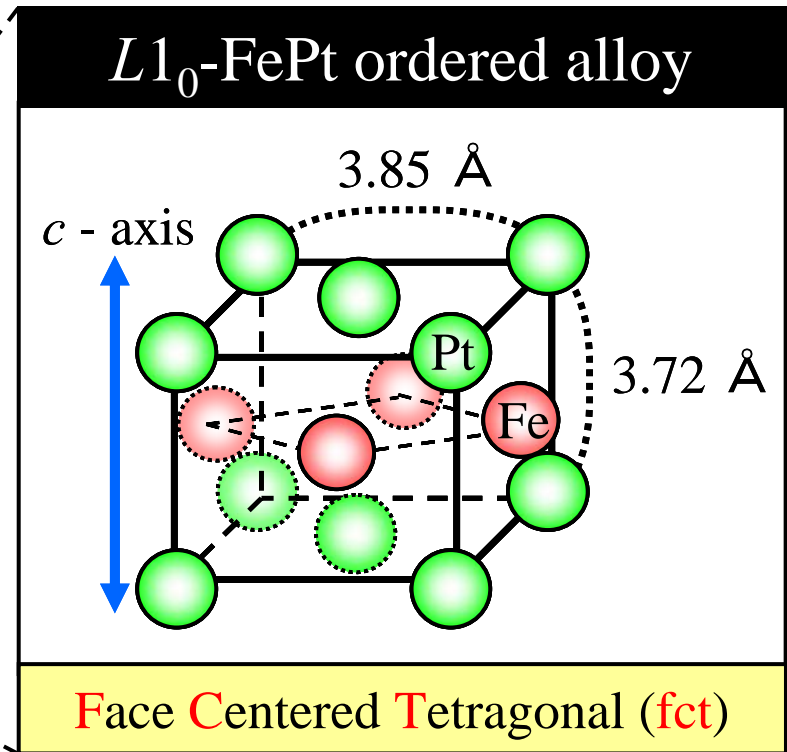
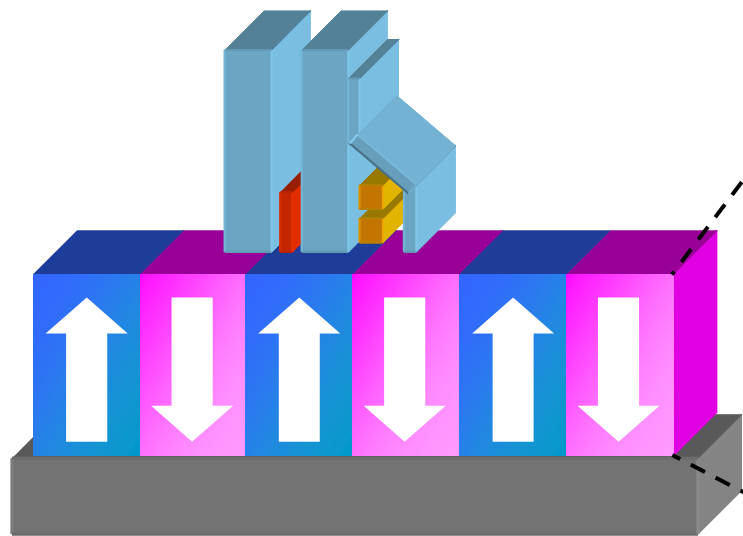
- ✓ 最小限の加熱時間
- ✓ 十分な温度上昇



- 1 Fe/Pt二層膜によるc-軸配向FePt規則合金膜
- 2 Fe/Pt/*X*三層膜による第三元素の添加効果
- 3 異常Hall効果によるFePt合金膜の磁化過程解析と裏打ち軟磁性層との磁気結合評価

6 $L1_0$ -FePt規則合金

HDD(垂直磁気記録)



● 高い一軸磁気異方性

$$K_u = 7.0 \times 10^7 \text{ (erg/cc)}$$

➡ 現存のCo系合金 $2.0 \times 10^6 \text{ (erg/cc)}$

● 第三元素添加による特性制御性

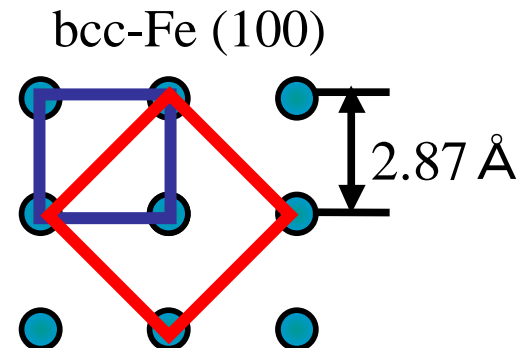
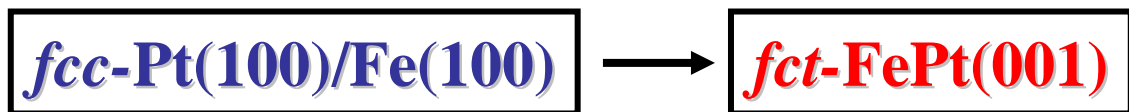
Cu, Ag, SiO₂ etc.

➡ キュリー点制御やグラニューラー化

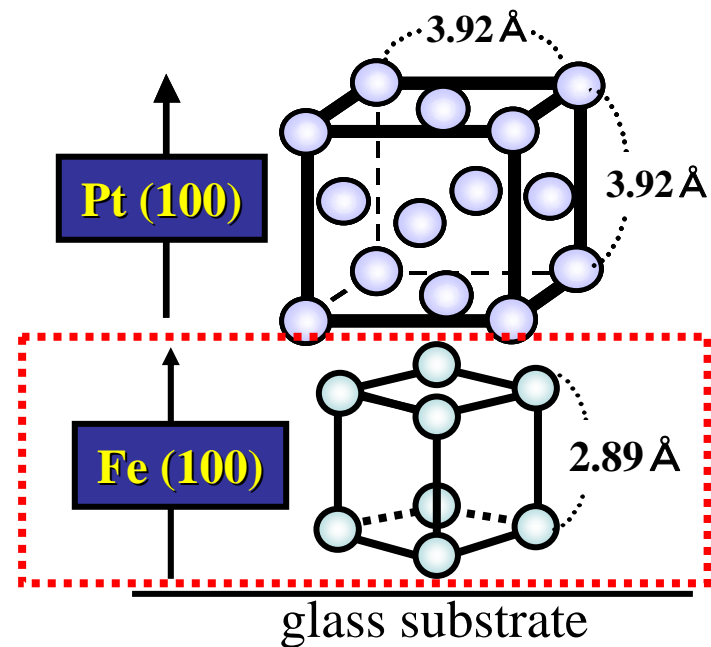
7

We can get (001) orientation of FePt ordered alloy

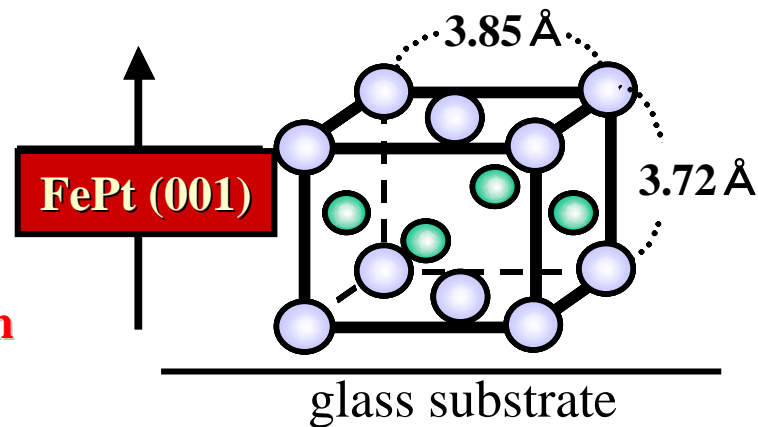
Ordering from Fe(100)/Pt(100) bilayer structure



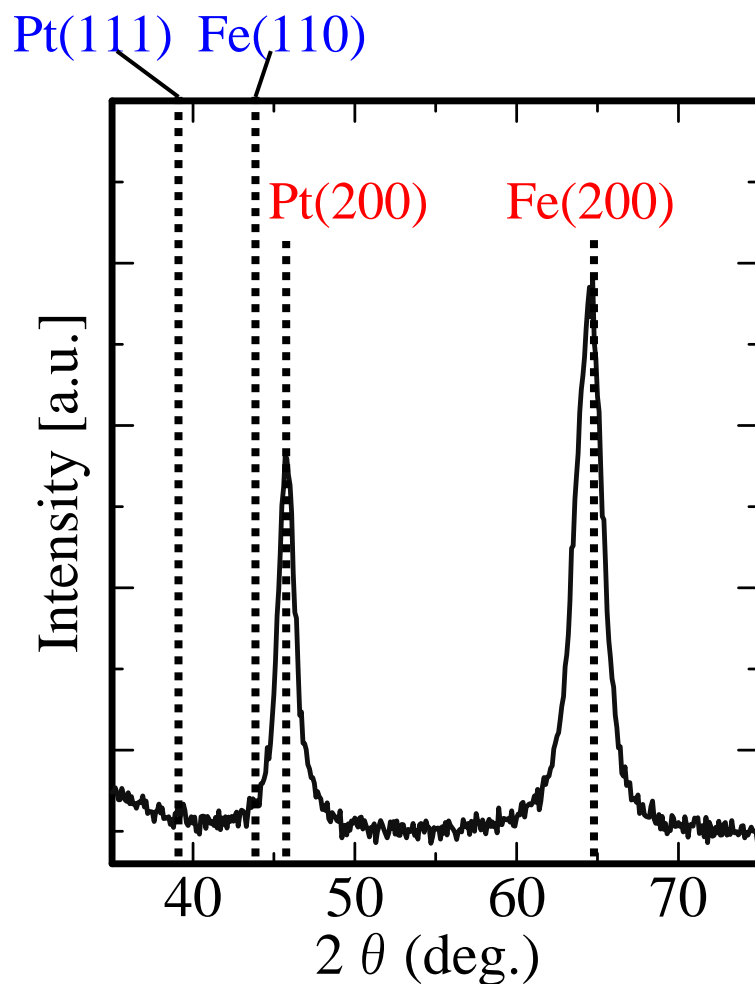
fcc-Pt (100)
misfit : 3.3 %



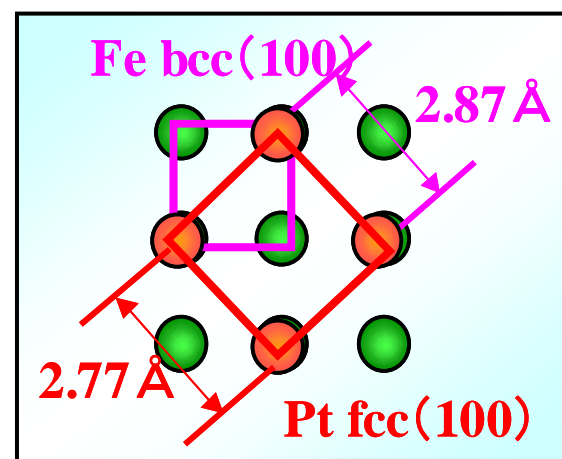
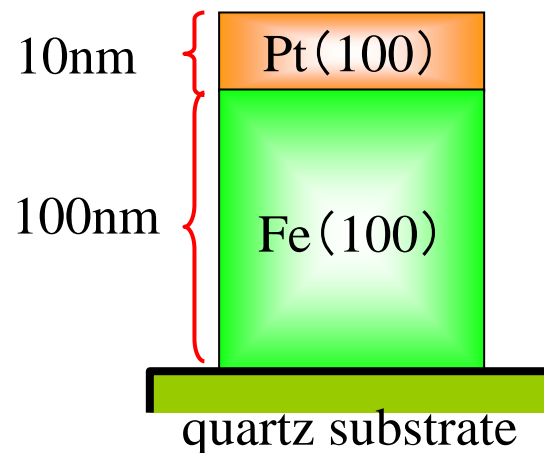
Inter diffusion



Pt(100)/Fe(100) epitaxial relationship



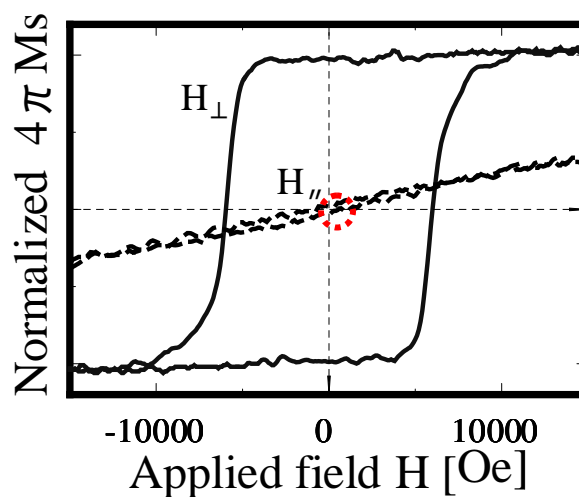
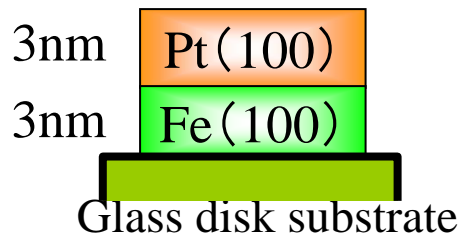
As-deposited



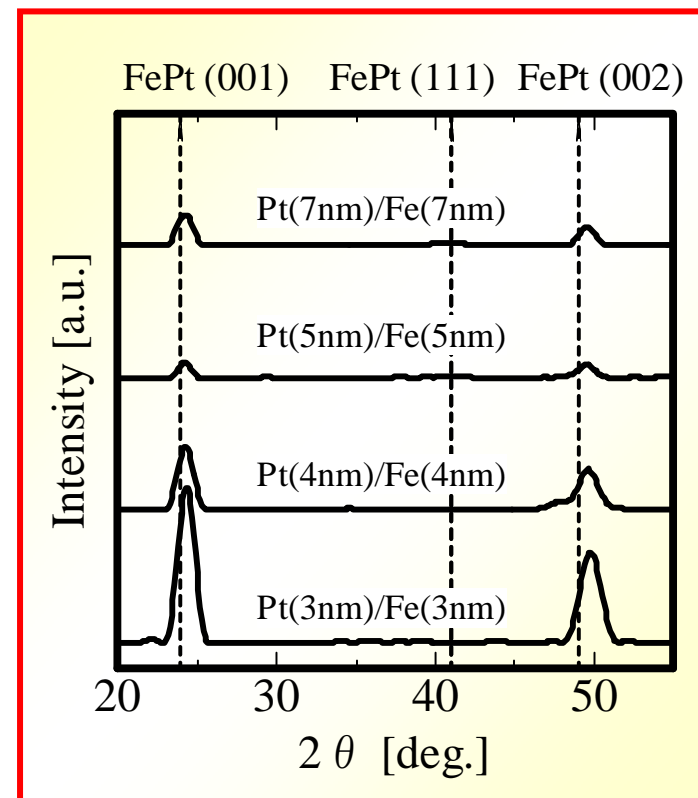
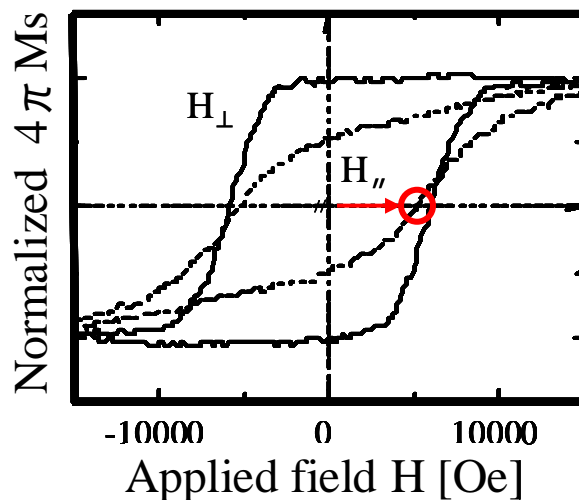
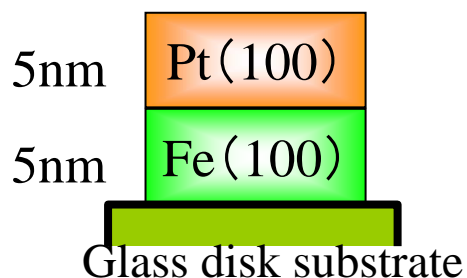
Epitaxial growth relationship with Fe(100)/Pt(100)

9 Film thickness-dependence

After annealed



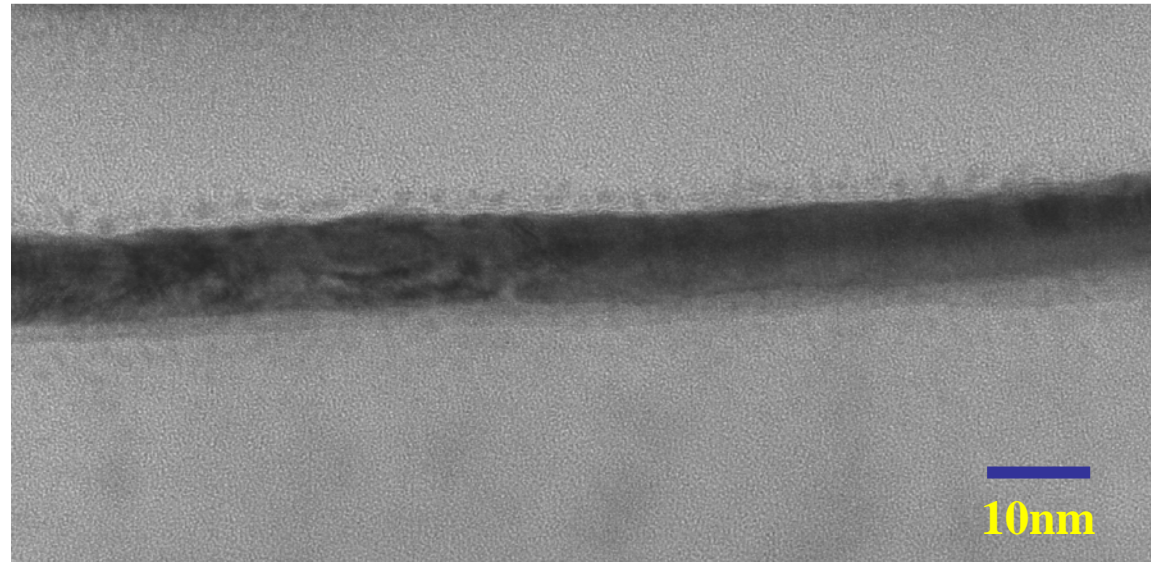
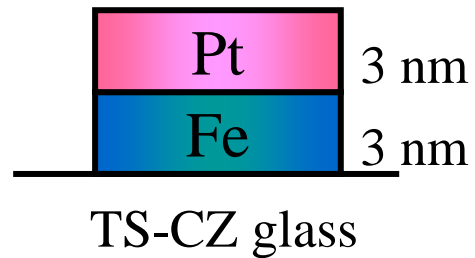
After annealed



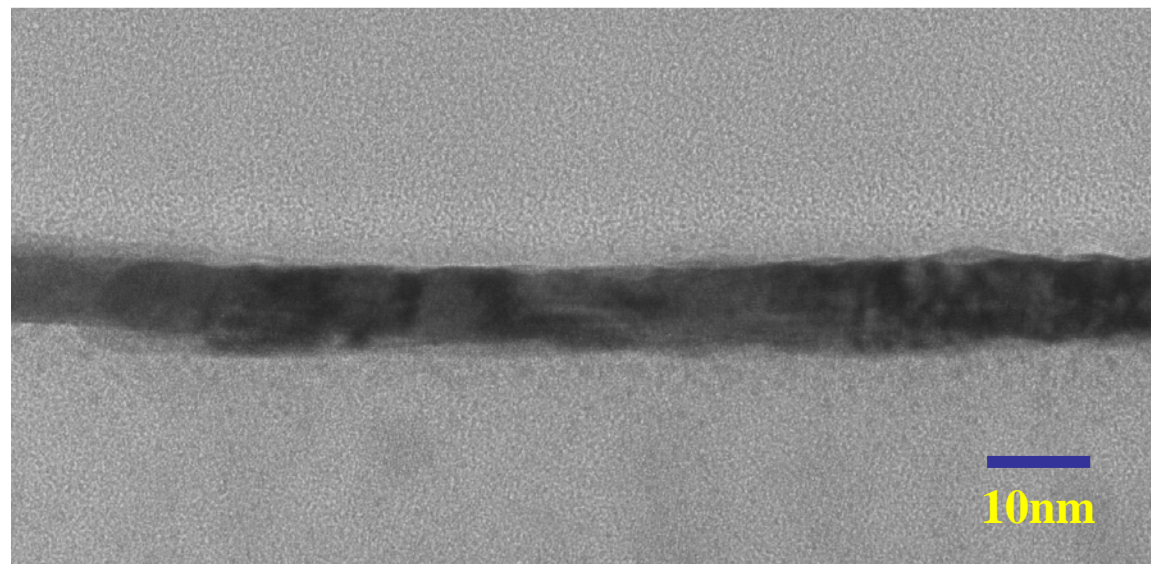
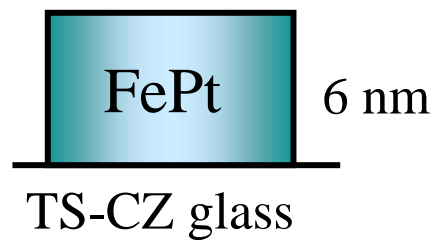
M-H characteristic deteriorates with increase of film thickness

Cross sectional TEM views of bilayers

As-deposited



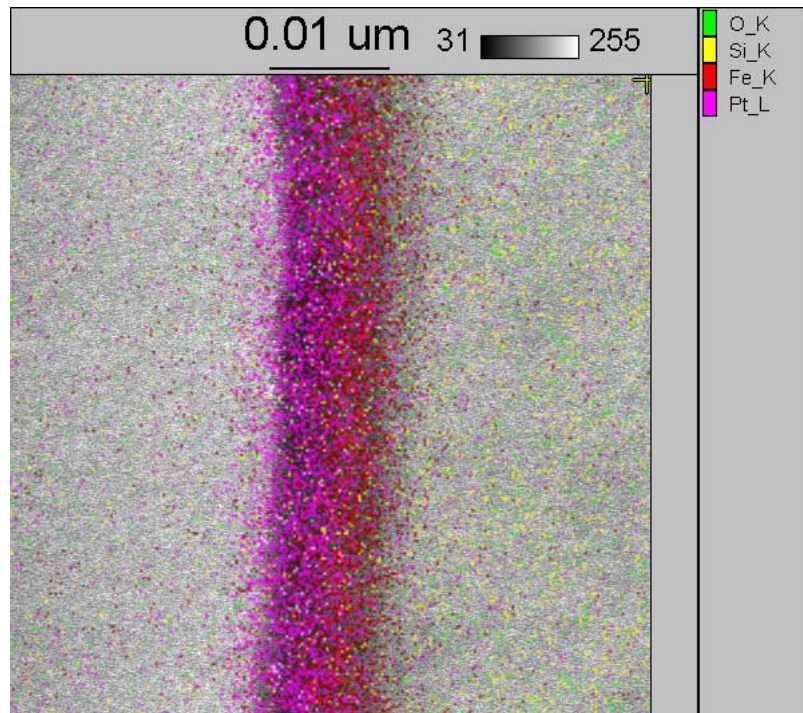
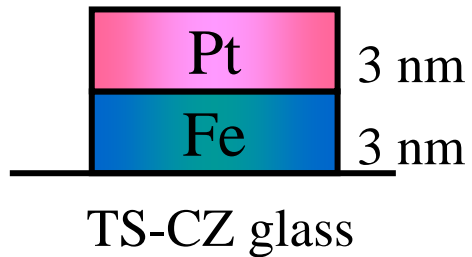
Annealed at 600°C in H₂



11

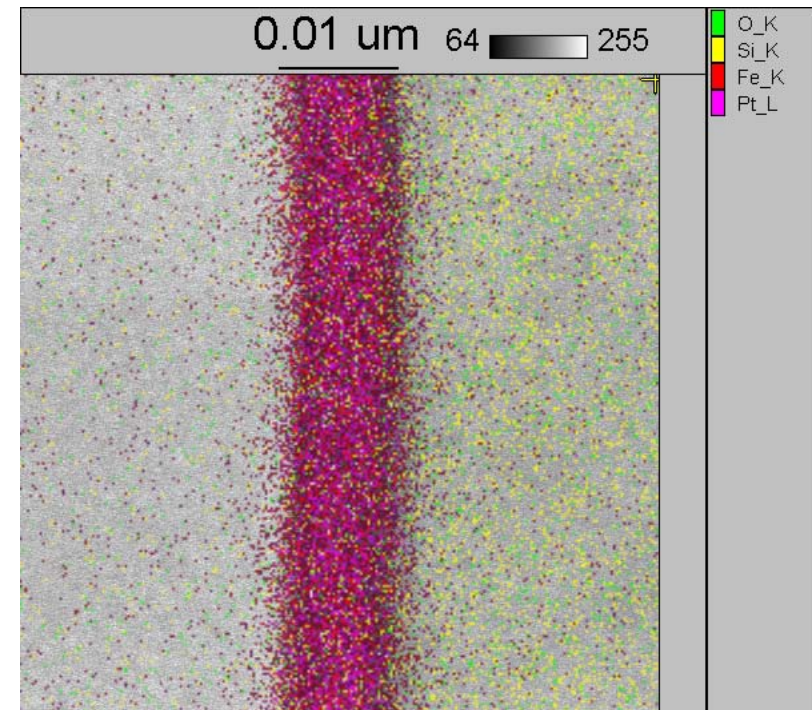
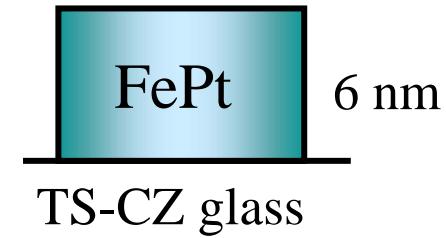
FePt alloyed film by inter-diffusion by post annealing

As-deposited



Pt/Fe bilayer

Annealed at 600°C in H₂

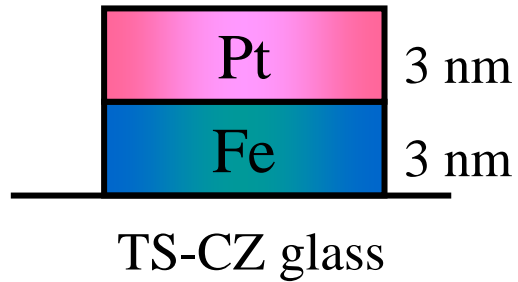


alloyed by inter-diffusion

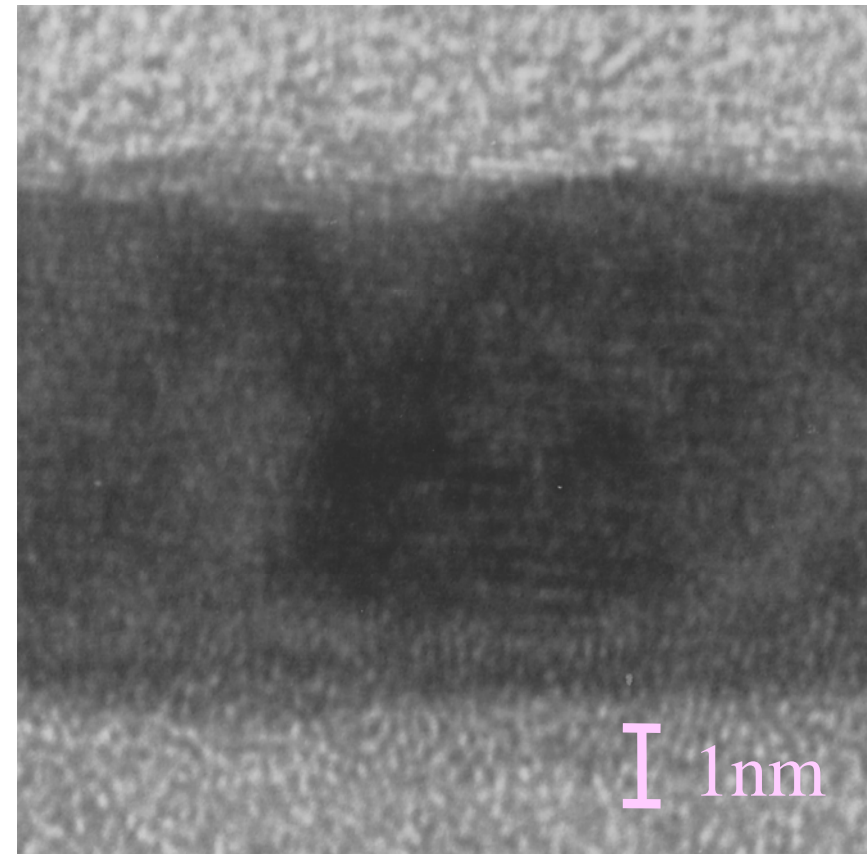
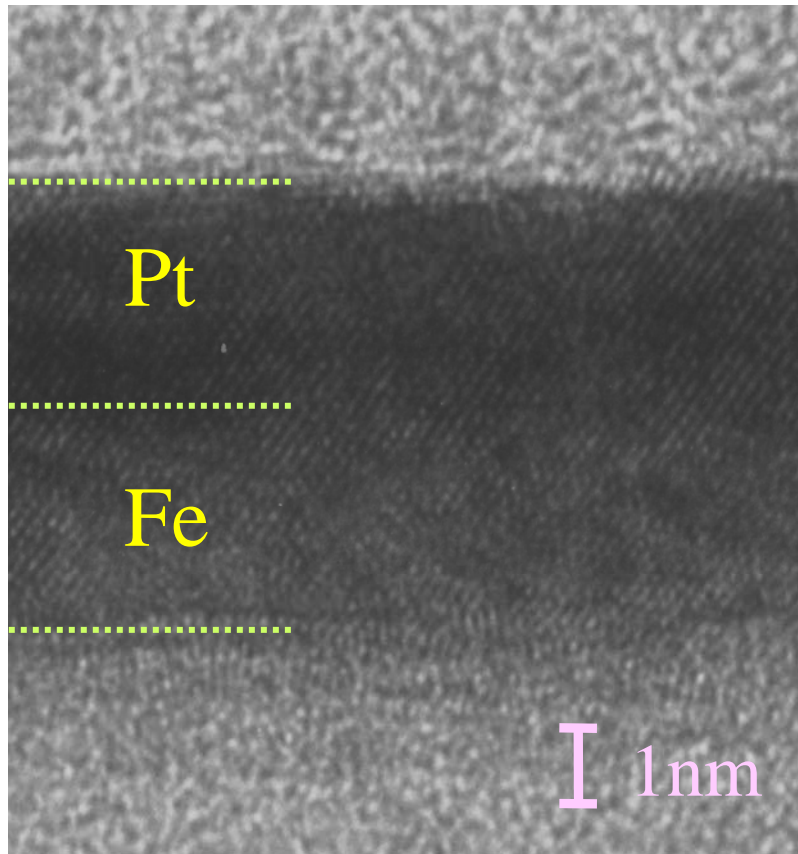
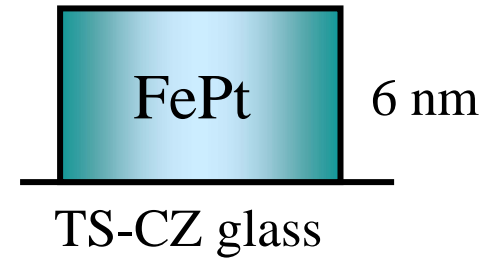
12

Cross sectional TEM views of bilayers (enlarged)

As-deposited



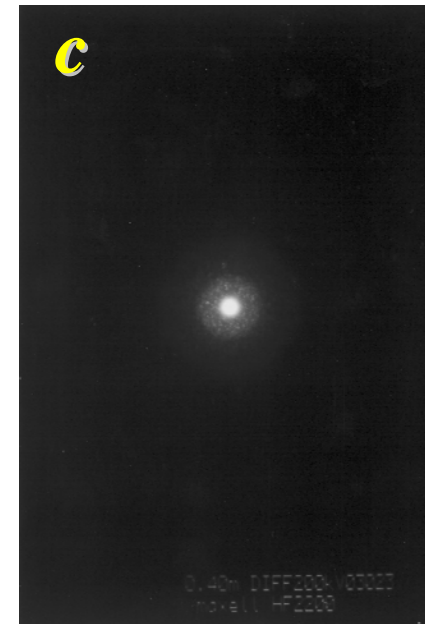
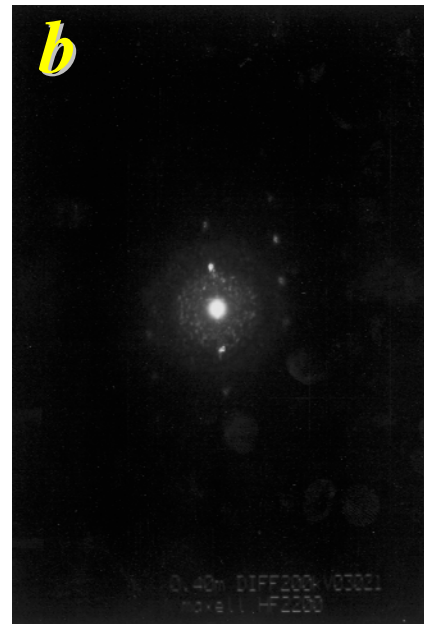
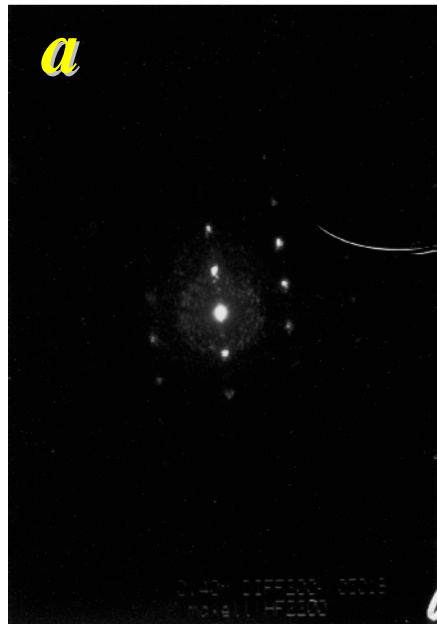
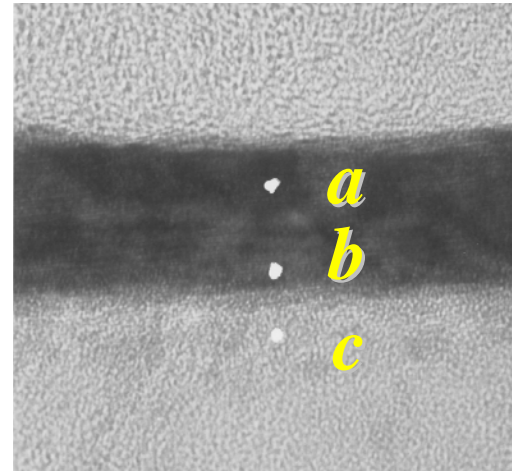
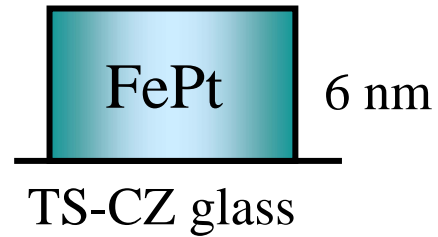
Annealed at 600°C in H₂



13

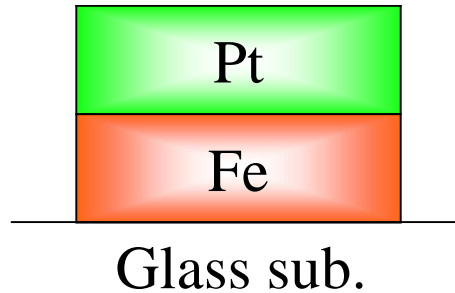
Cross sectional ED patterns of bilayer after annealing

Annealed at 600°C in H₂



- 1 Fe/Pt二層膜によるc-軸配向FePt規則合金膜
- 2 Fe/Pt/X三層膜による第三元素の添加効果
- 3 異常Hall効果によるFePt合金膜の磁化過程解析と裏打ち軟磁性層との磁気結合評価

応用上の課題

高キュリー温度 ($450\text{ }^{\circ}\text{C}$)高規則化温度 ($550\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Cu

キュリー点制御



熱アシスト磁気記録媒体用

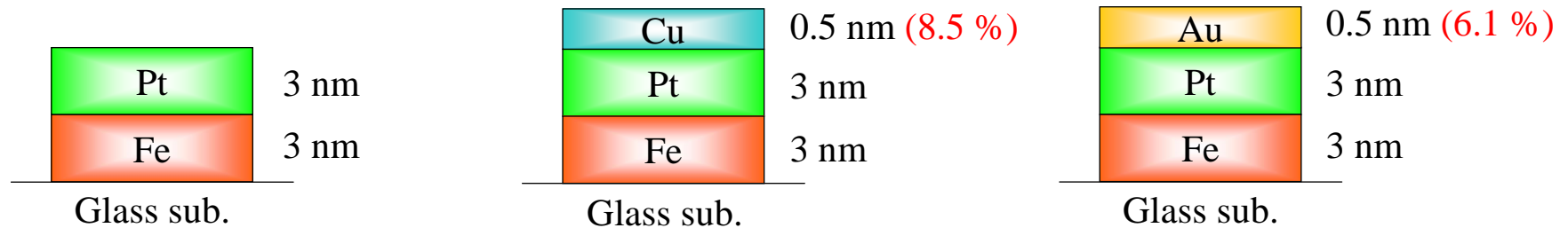
Au

規則化促進効果

 $L1_0$ -FePtの低温形成

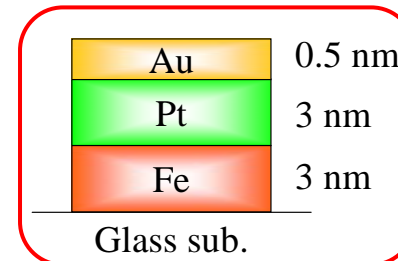
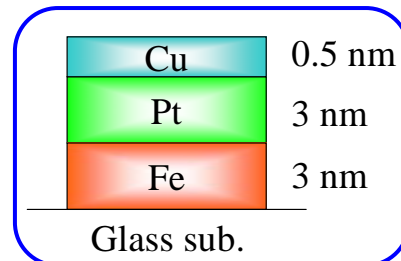
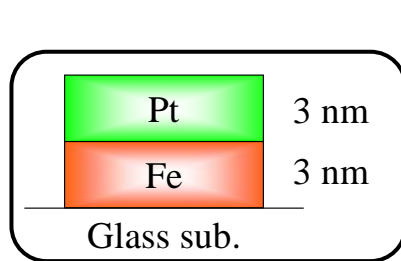
Purpose

第三元素添加による特性制御

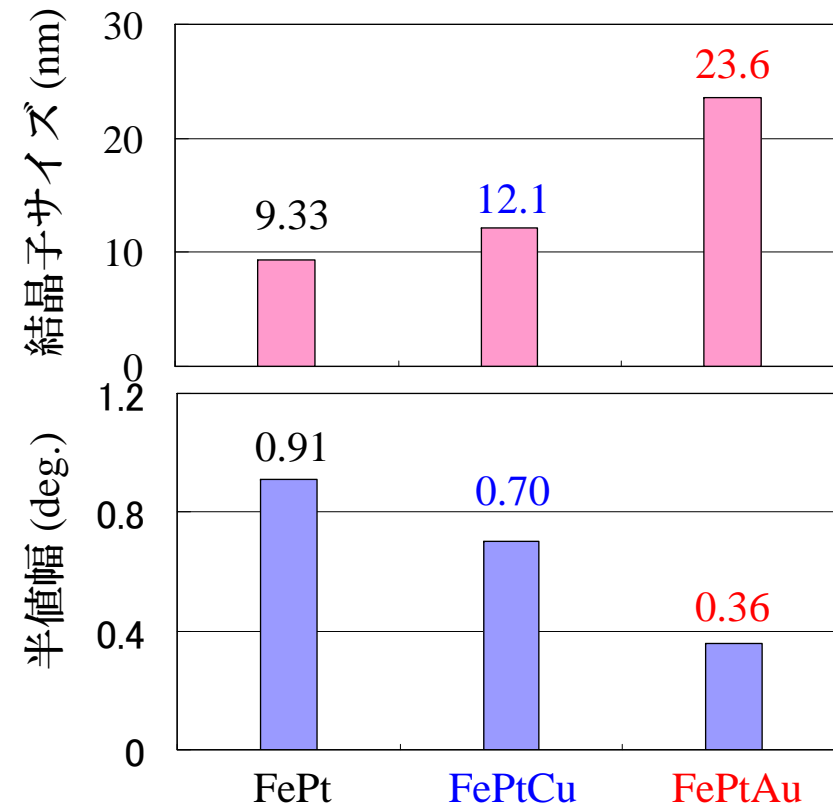
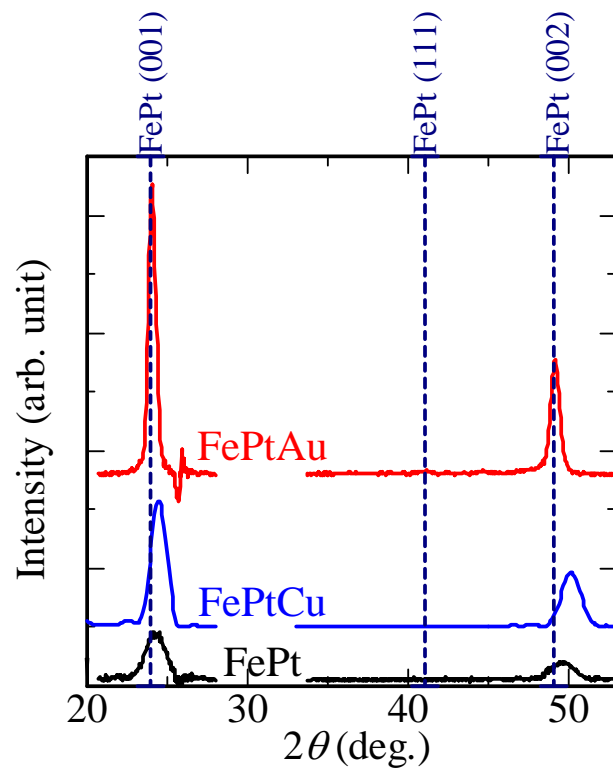


- ▶ 基板 結晶化ガラス基板 (OHARA : TSCZ)
- ▶ 試料堆積速度 0.5 nm/min
- ▶ スパッタリングガスAr 0.4 mTorr
- ▶ 水素アニール 2時間、600 °C

X線回折図(600 °Cアニール)

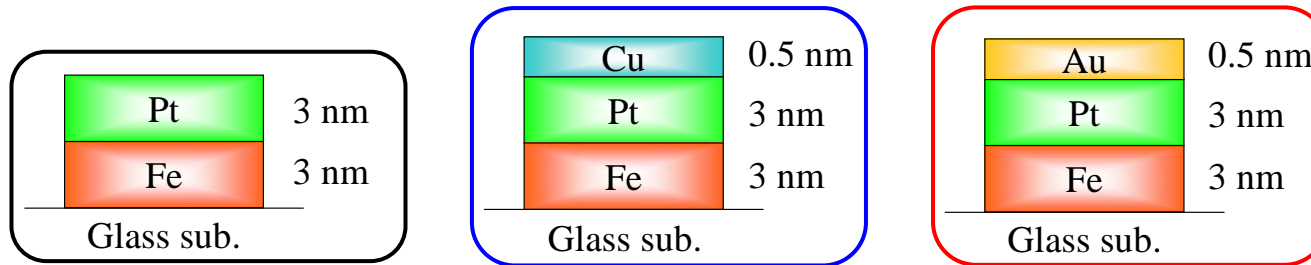


水素アニール
2時間、600 °C

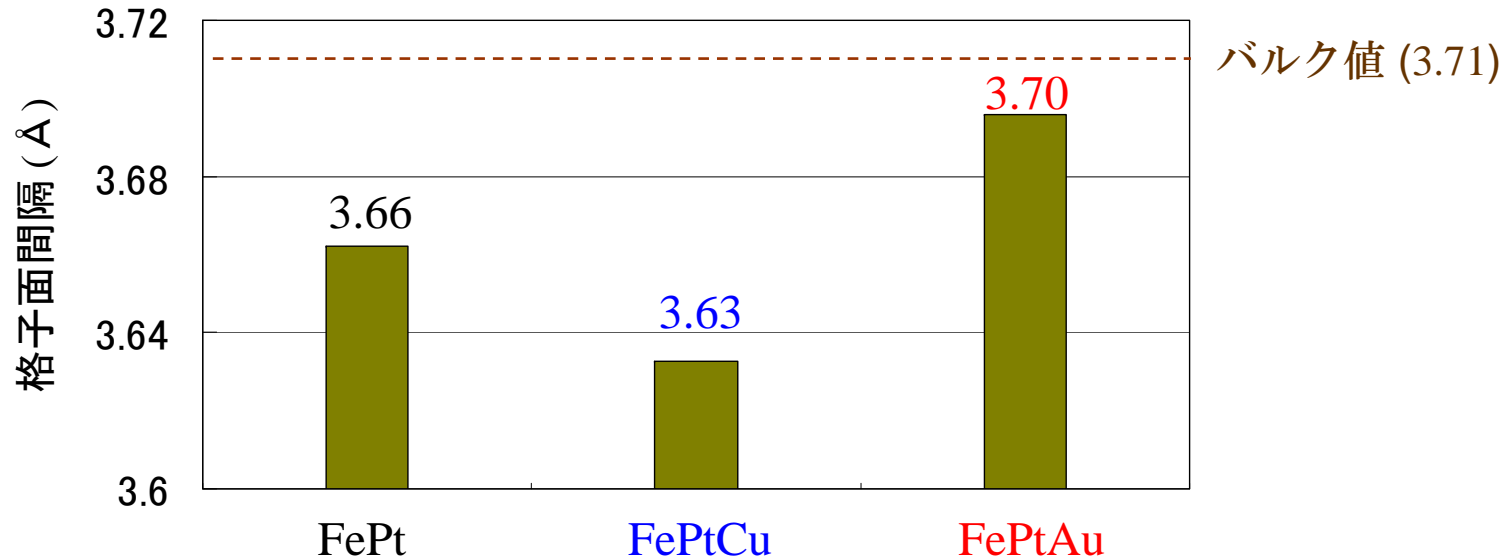


第三元素添加膜は非常に高いFePt(001)積分強度

FePt(001)面の格子面間隔



水素アニール
2時間、600 °C



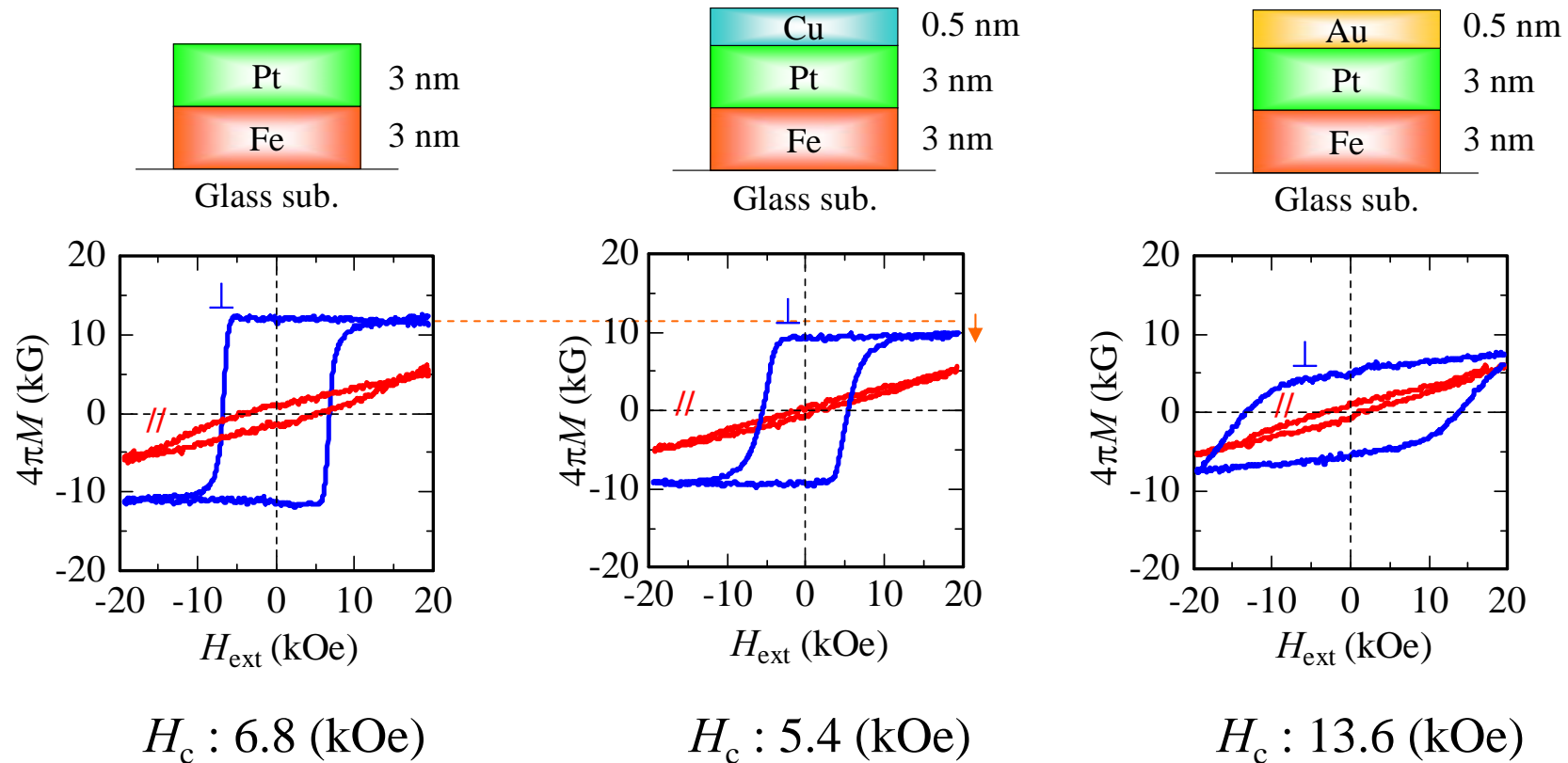
FePt : c 軸方向への圧縮応力

FePtCu : CuがFeと置換することにより c 軸方向へ圧縮

FePtAu : 圧縮応力の解放

M-Hカーブ(600 °Cアニール)

水素アニール
2時間、600 °C



FePtCuの飽和磁化が減少

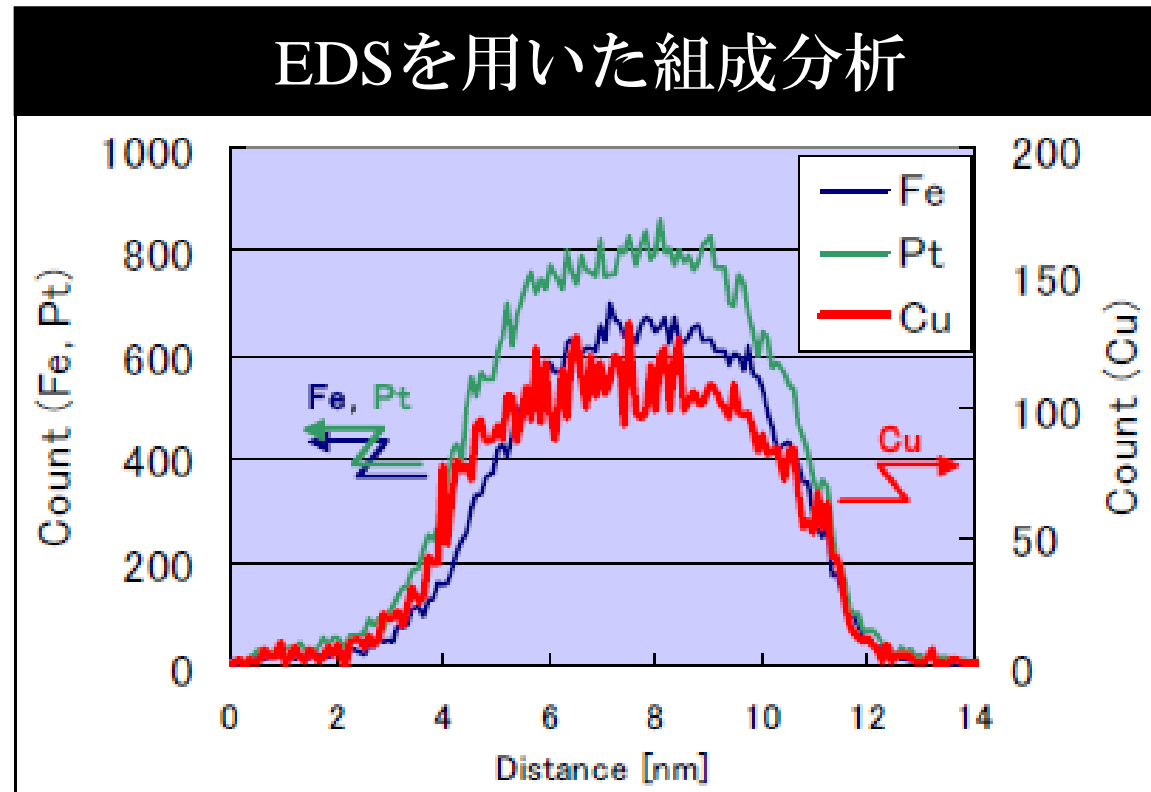
FePtAuの垂直保磁力が増加

FePtCuの膜厚方向における組成分布

Cu	0.5 nm
Pt	3 nm
Fe	3 nm

Glass sub.

水素アニール
2時間、600 °C



基板

試料表面

Cu が膜全体で均一に拡散

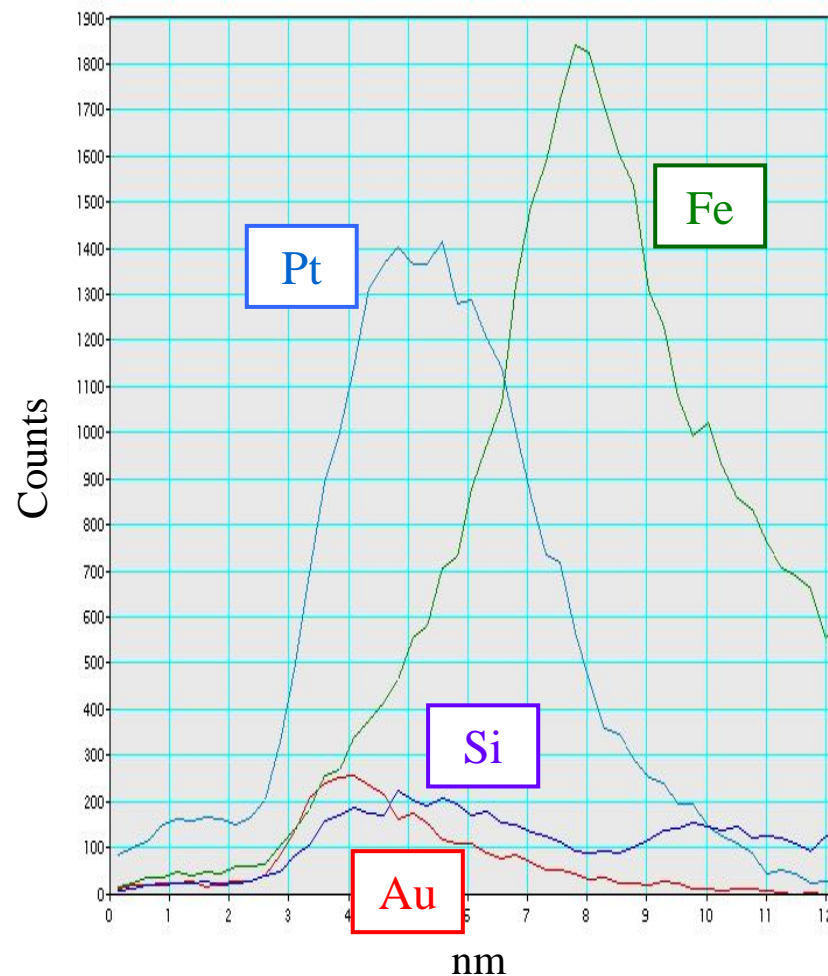
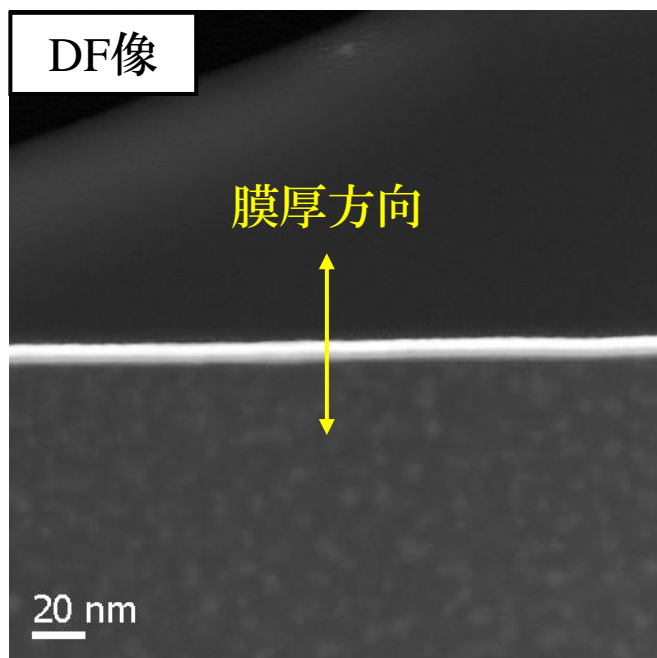
21

FePtAuの膜厚方向の組成分布(アニール前)

Au	0.5 nm
Pt	3 nm
Fe	3 nm

Glass sub.

アニール前
膜厚方向



試料表面

基板

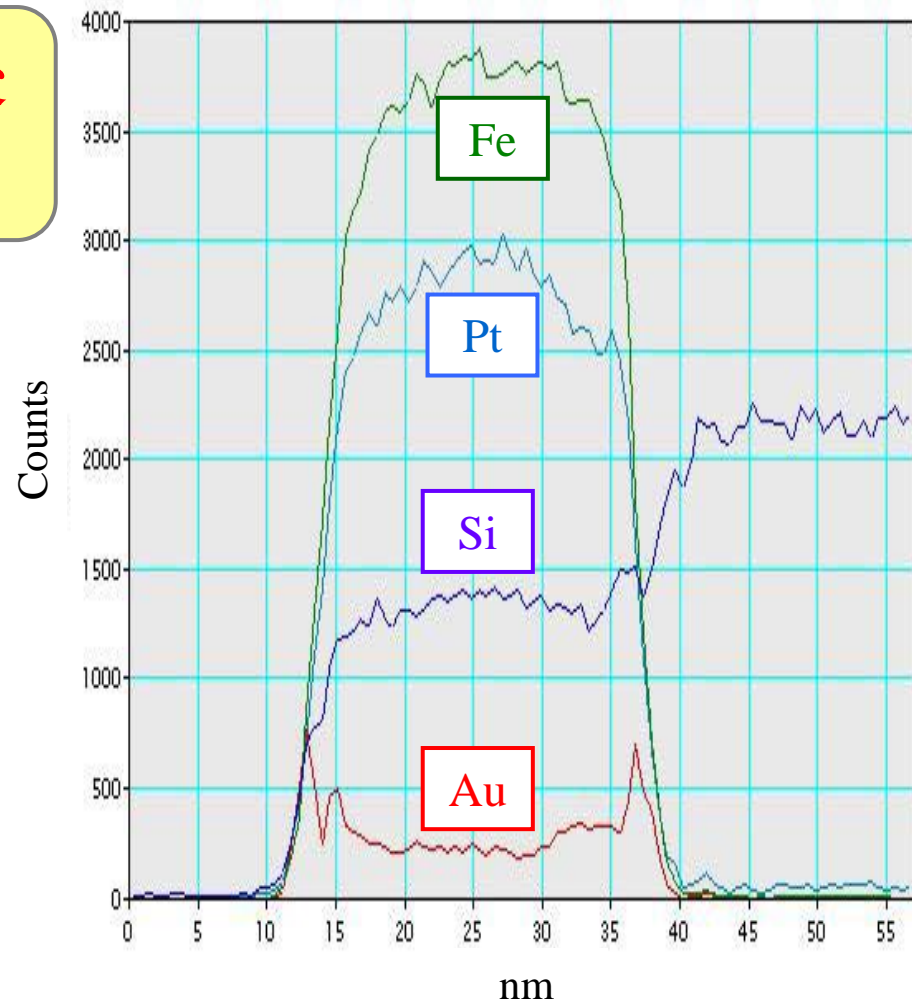
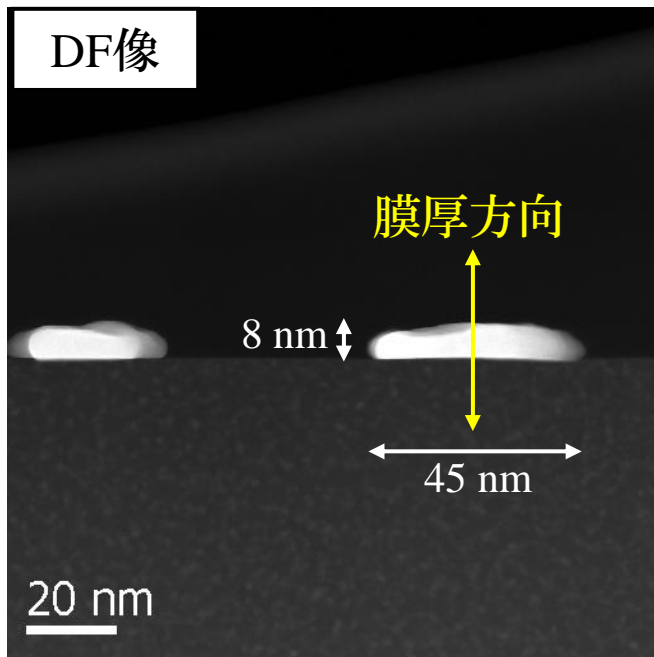
EDS組成分布より予想通りの膜構成

FePtAuの膜厚方向の組成分布(アニール後)

Au	0.5 nm
Pt	3 nm
Fe	3 nm

Glass sub.

アニール後
膜厚方向



試料表面

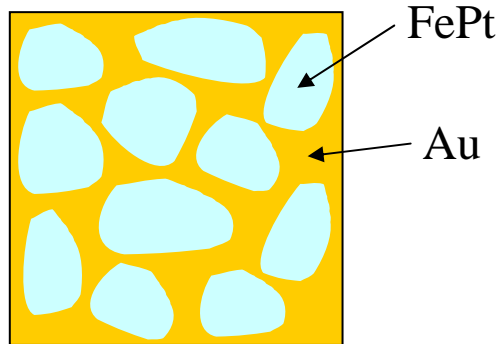
基板

膜が島状に凝集(膜厚増加)

Auが膜の上下に偏析
Siも膜中に拡散

Au添加時の保磁力増加メカニズム

AuはFePtの格子に入り込まず
マトリックス構造をとる



● AuはFeとPtに対して非固溶

● 粒界への析出は磁壁の
ピン止め作用がある

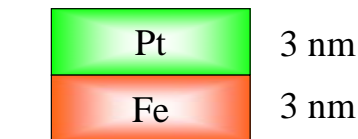
非磁性のAuによってFePtが粒分離される



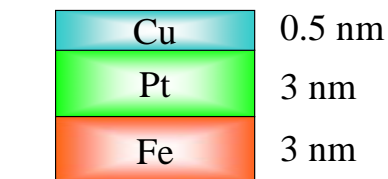
微粒子性磁化反転機構による保磁力の増大？

温度に対する磁気特性

水素アニール
2時間、600 °C



Glass sub.



Glass sub.

Temperature (°C)

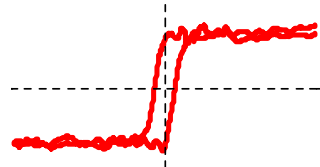
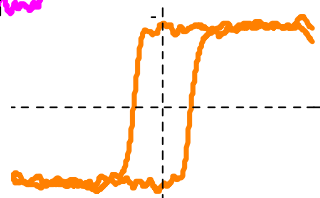
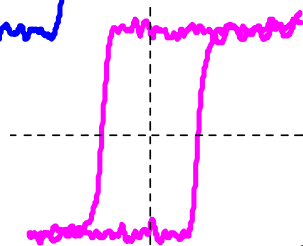
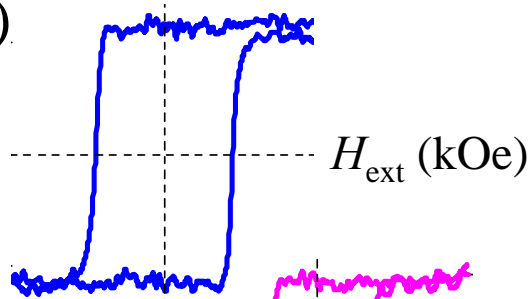
R.T.

150

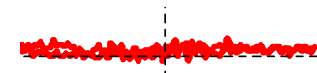
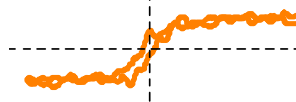
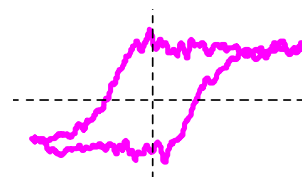
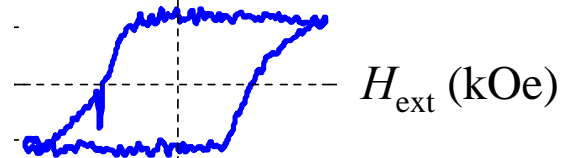
240

300

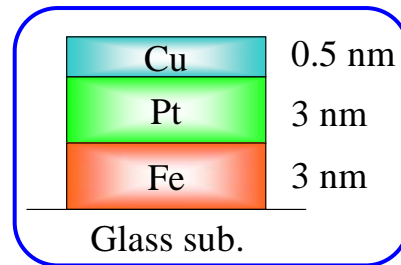
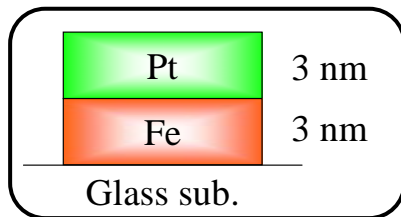
$4\pi M$ (kG)



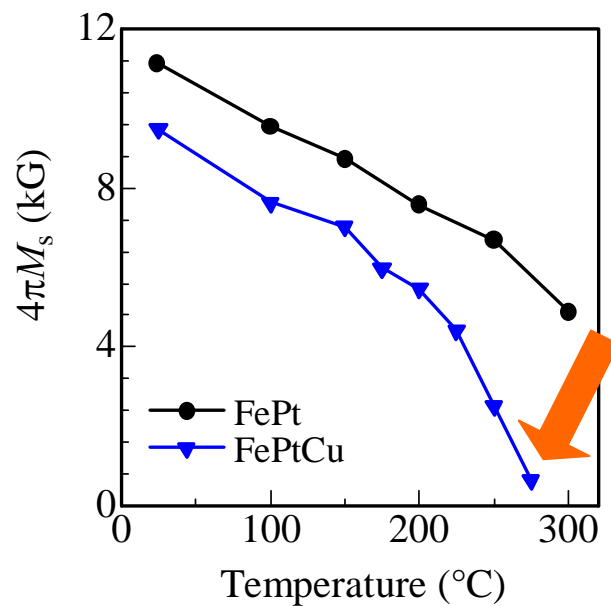
$4\pi M$ (kG)



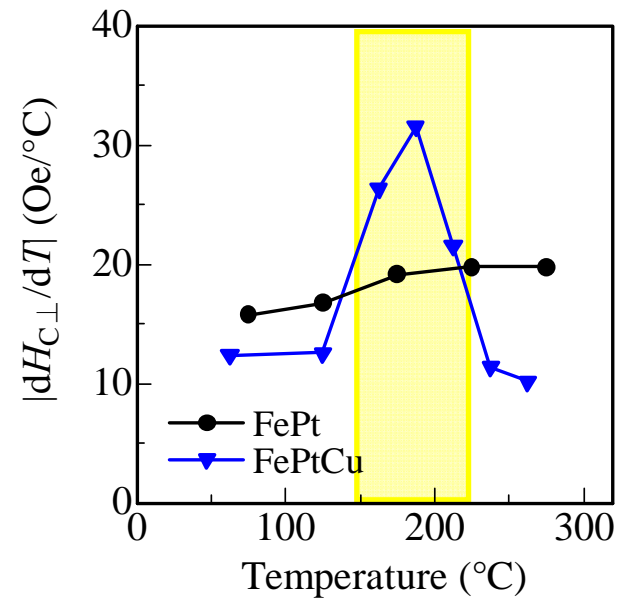
温度に対する磁気特性



水素アニール
2時間、600 °C

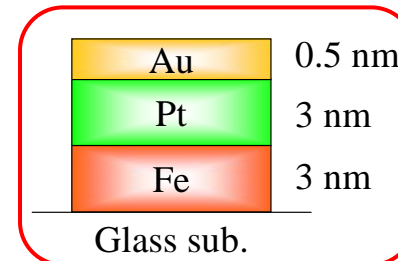
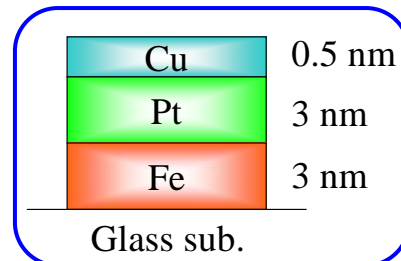
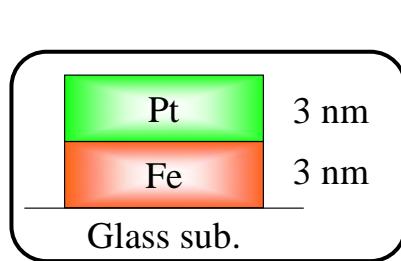


キュリー温度の減少

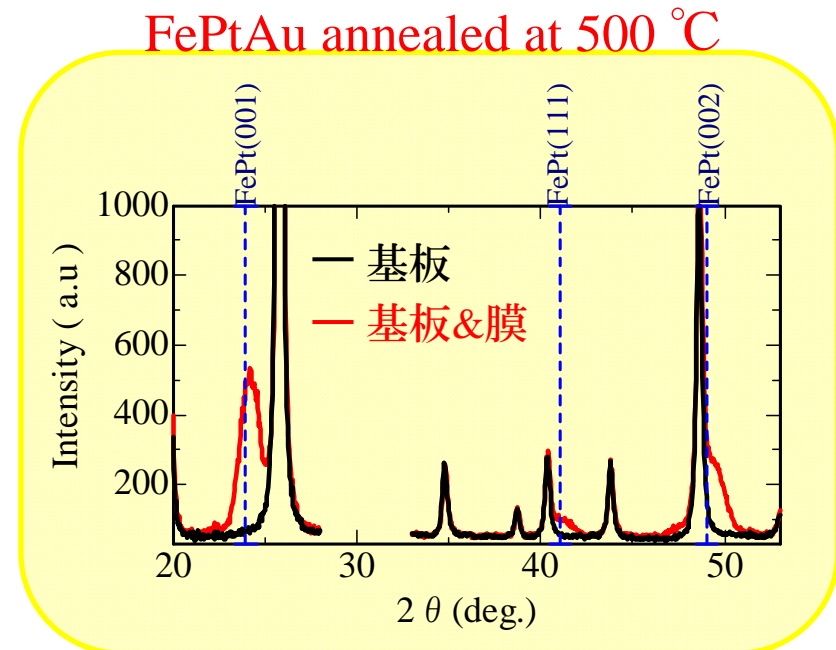
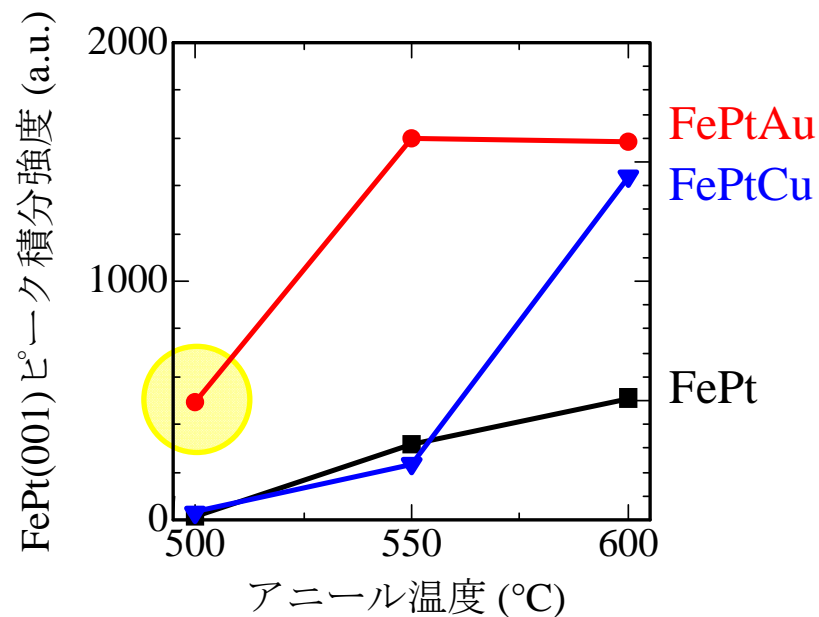


200 °C付近における
急峻な温度変化

FePt(001)ピーク積分強度(アニール温度変化)

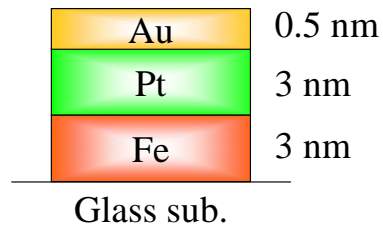


水素アニール
2時間、 $X^{\circ}\text{C}$



Au添加膜において規則化温度を500 °Cに下げること成功

アニール温度変化時のFePtAuのAFM画像

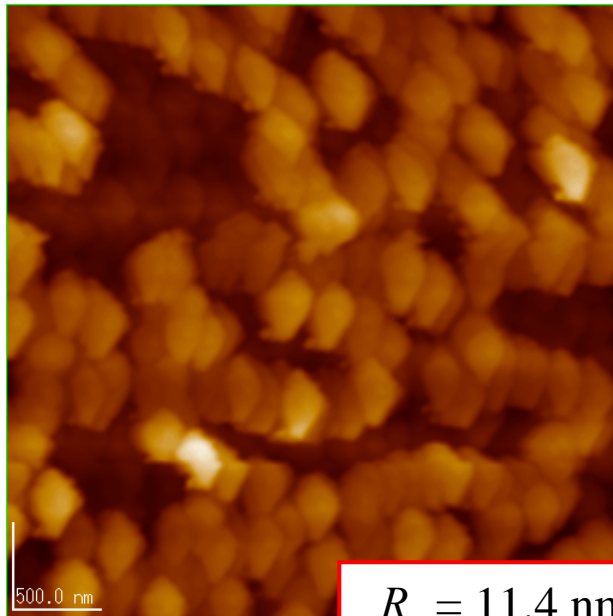


水素アニール
2時間、 $X^{\circ}\text{C}$

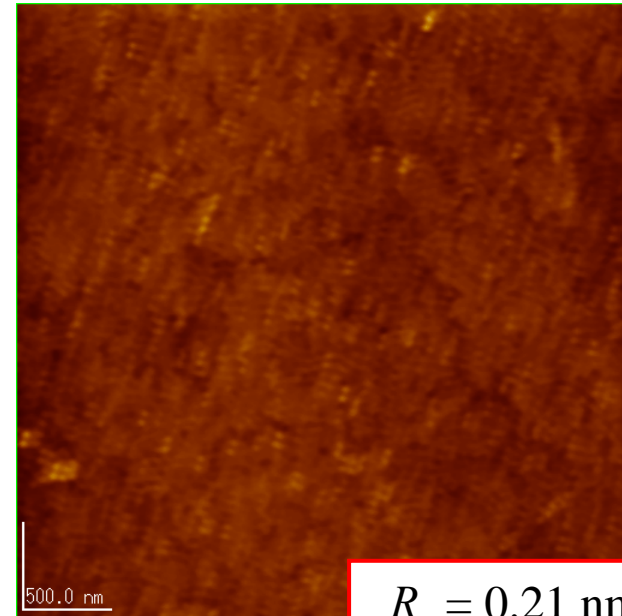
スケール

$3.5 \times 3.5 \mu\text{m}$

600°C

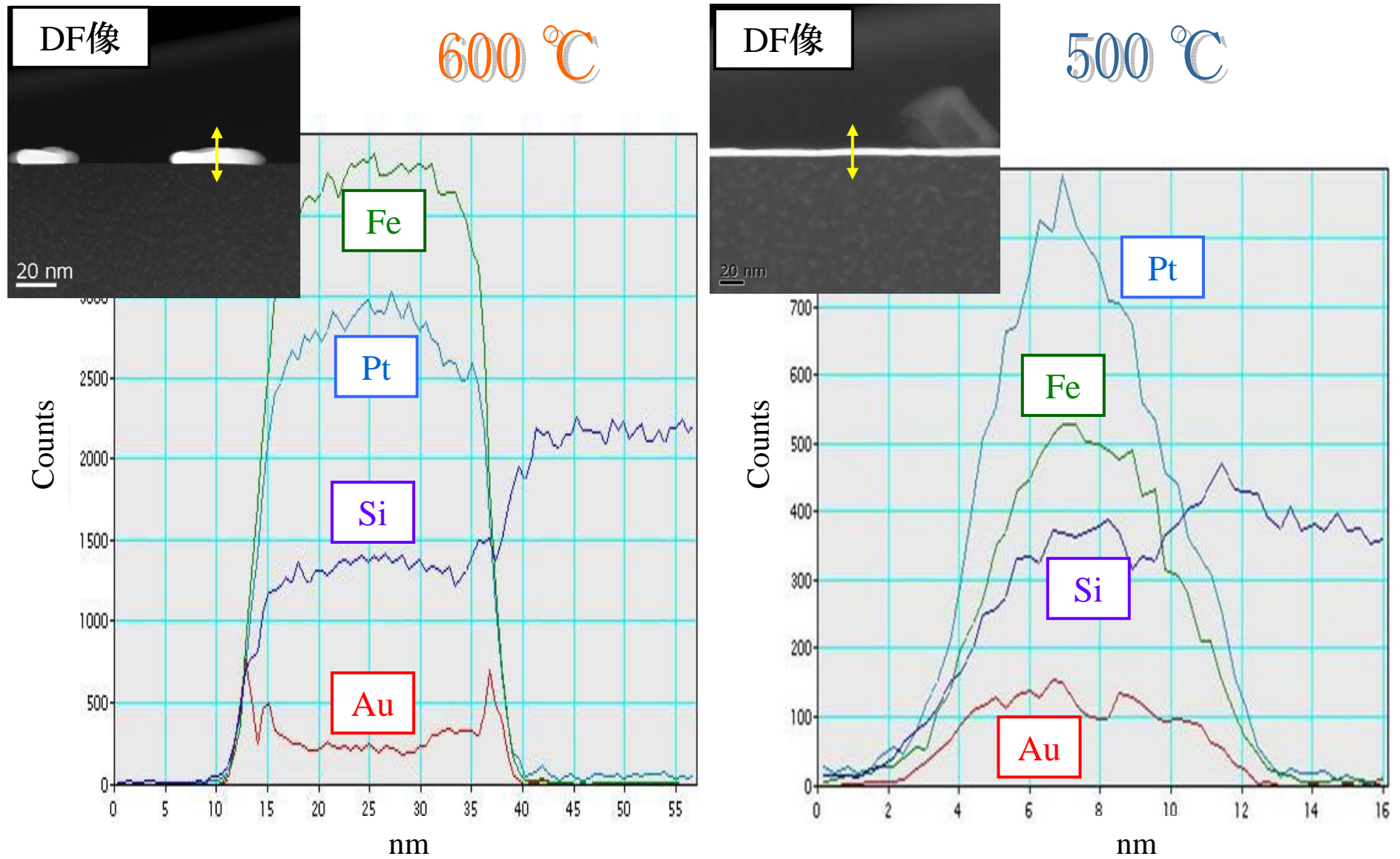


500°C



500°Cアニール時において表面粗さが激減

アニール温度変化時のFePtAuの膜厚方向の組成分布



500 °Cにおいては島状構造やAuの膜上下への偏析は見られない

● Fe/Pt/X三層膜による第三元素の添加効果を確認

- ▶ 第三元素を添加した膜のFePt(001)ピーク積分強度が増加
- ▶ FePtAuにおいて23.6 nmという結晶子サイズを実現
- ▶ Au添加膜の垂直保磁力は他の2つの膜に比べて増加
- ▶ Cu添加によりキュリー温度の低減と急峻な熱応答性を実現

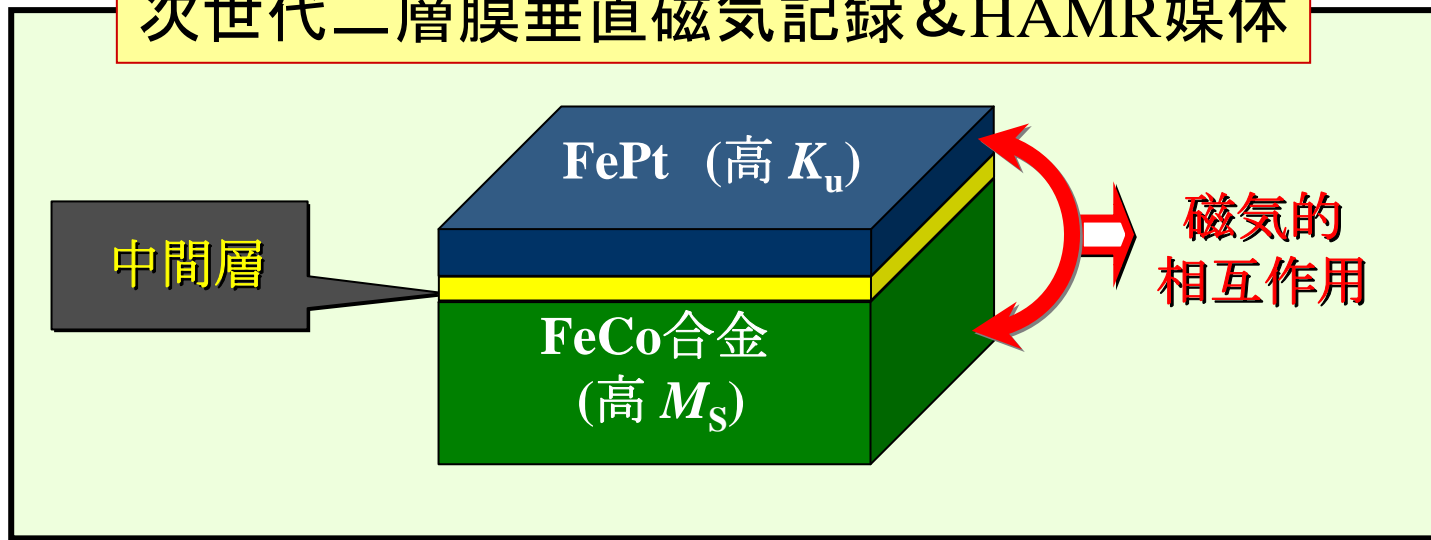
● アニール温度変化時のFePtXの特性変化

- ▶ Au添加により規則化温度を500 °Cに低減させることに成功
- ▶ アニール温度を500 °Cに下げることにより R_a 低減を実現

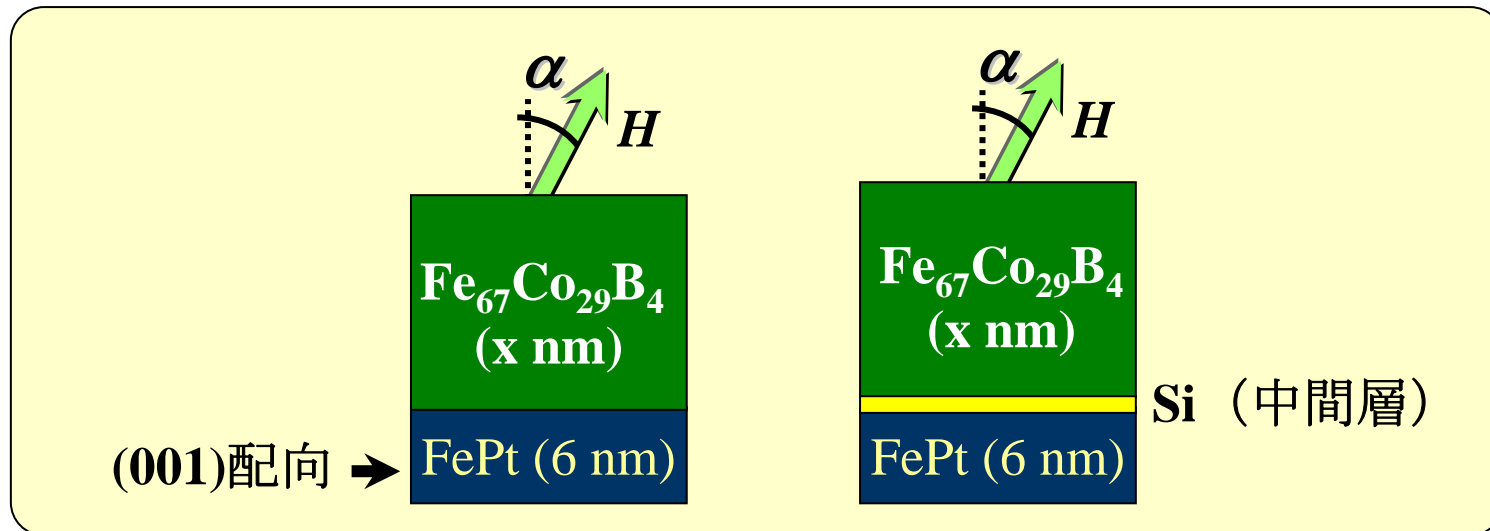
- 1 Fe/Pt二層膜によるc-軸配向FePt規則合金膜
- 2 Fe/Pt/X三層膜による第三元素の添加効果
- 3 異常Hall効果によるFePt合金膜の磁化過程解析と裏打ち軟磁性層との磁気結合評価

層間の磁氣的相互作用評価

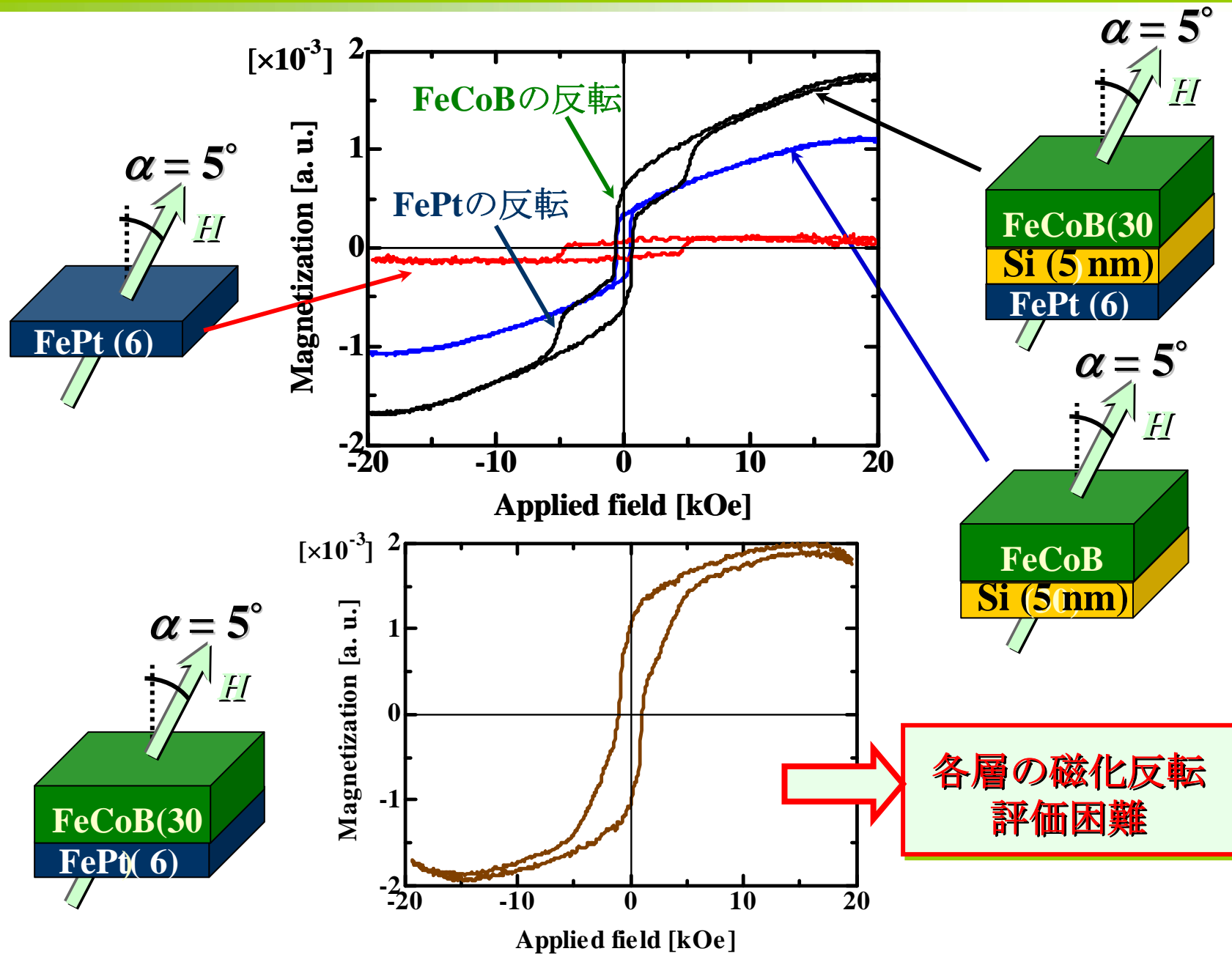
次世代二層膜垂直磁気記録 & HAMR媒体



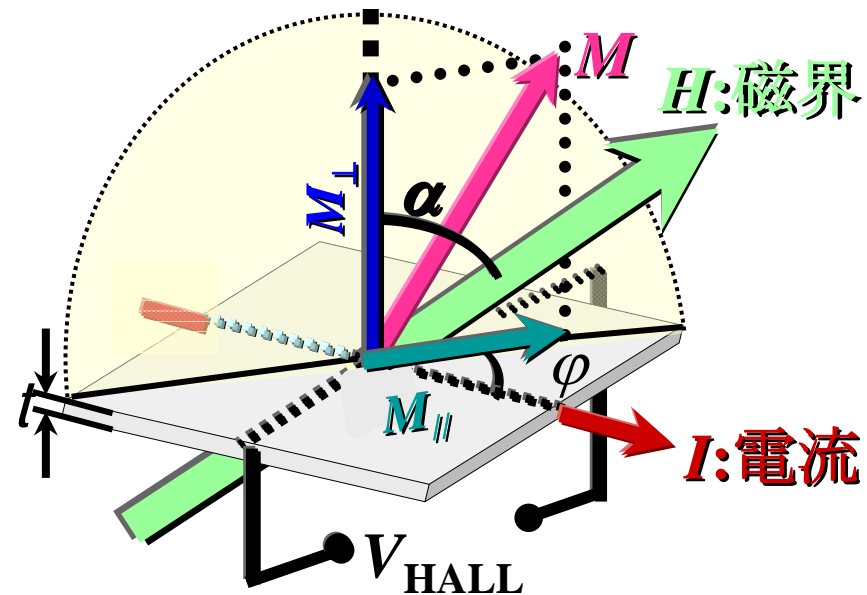
軟磁性層付与によるスイッチング磁界制御の基礎実験



FeCoB層からFePt層への影響(VSMによる評価)



強磁性薄膜のホール効果



$$V_{\text{HALL}} = R_{\text{AHE}} \frac{IM_{\perp}}{t} + R_{\text{PHE}} \frac{I(M_{\parallel})^2 \sin(2\varphi)}{t}$$

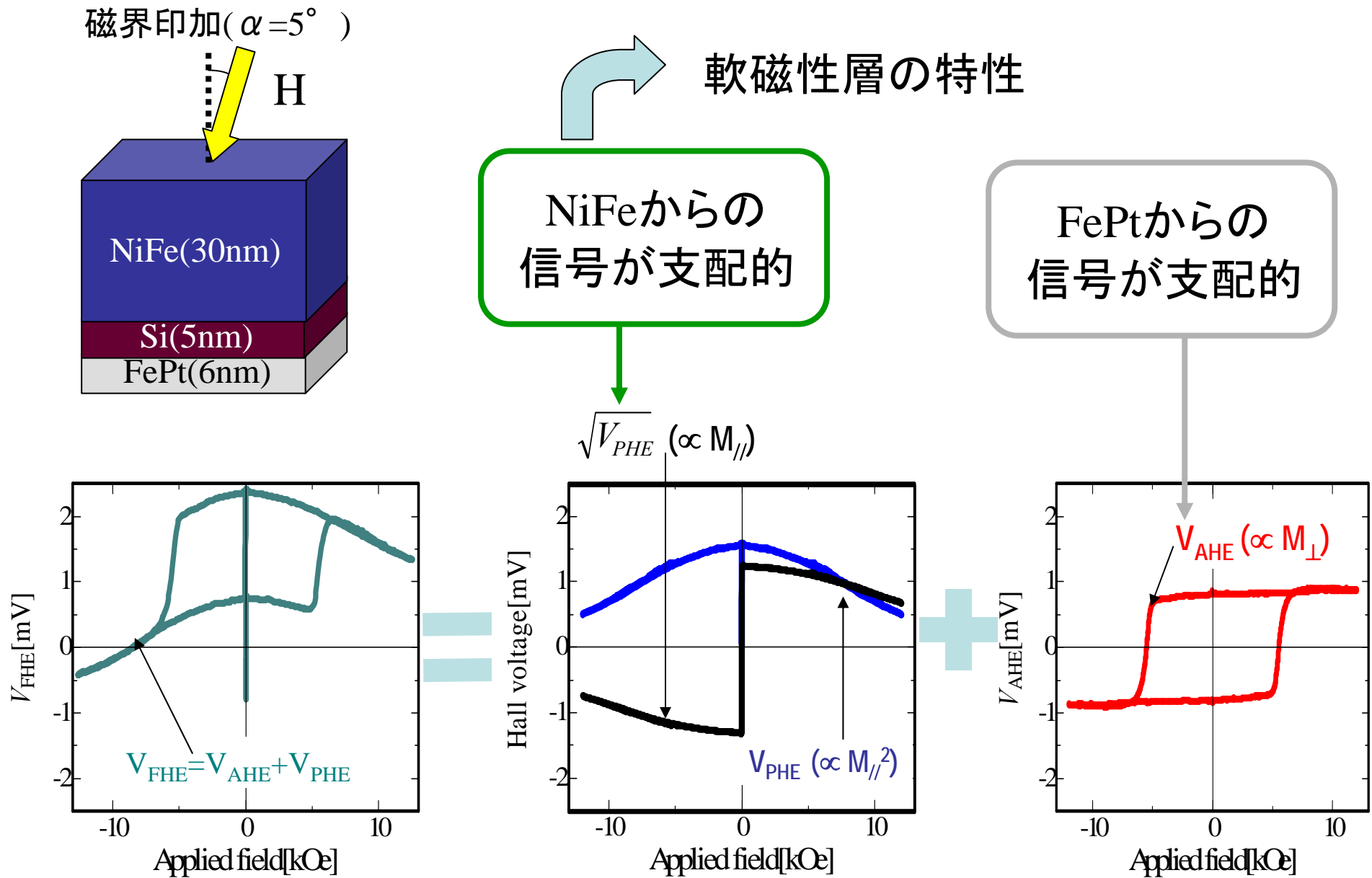
異常ホール電圧 (V_{AHE})
面内ホール電圧 (V_{PHE})

膜厚に反比例

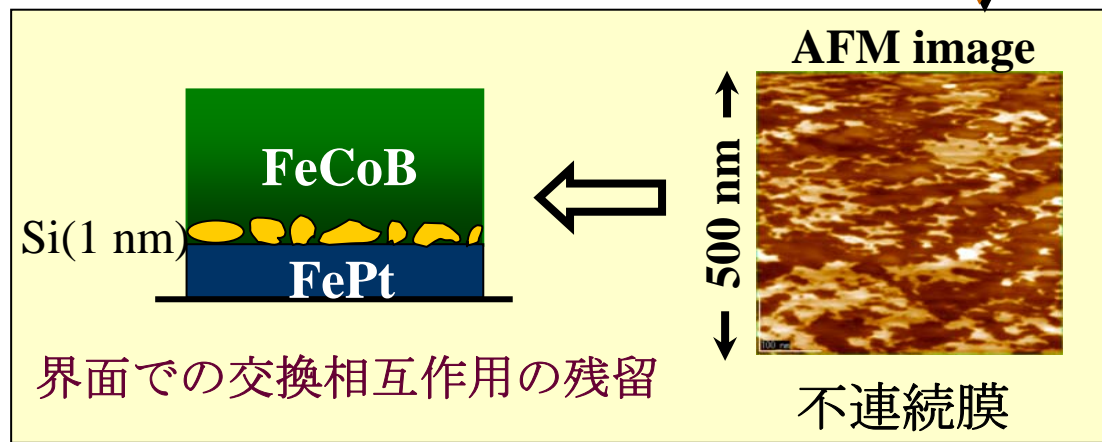
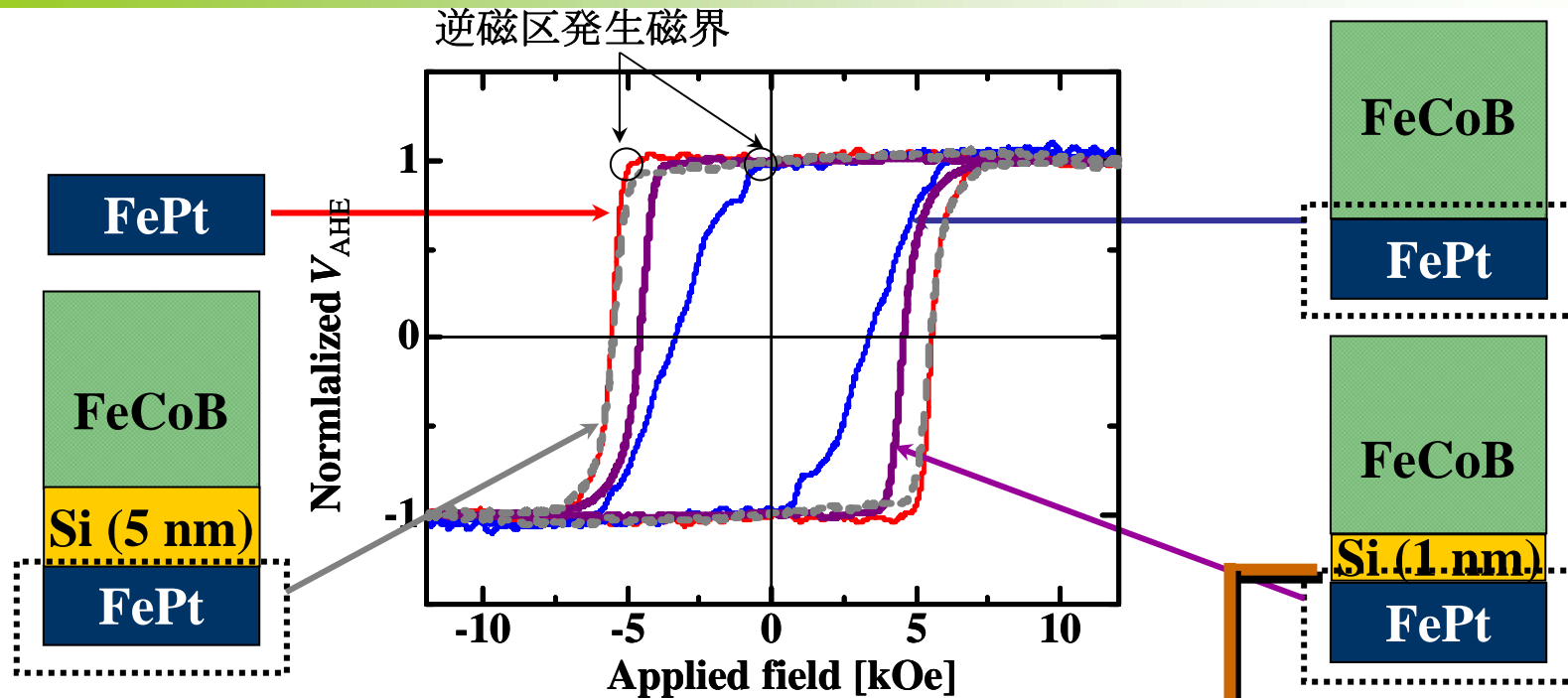


極薄膜測定に有効

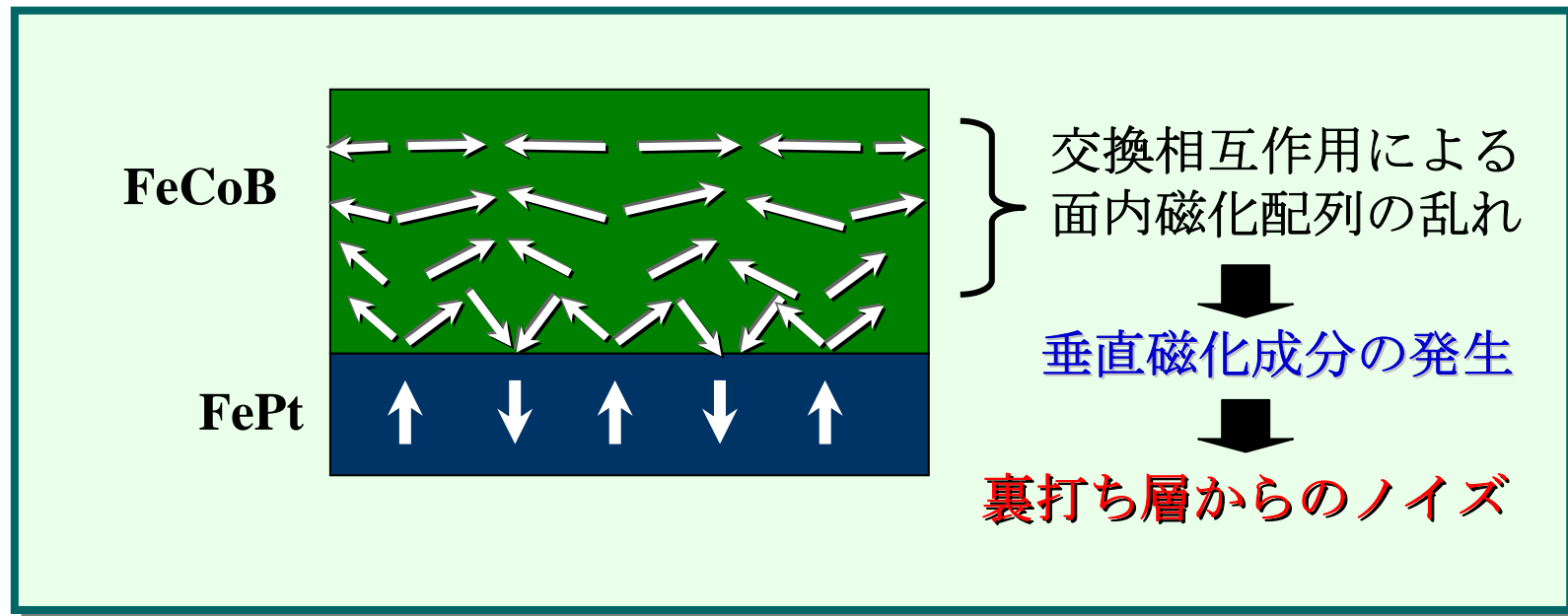
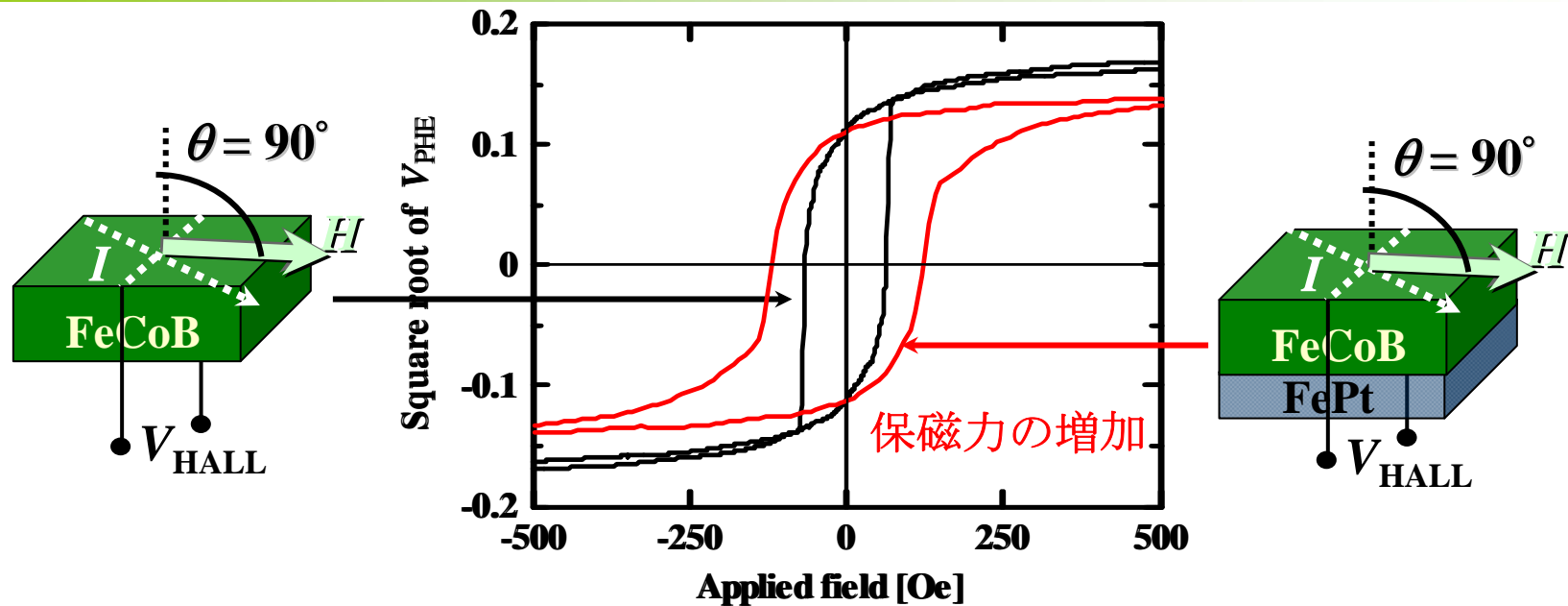
強磁性Hall効果による軟磁性層の特性の抽出



FeCoB層からFePt層への影響



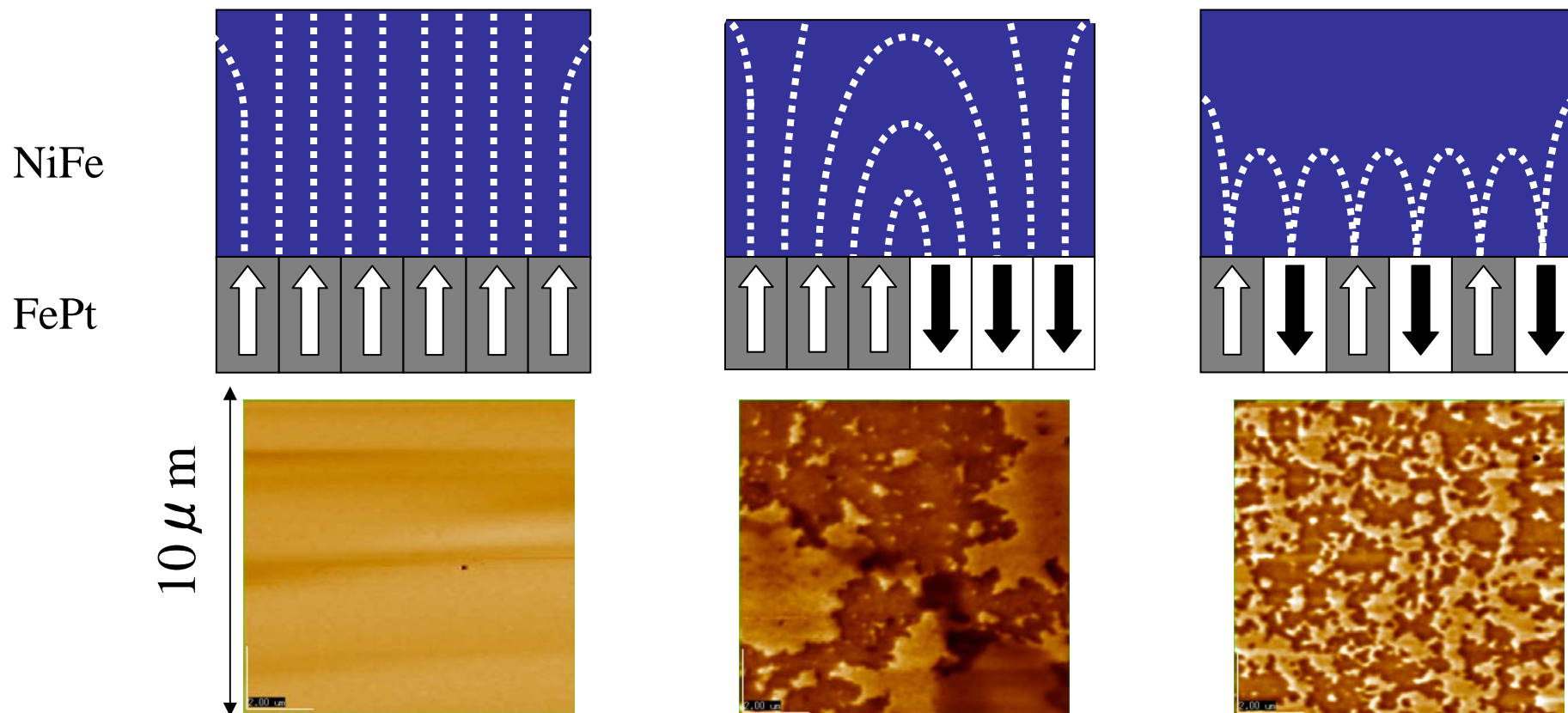
FePt層からFeCoB層への影響



飽和

DC消磁

AC消磁



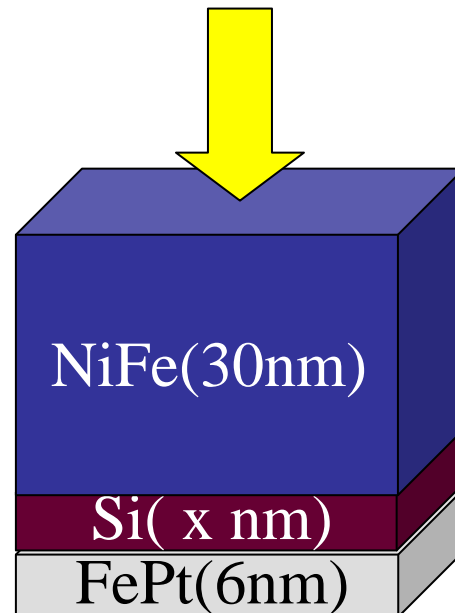
MFM images of FePt single layer

NiFe/Si/FePt Si中間層厚依存性

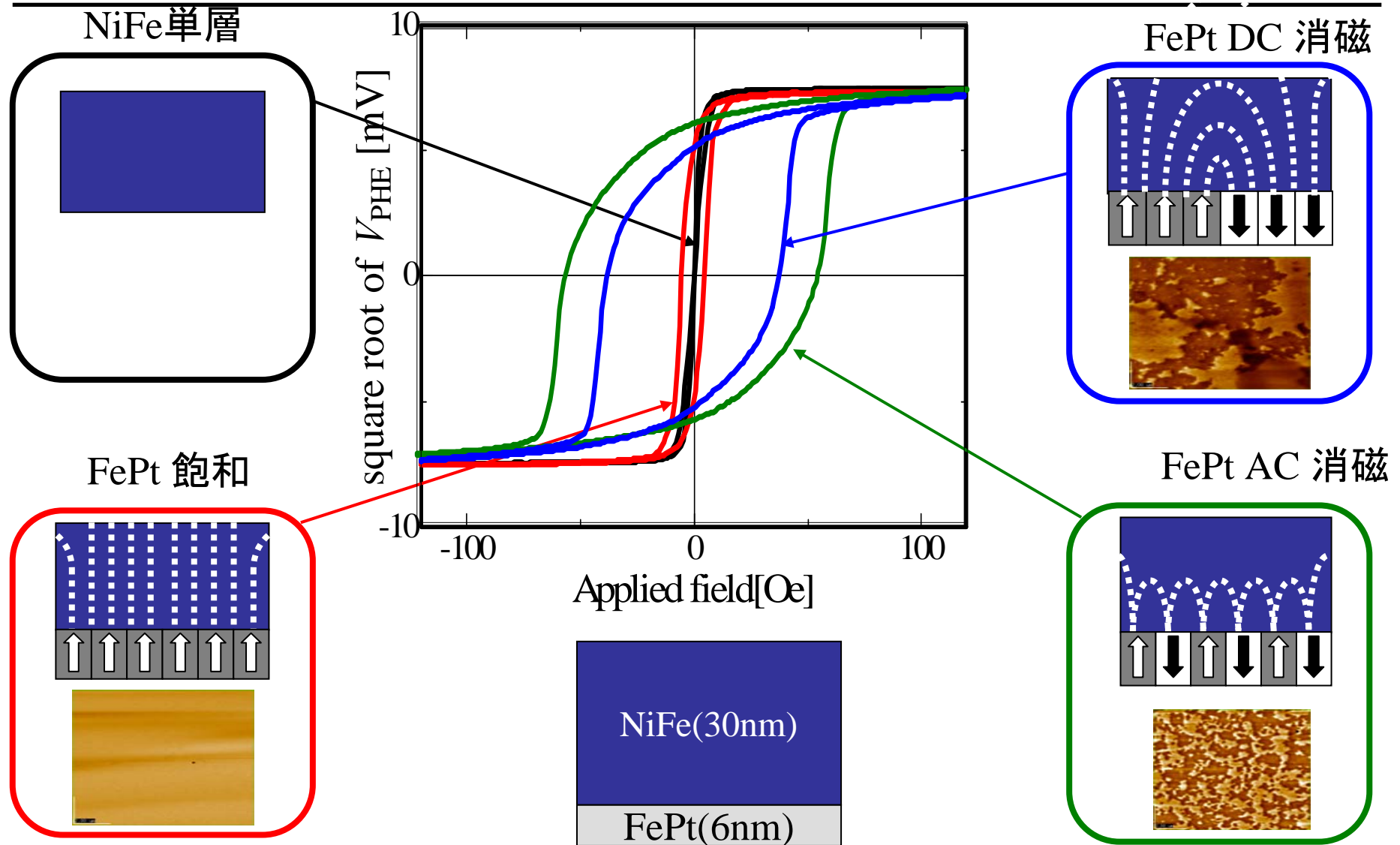
① FePtの磁化状態を変化させる

 $H (\alpha = 0^\circ)$

- 飽和
- DC消磁
- AC消磁

 $H (\alpha = 90^\circ)$ ② 測定
ただし $H < 500 [\text{Oe}]$ FePtの磁化状態を
変化させないようにするため

NiFe(30nm)/FePt(6nm)



FePtの磁化状態によって保磁力が変化

● Fe/Pt/X三層膜による第三元素の添加効果を確認

- ▶ 第三元素を添加した膜のFePt(001)ピーク積分強度が増加
- ▶ Au添加膜の垂直保磁力は他の2つの膜に比べて増加
- ▶ Cu添加によりキュリー温度の低減と急峻な熱応答性を実現

● アニール温度変化時のFePtXの特性変化

- ▶ Au添加により規則化温度を500 °Cに低減させることに成功
- ▶ アニール温度を500 °Cに下げることにより R_a 低減を実現

● 記録層-裏打ち層間の磁氣的相互作用

- ▶ 記録層/裏打ち層界面での強い交換相互作用（直接接合膜）
 - 記録層 ⇒ 磁化反転機構の変化の検出
 - 裏打ち層 ⇒ 軟磁気特性の劣化

本研究の一部はSRC(情報ストレージ研究推進機構)の援助を得てなされたものであり、関係者各位に感謝いたします。

また、結晶化ガラス基板をご提供をいただいた(株)オハラの山口勝彦氏と各種の分析を行っていただいたTDKの大川秀一氏と野口潔氏に感謝いたします。