

# 軟X線反射率計測による磁気多層膜の 界面磁化分布

富士通研究所 淡路直樹

共同研究者

土井修一、野村健二(富士通研究所)

広野等子、中村哲也、木村洋昭(JASRI)

## 1. Pd/FeCo多層膜界面の磁化分布

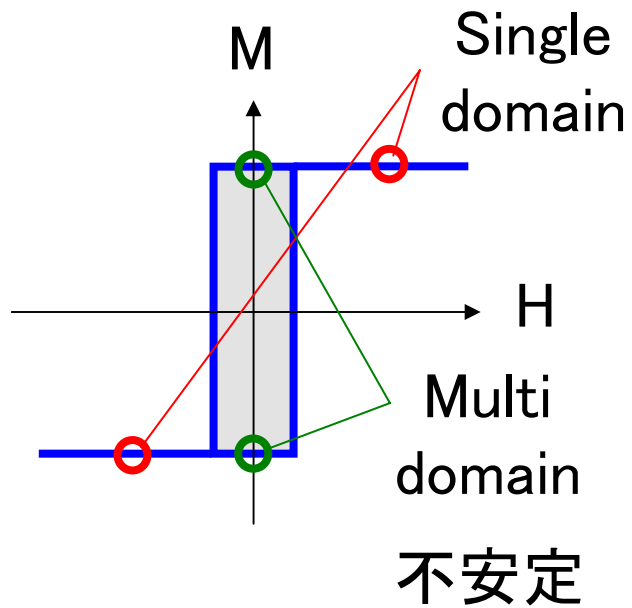
N.Awaji et. al., J.Phys: Conf. Ser. 83,012034(2007)

## 2. IrMn/CoFe交換結合膜の磁化分布

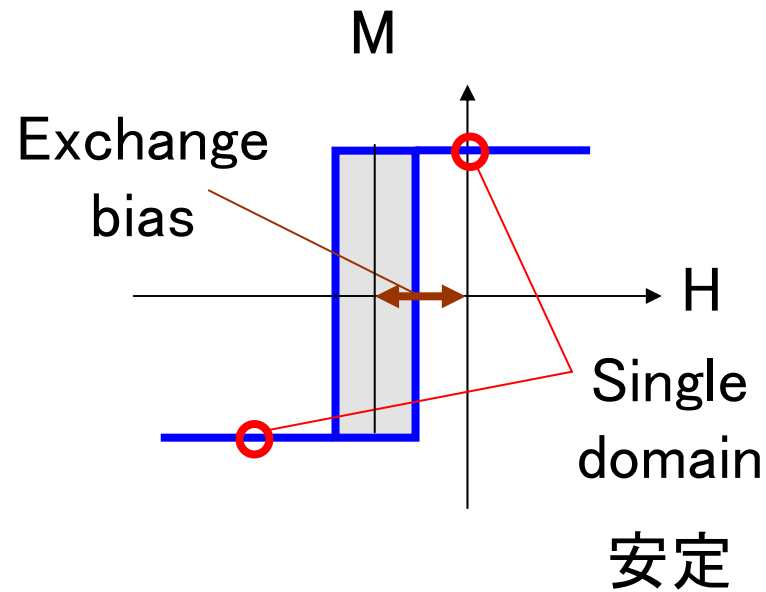
S.Doï, N.Awaji et. al., Submitted to Appl. Phys. Lett.

# 交換結合膜

Ferro magnetization loop



Negative bias loop

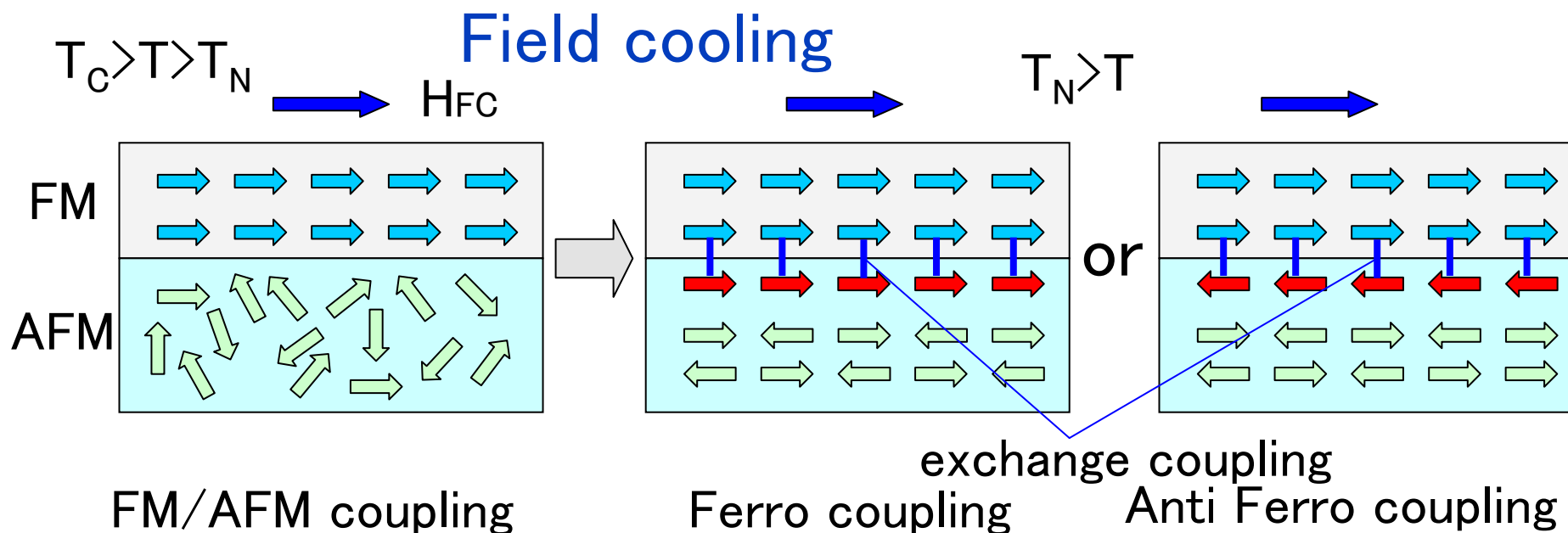


Ferromagnet: FM

Anti Ferromagnet: AFM

# 交換結合膜

## Conventional Picture



- FM rotatable spin
- ← AFM compensated spin
- AFM pinned spin

Ferromagnet: F      Anti Ferromagnet: AF

## 反強磁性材料

IrMn 磁気異方性(ピン止め力)大

→ 膜厚を薄くできる

IrMn/CoFe積層膜の長時間アニール

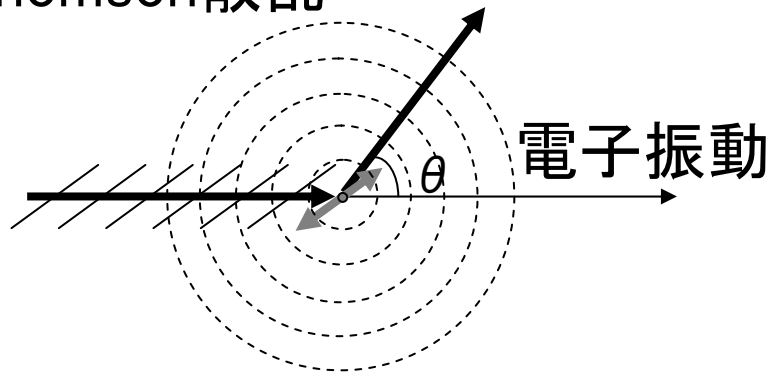
→ 巨大交換バイアスが得られる

スピン構造はcollinearではない可能性(triple-q)が指摘されている。

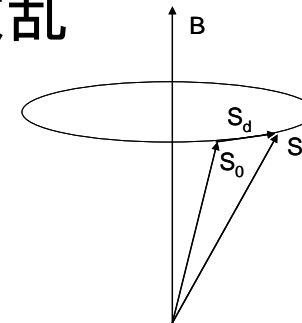
C.Mitsumata, A.Sakuma, and K.Fukamichi, Phys. Rev. B68,014437(2003)

# X線共鳴磁気反射率 (XRMR)

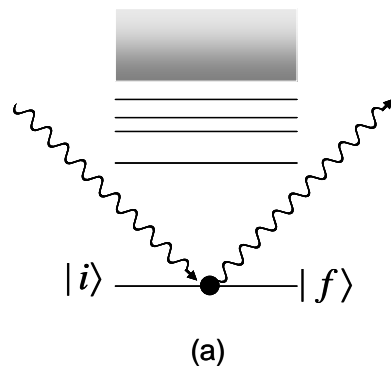
Thomson散乱



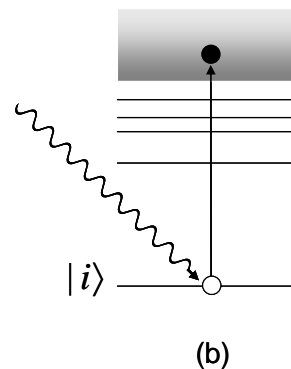
磁気散乱



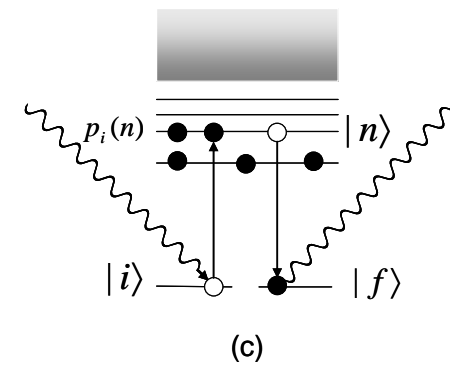
電子スピン  
歳差運動



散乱



吸収(XAS)



共鳴散乱

桜井健次(編)「X線反射率入門」1章、講談社

# X線共鳴磁気反射率

## 原子散乱因子(円偏光)

$$f_{res} = (\boldsymbol{\varepsilon}_f^* \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_i)(f_0 + f'_r + if''_r) - i(\boldsymbol{\varepsilon}_f^* \times \boldsymbol{\varepsilon}_i) \cdot \mathbf{m}(f'_m + if''_m)$$

XAS  $\longrightarrow$   $f''_r$   $\longrightarrow$   $f'_r$

Kramers-Kronig関係

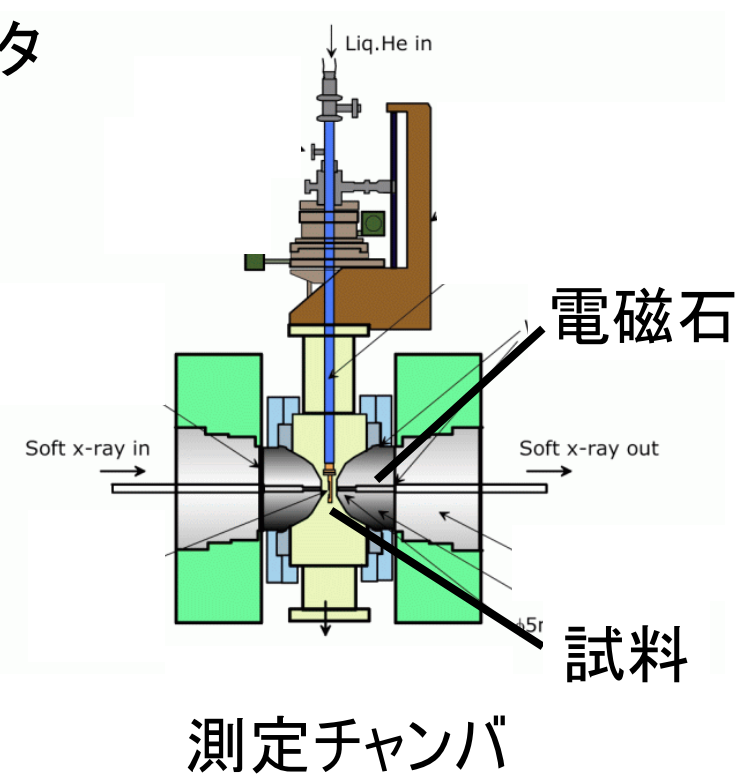
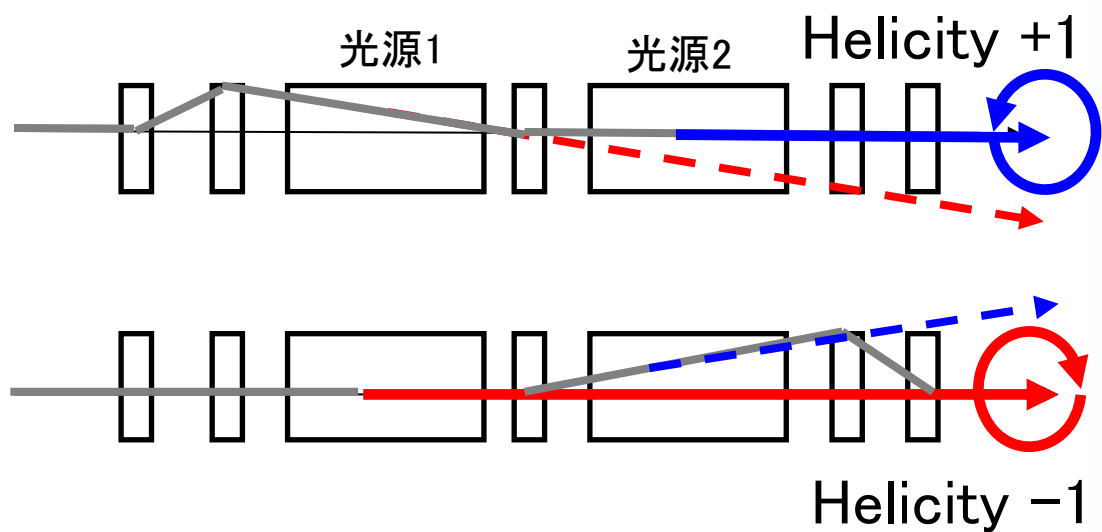
MCD/2  $\longrightarrow$   $f''_m$   $\longrightarrow$   $f'_m$

Kramers-Kronig関係

# X線共鳴磁気反射率

## 円偏光

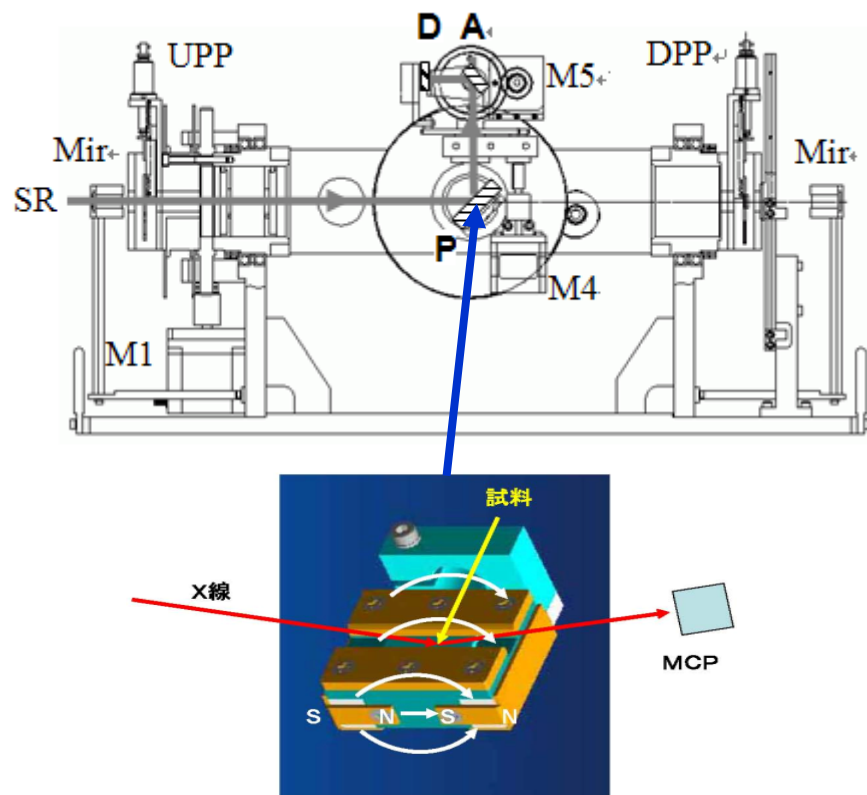
BL25SU: ツインヘリカルアンジュレータ



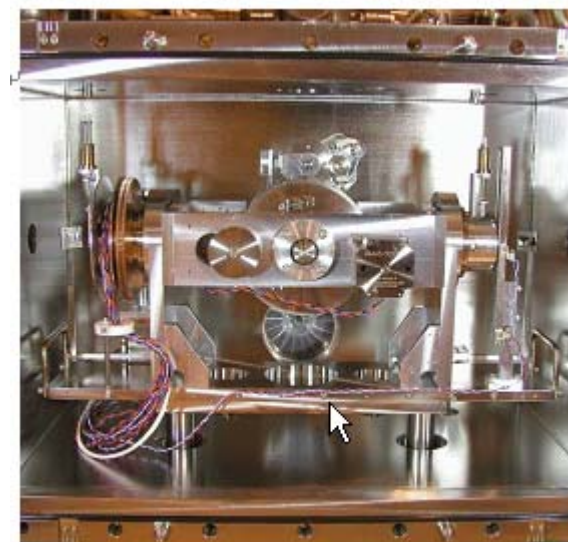


# X線共鳴磁気反射率

## 軟X線反射率測定



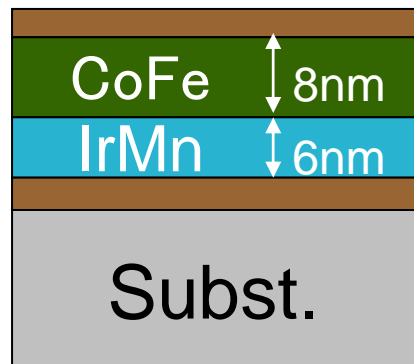
Ellipsometry chamber  
H.Kimura et.al., SRI2003



# X線測定用交換結合膜

(A) Ru/CoFe(8)/IrMn(6)/Ru/Substrate

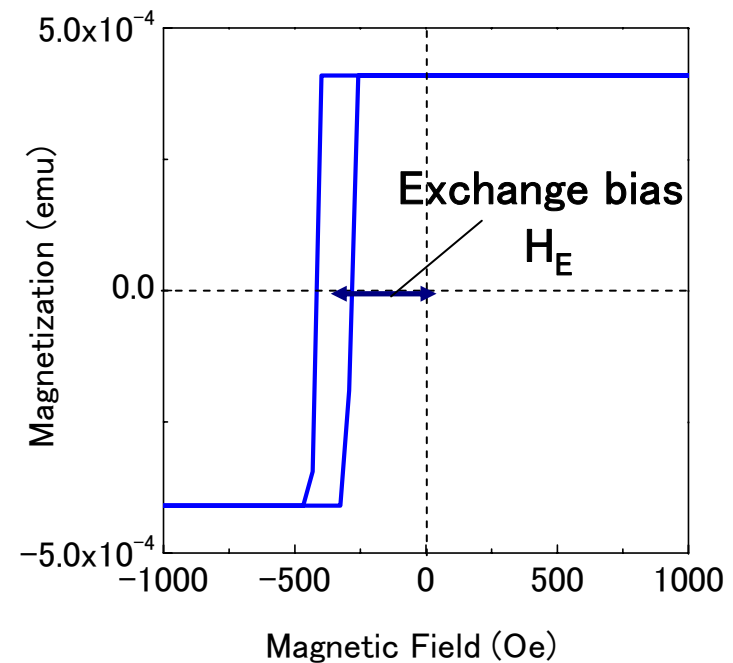
(B) Ru/CoFe(4)/IrMn(4)/Ru/Substrate (nm)



(A)



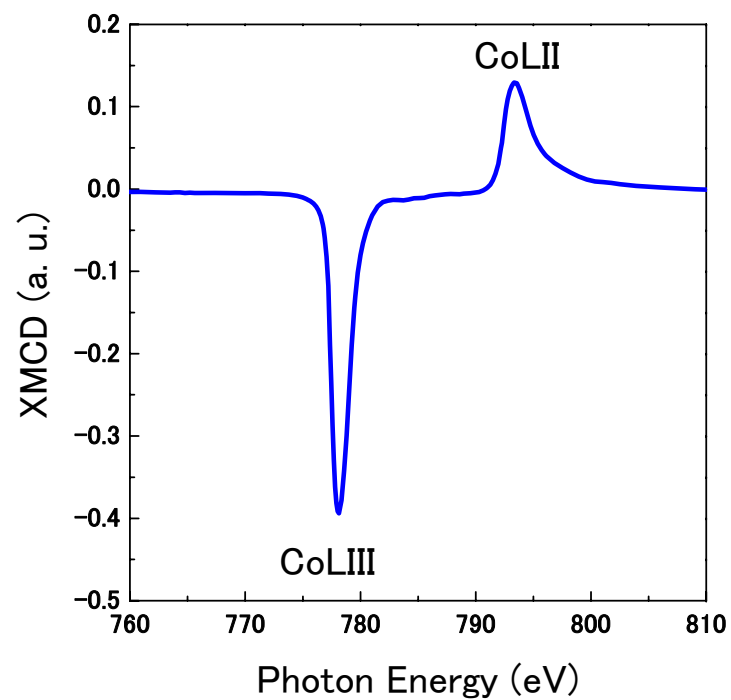
(B)



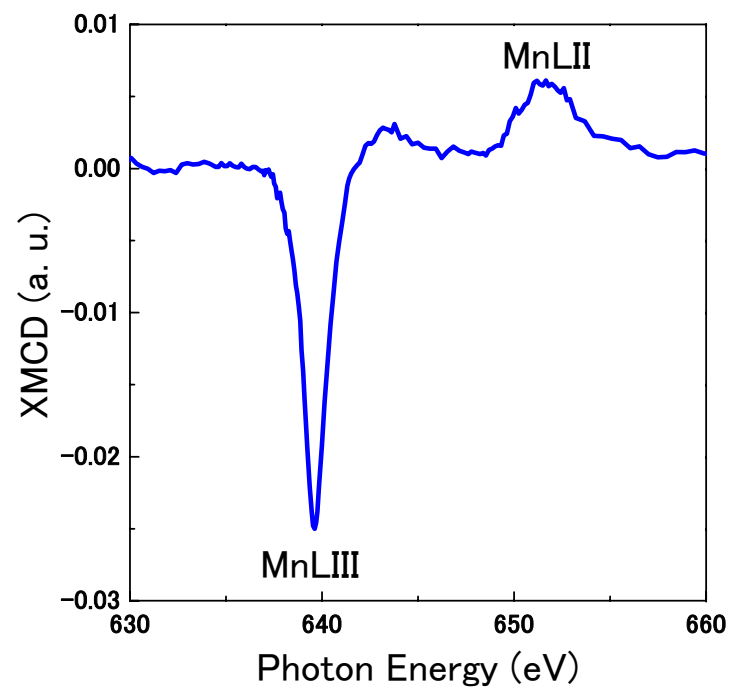
VSM

# XMCD測定

## Co

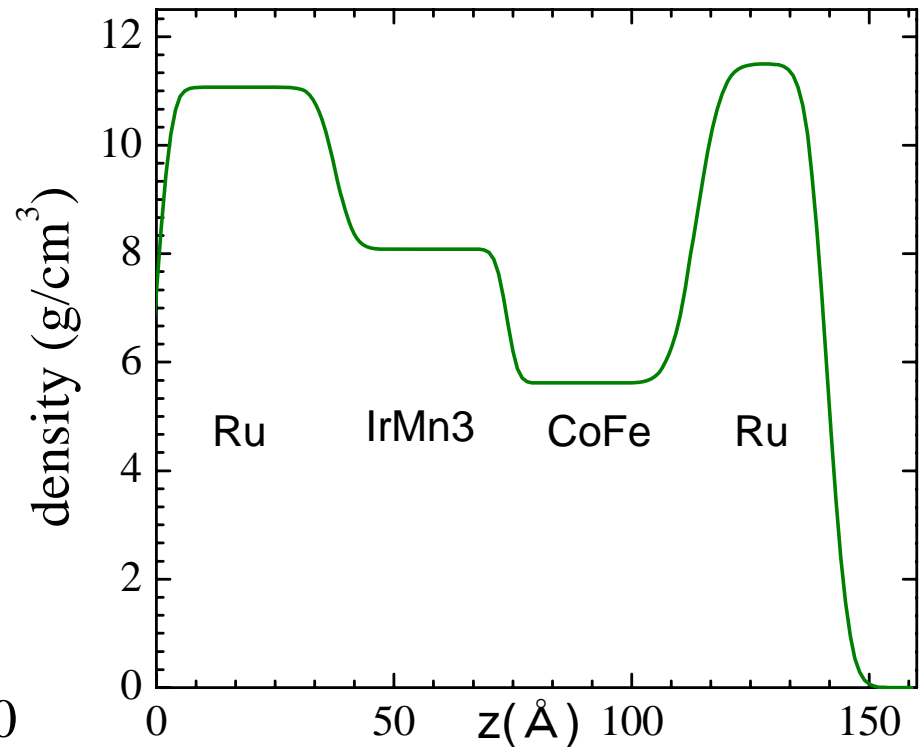
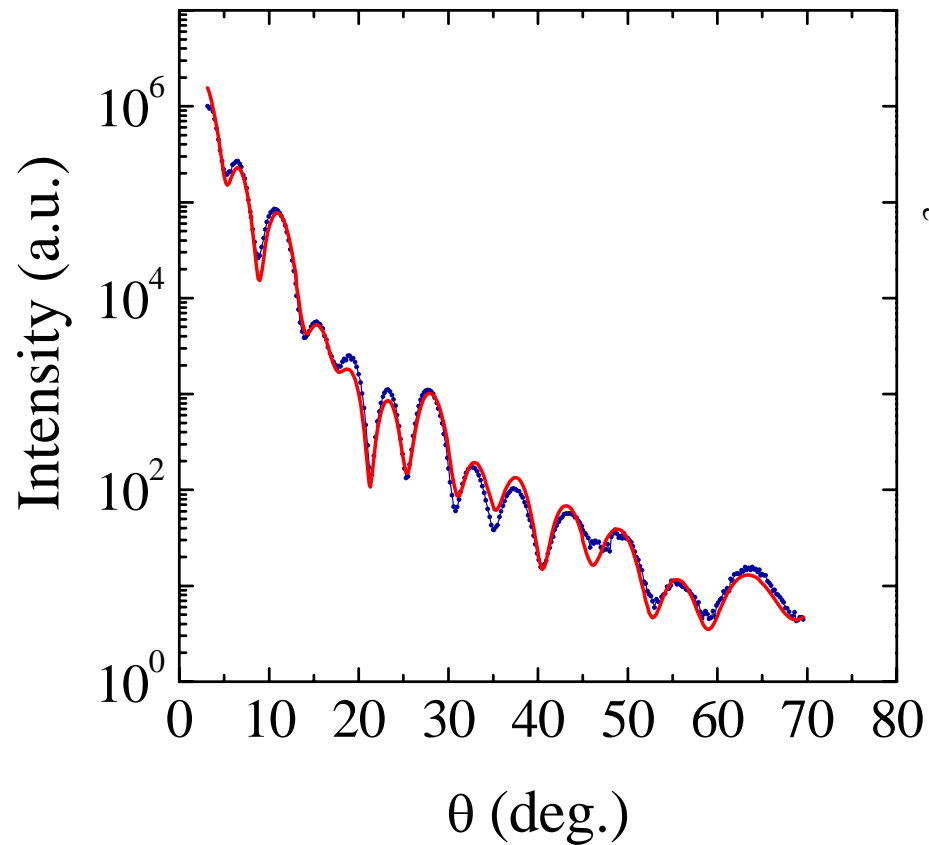


## Mn

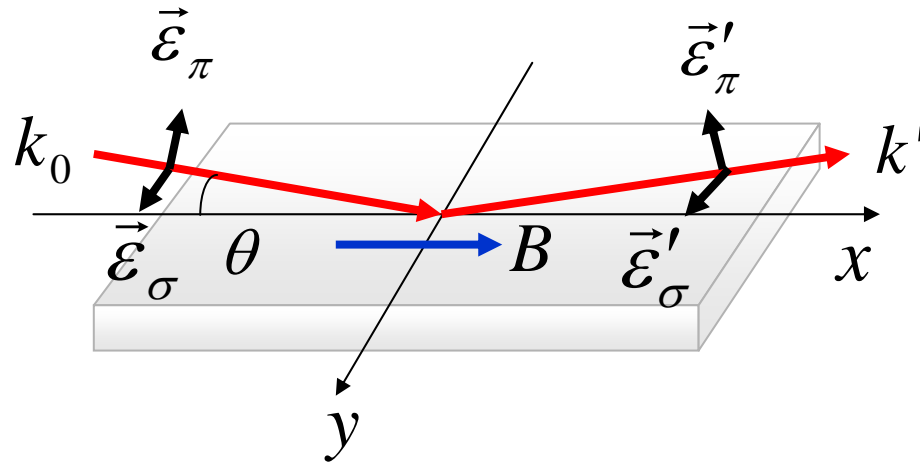


# 膜厚、膜密度、界面ラフネスの決定 **FUJITSU**

off resonance (622eV)



# 共鳴磁気反射率計算

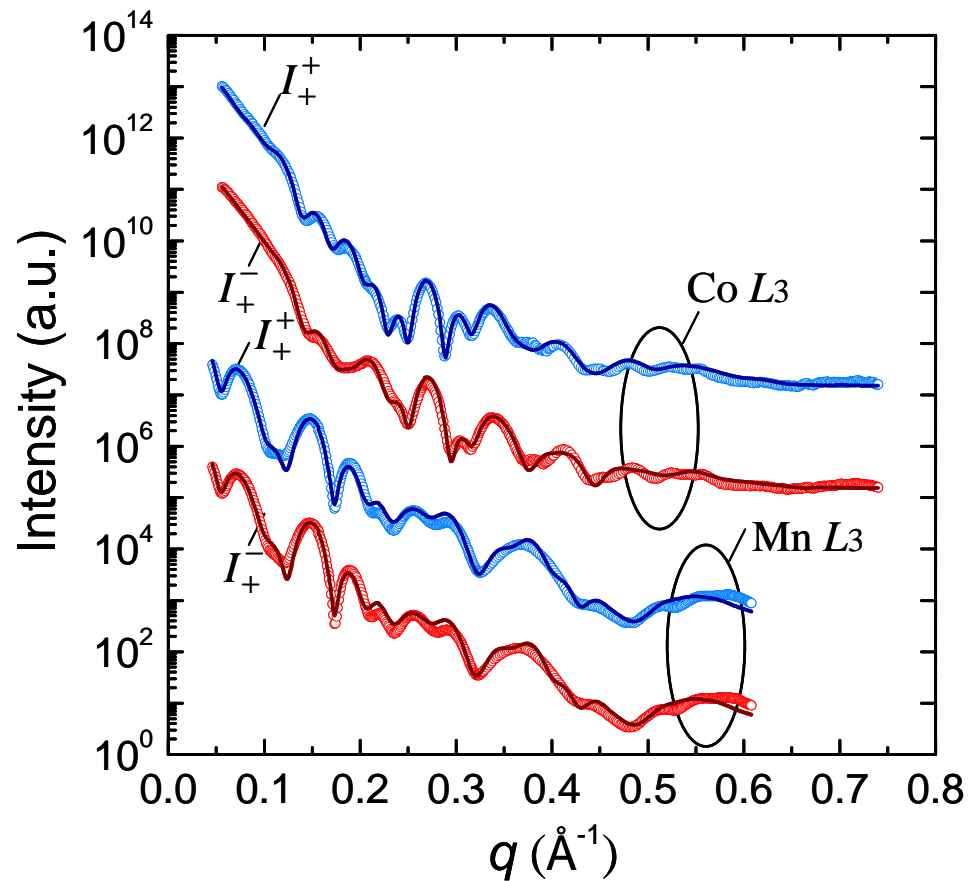


S.A.Stepanov and S.K.Sinha,  
PR B,61,15302 (2000)  
Extended DWBA with a  
tensor susceptibility

D.R.Lee, S.K.Sinha et. al.,  
PR B,68,224409 (2003)  
Charge and magnetic  
roughness

$$\begin{pmatrix} T_j^+ \\ T_j^- \\ R_j^+ \\ R_j^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{j,j+1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_{j+1}^+ \\ T_{j+1}^- \\ R_{j+1}^+ \\ R_{j+1}^- \end{pmatrix}$$

# 共鳴磁気反射率データ



Co L3 edge(779eV)

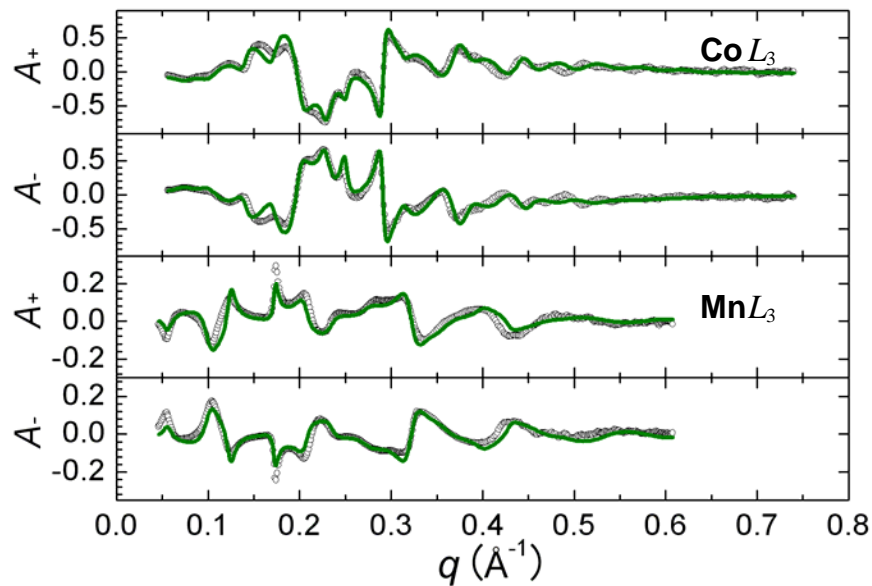
Mn L3 edge(640eV)

マーカ: 実測値

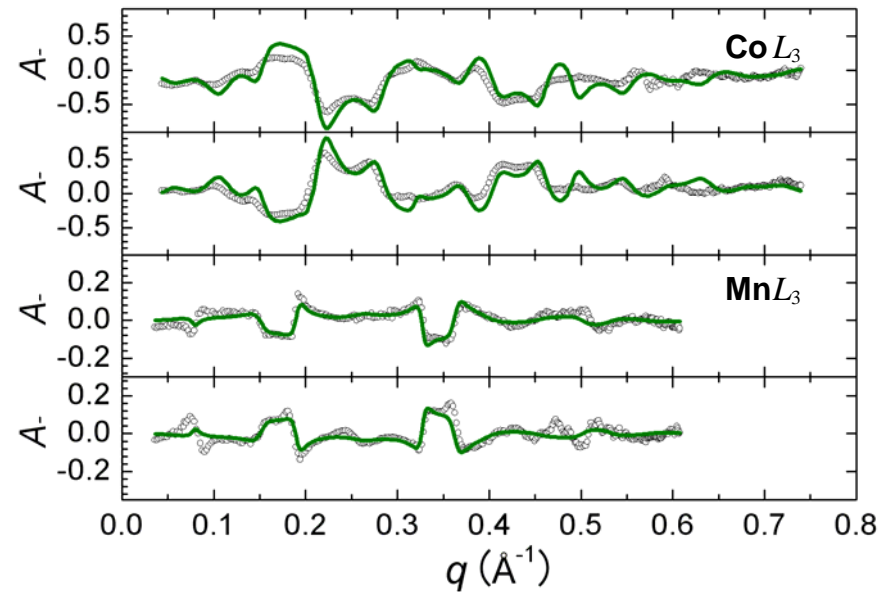
実線: 計算値

# 反射率非对称度

$$A_B \equiv (I_B^+ - I_B^-) / (I_B^+ + I_B^-)$$



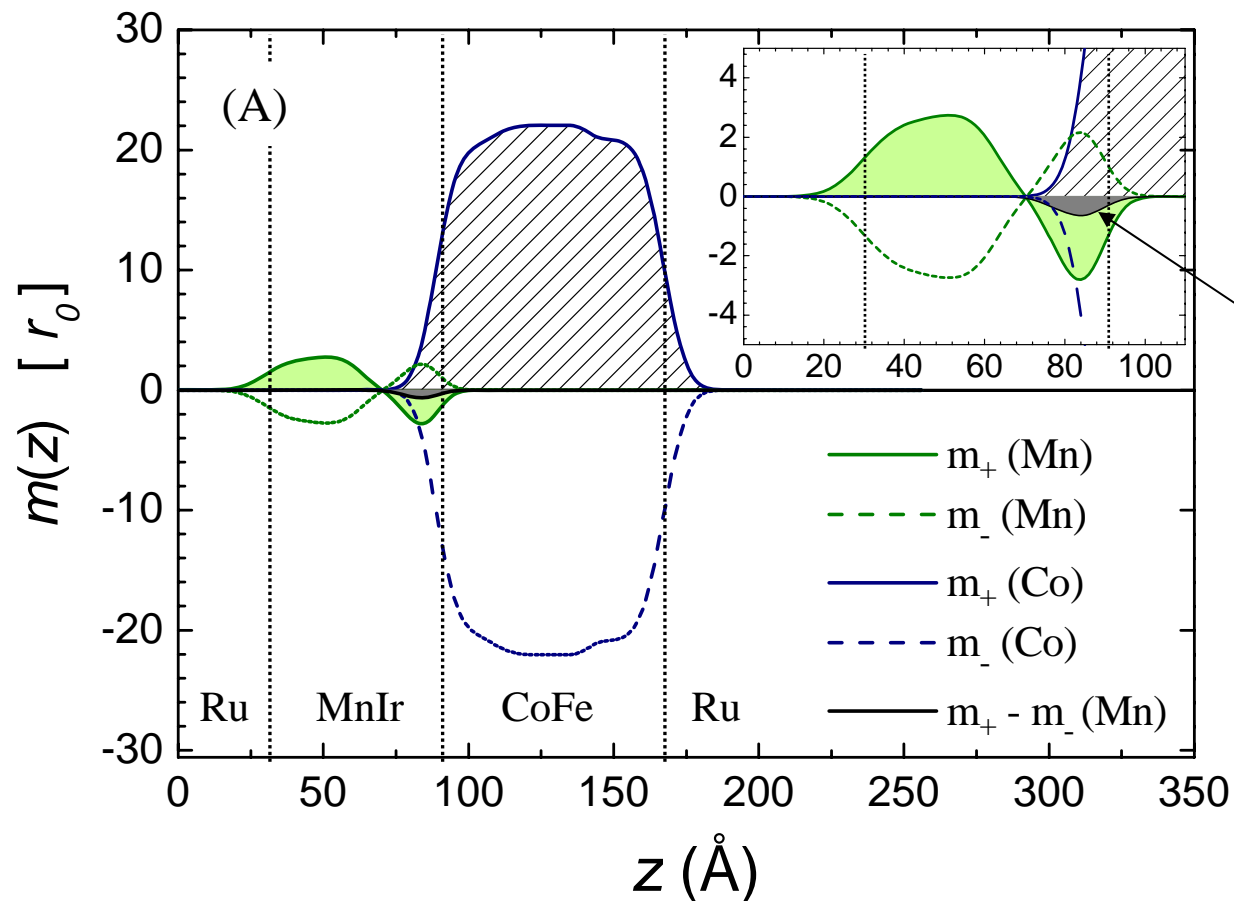
Sample (A)



Sample (B)

# 磁化プロファイル

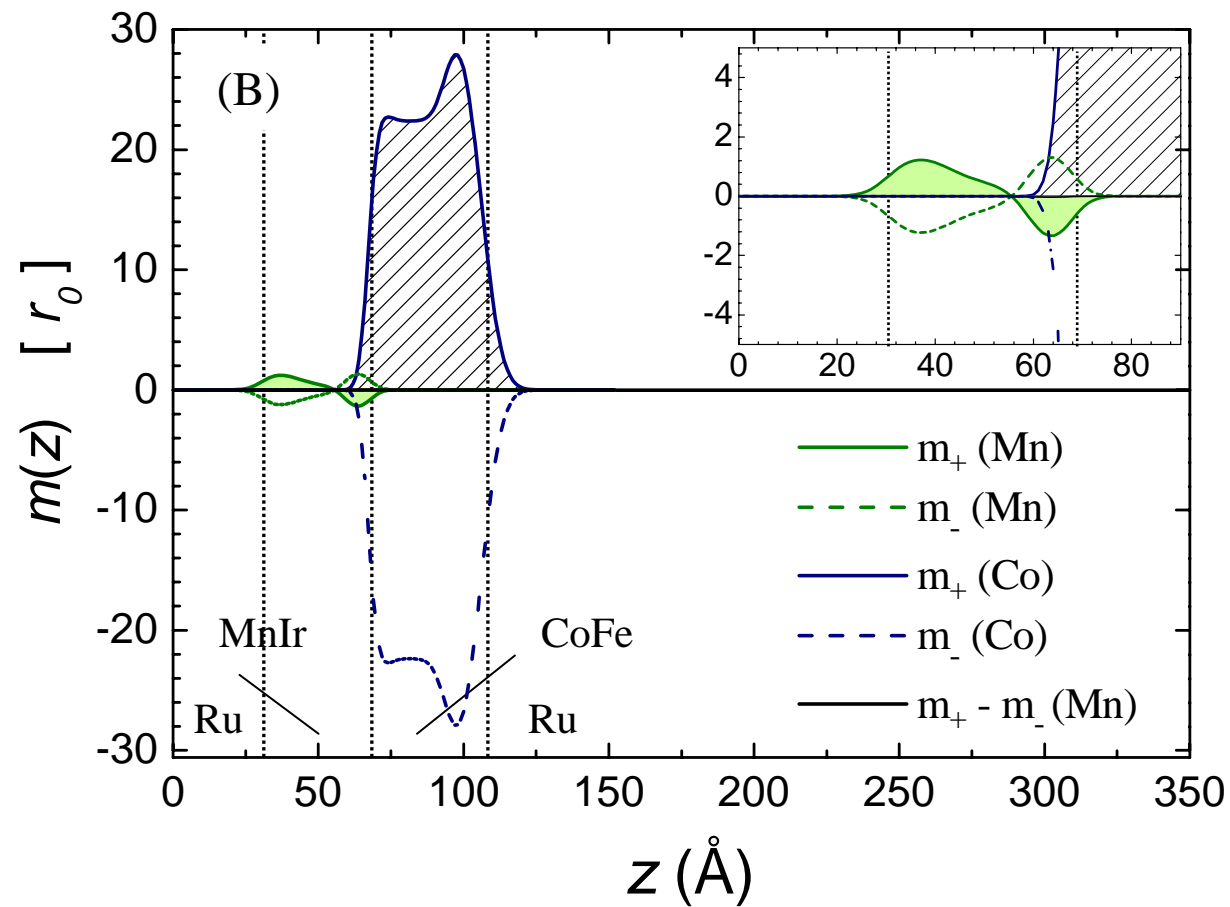
## Sample (A)





# 磁化プロファイル

## Sample (B)



## IrMnのMnのuncompensatedスピン

1. ほとんどは磁場方向に依存するrotate成分である
2. 界面ではCoスピンとantiferromagneticに結合
3. 膜中ではferromagneticに結合
4. Mnピンドスピンは界面領域に存在する



このような複雑な磁化構造は、僅かなピンドスピンの存在する、フラストレーションを持ったtriple-qスピン系において、交換エネルギーを最小にするために発現している可能性がある。