

BL-16Aにおける 軟X線利用研究の展開

— 深さ分解XAFS法を用いた薄膜の研究を中心に —

KEK-PF 雨宮健太



Overview of BL-16A

Light Source: Twin APPLE II Undulators with Kicker Magnets

Variable Polarization: Circular and Linear (Horizontal/Vertical) Polarization

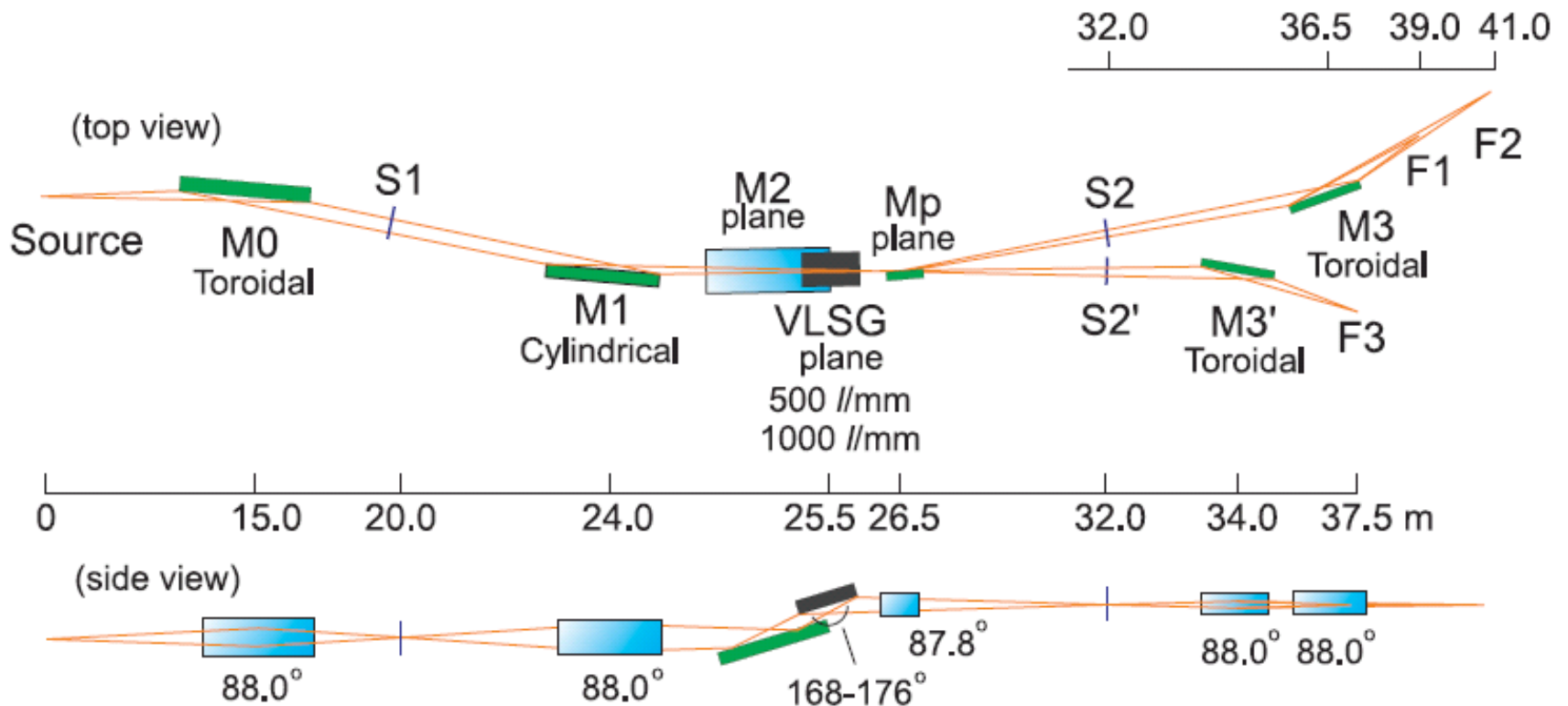
Fast Switching (~10 Hz)

1st Undulator: Mar-Apr 2008, 2nd Undulator: 2010 Summer

Monochromator: Variable-Included-Angle Varied-Line-Spacing Grating

200-1500 eV (3d Transition Metals, Light Elements, and Rare-earth Elements)

Installation: 2007 Summer, Commissioning: Oct 2007-

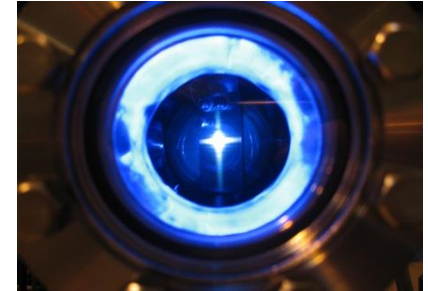
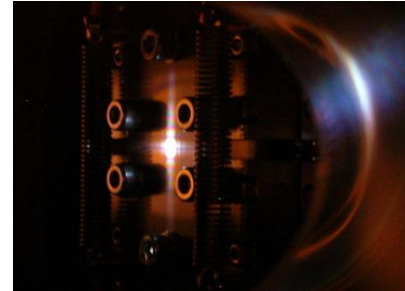




立ち上げ状況

Oct 29, 2007

**First beam with old undulator
(linear polarization)**



May 12, 2008

**First beam with new APPLE II undulator
(linear polarization)**

Jun 22, 2008

**First XMCD spectrum
(circular polarization)**

Oct 7, 2008

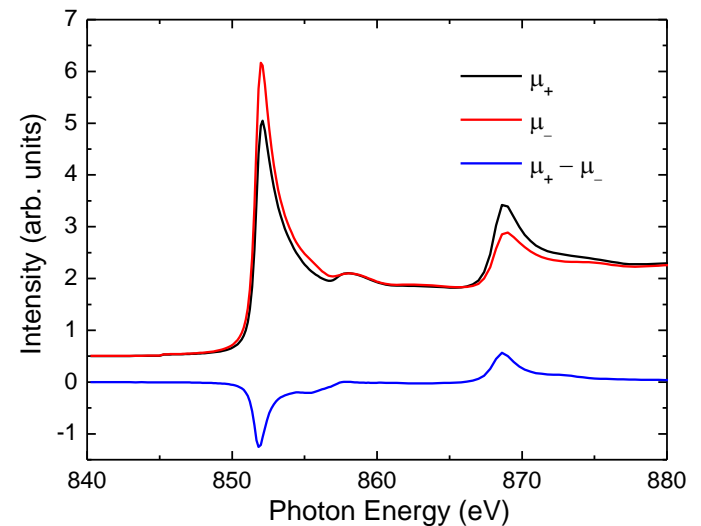
**User experiments
(circular polarization; 280-1000 eV)**

Dec, 2008

**Horizontal/Vertical polarization
(280-1500 eV)**

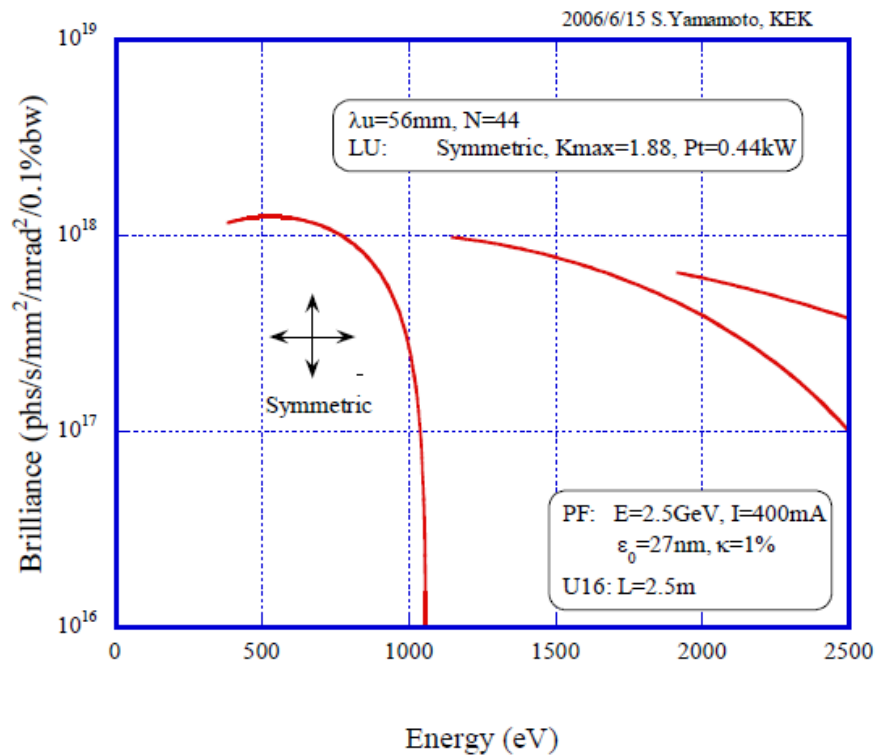
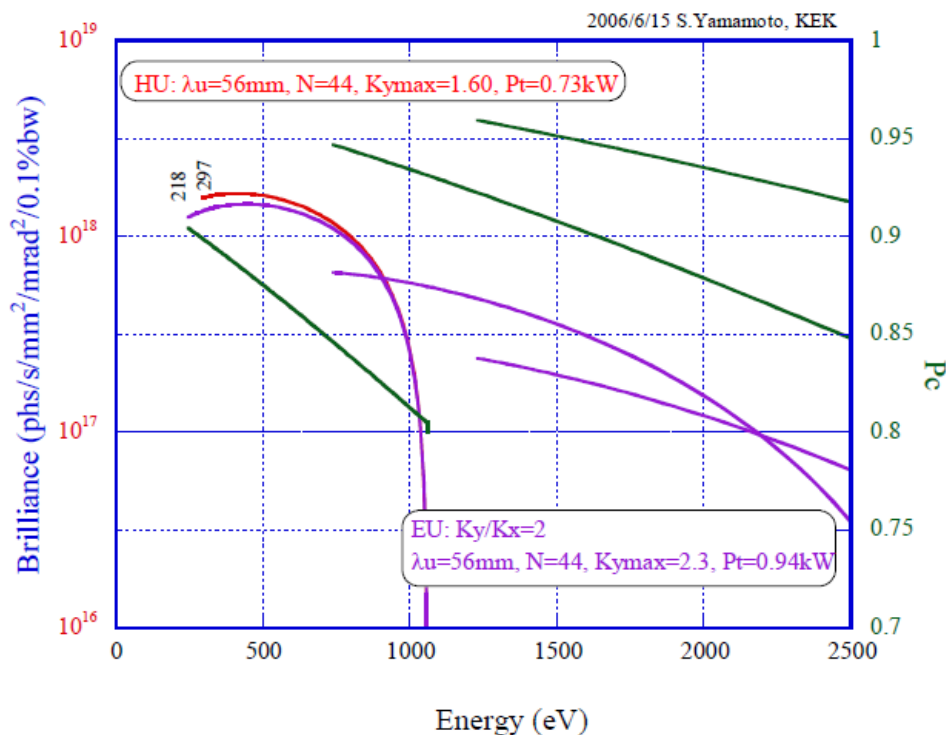
Apr, 2009

Elliptical polarization (220-1500 eV)





偏光モード

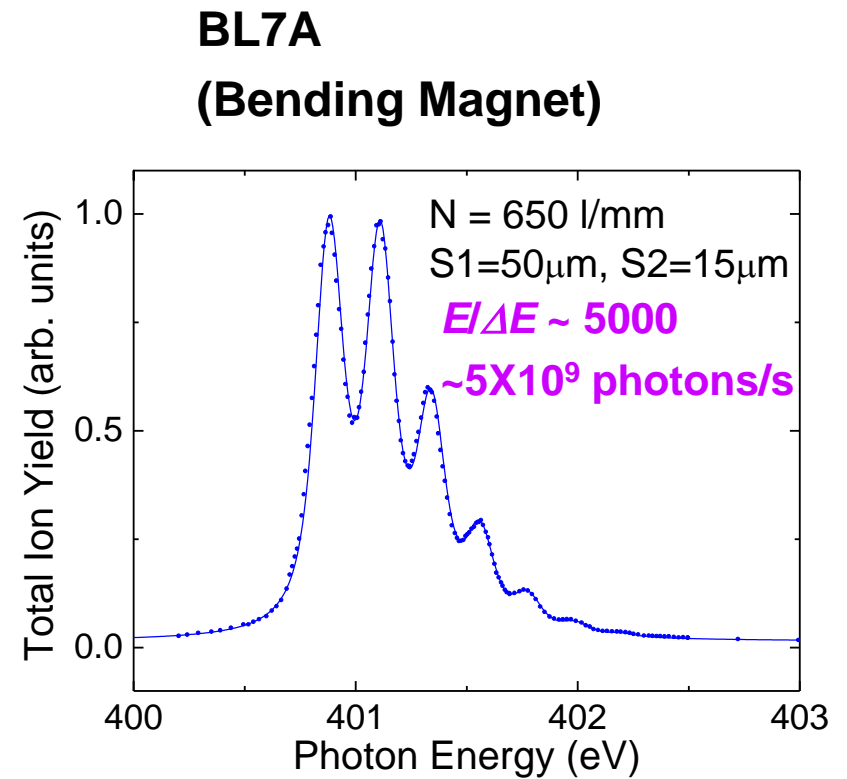
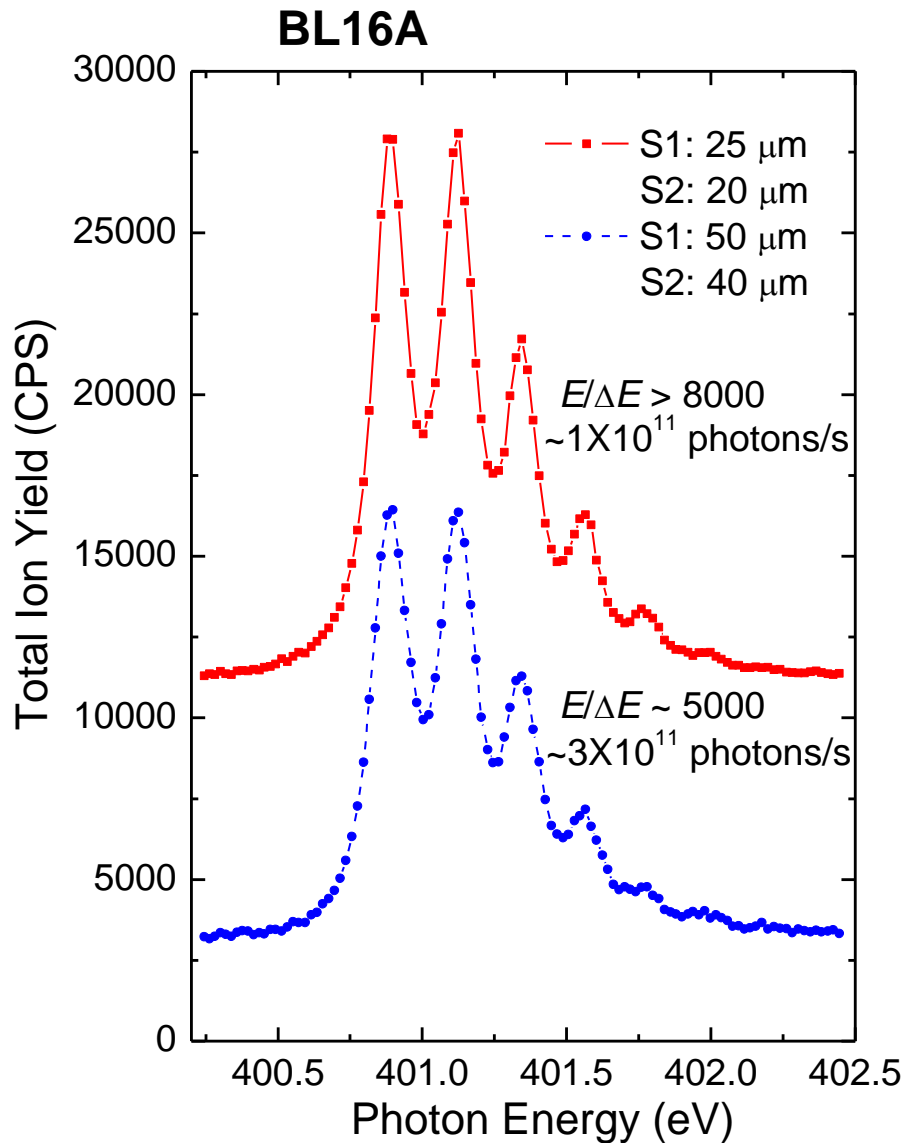


左右円偏光: 297 – 1000 eV
水平直線偏光: 180 – 1500 eV
垂直直線偏光: 380 – 1500 eV
楕円偏光: 218 – 1500 eV

これらの偏光モードが
常時利用可能

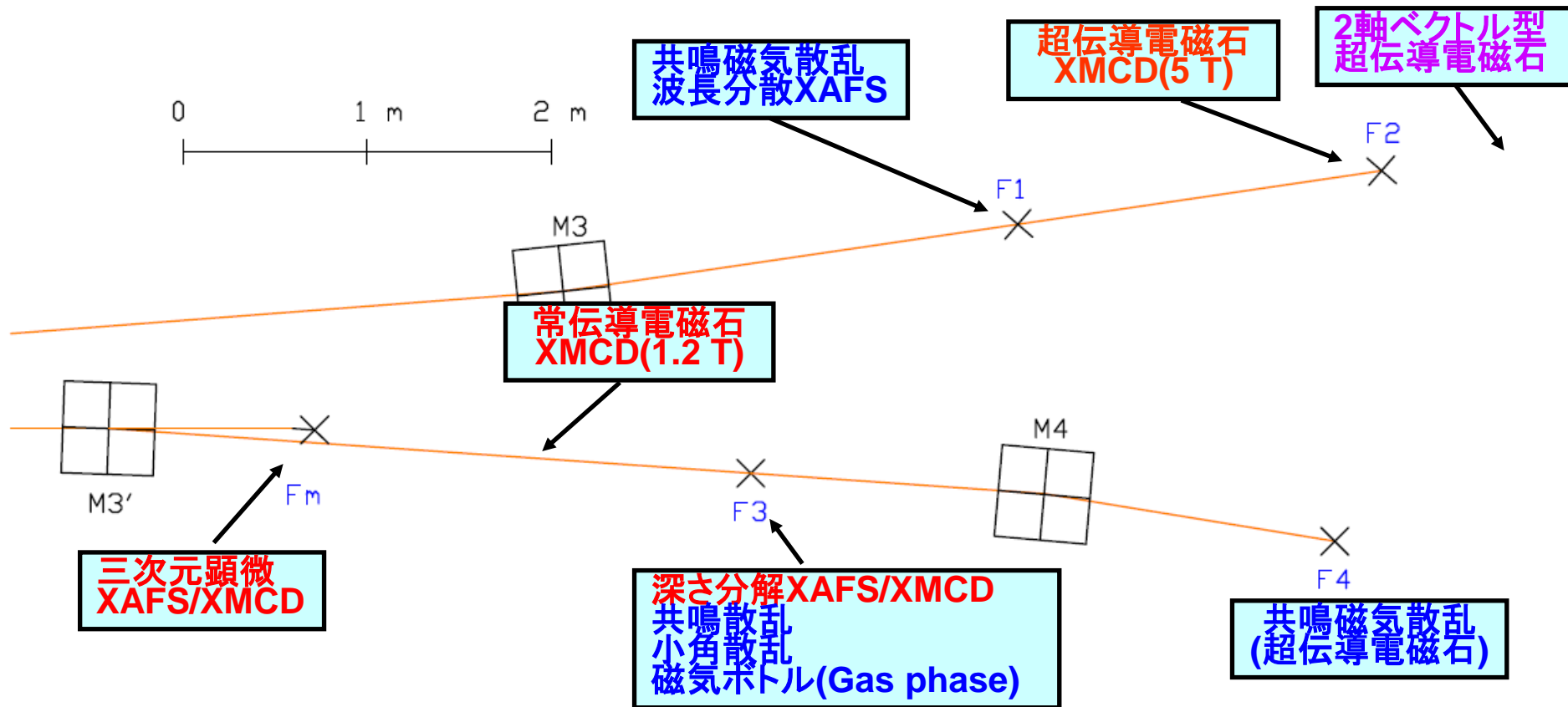
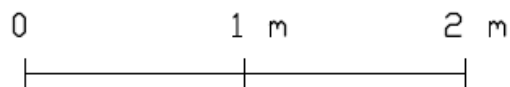
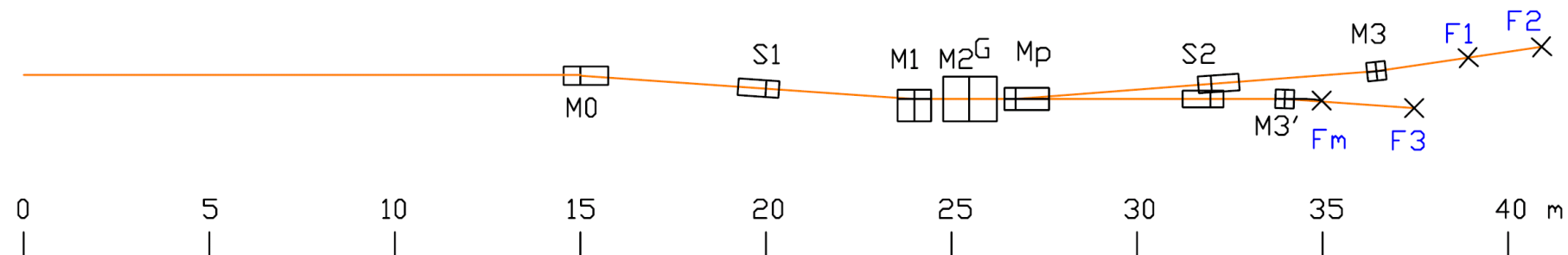


Flux & Energy Resolution





BL-16Aにおける実験装置の現状

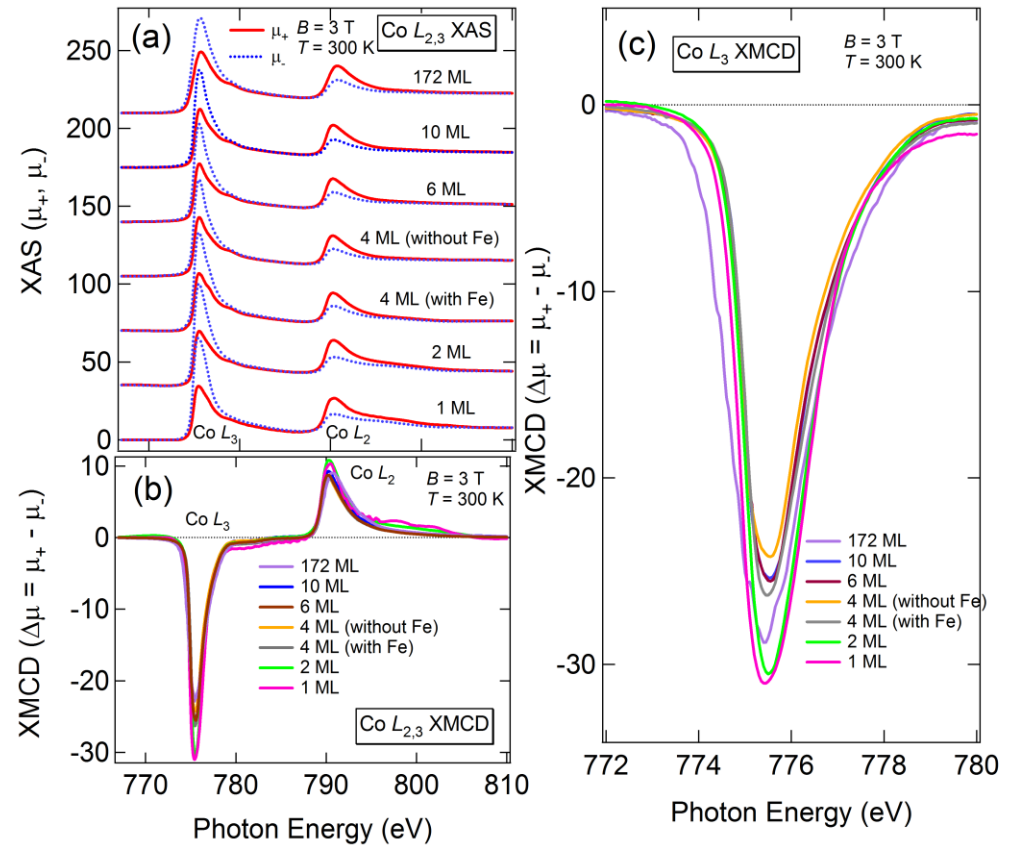
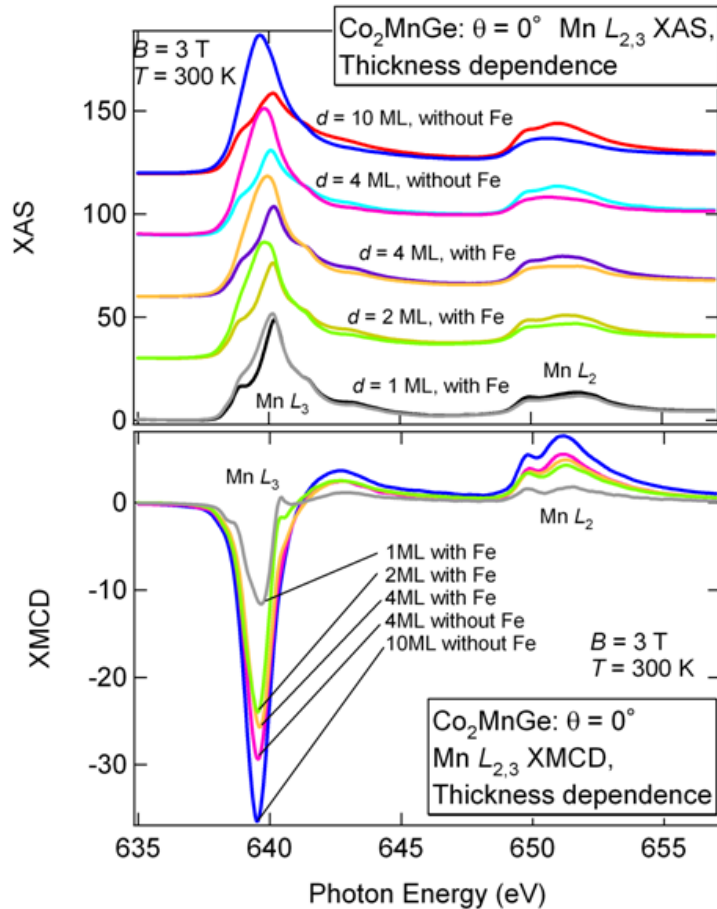
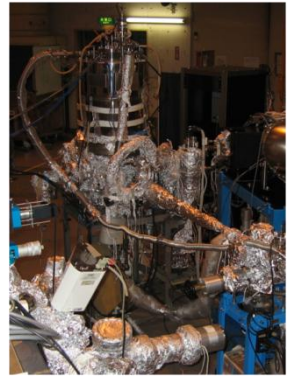
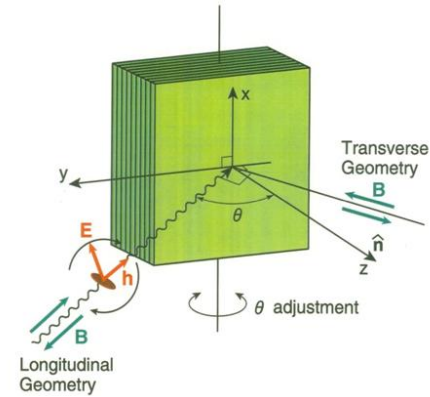




測定装置の現状

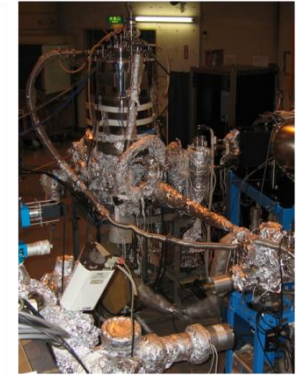
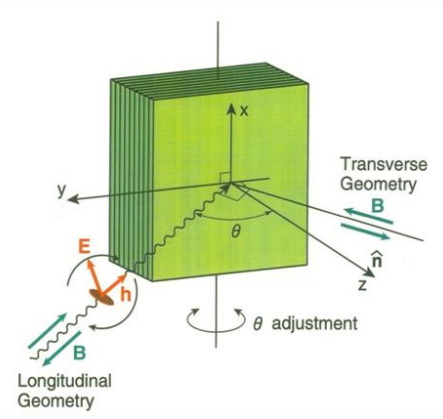
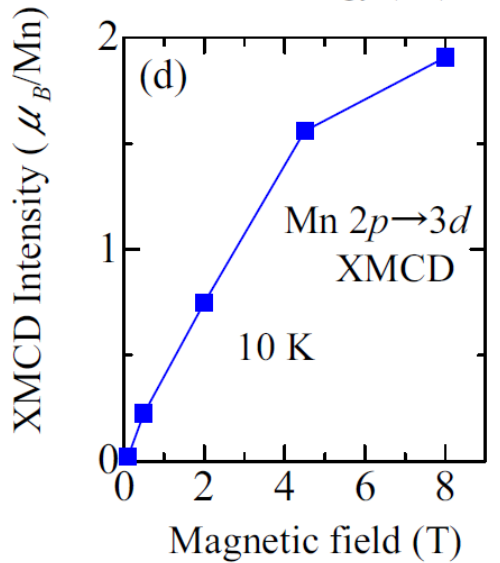
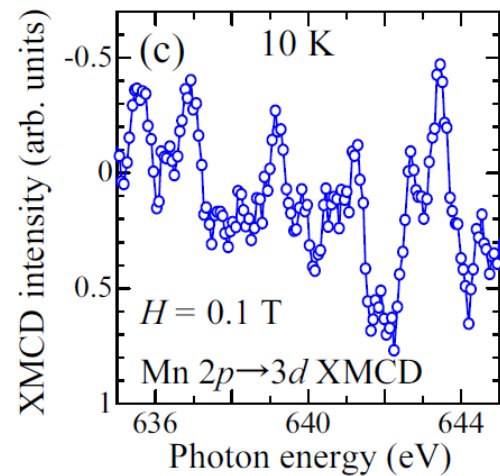
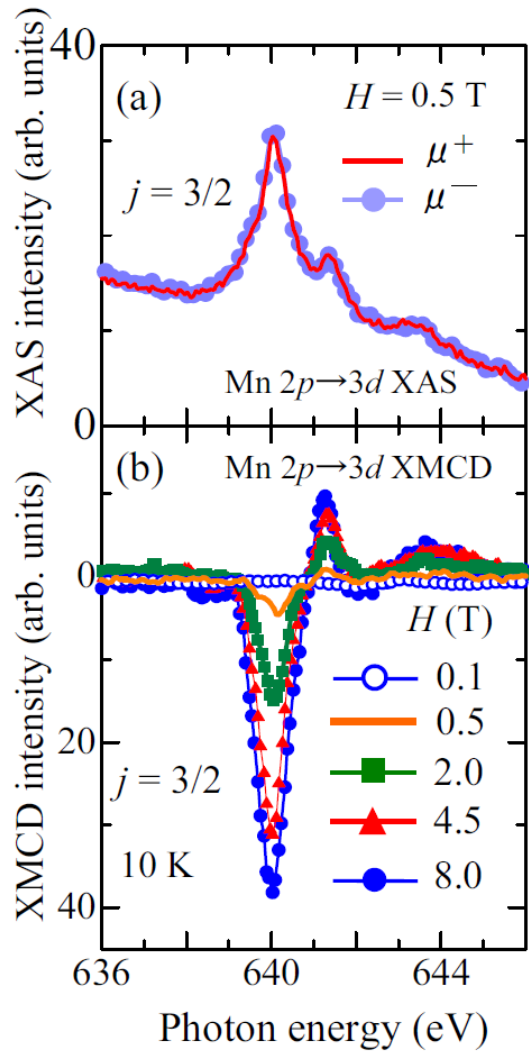
(1) 超伝導電磁石(5 T) 配置・角度依存XMCD (小出, 藤森G)

F2ポートに固定
定常的な実験が可能
全蛍光収量法(フォトダイオード)も利用可能





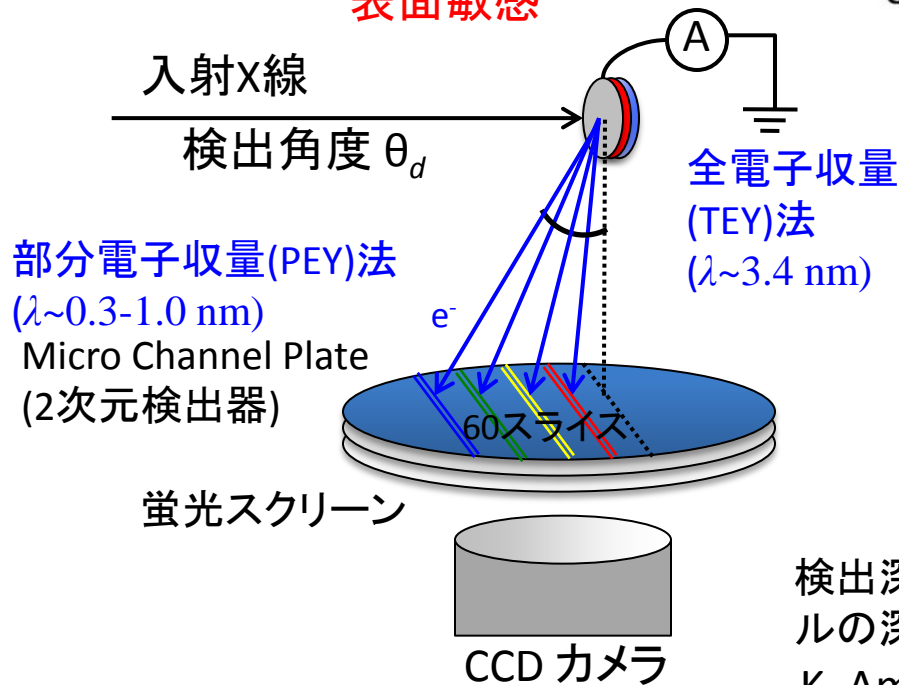
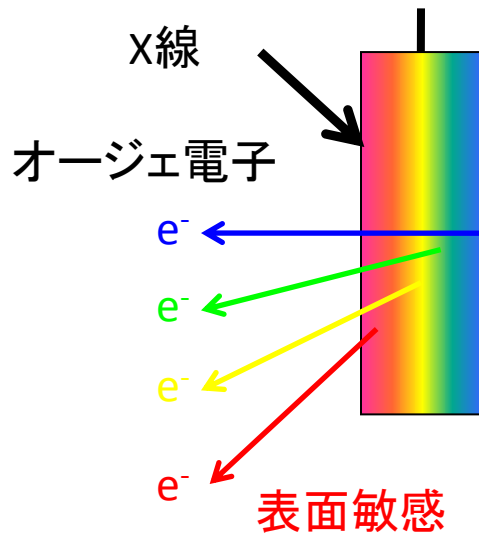
(1) 超伝導電磁石(5 T) 配置・角度依存XMCD (小出, 藤森G)



$\text{Zn}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{O}$ 薄膜において、常磁性状態でもXMCDシグナルを観測。

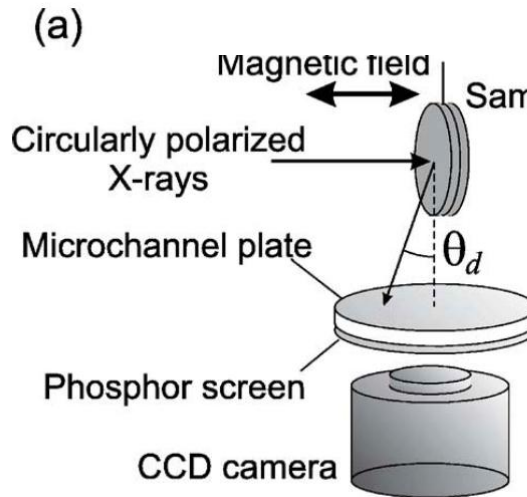


(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)



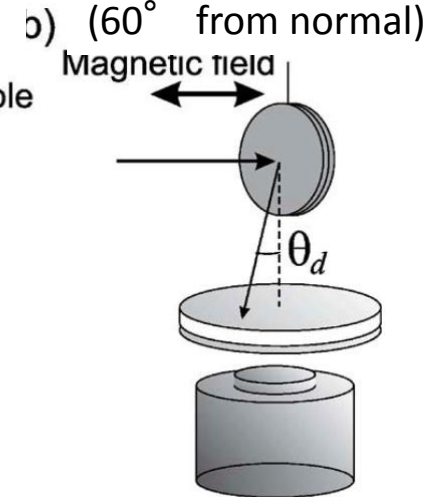
面直磁化成分

Normal x-ray incidence



面内磁化成分

Grazing x-ray incidence



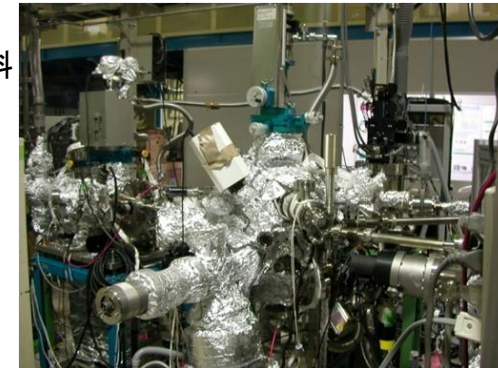
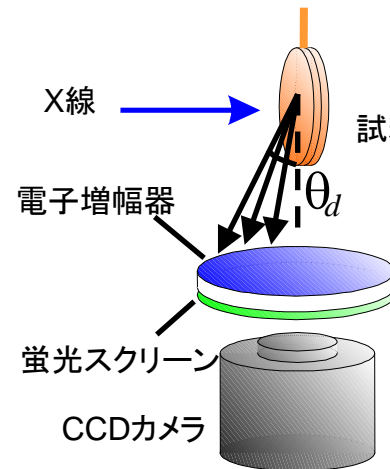
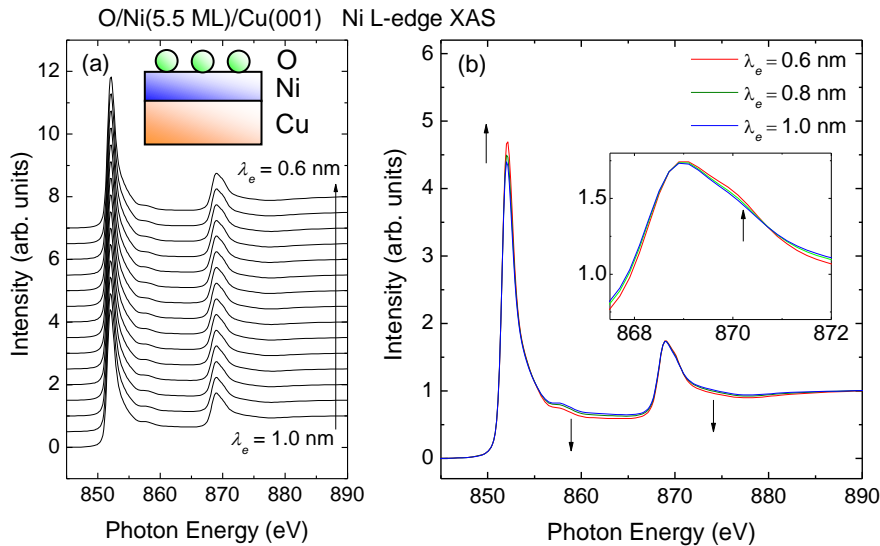
検出深さ λ によるスペクトルの違いから、原子層レベルの深さ分解XMCDスペクトルを抽出

K. Amemiya *et al.*, Appl. Phys. Lett. **84**, 936 (2004).

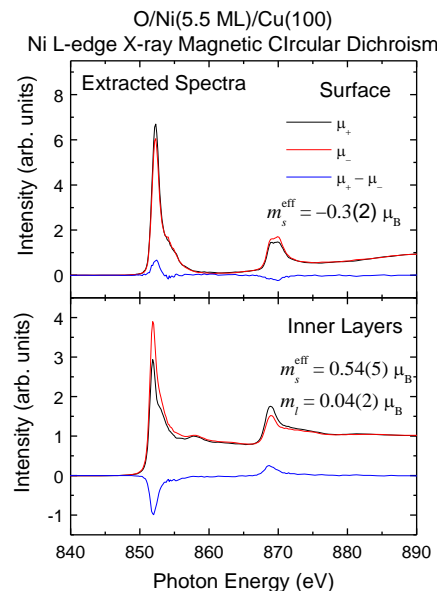
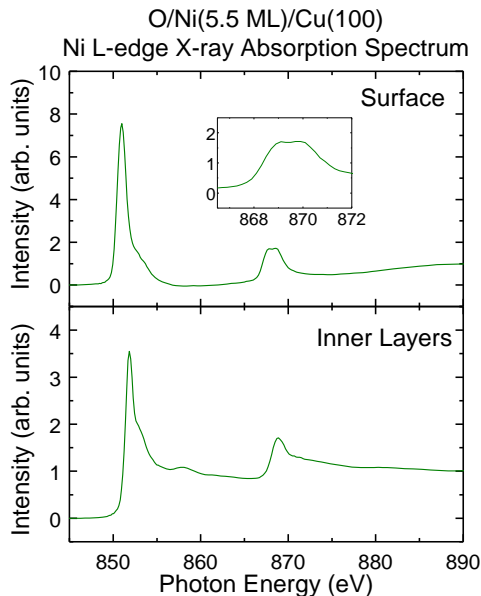


(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

反強磁性／強磁性界面における原子層レベルの磁気構造の制御と観察



深さ分解XMCD



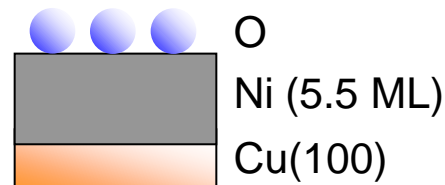
O/Ni(5.5 ML)/Cu(100)において、
表面に一層のみのNiO類似構造を観測

表面のNiO類似構造において、
内部のNi層と逆向きモーメントを観察

K. Amemiya and M. Sakamaki,
Appl. Phys. Lett. 98 (2011) 012501.

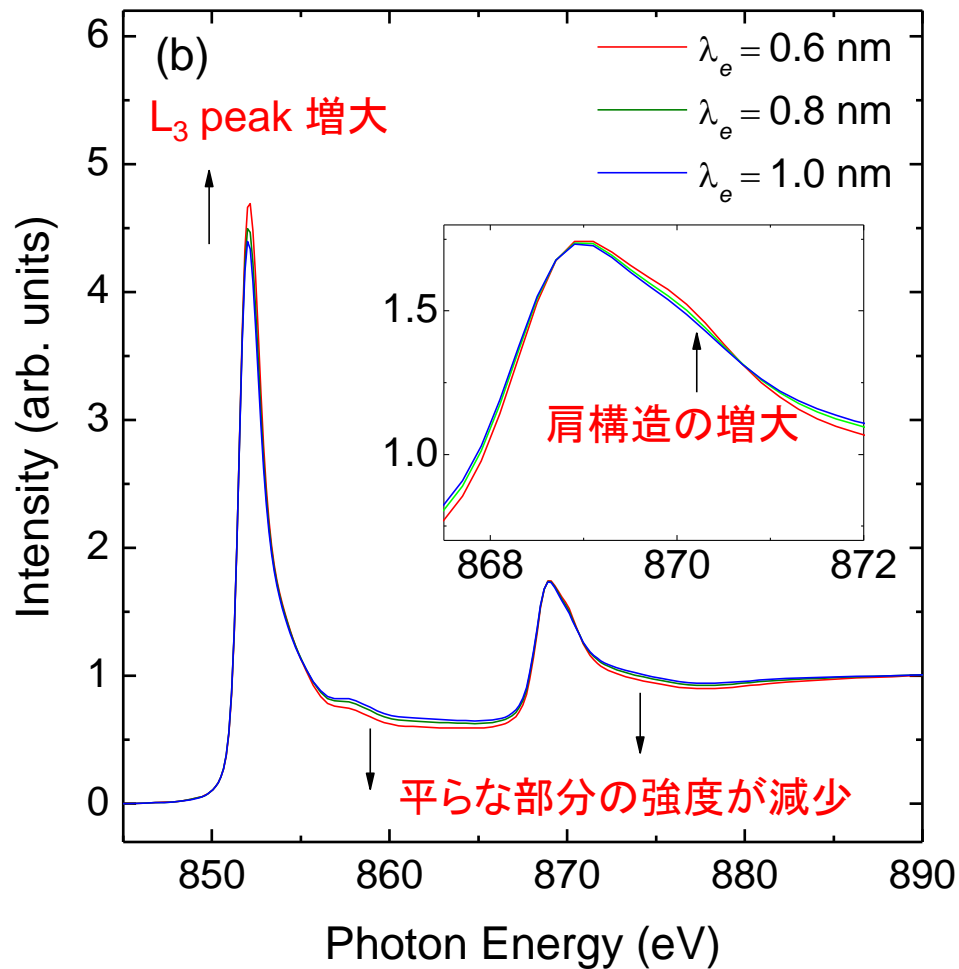
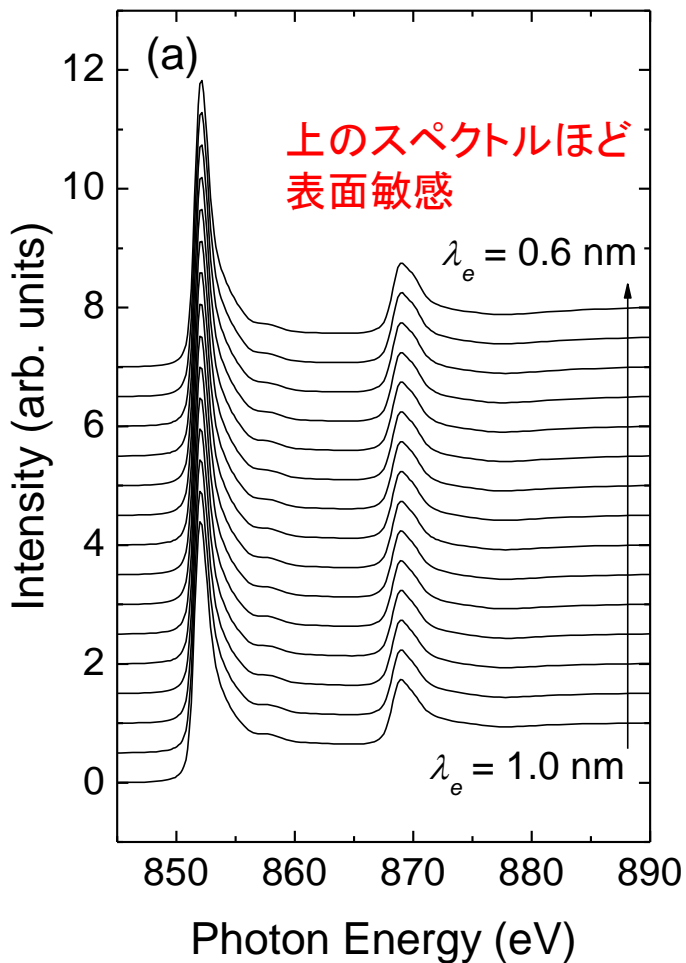


(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)



XASスペクトルの検出深度依存性

O/Ni(5.5 ML)/Cu(001) Ni L-edge XAS (X-ray Absorption Spectrum)



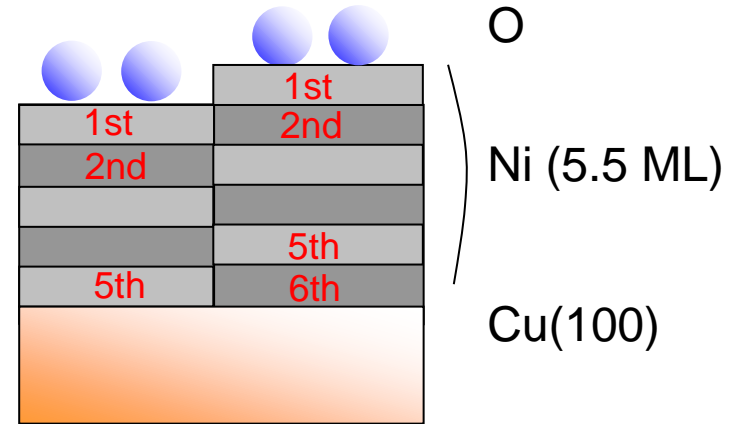
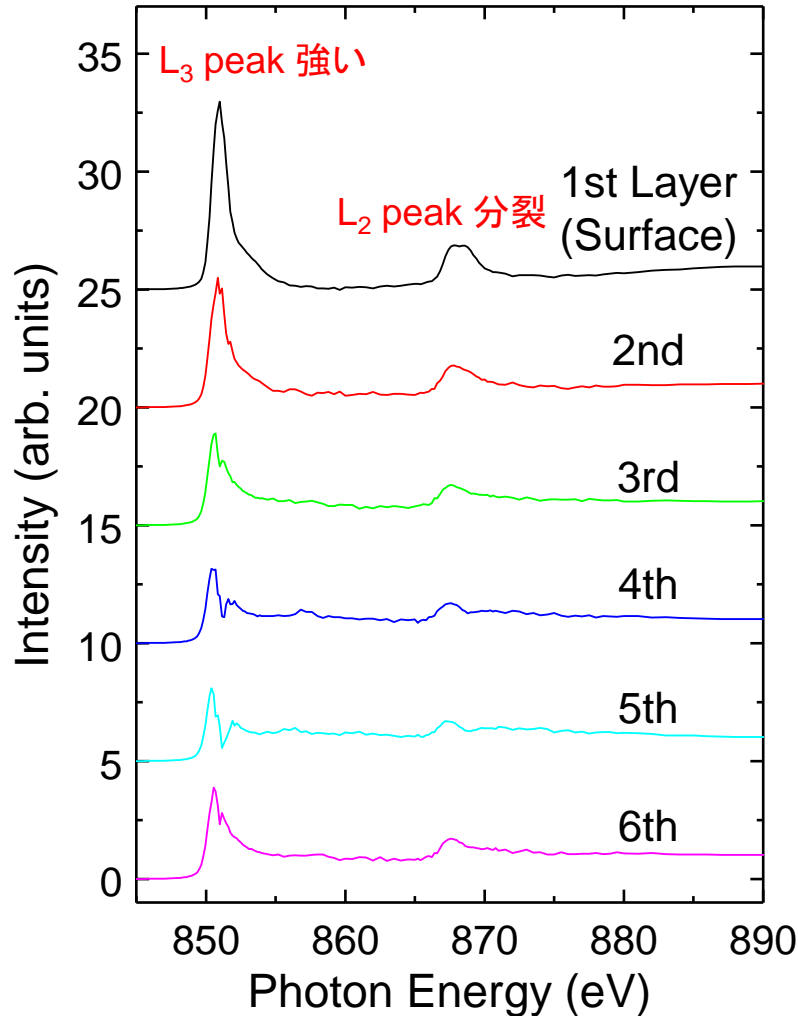


(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

層ごとに分解した XASスペクトル

O/Ni(5.5 ML)/Cu(001)

Ni L-edge XAS ($E//x$) Extracted Spectra



1層目はそれ以降とは大きく異なる

表面のみの酸化を示唆

⇒ 表面1層とそれ以外からなる

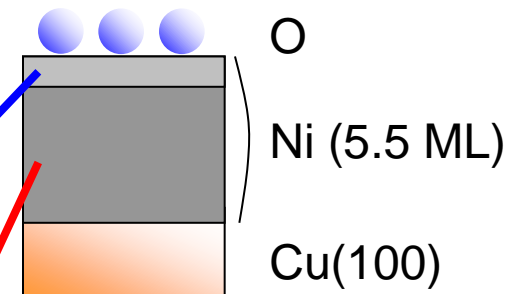
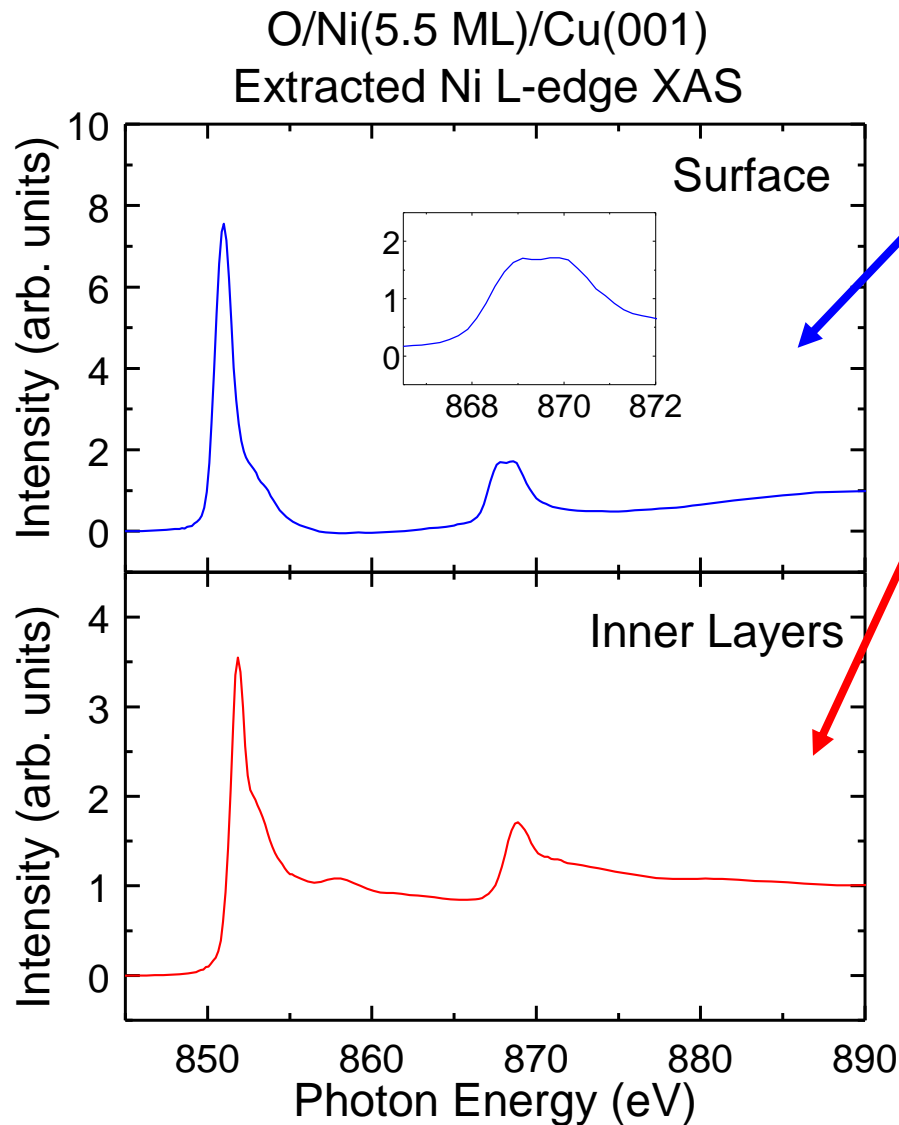
2-region model を採用

※深い層のS/Nが悪いのは、もともと表面感度が高い手法であるため

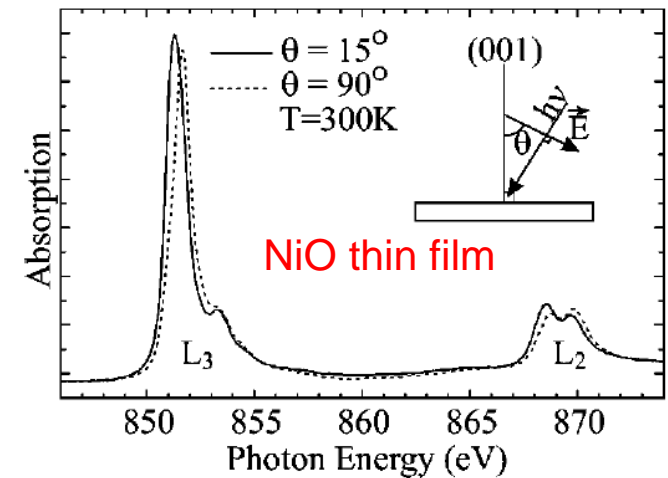


(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

表面と内部層の XAS の分離 (2-region model)



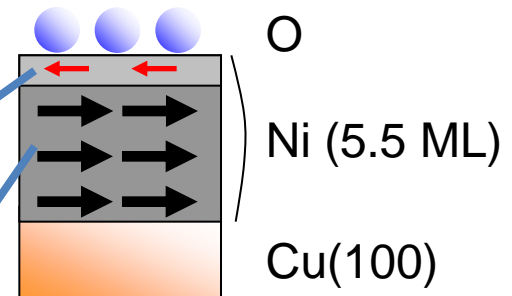
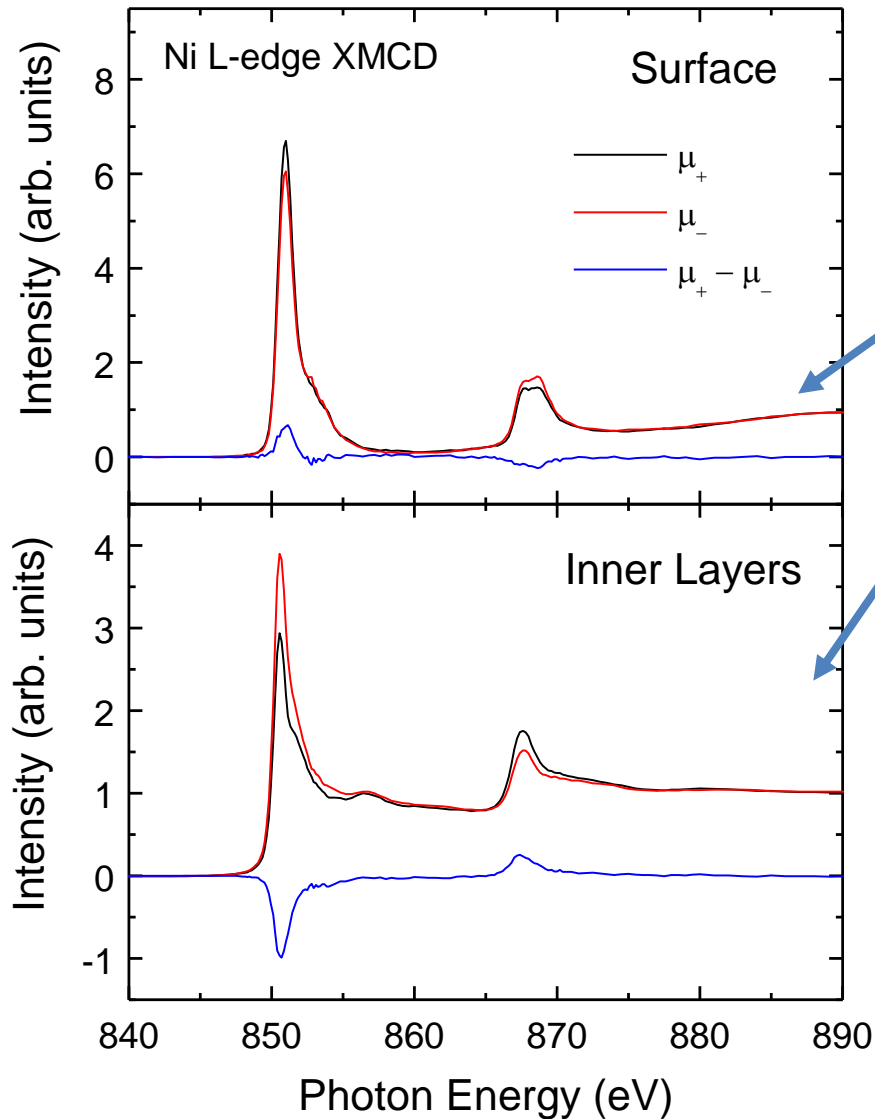
XAS spectra at surface
shows **NiO-like** features





(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

表面と内部層のXMCD スペクトル



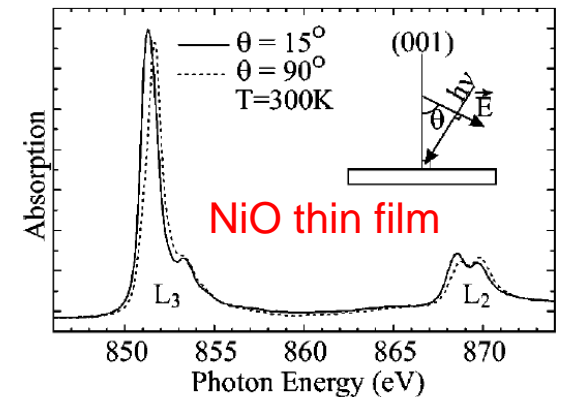
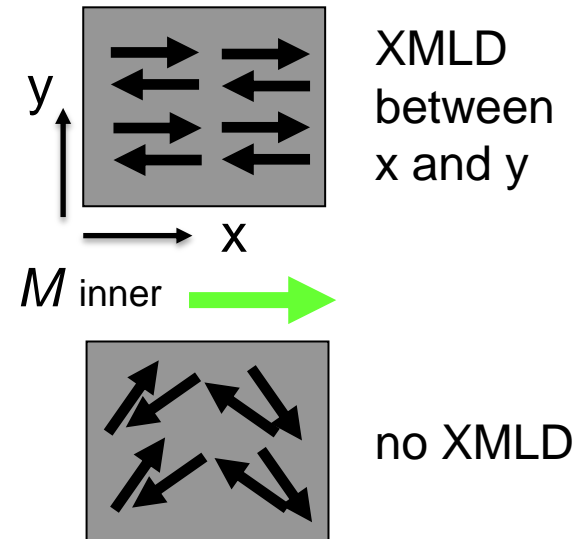
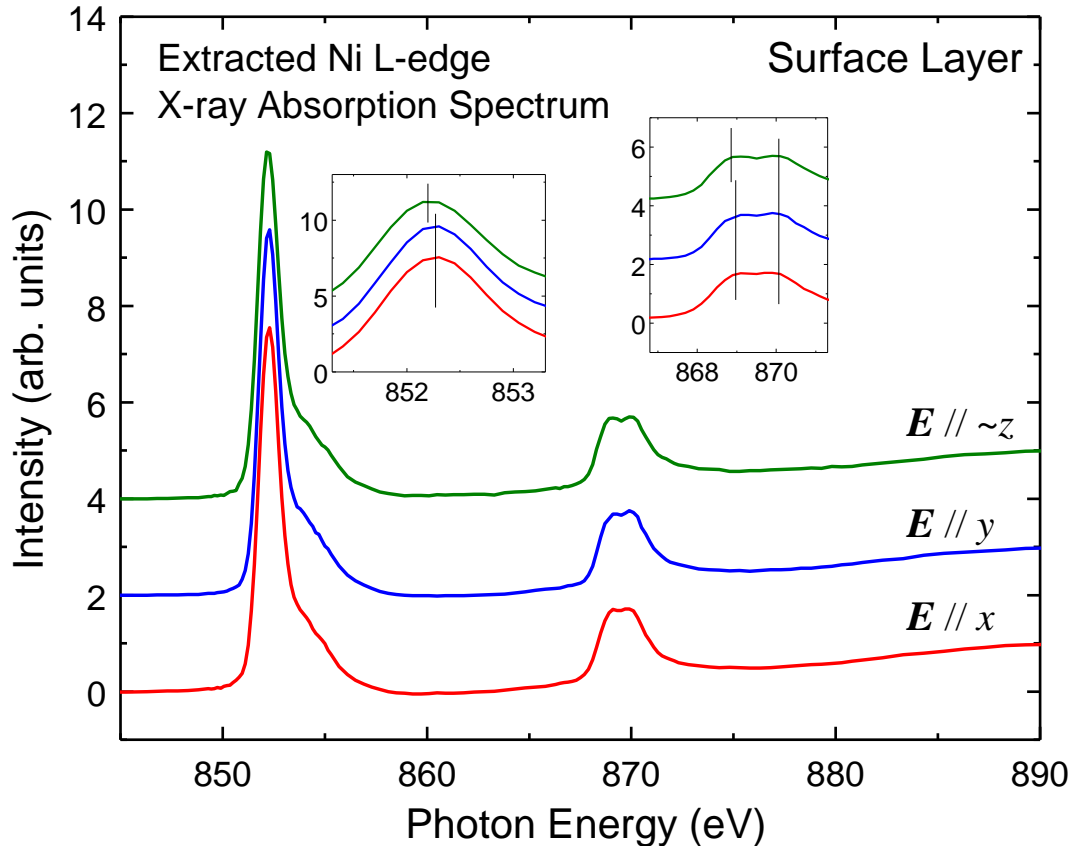
Surface layer shows small
negative magnetization.

Uncompensated spin
at the interface?



(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

表面層のXMLD スペクトル



Haverkort et al., Phys. Rev. B 69, 020408(R).

No preferential direction at least in x or y.

Difference between (x, y) and $\sim z$ comes from geometric anisotropy.

K. Amemiya and M. Sakamaki, Appl. Phys. Lett. 98 (2011) 012501.



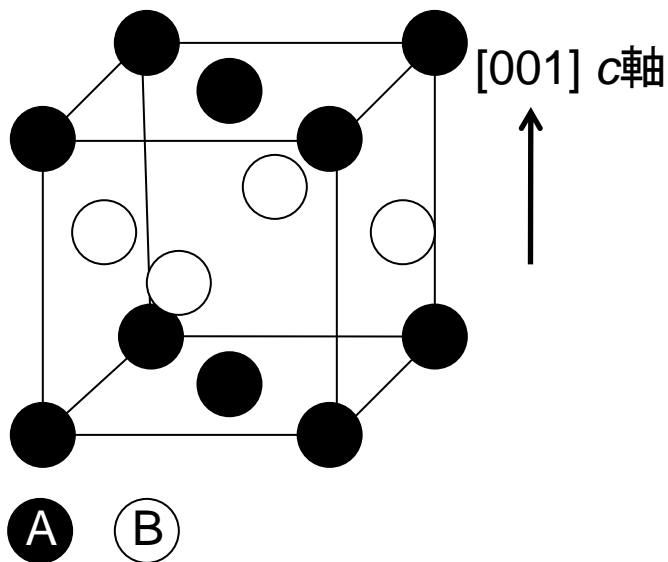
(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

Ni/Fe多層膜における元素選択的な磁気異方性の決定

磁気記録媒体の設計

$$\frac{K_u V}{k_B T}$$

K_u : 磁気異方性定数 V : 体積
 k_B : ボルツマン定数 T : 温度



垂直磁気異方性 (PMA) の実現に向けて

規則度の向上

歪みの制御

界面の影響

L1₀型規則合金: Fe-Pt*, Co-Pt

$$*K_u = 3.0 \times 10^7 \text{ (erg/cm}^3\text{)}$$

T. Shima et al., Appl. Phys. Lett. **80** (2002) 288.

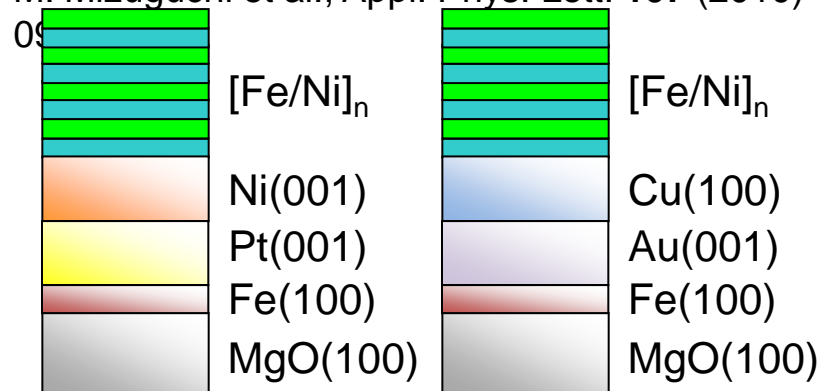
レアメタル代替材料

Fe-Ni 規則合金

T. Shima et al., J. Magn. Magn. Mater. **310** (2007) 2213.

$$K_u = 6.3 \times 10^6 \text{ (erg/cm}^3\text{)}$$

M. Mizuguchi et al., Appl. Phys. Lett. **107** (2010)

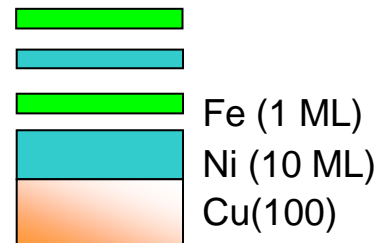
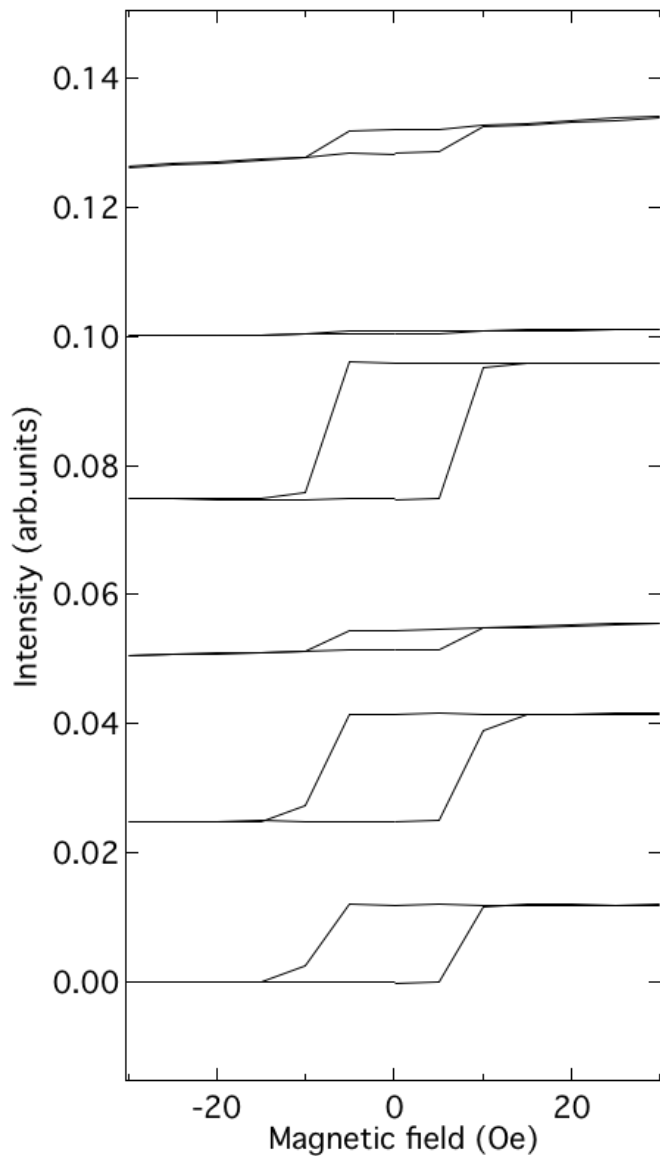




(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

Ni/Fe多層膜における元素選択的な磁気異方性の決定

面直磁化の変化



Fe/[Ni/Fe]_{n=3}

[Ni/Fe]_{n=3}

Ni 10ML(面直磁化)の上に
Fe, Niを交互に成長

Fe/[Ni/Fe]_{n=2}

[Ni/Fe]_{n=2}

Niを蒸着するたびに
面直磁化が弱まる

Fe/[Ni/Fe]_{n=1}

[Ni/Fe]_{n=1}/Ni(10ML)/Cu(001)

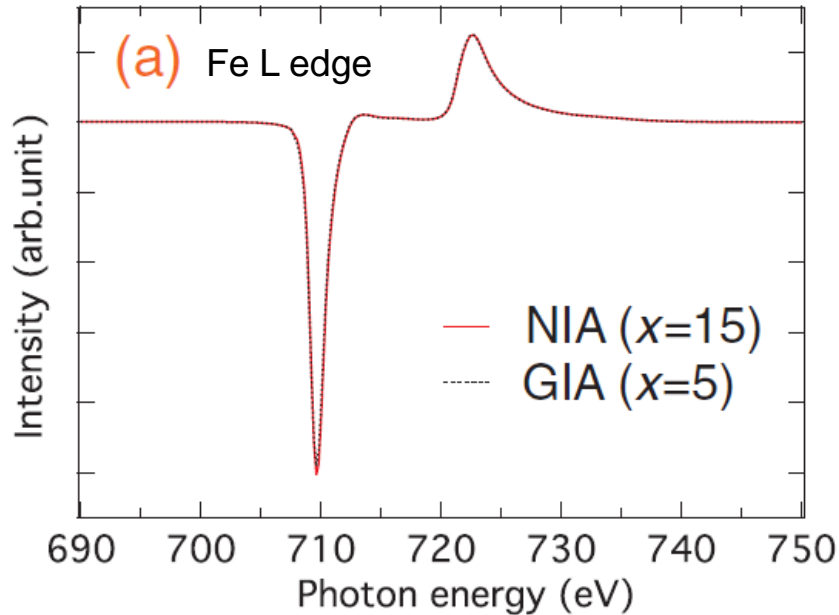
膜厚の増加とともに面直磁化
が弱まる



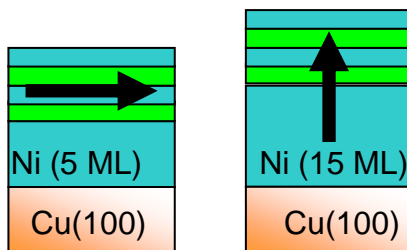
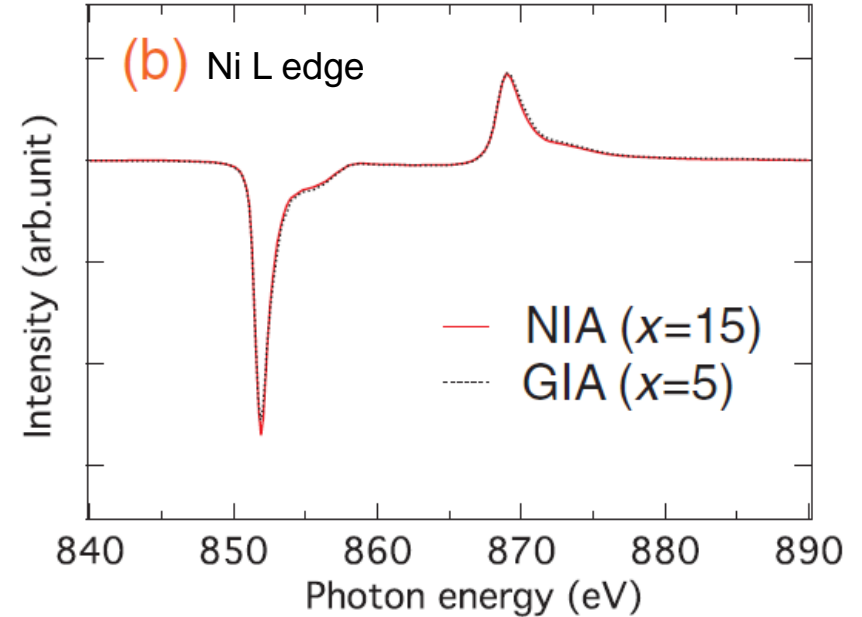
(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

XMCDによる磁気異方性エネルギーの見積もり

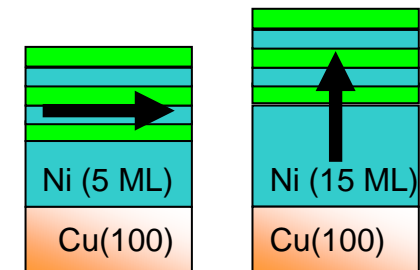
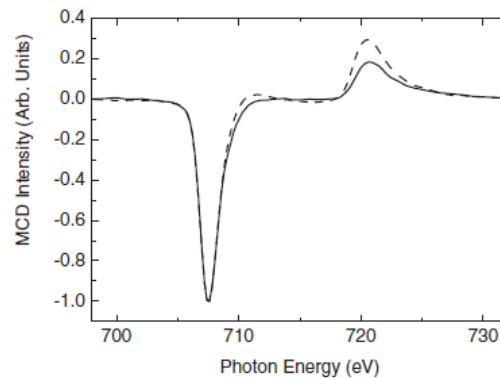
Niに挟まれたFe



Feに挟まれたNi



磁気異方性エネルギー
 $K_{\text{Fe}} = 10 \pm 40 \mu\text{eV}$

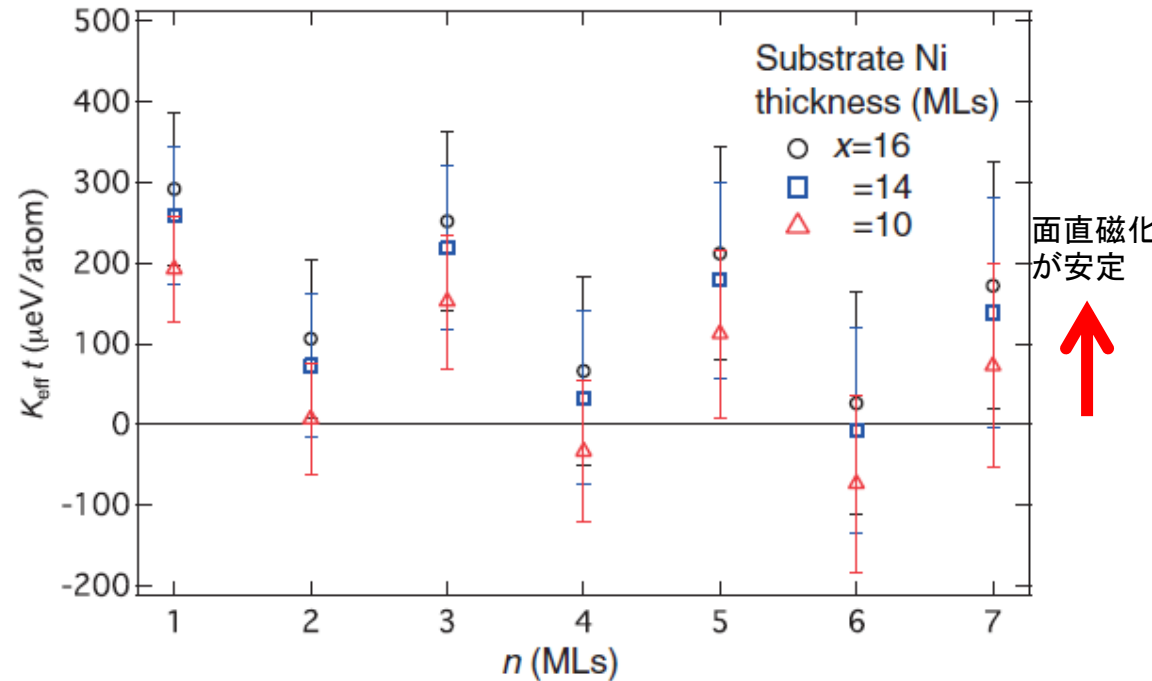
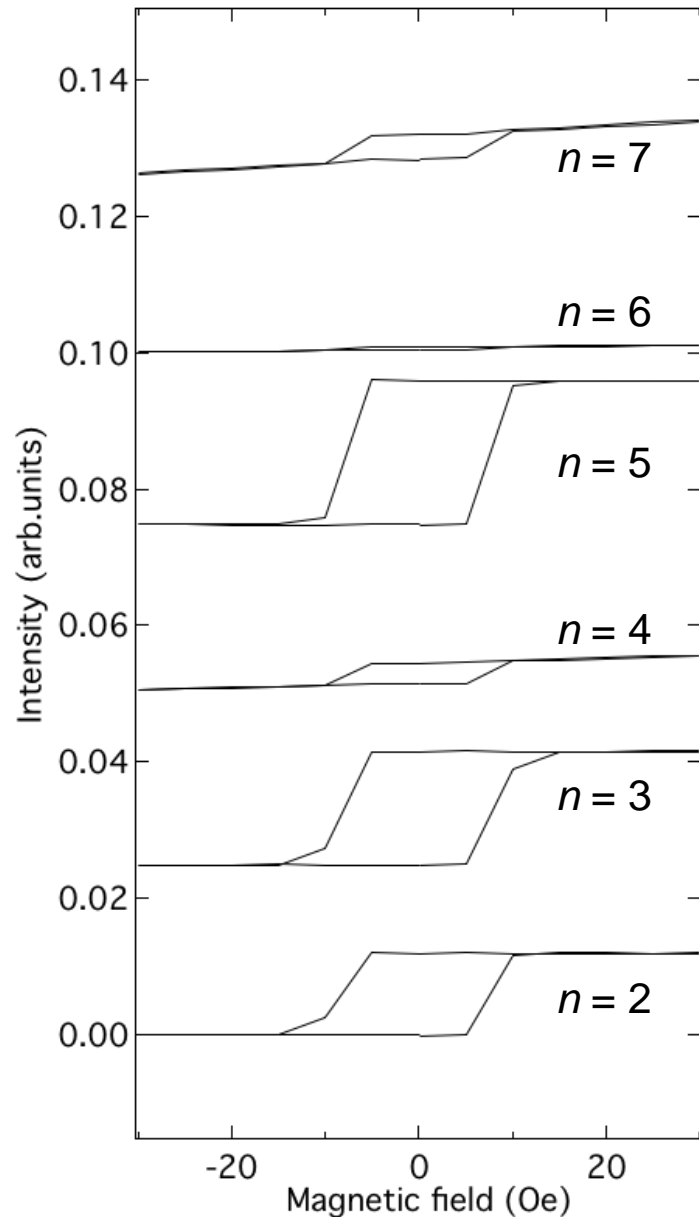


磁気異方性エネルギー
 $K_{\text{Ni}} = 60 \pm 30 \mu\text{eV}$



(2) 深さ分解XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)

膜全体の磁気異方性のシミュレーション



XMCDの結果から見積もった磁気異方性は膜全体の磁気異方性と一致 \Rightarrow 磁気異方性エネルギーの妥当性

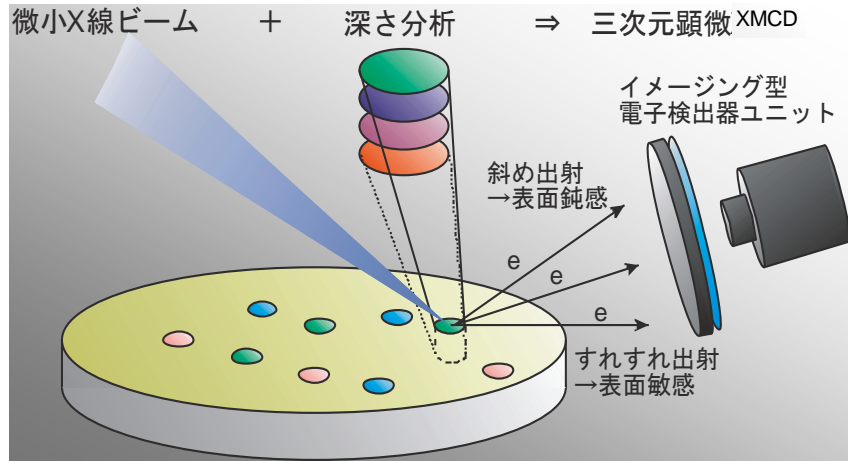
Feを表面と同じような環境に置ければ面直磁化に有利

M. Sakamaki and K. Amemiya,

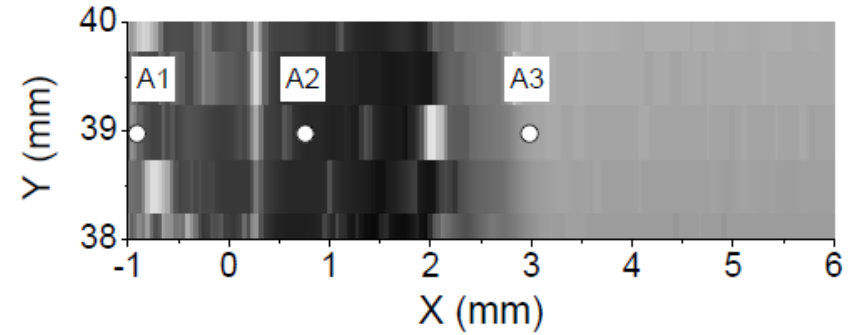
Appl. Phys. Express 4 (2011) 073002.



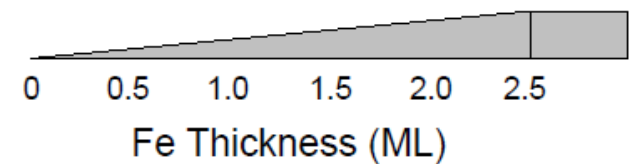
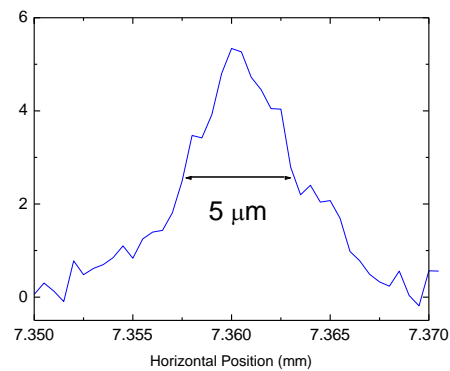
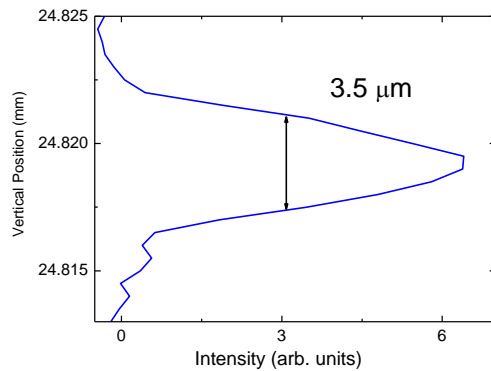
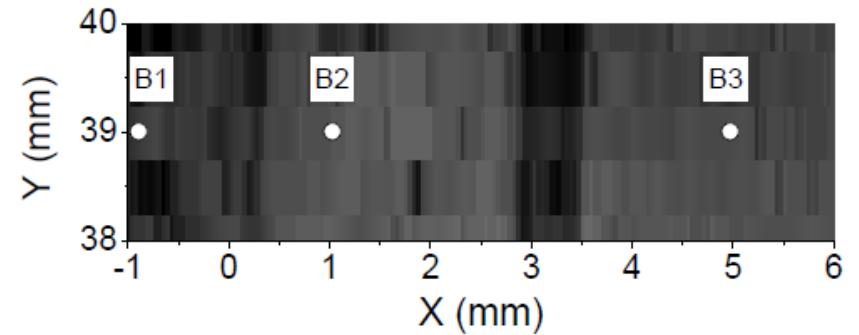
(3) 三次元顕微XAFS/XMCD (雨宮, 酒巻)



(a) Normal incidence



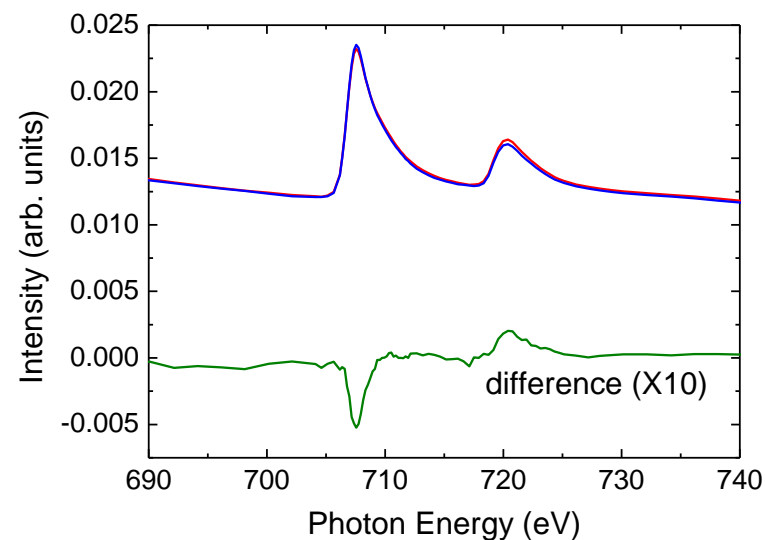
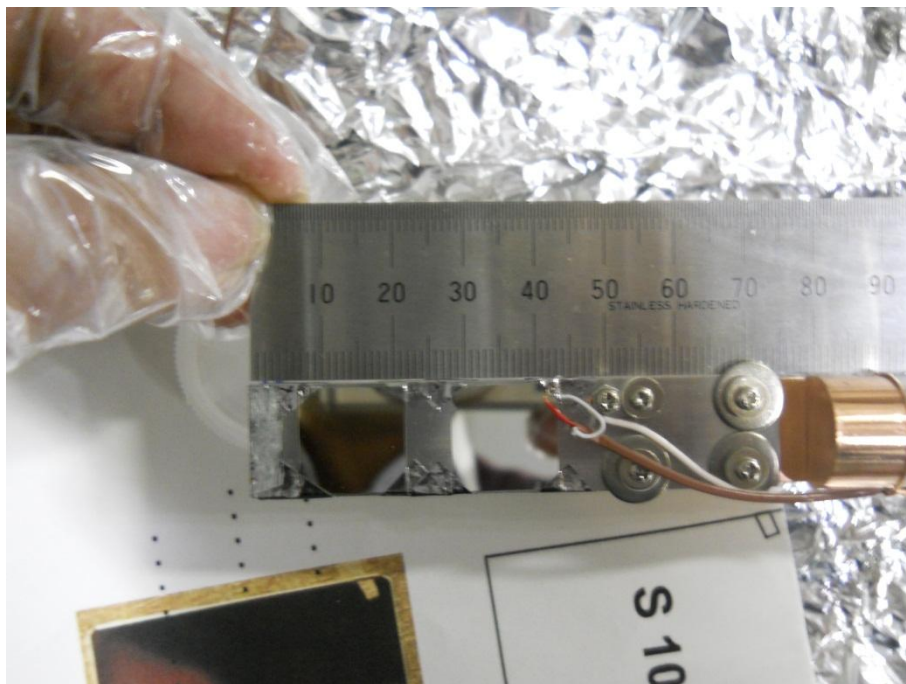
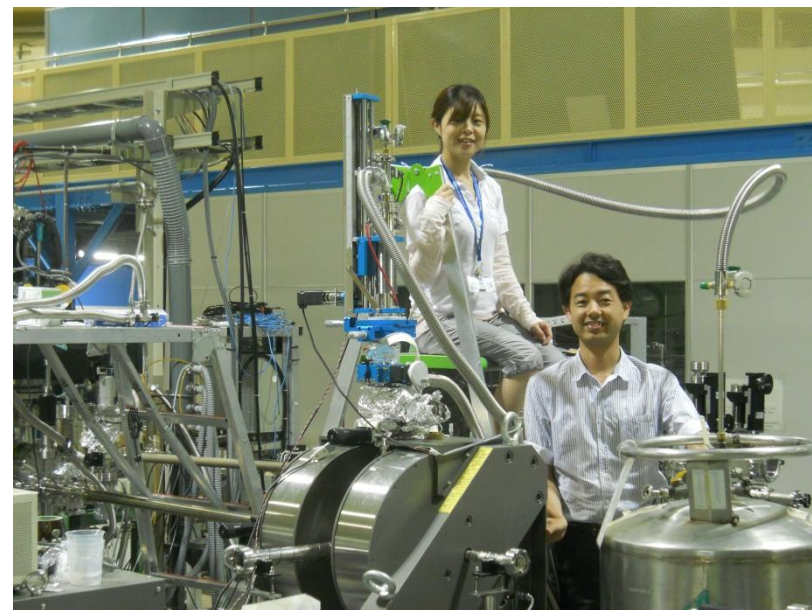
(b) Grazing incidence





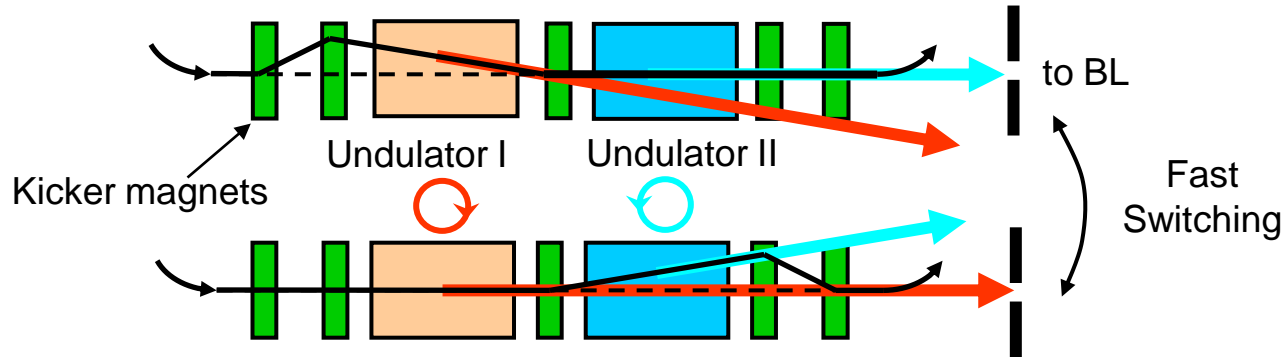
(4) 常伝導電磁石(1.2 T) XMCD (雨宮, 酒巻)

水冷電磁石により1.2 Tまでの磁場を発生
最低温度: 100 K (液体窒素), 20 K (液体He)
測定点一点ごとに磁場の反転が可能
全蛍光収量法(フォトダイオード)も利用可能
試料トランスファーシステムを常備 (する予定)
真空を破って試料を直接取り付けることも可能





BL-16Aにおける偏光スイッチング計画



T. Muro et al., AIP Conf. Proc. 705, 1051 (2004); 879, 571 (2007).

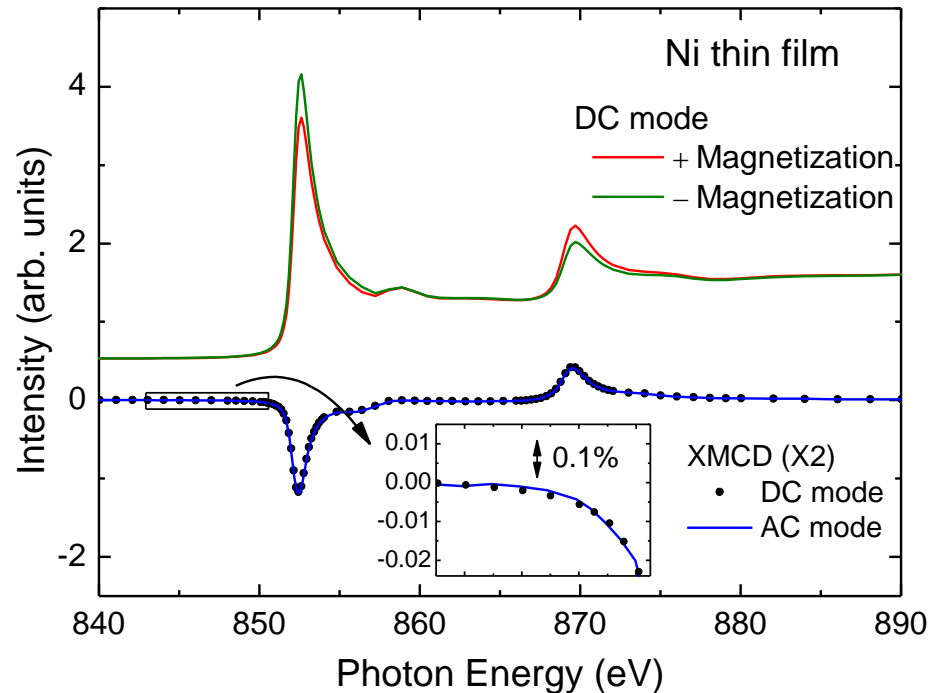
T. Muro et al., J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 144-147, 1101 (2005).

量子ビーム基盤技術開発プログラム(2008-2012年度)

「軟X線の高速偏光制御による
新奇機能性材料の探求と創製」

2010年夏にUndulator II 完成
秋より調整中(10 Hz)

最新の測定結果
2010年12月16日



ご清聴ありがとうございました

