

X線反射率、回折による MnIr交換結合膜の磁気構造評価

株式会社 富士通研究所 土井 修一

MnIr合金膜は、他の反強磁性材料に比べて交換バイアスが大きく、交換バイアス発生の最小膜厚も薄いことから、HDDの読み取りヘッドやMRAM用のTMR膜に広く用いられ始めている。交換バイアスの発現機構に関しては、反強磁性/強磁性界面に固着されたピンドスピンモデルやスピンフラストレーションモデルなどが提唱されているが、未だ十分に解明されていない。MnIr/CoFe交換結合膜界面におけるスピンの深さ分布の解明は、交換バイアスの発現機構の解明及び今後の極小磁性デバイスの開発のために重要である。X線共鳴磁気反射率(XRMR)はX線吸収端エネルギーにおける磁気散乱効果を利用することでスピンの深さ分布の元素別評価が可能な方法であり、今回MnIr/CoFe交換結合膜の評価に適用した。

測定試料として、スパッタ製膜によりMgO基板/Ru(3nm)/MnIr(3.5nm)/CoFe(4nm)/Ru(3nm)及びMgO基板/Ru(3nm)/MnIr(6nm)/CoFe(8nm)/Ru(3nm)の構造のものを準備した。XRMR測定の準備実験として、電荷散乱強度を決める各層の膜厚や密度などの構造を精度良く決定するために、試料のX線反射率測定をBL16XUにて行った。XRMR測定はBL25SUにおいて行った。Mn L3(640eV)及びCo L3(780eV)の各吸収端において、左右円偏光のX線反射率の差分から磁気散乱効果のデータが得られた。データ解析の結果、MnIr/CoFe交換結合膜におけるMn、Coスピンの深さ分布を決定することができた[1]。測定及び解析結果の詳細について、当日報告する。

[1] Shuuichi Doi, Naoki Awaji, Kenji Nomura, Toko Hirono, Tetsuya Nakamura and Hiroaki Kimura *Appl. Phys. Lett.* 94 (2009)

第6回産業利用報告会
(東京ステーションコンファレンス)
2009.9.3～9.4



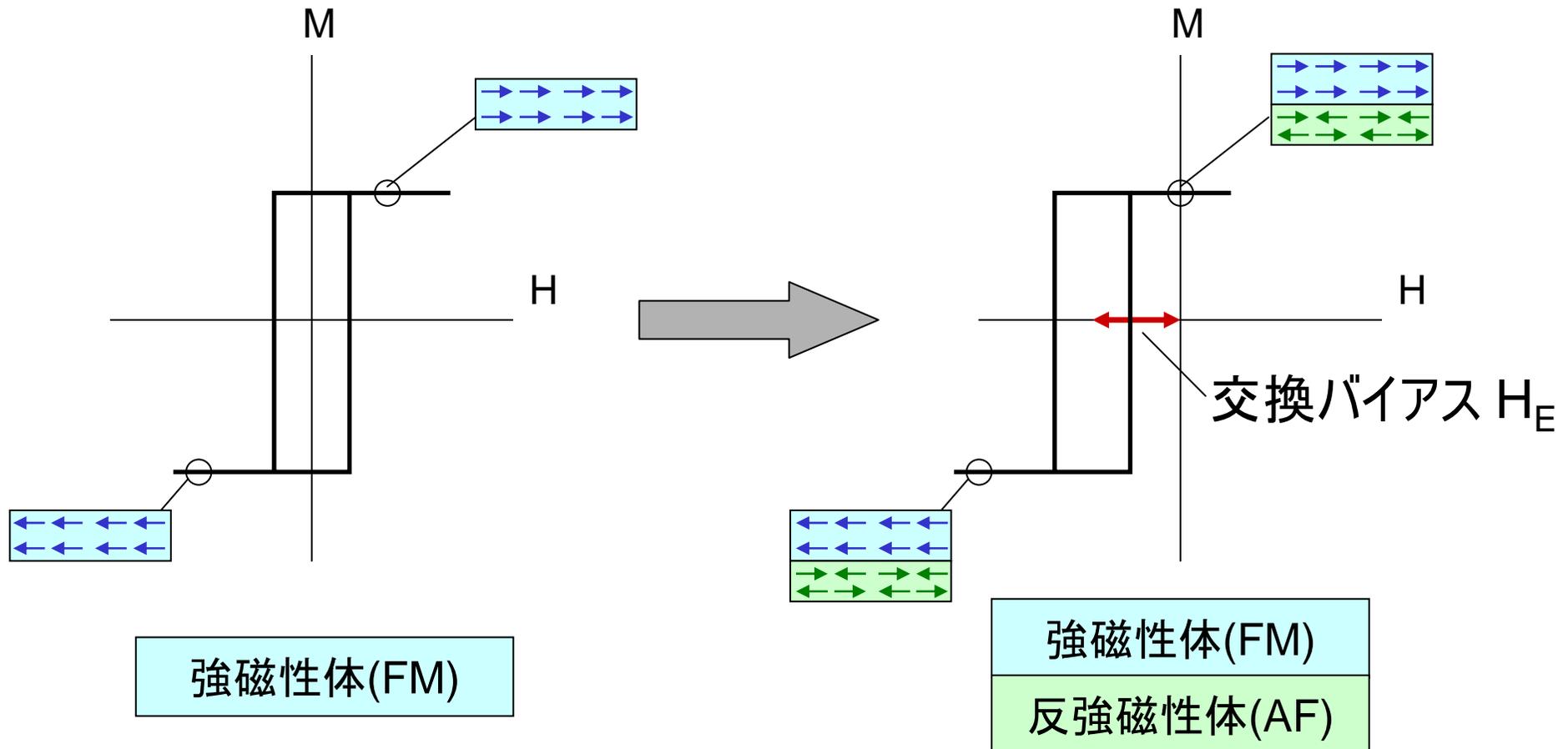
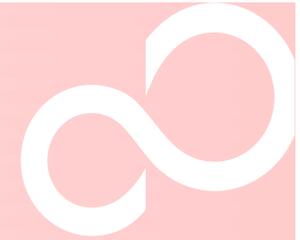
X線反射率、回折による MnIr交換結合膜の磁気構造評価

富士通研究所 土井修一, 野村健二, 淡路直樹
JASRI/SPring-8 広野等子, 中村哲也, 木村洋昭

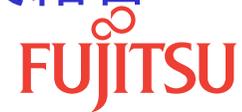
FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

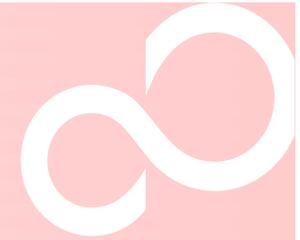
交換結合膜の特性



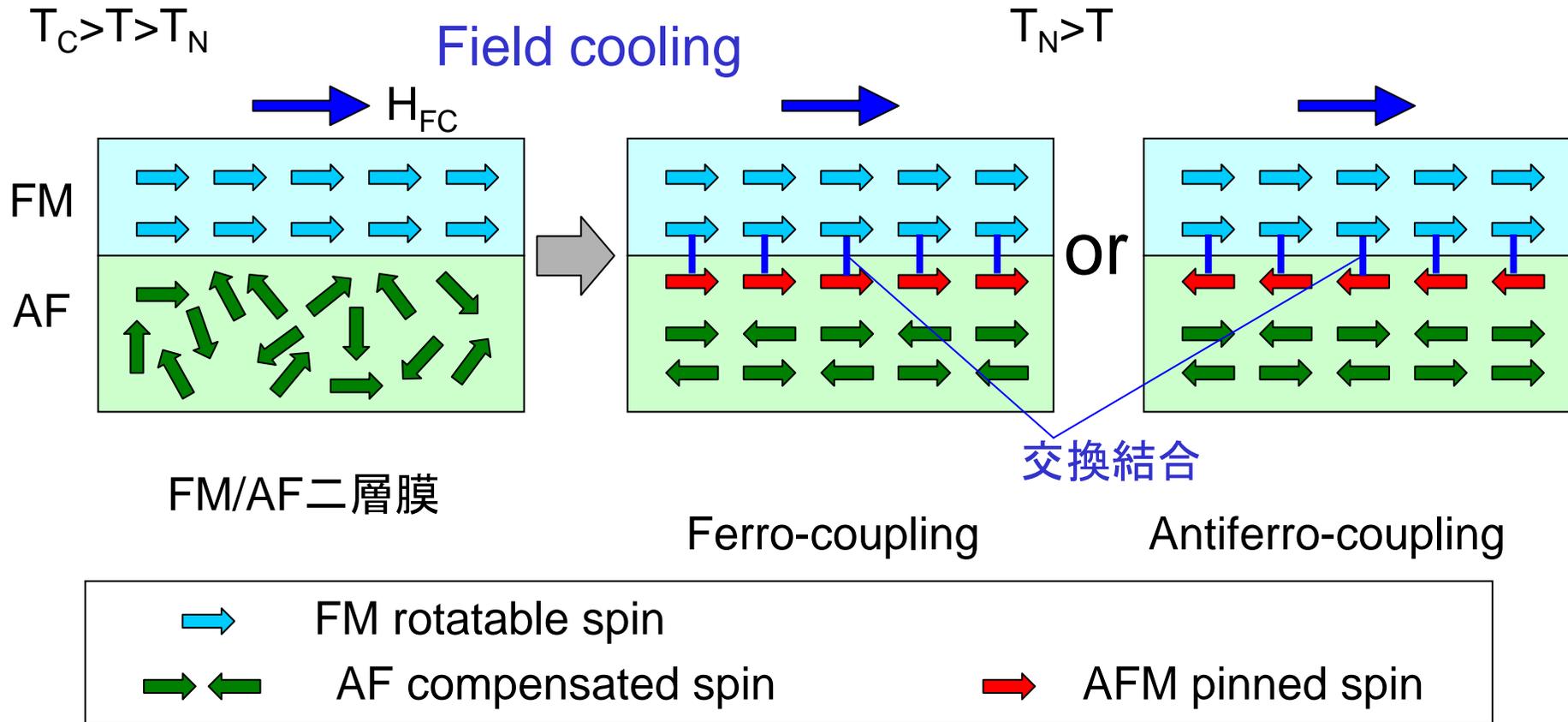
強磁性体(FM)/反強磁性体(AF)の二層膜では、界面に働く交換結合により、交換バイアスが発生し磁気ヒステリシスループがシフトする



交換バイアスのモデル



ピンドスピンモデル



強磁性体(FM)/反強磁性体(AF)界面に固着したピンドスピンの形成される

MnIr/CoFe交換結合膜の特徴



MnIr(反強磁性体) / CoFe(強磁性体)

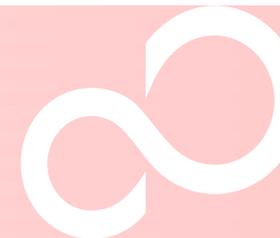
- ・大きな交換バイアスが得られる
- ・MnIrの磁気異方性が高く、膜厚を薄くできる
- ・MnIrの耐蝕性が高く、デバイス製造段階における熱処理に強い

MnIr/CoFe界面でのスピン構造は良く分かっていない

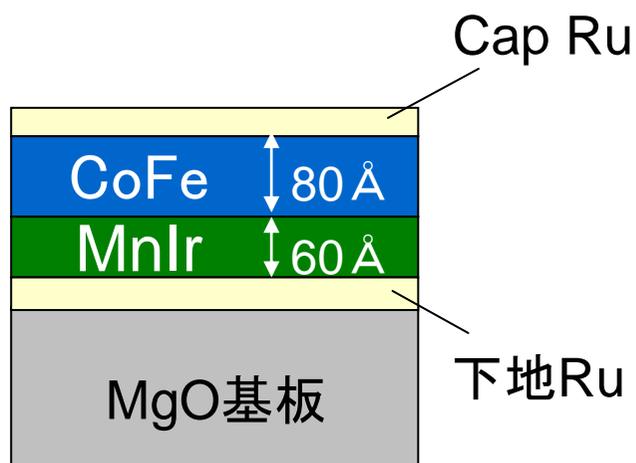
FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

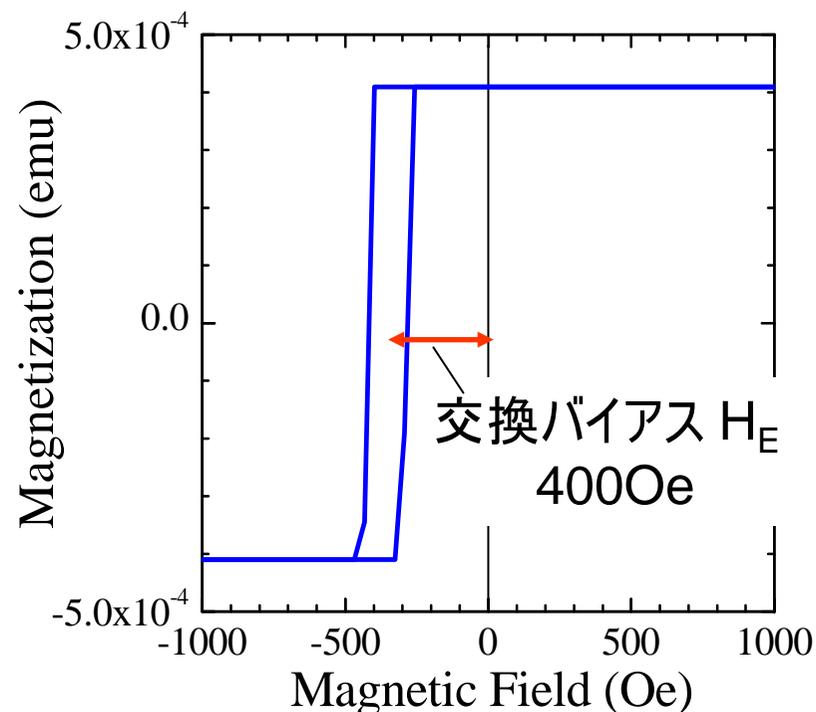
測定試料の膜構造と磁気特性



試料構造



磁気ヒステリシス(VSM)

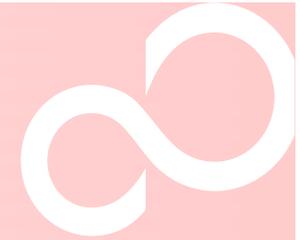


スパッタ条件; 室温

着磁処理; 15kOe磁場中

270°Cで4hour熱処理

測定試料の構造決定



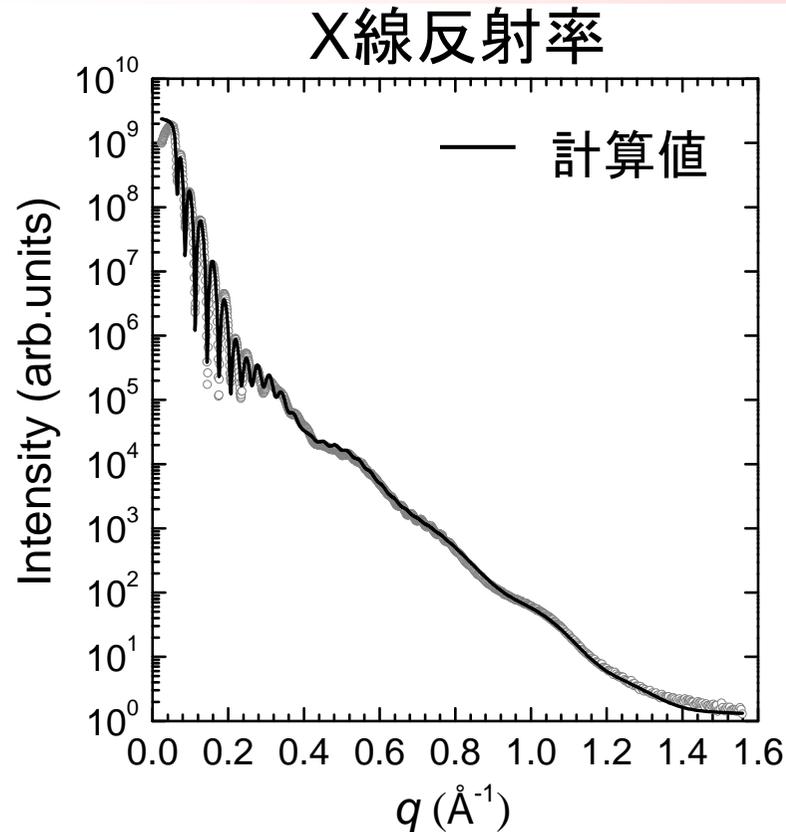
Spring-8 BL16XU

E=8856eVで測定

MnIr膜厚 : 58 Å

CoFe膜厚 : 78 Å

界面凹凸 : 5 Å



8軸X線回折計

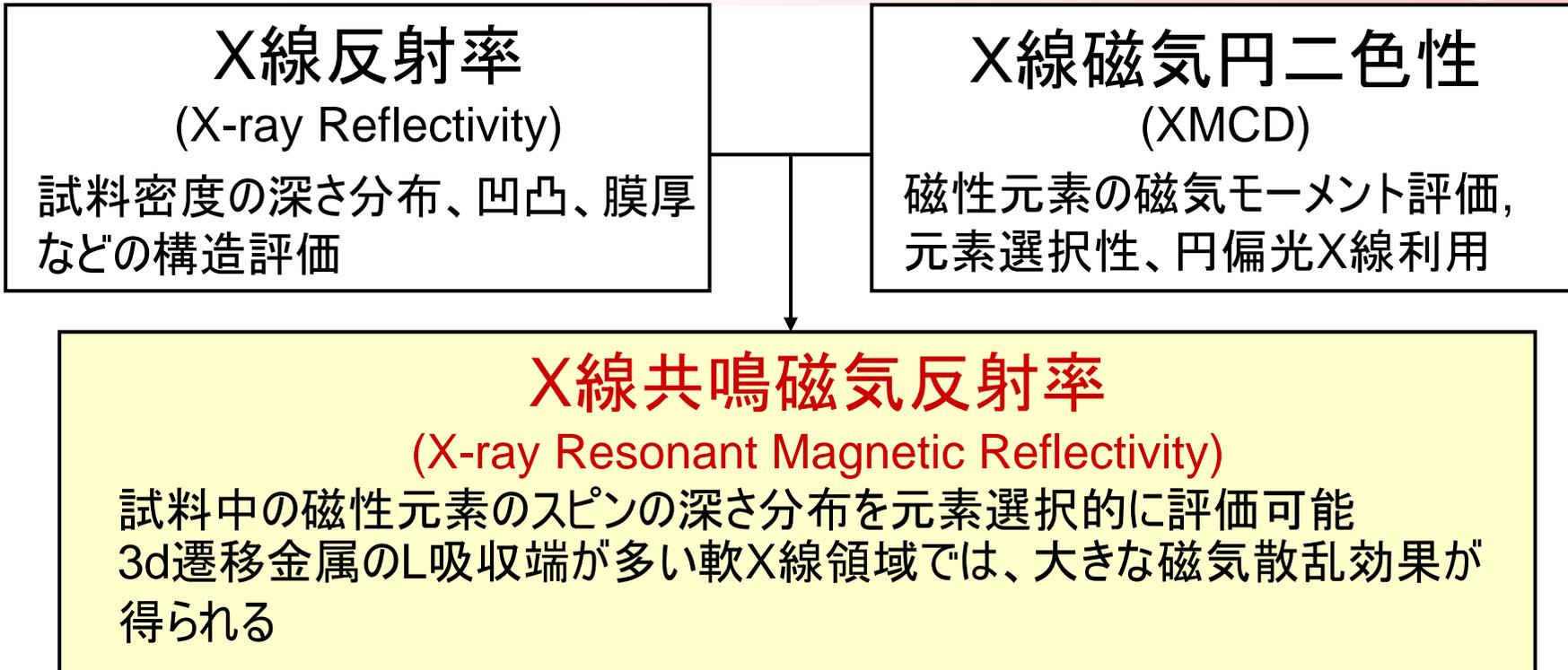
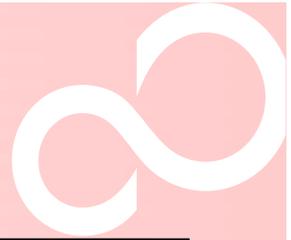


幅広い q レンジの測定データを利用して、試料中各層の電荷散乱に寄与する構造パラメータ(密度、膜厚、凹凸)を精度良く決定した

FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

磁気構造評価のための実験手法



円偏光X線に対する原子散乱因子

$$f_{res} = (\boldsymbol{\varepsilon}_f^* \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_i)(f'_{chg} + if''_{chg}) - i(\boldsymbol{\varepsilon}_f^* \times \boldsymbol{\varepsilon}_i) \cdot \boldsymbol{m}(f'_{mag} + if''_{mag})$$

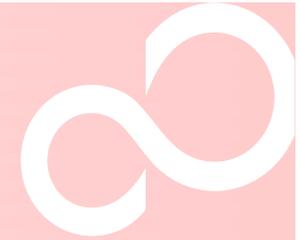
磁気散乱強度

通常条件(非共鳴) $f_{mag} / f_{chg} \approx 4 \times 10^{-6}$ 非常に弱い

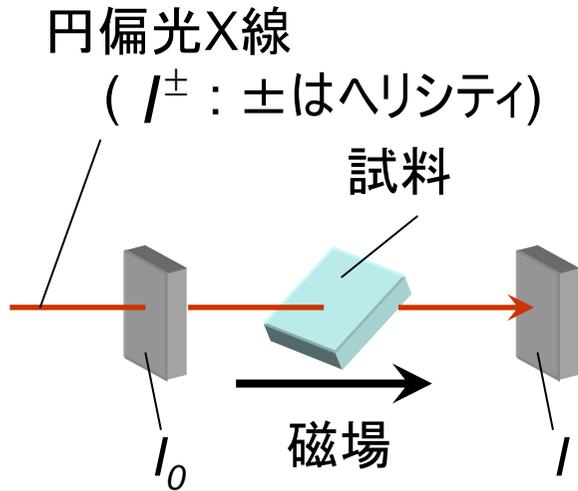
共鳴条件 $f_{res}^{mag} / f_{res}^{chg} \approx 10^{-2} \sim 10^{-3}$ 測定可能(磁性元素)



試料の磁気効果の確認



SPring-8 BL25SU

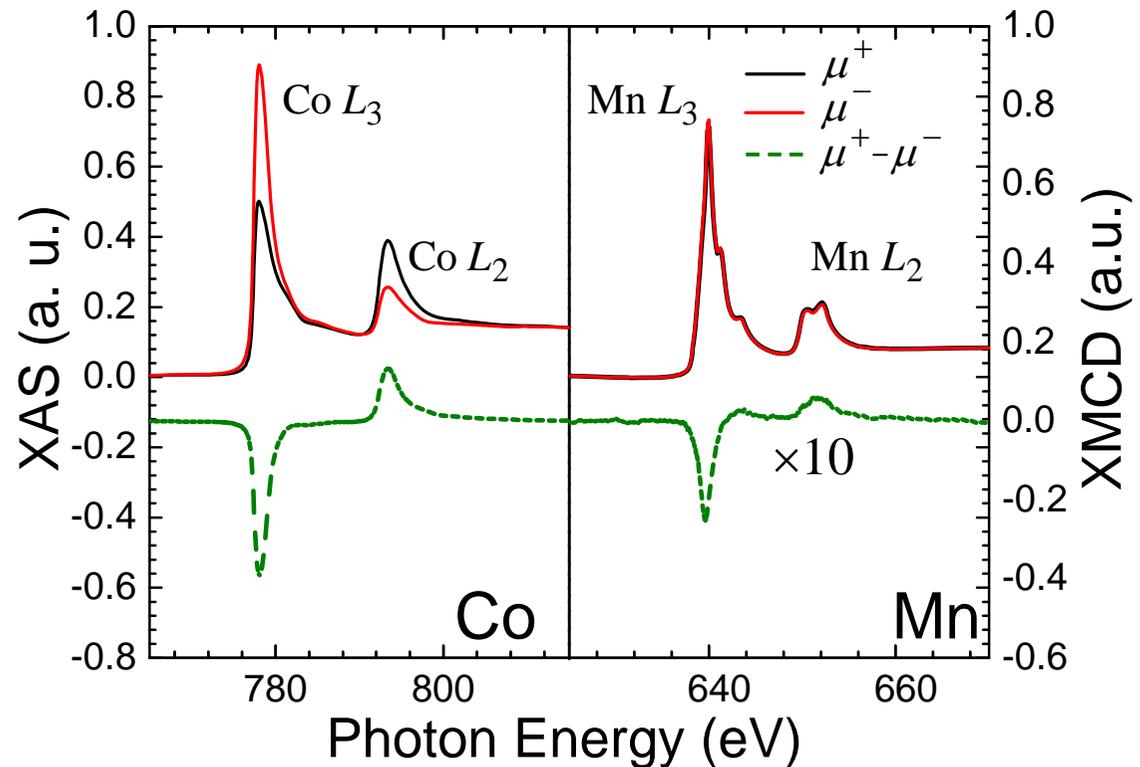


試料によるX線の吸収(XAS)

$$\mu^\pm = -\ln(I^\pm / I_0^\pm)$$

XMCDシグナル

$$\mu^+ - \mu^-$$



反強磁性体のMnIrからのXMCDシグナルが確認できた

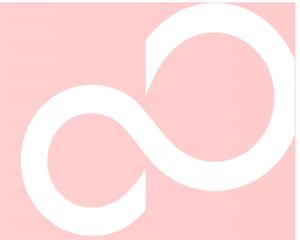


MnIr中に非補償Mnスピが存在する

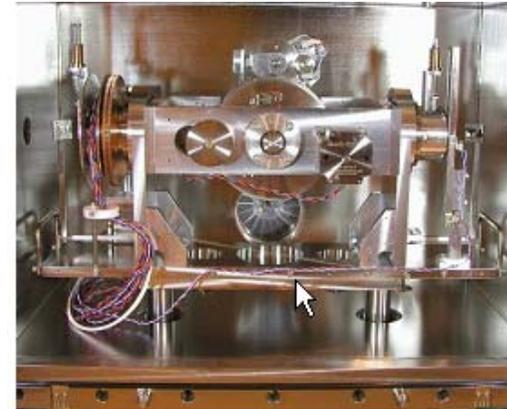
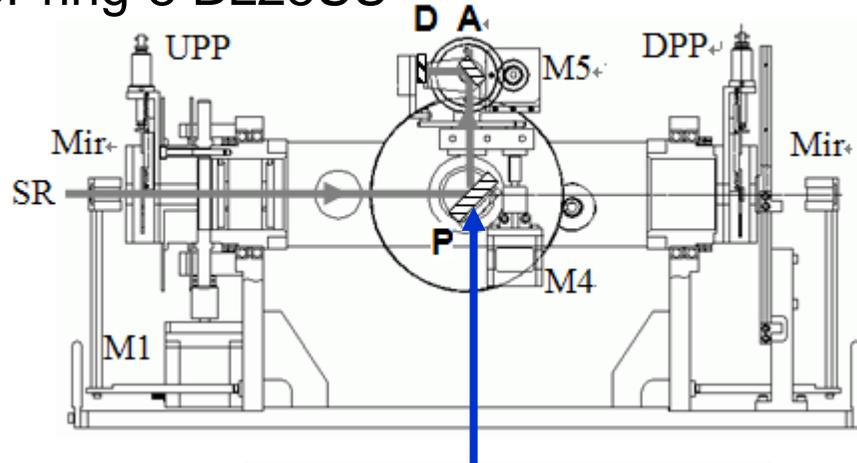
FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

磁気構造評価実験

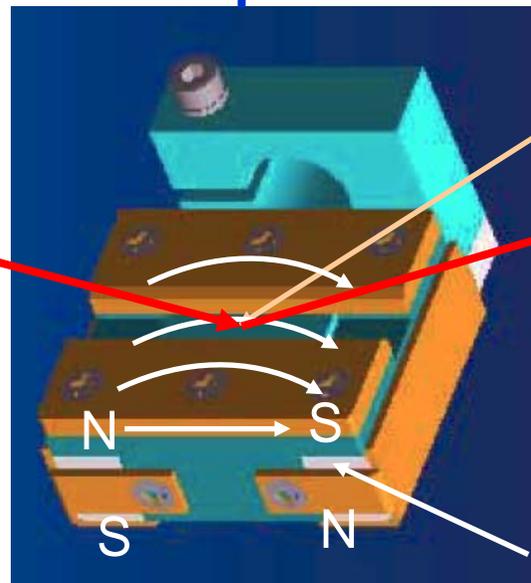


SPring-8 BL25SU



Ellipsometry chamber
H.Kimura et.al.,
SRI2003

円偏光X線
(I^\pm)



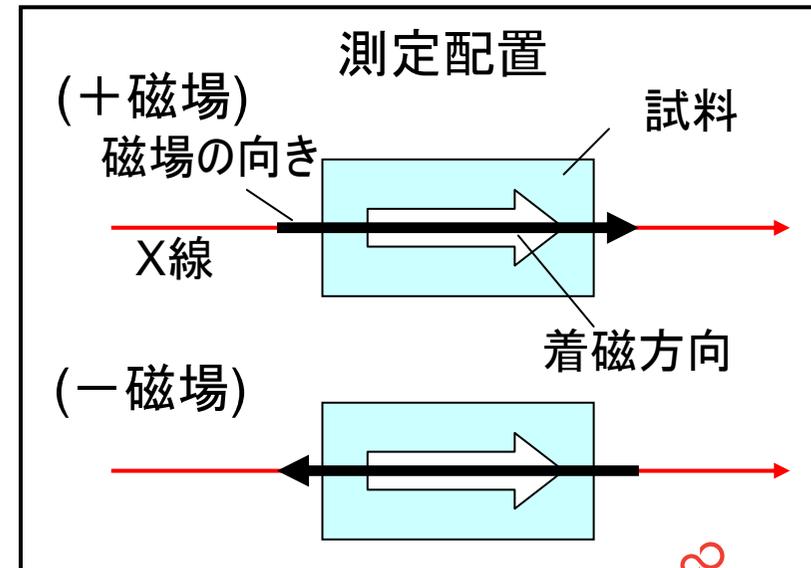
試料ホルダ

試料

MCP

磁石(NEOMAX)

~800Oe



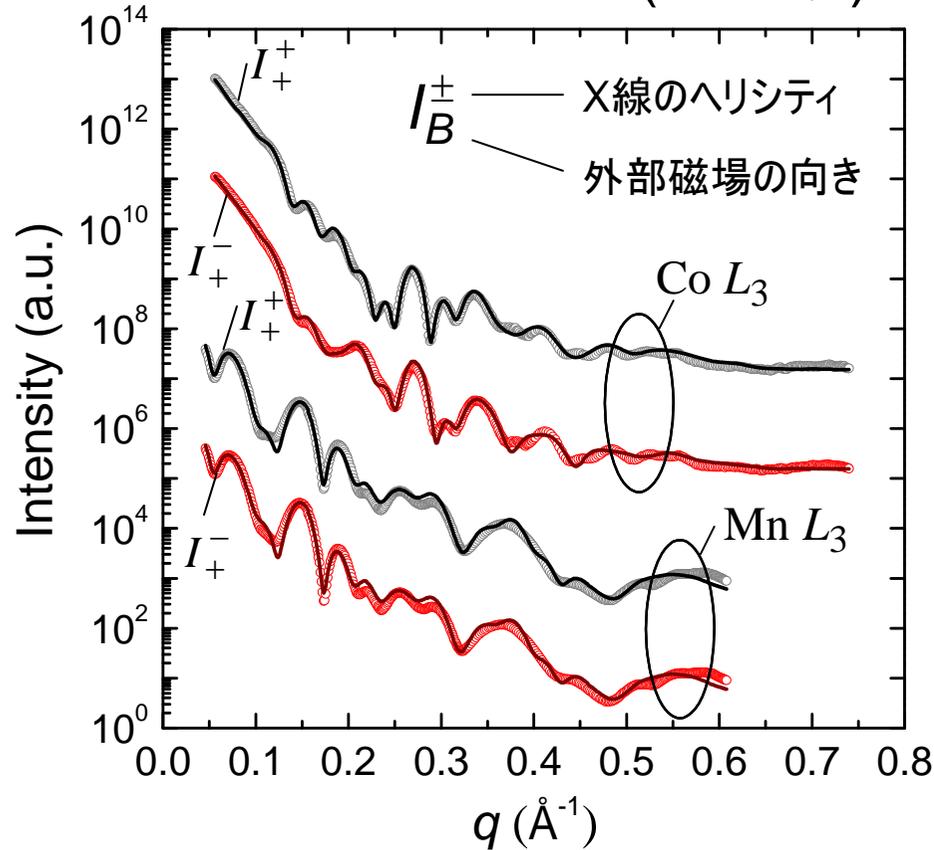
FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

磁気構造測定の結果

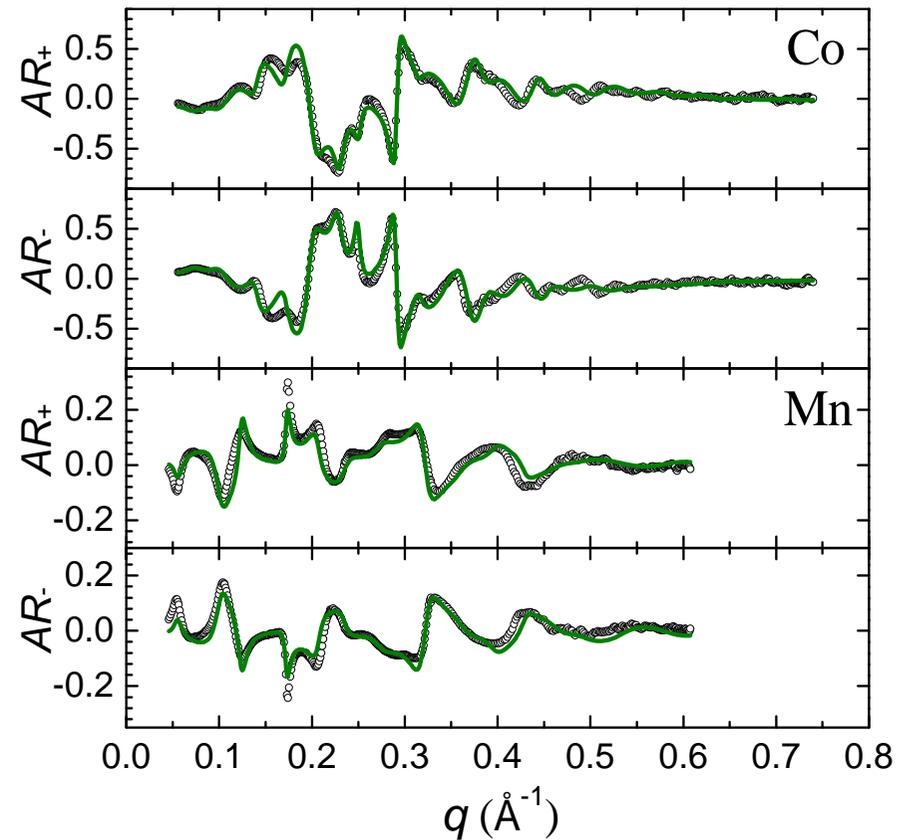


共鳴磁気反射率(+磁場)



反射率の非対称性

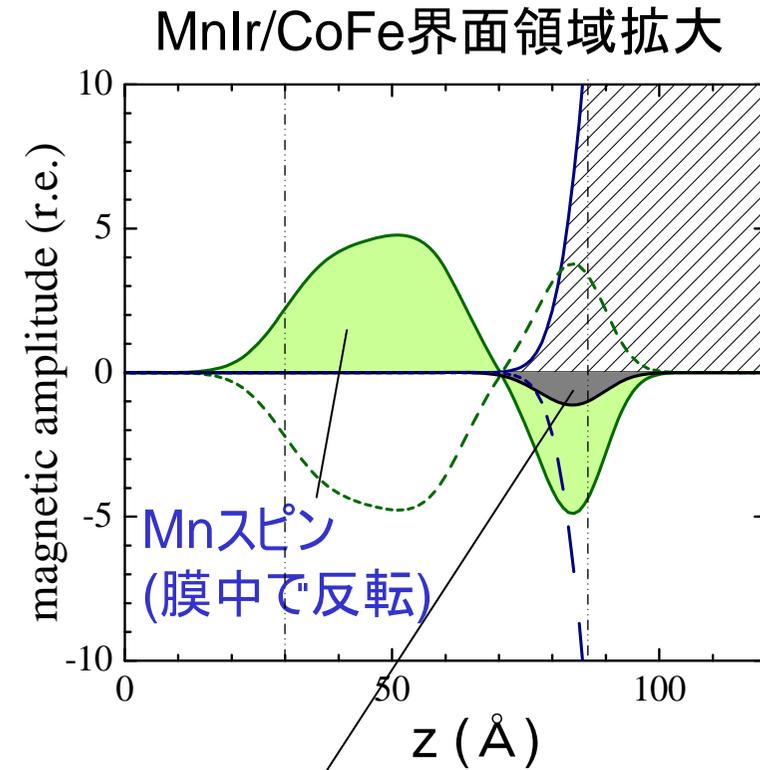
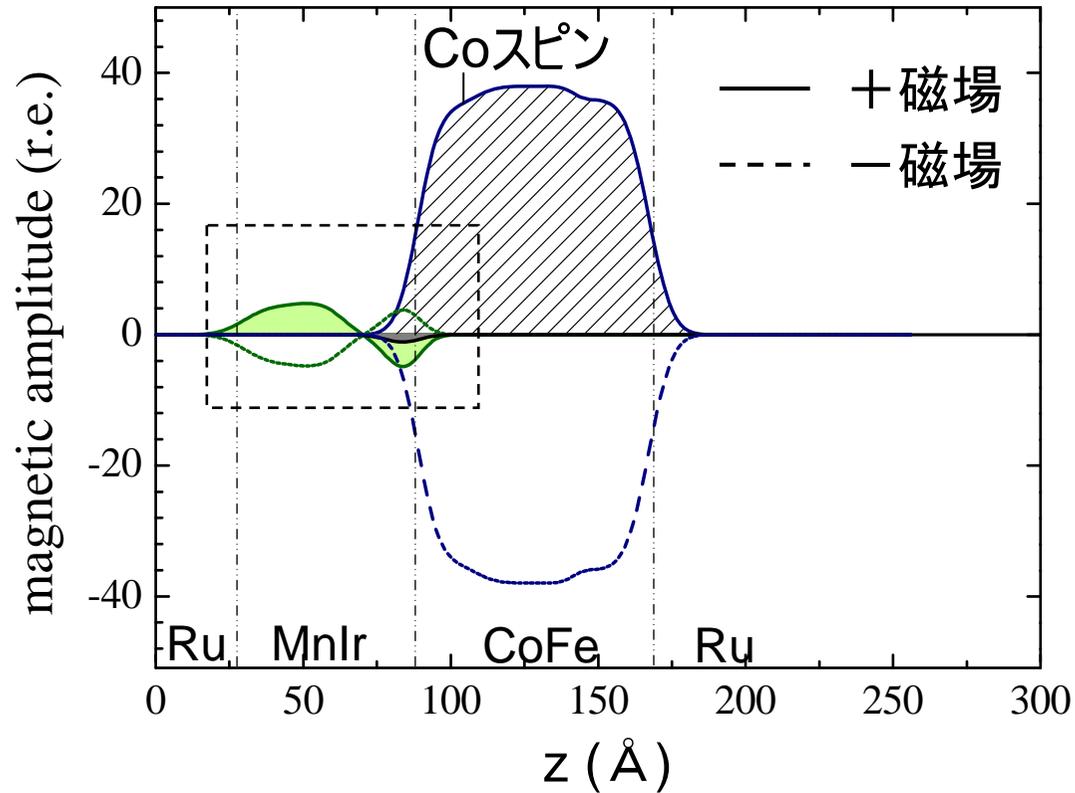
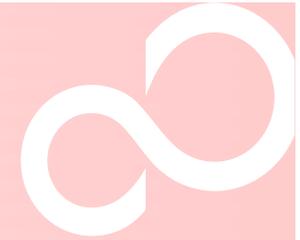
$$AR_B = (I_B^+ - I_B^-) / (I_B^+ + I_B^-)$$



実線は多層膜モデルによるフィッティング*

* D.R.Lee, S.K.Sinha et. al.,PRB Vol.68,224409 (2003)

スピンの深さ分布



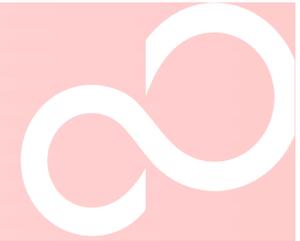
ピンドスピン

* S.Do, et. al., Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 232504

FUJITSU

THE POSSIBILITIES ARE INFINITE

まとめ



1. 軟X線共鳴磁気反射率をMnIr/CoFe交換結合膜に適用し、Co及びMnのスピン深さ分布を決定した。
2. 反強磁性体MnIr膜中に広く非補償Mnスピンの存在し、その分布は以下のような複雑な構造をしている。
 - (1)CoFe界面近傍において、CoスピンとアンチフェロカップリングしたMnスピンの存在する。
 - (2)膜中央の非補償MnスピンはCoスピンとフェロカップリングである。
 - (3)CoFe界面近傍において、磁場の向きによりMnスピンの向きが反転しないピンドスピンの存在する。
3. このような非補償Mnスピンの反転構造により、自由エネルギーが低い状態で、わずかなピンドスピンの存在による界面の非補償Mnスピン成分の異方性が増幅し、その結果、MnIr/CoFeに大きい交換バイアスが発生している可能性がある。