

物構研シンポジウム：

放射光・中性子・ミュオンを用いた表面・界面科学の最前線

共鳴軟X線散乱による 薄膜電子状態の研究

KEK 物構研

岡本 淳

2009. 11. 17

つくば国際会議場

共同研究者

共鳴軟x線散乱および硬x線散乱測定

D. J. Huang
C.-H. Hsu
C. T. Chen (NSRRC, Taiwan)



K. S. Chao
S. W. Huang (National Chaio Tung University)

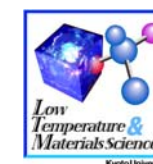


試料作製 : $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3(111)/\text{SrTiO}_3(111)$

増野敦信 (京大化研)



寺嶋孝仁 (京大低温物質科学研究センター)



高野幹夫 (iCeMS, 京大)



議論

藤森淳 (東大理)

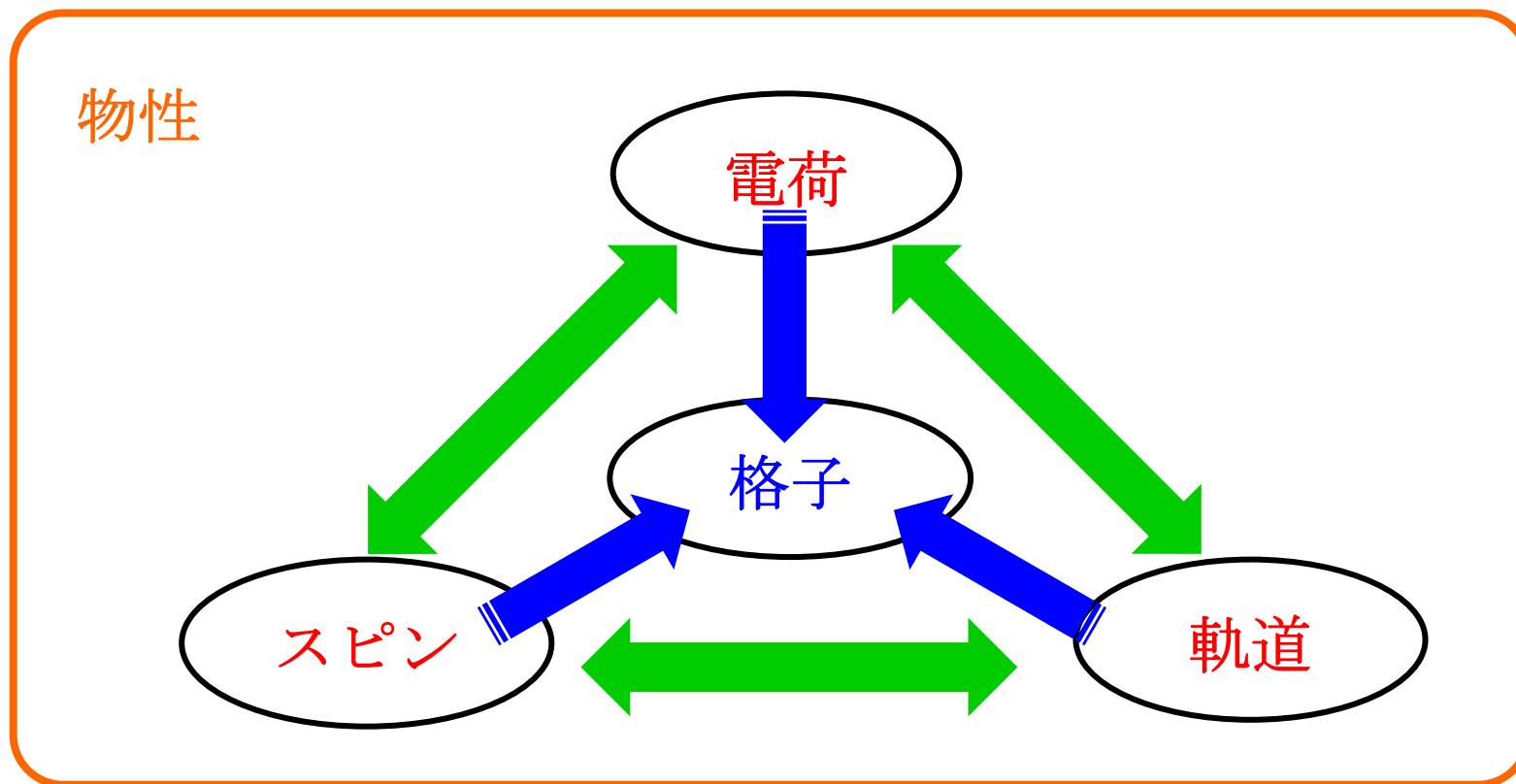




Outline of this talk

- ◆ 共鳴軟X線散乱
- ◆ 共鳴軟X線磁気散乱による $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ 薄膜の研究

物性を特徴づける秩序構造



様々なプローブを用いた散乱測定

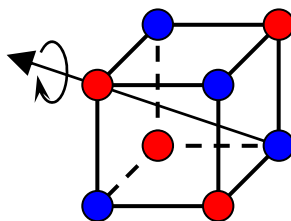


電荷・スピン・軌道秩序、格子構造の情報

散乱手法を用いた秩序構造の研究

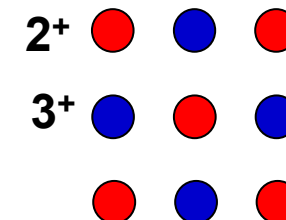
Lattice structure:
Symmetry and
position of atoms

X-ray Neutron



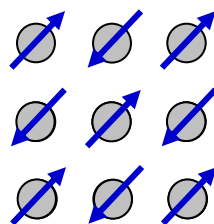
Charge ordering:
spatial localization of
the charge carriers
on certain sites

X-ray Electron



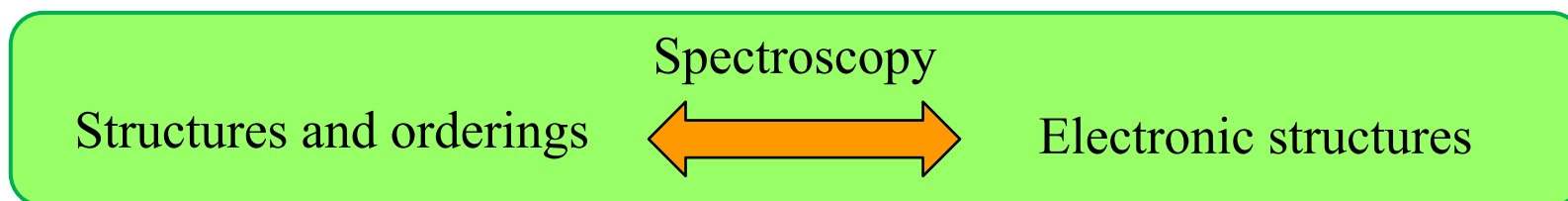
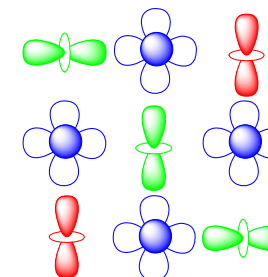
Spin ordering:
long range ordering of
local magnetic moments

X-ray Neutron



Orbital ordering:
periodic arrangement of
specific electron orbitals

X-ray



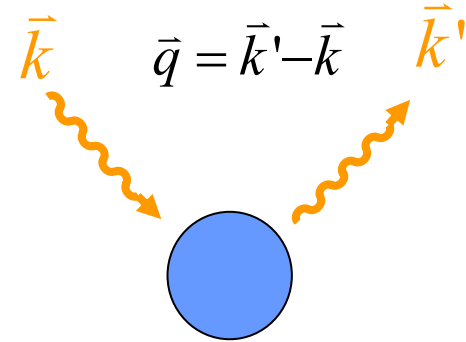
X-ray scattering is a powerful tool in studying super-lattice structures and orderings, and their relation with the electronic structures.

共鳴X線散乱

X線散乱

散乱ベクトル $\vec{q} = \vec{k}' - \vec{k}$

構造因子 $f = 4\pi \int n_i(\vec{r}) \frac{\sin(\vec{q} \cdot \vec{r})}{|\vec{q} \cdot \vec{r}|} r^2 dr$



共鳴X線散乱

元素選択的な測定

$$\Delta f \sim \sum_i \frac{\langle 0 | \vec{\varepsilon} \cdot \vec{r} e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} | i \rangle \langle i | \vec{\varepsilon}' \cdot \vec{r} e^{i\vec{k}' \cdot \vec{r}} | 0 \rangle}{\hbar\omega - (E_i - E_0 - i\Gamma)}$$

$\hbar\omega$: 入射光エネルギー

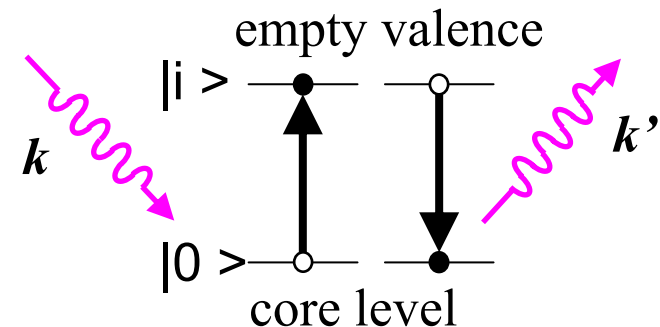
$$\hbar\omega = \varepsilon(i) - \varepsilon(0)$$

共鳴散乱振幅 f^{res}

$$f^{res} \propto \frac{(\varepsilon_s^* \cdot \varepsilon_i) [F_{1,1} + F_{1,-1}]}{\text{Charge scattering}}$$

$$\frac{-i(\varepsilon_s^* \times \varepsilon_i) \cdot \hat{z} [F_{1,1} - F_{1,-1}]}{\text{magnetic scattering}}$$

$$\frac{+(\varepsilon_s^* \cdot \hat{z})(\varepsilon_i \cdot \hat{z}) [2F_{1,0} - F_{1,1} - F_{1,-1}]}{\text{Orbital ordering}}$$



ε_i and ε_s^* : electric field vector of incident and scattered light

\hat{z} : Local moment

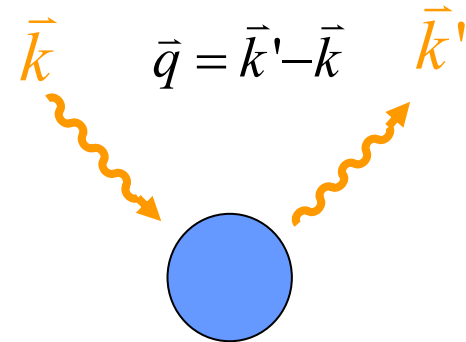
$F_{l,q}$: Scattering amplitudes with $\Delta m_l = q$

共鳴X線散乱

X線散乱

散乱ベクトル $\vec{q} = \vec{k}' - \vec{k}$

構造因子 $f = 4\pi \int n_i(\vec{r}) \frac{\sin(\vec{q} \cdot \vec{r})}{|\vec{q} \cdot \vec{r}|} r^2 dr$



共鳴X線散乱

元素選択的な測定

$$\Delta f \sim \sum_i \frac{\langle 0 | \vec{\epsilon} \cdot \vec{r} e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} | i \rangle \langle i | \vec{\epsilon}' \cdot \vec{r} e^{i\vec{k}' \cdot \vec{r}} | 0 \rangle}{\hbar\omega - (E_i - E_0 - i\Gamma)}$$

$\hbar\omega$: 入射光エネルギー

$$\hbar\omega = \varepsilon(i) - \varepsilon(0)$$

共鳴散乱振幅 f^{res}

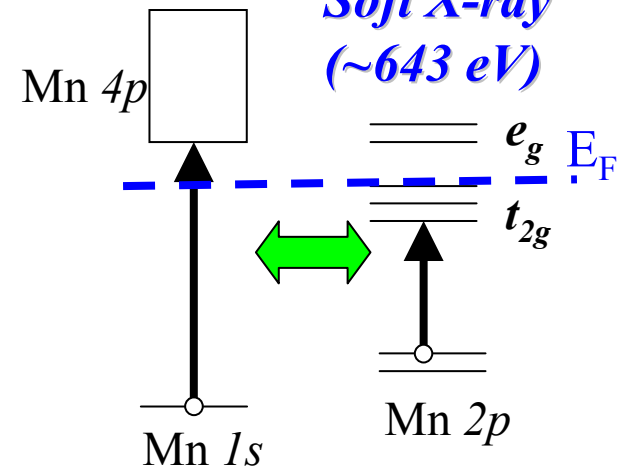
$$f^{res} \propto \frac{(\varepsilon_s^* \cdot \varepsilon_i) [F_{1,1} + F_{1,-1}]}{\text{Charge scattering}}$$

$$\frac{-i(\varepsilon_s^* \times \varepsilon_i) \cdot \hat{z} [F_{1,1} - F_{1,-1}]}{\text{magnetic scattering}}$$

$$\frac{+(\varepsilon_s^* \cdot \hat{z})(\varepsilon_i \cdot \hat{z}) [2F_{1,0} - F_{1,1} - F_{1,-1}]}{\text{Orbital ordering}}$$

Hard X-ray
(~6.5 KeV)

Soft X-ray
(~643 eV)



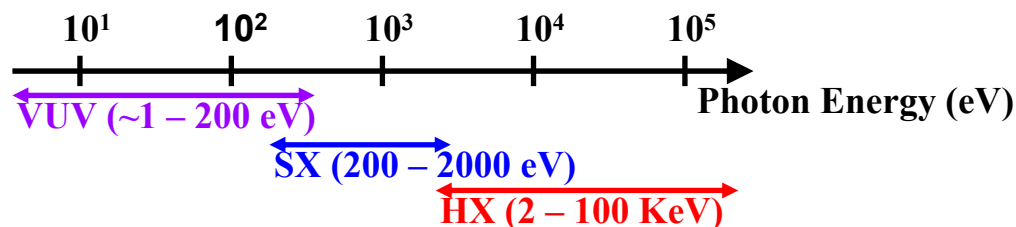
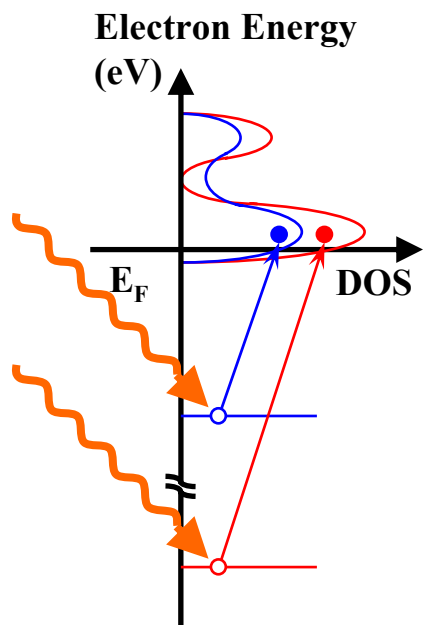
ε_i and ε_s^* : electric field vector of incident and scattered light

\hat{z} : Local moment

$F_{l,q}$: Scattering amplitudes with $\Delta m_l = q$

放射光での軟X線散乱の利点

1. エネルギー選択性



• $p \rightarrow d$ transition energy
 3d TM : 460 eV --- 952 eV
 4d TM : 330 eV --- 603 eV
 2223 eV --- 3524 eV
 5d TM : 380 eV --- 643 eV
 9561 eV --- 13734 eV
 2108 eV --- 3148 eV

• $s \rightarrow p$ transition energy
 O 1s : 530 eV
 3d TM : 4966 eV --- 8979 eV

• $d \rightarrow f$ transition
 RE : 836 eV --- 1640 eV

共鳴条件による元素選択的な測定
強相関係酸化物(TM, O)

2. 高い輝度

3. 偏光成分

- 直線偏光 σ, π 偏光
- 円偏光 helicity ± 1

USEFUL DATA FOR X-RAY ANALYSIS

atomic number →	30	71	← density (g/cc)	7.14
	Zn			
mass attenuation coefficient for $\text{CuK}\alpha$ (cm^2/g) →	65.38		← atomic weight	65.38
	60.3			

GROUP IA	VIII A																																															
1 H 1.008 0.435	2 He 4.003 0.383																																															
3 Li 6.941 0.716	4 Be 9.012 1.50	5 B 10.811 2.39	6 C 12.011 4.60	7 N 14.007 7.52	8 O 15.999 16.4	9 F 18.998 16.4	10 Ne 20.180 22.9									11 Na 22.990 30.1	12 Mg 24.305 38.6	13 Al 26.981 27.0	14 Si 28.086 2.33	15 P 30.974 74.1	16 S 32.064 89.1	17 Cl 35.453 106	18 Ar 39.948 123																									
19 K 39.098 143	20 Ca 40.08 162	21 Sc 44.956 184	22 Ti 47.88 67.9	23 V 50.94 6.0	24 Cr 52.00 7.2	25 Mn 54.94 7.4	26 Fe 55.84 7.8	27 Co 58.93 8.9	28 Ni 58.69 8.9	29 Cu 63.55 8.9	30 Zn 65.38 7.1	31 Ga 69.72 7.3	32 Ge 72.61 7.3	33 As 74.92 5.7	34 Se 78.96 4.7	35 Br 79.90 4.9	36 Kr 83.80 3.7	37 Rb 85.47 117	38 Sr 87.62 125	39 Y 88.906 134	40 Zr 91.22 6.5	41 Nb 92.906 10.3	42 Mo 95.94 10.3	43 Tc 98 11.5	44 Ru 101.07 12.4	45 Rh 102.91 12.4	46 Pd 106.4 12.0	47 Ag 107.87 19.3	48 Cd 112.41 8.6	49 In 114.82 7.3	50 Sn 118.69 7.3	51 Sb 121.75 5.7	52 Te 127.60 5.4	53 I 126.90 4.9	54 Xe 131.29 5.4													
55 Cs 132.91 316	56 Ba 137.33 316	57 La 138.905 139	58 Ce 140.12 7.5	59 Pr 140.907 7.5	60 Nd 144.24 7.5	61 Pm 144.912 7.5	62 Sm 150.36 7.5	63 Eu 151.964 7.5	64 Gd 157.25 7.5	65 Tb 158.925 7.5	66 Dy 162.50 7.5	67 Ho 164.930 7.5	68 Er 167.26 7.5	69 Tm 168.930 7.5	70 Yb 173.054 7.5	71 Lu 174.967 7.5	72 Hf 178.49 13.3	73 Ta 180.948 13.3	74 W 183.84 19.3	75 Re 186.207 19.3	76 Os 190.23 19.3	77 Ir 192.222 22.5	78 Pt 195.084 21.5	79 Au 196.967 19.3	80 Hg 200.59 19.3	81 Tl 204.38 7.3	82 Pb 207.19 7.3	83 Bi 208.98 9.8	84 Po (209) 9.4	85 At (210) 9.4	86 Rn (222) 9.4	87 Fr (223) 223	88 Ra 226.03 226	89 Ac 227.03 227	90 Th 232.04 232	91 Pa 231.04 231	92 U 238.03 238	93 Np 237.05 237	94 Pu 244 244	95 Am 243 243	96 Cm 247 247	97 Bk 247 247	98 Cf 251 251	99 Es 252 252	100 Fm 257 257	101 Md 258 258	102 No 259 259	103 Lr 260 260

共鳴軟X線磁気散乱

非共鳴条件での磁気散乱と電荷散乱の断面積の比較

$$\frac{\sigma_{mag}}{\sigma_{charge}} \sim \left(\frac{\hbar\omega}{mc^2} \right)^2 \sim 10^{-6} \text{ for } \hbar\omega \sim 600 \text{ eV}$$

M. Blume, J. Appl. Phys. **57**, 3615 (1985).

非共鳴X線磁気散乱は非常に弱い。

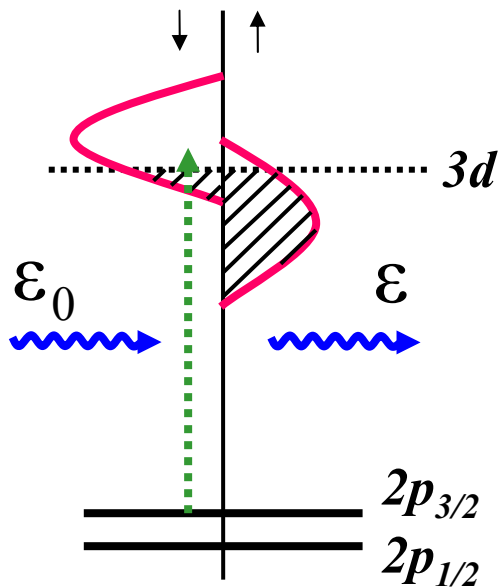
共鳴条件でのX線磁気散乱

$\Delta m_l = \pm 1$ 電気双極子遷移(E1)

Local moment $\Delta m_l = 1$ $\Delta m_l = -1$

$$f_{mag}^{res} = -i \frac{3\lambda}{8\pi} (\boldsymbol{\varepsilon}^* \times \boldsymbol{\varepsilon}_0) \cdot \hat{z} (F_{1,1} - F_{1,-1})$$

circularly polarized E1 oscillator : $F_{1,1}$, $F_{1,-1}$



共鳴電荷散乱との比較 $f_{cha}^{res} = \frac{3\lambda}{8\pi} (\boldsymbol{\varepsilon}'^* \cdot \boldsymbol{\varepsilon}) [F_{1,1} + F_{1,-1}]$

$$\left(\frac{F_{1,1} - F_{1,-1}}{F_{1,1} + F_{1,-1}} \right)^2 \sim 10^{-3} - 10^{-1}$$

= XMCD ~ 数 - 30 %

スピン軌道相互作用、交換相互作用の大きい系
 → 磁気散乱は増幅される

J. P. Hannon *et al.*, Phys. Rev. Lett. **61**, 1245 (1988).

共鳴軟X線散乱の注意点

1. 長波長

軟X線領域(3d TM: 500 eV ~ 1 K eV) \Leftrightarrow 12.5 ~ 25 Å

Bragg condition ($2d \sin\theta = l$)

対象とする秩序構造は限られる。(周期長 \geq 10 Å)

2. 短い侵入長 : ~ 1000-2000 Å

→ 硬X線散乱・中性子散乱に比べ、表面敏感

清浄な試料表面を準備

(1) 真空中でのへき開

(2) 散乱面の切り出し、様々な表面処理

\Leftrightarrow 表面研磨後に酸素雰囲気 (or大気中) でアニール、エッチング

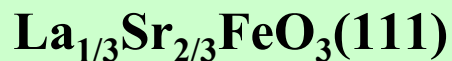
(3) 非常に薄いキャップ層

薄膜試料の共鳴軟X線散乱に向けた特徴

1. 積層構造の作成 : ヘテロ構造、界面

\Leftrightarrow 長周期構造の作成

2. 基盤による調整 \Leftrightarrow 歪みの調整、成長面の調整



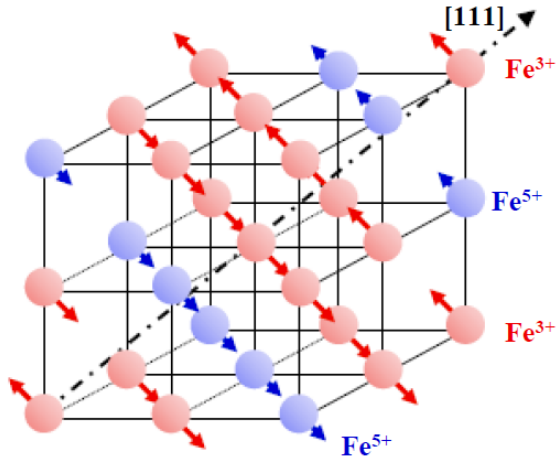
- 磁気秩序構造 $q = (1/6, 1/6, 1/6)$, 周期長 ~ 13.6 Å
- $\text{SrTiO}_3(111)$ 上に成長 \Leftrightarrow 散乱面 = (111)面



Outline of this talk

- ◆ 共鳴軟X線散乱
- ◆ 共鳴軟X線磁気散乱による $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ 薄膜の研究

$La_{1/3}Sr_{2/3}FeO_3$ の電荷不均化転移



- ペロブスカイト型構造

Pseudo cubic(Rhombohedral): $a \sim 3.87 \text{ \AA}$

$Fe^{3+} (3.61 \mu_B)$

$Fe^{5+} (2.72 \mu_B)$

- 電荷不均化転移: $T_{CO} = 207 \text{ K}$

- 反強磁性 : $T_N = 207 \text{ K}$

Mössbauer

M. Takano *et al.*, J. Solid State Chem. **39**, 75 (1981).



明確な格子歪みはない

中性子散乱

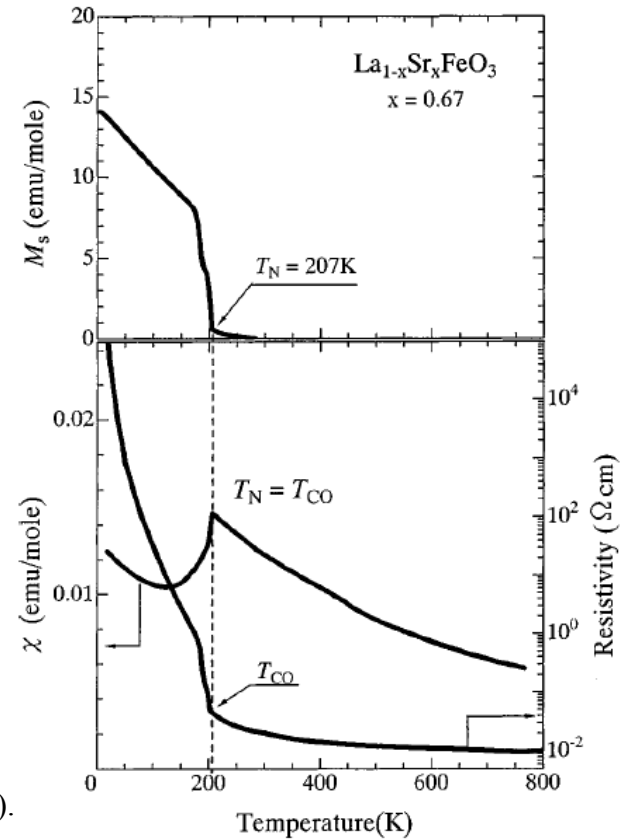
P. B. Battle *et al.*, J. Solid State Chem. **84**, 271 (1990).

[111]方向に3倍周期の電荷密度波

×
反強磁性秩序

||
[111]方向に6倍周期のスピン密度波

常磁性の平均電価相 → [111]方向に反強磁性電荷不均化相

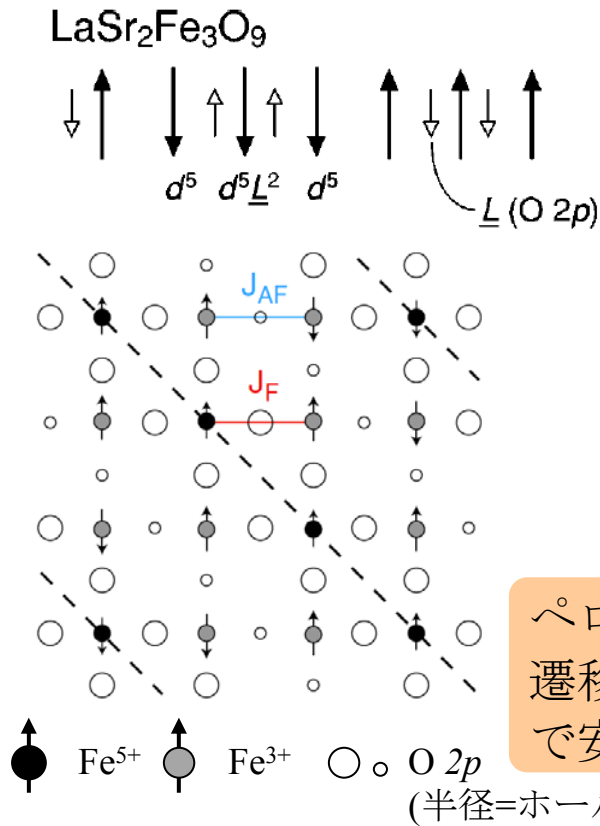


M. Imada *et al.*, Rev. Mod. Phys. **70**, 1039 (1998).

- 磁化、抵抗に2つのとび

電荷不均化転移に関する元素の状態と相互作用

予想されている電荷とスピン間の相互作用



Fe³⁺-O-Fe⁵⁺ : 強磁性交換相互作用 J_F

Fe³⁺-O-Fe³⁺ : 反強磁性交換相互作用 J_{AF}

O 2p状態のホールLの転移 **Fe³⁺ (3.61 μ_B)**

Fe⁵⁺(d^3) → Fe³⁺ $\underline{L}^2(d^5 \underline{L}^2)$ **Fe⁵⁺ (2.72 μ_B)**

J. Matsuno *et al.*, Phys. Rev. B **84**, 271 (1990).

非弾性中性子散乱

$$|J_F/J_{AF}| > 1$$

⇔ 電荷秩序が磁気相関で安定化

R. J. McQueeney *et al.*, Phys. Rev. Lett. **98**, 126402 (2007).

ペロブスカイト[111]に垂直なスピン電荷秩序相は、遷移金属がdomain wallの中心なら超交換相互作用で安定化

T. Mizokawa and A. Fujimori, Phys. Rev. Lett. **80**, 1320 (1998).

電荷不均化相のFe 3d 電子の磁気秩序の情報

→ Fe $L_{2,3}$ 端の共鳴軟x線磁気散乱

ex. Fe₃O₄のVerwey転移

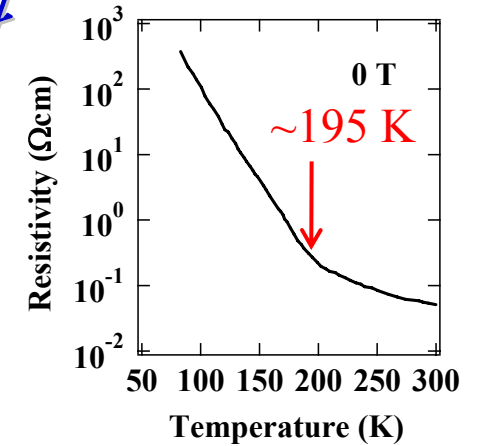
O 2p状態の電荷軌道秩序によりB siteのFeに電荷不均化が生じる

← O K端の共鳴軟x線散乱

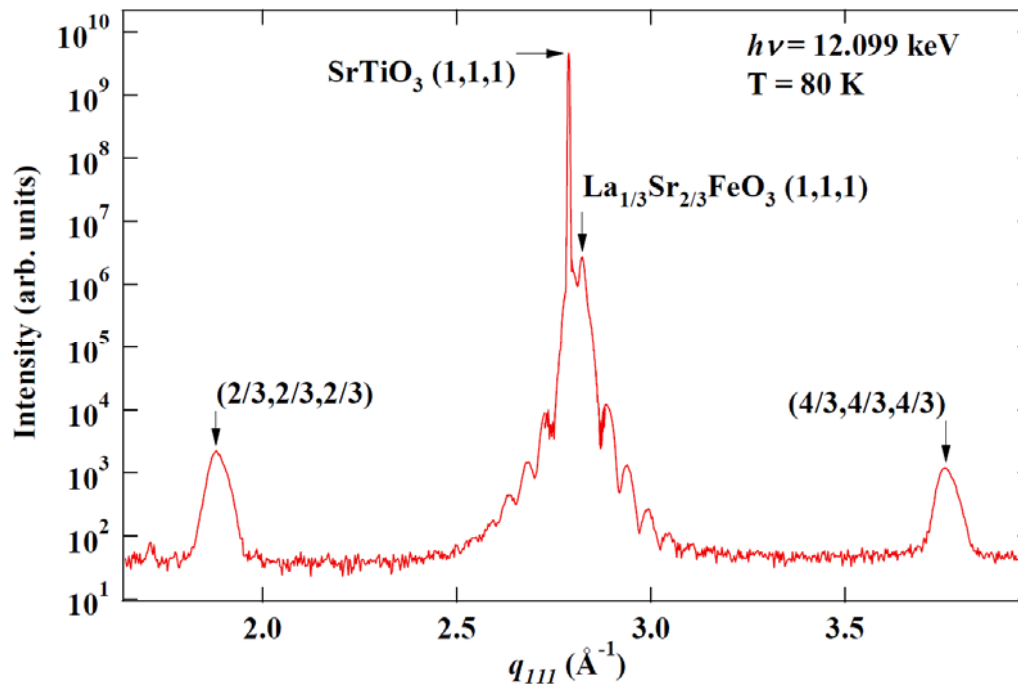
D. J. Huang *et al.*, Phys. Rev. Lett. **96**, 096401 (2006).

$La_{1/3}Sr_{2/3}FeO_3$ (111) / $SrTiO_3$ (111) 薄膜試料

SrTiO ₃ cap	125 Å
$La_{1/3}Sr_{2/3}FeO_3$ (111)	1000 Å
SrTiO ₃ substrate (111)	



硬x線散乱 q scan along [111] direction



BL 13A at NSRRC, Taiwan
 $h\nu = 12099.3$ eV
 $T = 80$ K

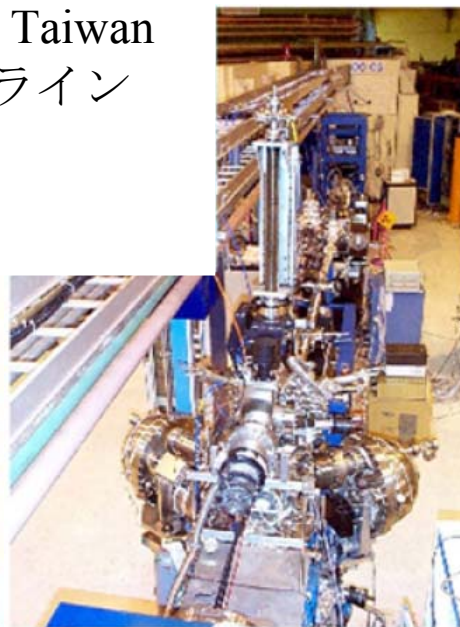
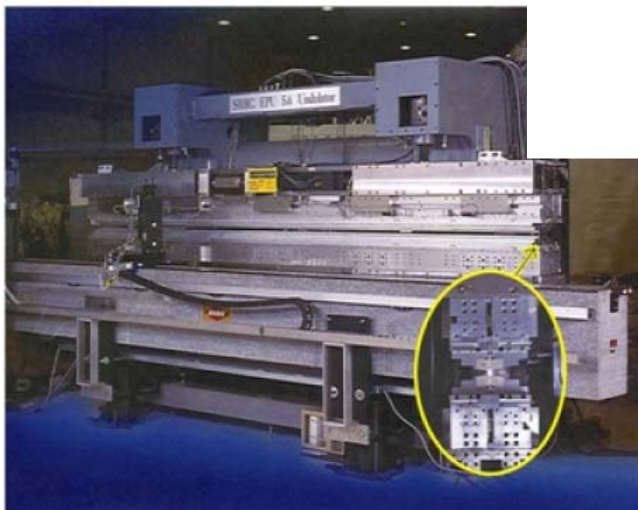
Fringe \Leftrightarrow Cap層膜厚

- 格子のBragg 散乱 : $q = (1,1,1)$
- 電荷秩序散乱 : $q = (1 \pm 1/3, 1 \pm 1/3, 1 \pm 1/3)$
- ✗ 磁気秩序散乱 : $q = (1 \pm 1/6, 1 \pm 1/6, 1 \pm 1/6)$

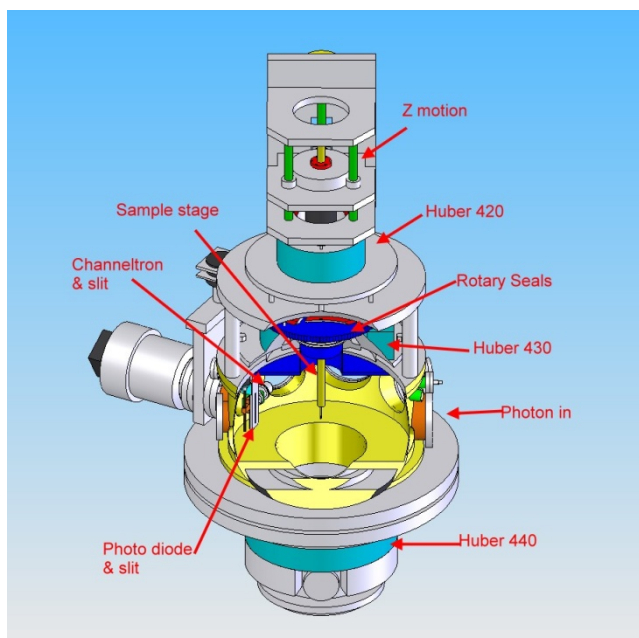
→ 散乱断面積の違い

Experimental

BL-5 EPU beamline at NSRRC, Taiwan
4-m 楕円偏光undulatorビームライン



NSRRC, Taiwan
1.5 GeV ring

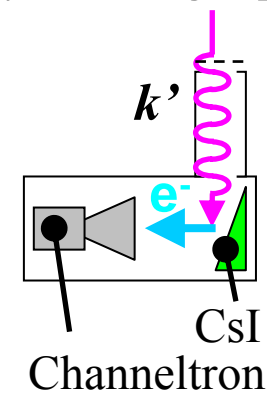


超高真空用二軸回折計

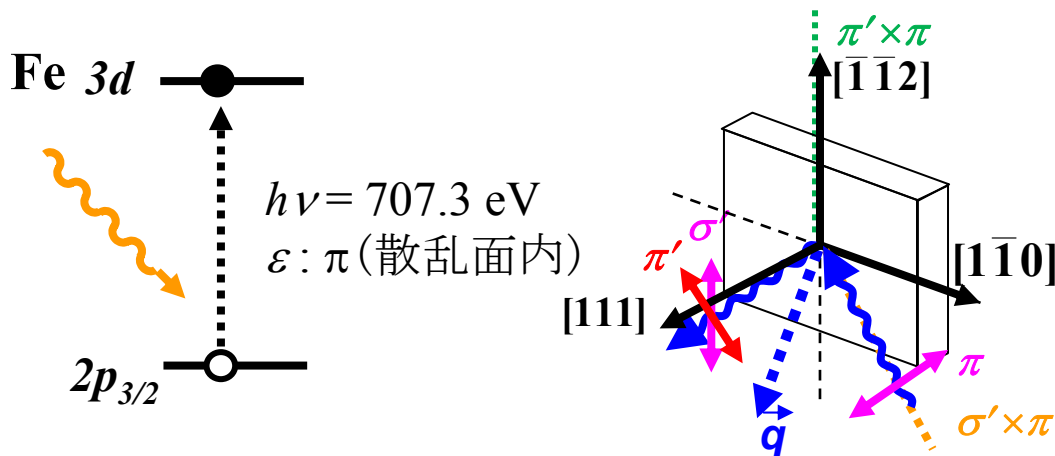
- Base pressure : 5×10^{-9} torr
- Lowest Temperature : 8 K by flowing *liq.* He
- 2θ limit : 173°
- $\Delta q \sim 0.0005 \text{ \AA}^{-1}$

検出器

- Photodiode
- Channeltron

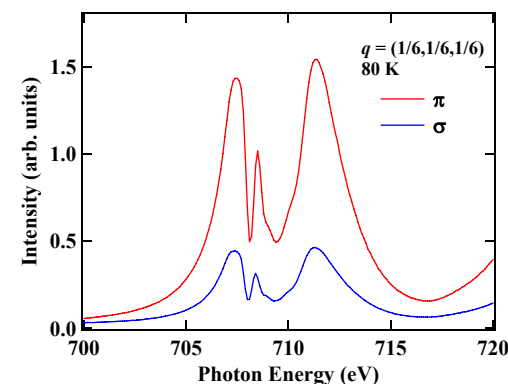
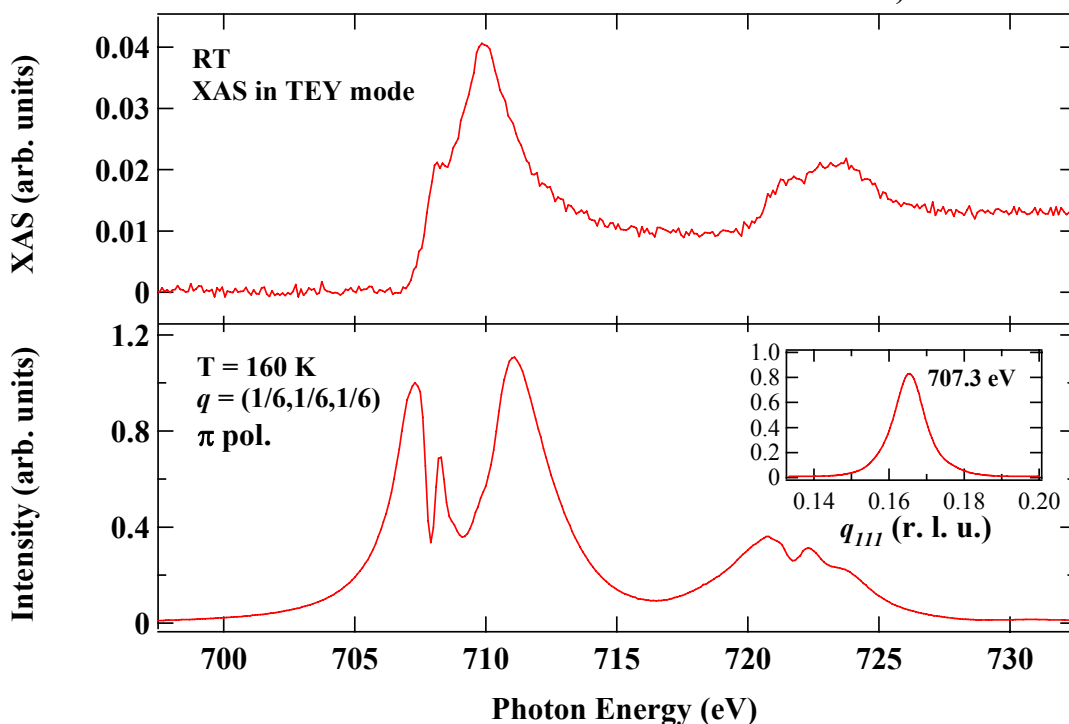


$La_{1/3}Sr_{2/3}FeO_3$ の共鳴軟x線磁気散乱測定



$$f^{res} \propto \frac{(\epsilon'^* \cdot \epsilon)[F_{1,1} + F_{1,-1}]}{\text{電荷散乱}} + \frac{(\epsilon'^* \times \epsilon) \cdot \hat{Z}[F_{1,1} - F_{1,-1}]}{\text{磁気散乱}}$$

XAS and Constant q scan around Fe $L_{2,3}$ edge

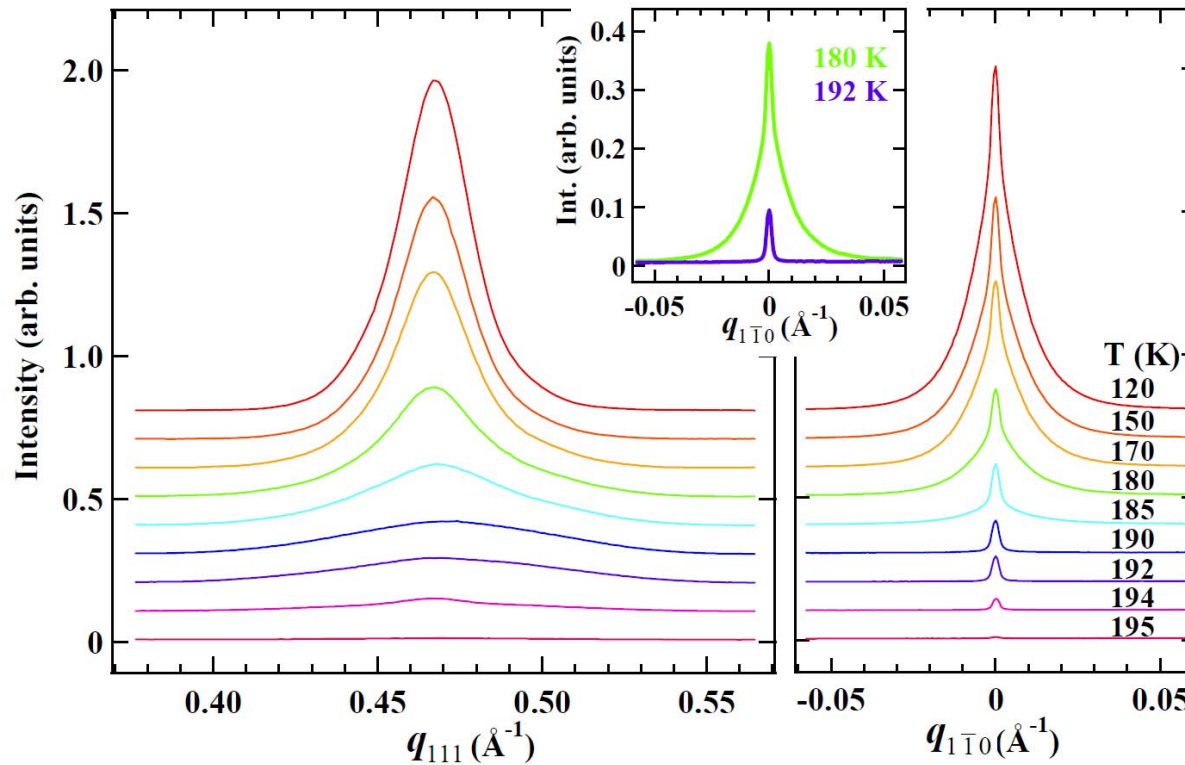


1. $q = (1/6, 1/6, 1/6)$
2. PeakがFe L_3 より低エネルギー
ref. $La_{1.5}Sr_{0.5}MnO_4$
3. 偏光依存性: $I_\pi \gg I_\sigma$
磁気秩序を測定

磁気秩序構造の温度依存性

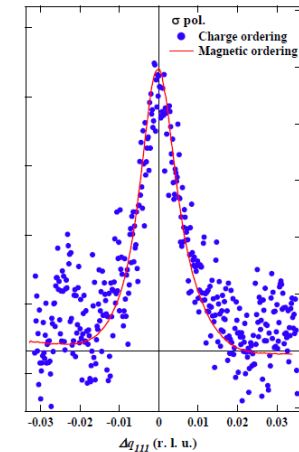
磁気秩序構造: $q = (1/6, 1/6, 1/6)$

共鳴軟x線散乱



$h\nu = 707.3 \text{ eV}$
 $\varepsilon : \pi$ (散乱面内)

Ref. 電荷・磁気秩序
 の比較



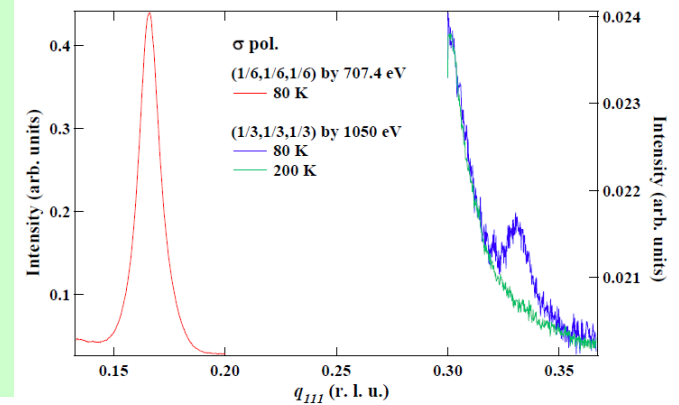
二つの転移点: **195 K** と **188 K**

q_{111} scan: (111)面間の秩序構造
 $T < 195 \text{ K}$: 徐々に細くなる

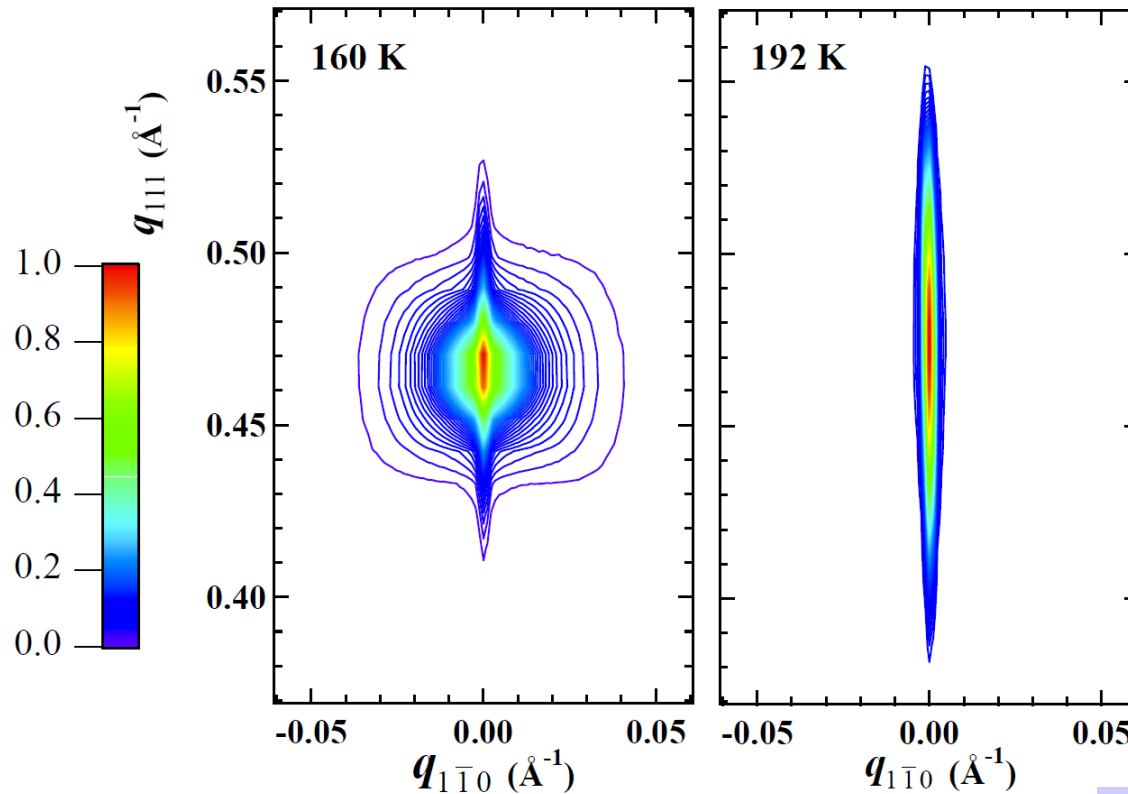
$q_{1\bar{1}0}$ scan: (111)面内の秩序構造

$188 \text{ K} < T < 195 \text{ K}$: 鋭いピーク

$T < 188 \text{ K}$: 別の広いピーク



$q_{111}q_{1-10}$ 空間での磁気秩序構造の分布



$h\nu = 707.3 \text{ eV}$
 $\varepsilon: \pi$ (散乱面内)

188 K上下での磁気秩序構造の比較

192 K: 擬二次元的な構造

q_{1-10} 方向に鋭く、 q_{111} 方向に広い

160 K: 二つの構造の重なり

擬2次元的な構造 : 192 Kで見られたもの
等方的な構造 : 188 K以下で現れたもの

195 K と 188 K の転移

195 K:

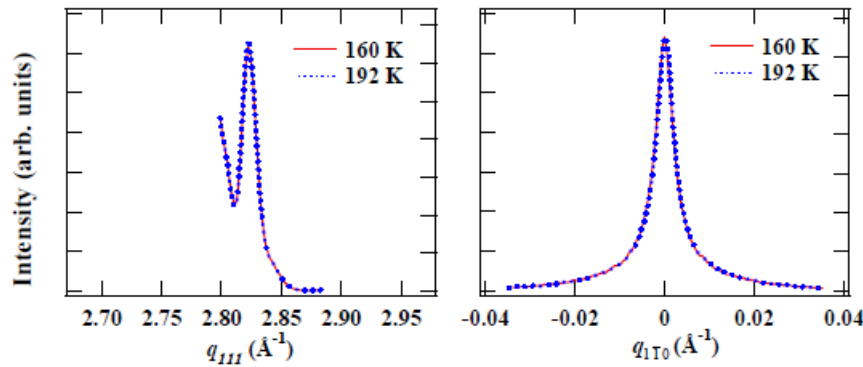
擬二次元的構造を持つ
ドメインが現れる。

188 K:

三次元等方的構造を持つ
ドメインが現れる。

格子構造と電荷、磁気秩序構造の q_{111} , q_{1-10} scan の比較

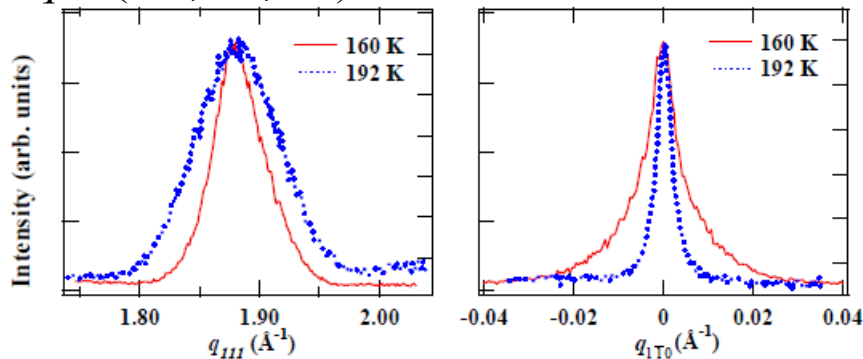
$q = (1,1,1)$



格子構造：
スペクトルに明確な変化が見えない

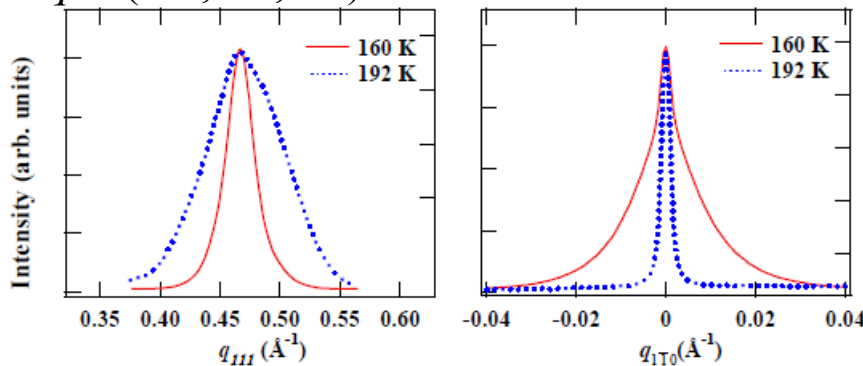
電荷秩序と磁気秩序：
ほぼ同じ変化の傾向を示す

$q = (2/3, 2/3, 2/3)$



温度が下がると
 q_{111} scan：
徐々に狭くなる
 q_{1-10} scan：
鋭い構造に幅広の構造が加わる

$q = (1/6, 1/6, 1/6)$



$\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ の電荷不均化転移は格子の歪みを伴わない

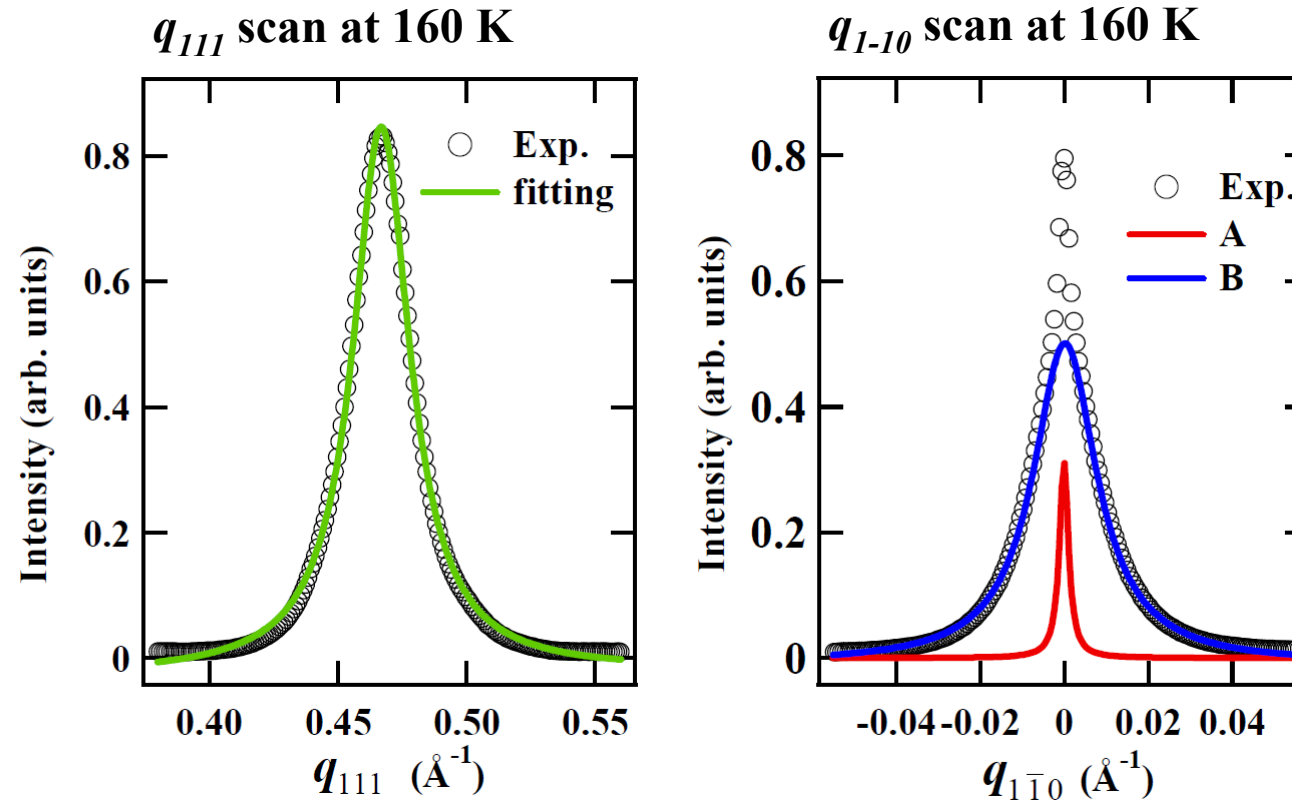
$\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ の電荷秩序は交換相互作用によって安定化されている

T. Mizokawa and A. Fujimori Phys. Rev. Lett. **80**, 1320 (1998).

J. Matsuno *et al.*, Phys. Rev. B **60**, 4605 (1999).

➔ 磁気秩序構造を詳細に解析

磁気秩序構造の相関長： q_{111} , q_{1-10} scan



構造の fitting

q_{111} scan: 1 Lorentz function

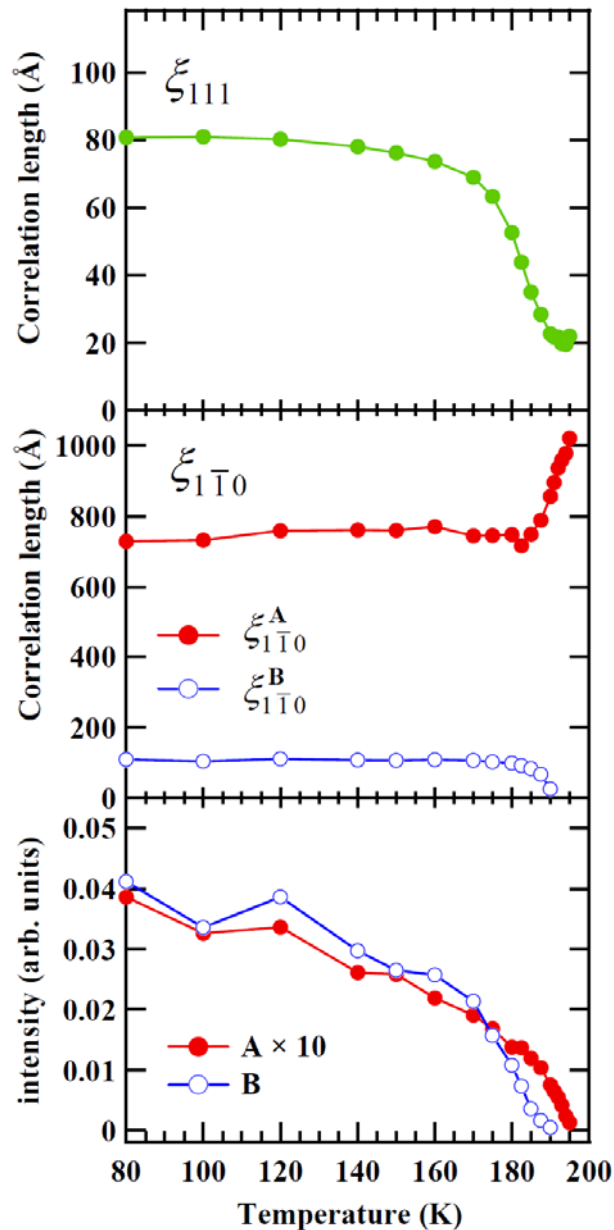
q_{1-10} scan: 2 Lorentz functions

⇔ Domain A ($T < 195$ K) と B ($T < 188$ K)

積分強度

相関長 $\xi \equiv 1/\text{HWHM}$

磁気秩序相関長と積分強度の温度依存性



188 K ≤ T ≤ 195 K : Domain Aのみ

$\xi_{111} : 20 \text{ \AA}$

$\xi_{1-10} : 1000 \text{ \AA} \rightarrow 700 \text{ \AA}$

A = (111)面内に相関の強い擬2次元秩序構造

T ≤ 188 K : Domain AとBの混在

$\xi_{111} : 20 \text{ \AA} \rightarrow 80 \text{ \AA}$

$\xi_{1-10} : A, B$

$\xi_{1-10}^A \sim 700 \text{ \AA}$

$\xi_{1-10}^B \sim 100 \text{ \AA}$

B = 3次元等方的秩序構造

Domain AとBの積分強度

ともに、温度が下がるとともに増大するが、BはAよりも1桁強くなる



電荷不均化転移直後は擬2次元秩序構造
低温では3次元等方的秩序構造が主体

測定結果に基づく議論と考察

195 K : (111)面内に相関の強い擬2次元電荷・磁気秩序構造が生じる

188 K : 相関長の短い3次元等方的電荷・磁気秩序構造が生じ、主体に

1. $\text{Fe}^{3+}\text{-O-Fe}^{5+}$ J_F が $\text{Fe}^{3+}\text{-O-Fe}^{3+}$ J_{AF} より非常に強い
2. O 2pバンドからの電荷移動で Fe^{5+} は $\text{Fe}^{3+}\underline{L}^2$ ($d^5\underline{L}^2$).

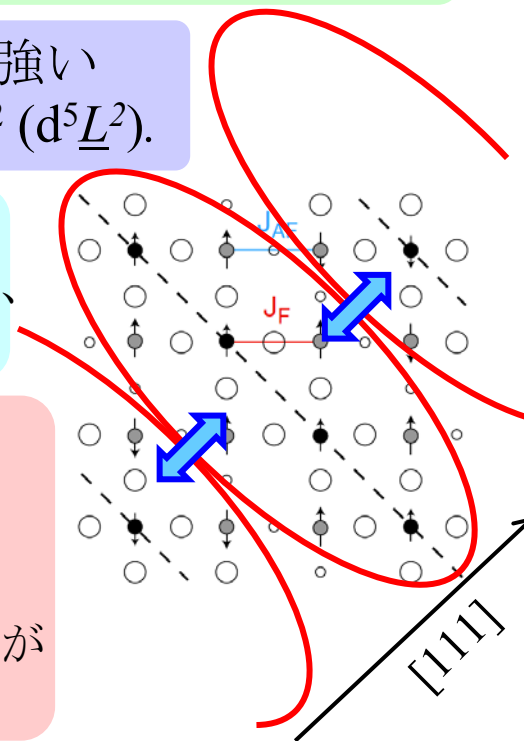
Fe^{5+} の周りにO 2pホールが隣接して
 $\text{Fe}^{3+}\text{-O-Fe}^{5+}\text{-O-Fe}^{3+}$ の三重層が強磁性的に結合し、
長距離擬2次元磁気秩序構造を作る

電荷不均化転移でのO 2pホール

均一に分布していたO 2pホール層



2層の高ホール濃度層と1層の低ホール濃度層が
交互に並ぶ



長距離擬2次元磁気秩序構造は[111]方向へ反強磁性的に並び成長する

$\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ のrhombohedralな歪みが[111]方向で安定する

⇔長距離擬2次元秩序は格子によってかなり安定する

188 K以下の3次元秩序の相関長は短い

⇔歪んでいるものの、 FeO_6 八面体のFe-Oボンド長は全て等しい

共鳴軟X線散乱による $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ 薄膜の研究まとめ

電荷不均化転移を示す $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ 薄膜の磁気秩序をFe $L_{2,3}$ 端での共鳴軟x線磁気散乱で測定した。

電荷不均化転移は、単純な電荷均一常磁性相から反強磁性電荷不均化相への転移でないことが明らかになった。

強磁性的な $\text{Fe}^{3+}\text{-O-Fe}^{5+}\text{O-Fe}^{3+}$ 三重層が酸素ホールの分布変化によって安定化し、擬2次元の長距離秩序を示す。

温度を下げると、3次元等方的な磁気秩序構造が生じ、低温では支配的になる。

PF BL-16A 軟x線散乱測定装置

BL-16A: 可変偏光X線分光ステーション

偏光モード: 左右円偏光、水平・垂直直線偏光

エネルギー分解能: ~ 0.1 eV (500 eV - 1500 eV)

測定可能波長領域: 250-1800eV

ビームサイズ: 縦 $50 \mu\text{m}$ 、横 $100\text{-}200 \mu\text{m}$

軟X線用 2軸回折計

2θ 可動範囲: $0\text{-}170^\circ$

真空度: $< 1 \times 10^{-5}$ Pa

検出器: PD, MCP

Heフロークライオ: 試料位置 $12\text{-}350\text{K}$

PF 久保田正人

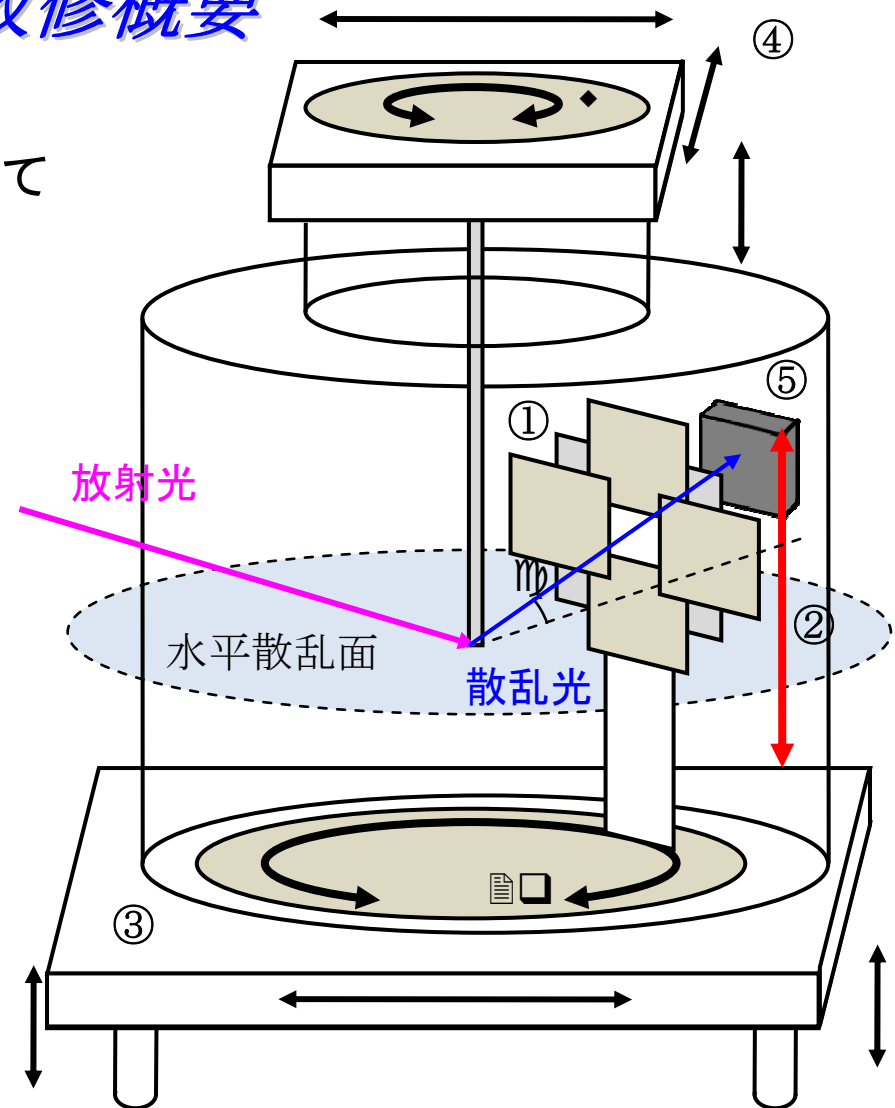


軟X線散乱測定装置改修概要

精度が高く、かつ、快適な
共鳴軟X線散乱実験を目指して

改修項目

- ① 4象限スリット設置
迷光、background cut
- ② 検出機構のz駆動
擬似的 χ 駆動
- ③ 架台
光軸微調整
- ④ xyz stageモーター駆動
試料位置合わせ
- ⑤ パルスカウント検出器
S/N向上



研究計画

Mn L_3 端、O K 端での共鳴軟X線散乱
→ $(\text{LaMnO}_3)_m/(\text{SrMnO}_3)_n$ 薄膜の界面電子構造研究



Thank you for attention !