

## SPring-8共用軟X線ビームラインにおける分光研究の展開

木下豊彦

(財)高輝度光科学研究センター

### BL25SU & 27SUにおける、最近の研究開発

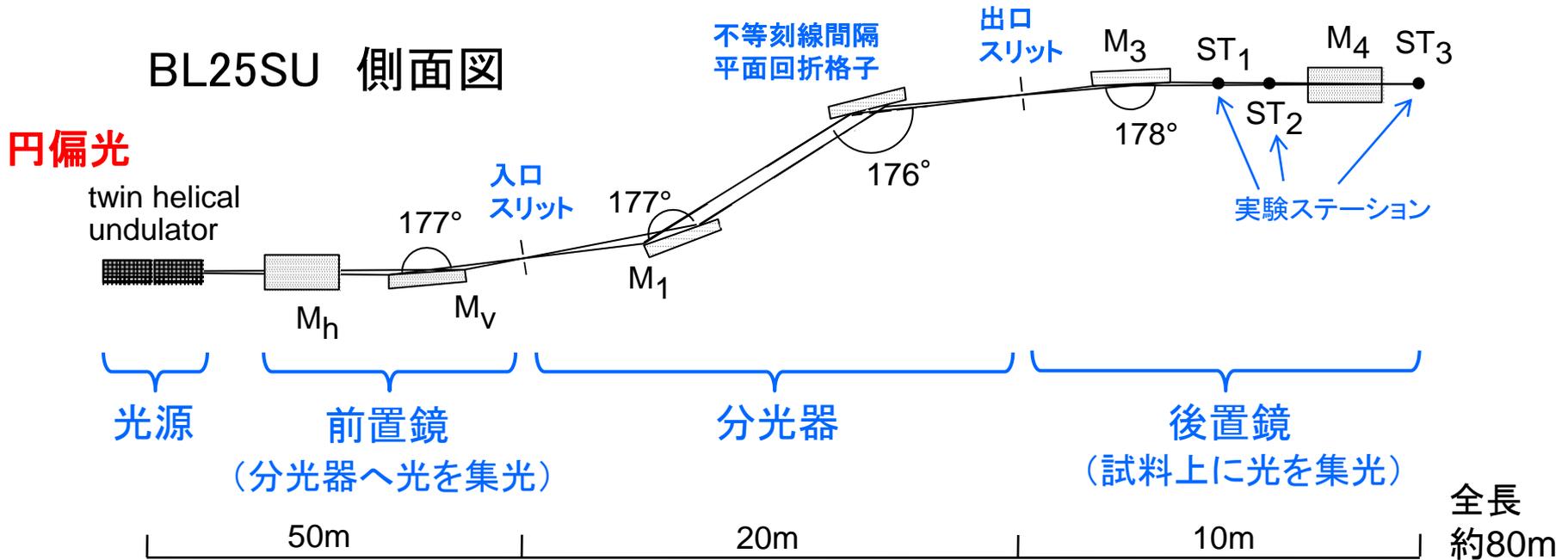
1. 微小結晶ARPES
2. 大気圧&微小領域分光
3. パルス強磁場MCD
4. 時間分解&外場印加PEEM

#### 開発担当

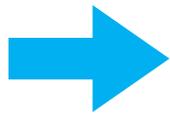
中村哲也、為則雄祐、室隆桂之、泉雄大、松下智裕、大河内拓雄、小嗣真人、大沢仁志などの現JASRIスタッフのほか、福本恵紀、児玉謙司、加藤有香子などかつて在籍したスタッフ、また、東北大学、大阪大学、岡山大学や東京大学

# 高輝度を生かした高分解能軟X線ビームライン

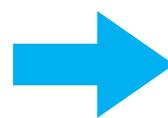
BL25SU 側面図



光源サイズ  
が小さい



分光器スリット  
の開口を  
小さくできる



高いエネルギー分解能

$E/\Delta E \sim 10,000$

( $\Delta E \sim 100\text{meV}$  @1keV)

150~2000eV

☆試料上での集光にも有利

# BL25SU end stations

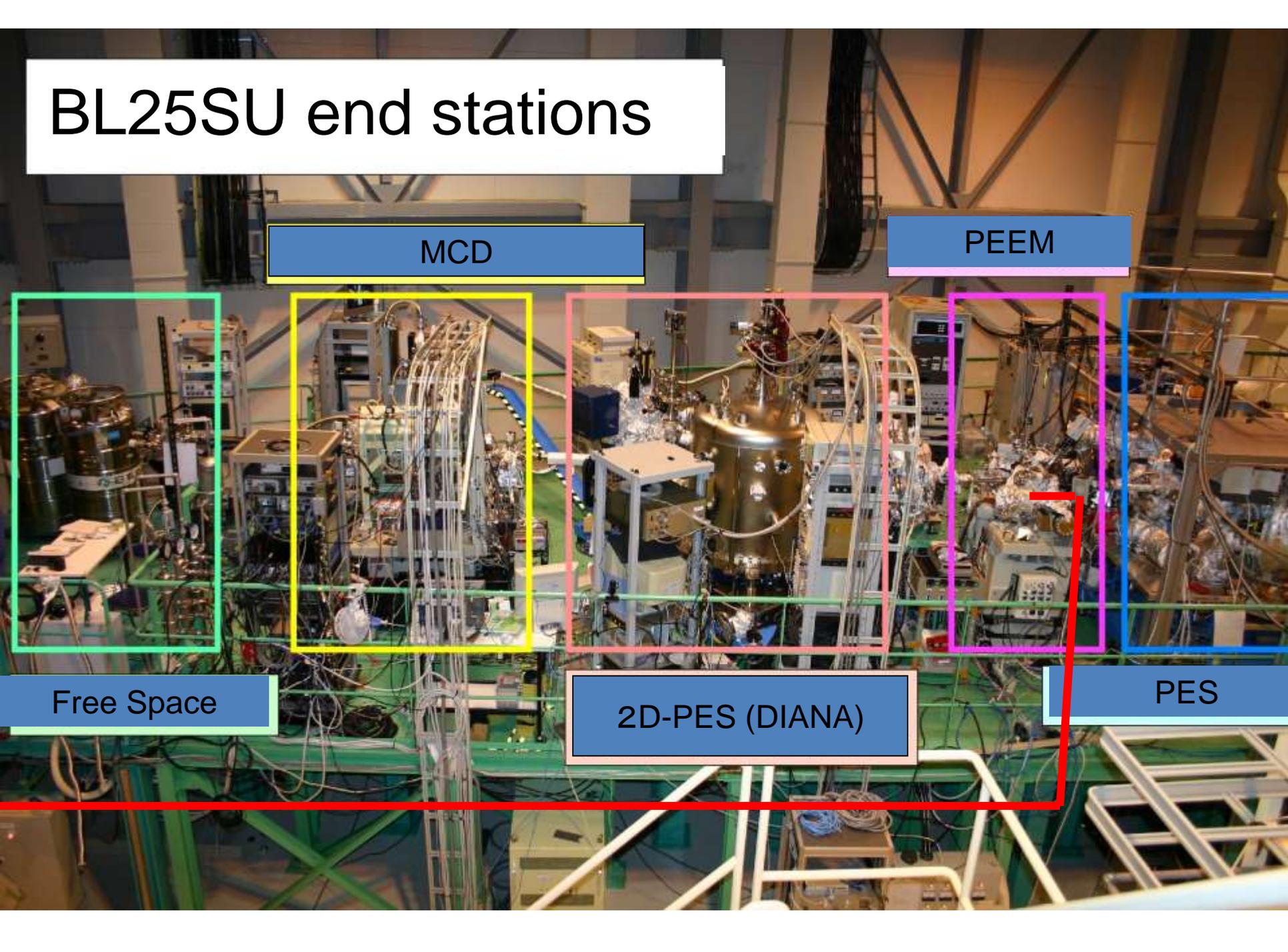
MCD

PEEM

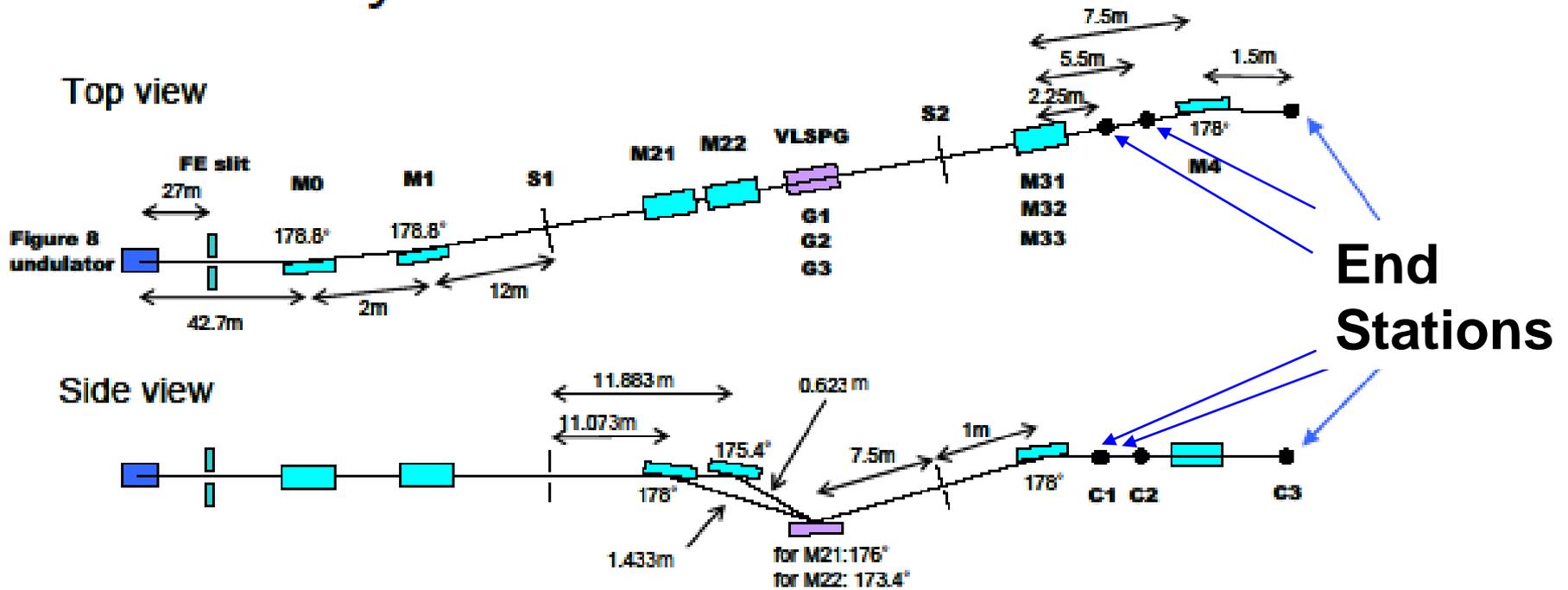
Free Space

2D-PES (DIANA)

PES

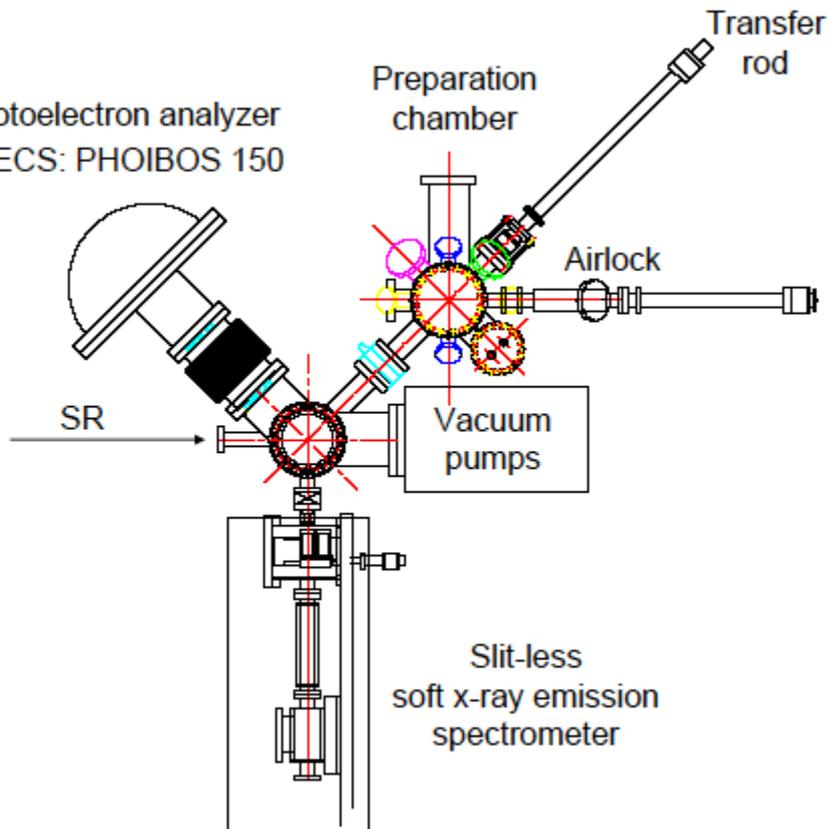


# BL27SU layout

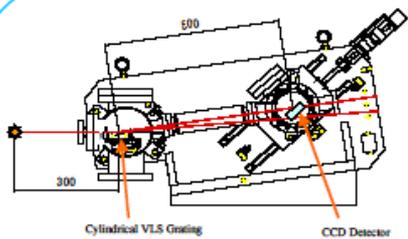


Energy range	1 <sup>st</sup> (horizontal polarization): 0.3 ~ 2.8 keV 0.5 <sup>th</sup> (vertical polarization): 0.17 ~ 2.8 keV
Photon flux	> 10 <sup>11</sup> photons/sec/100mA/0.01%B.W. (< 1000 eV)
Energy resolution	$E/\Delta E > 10^4$

Photoelectron analyzer  
SPECS: PHOIBOS 150

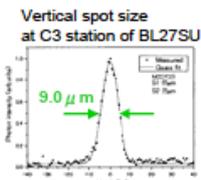
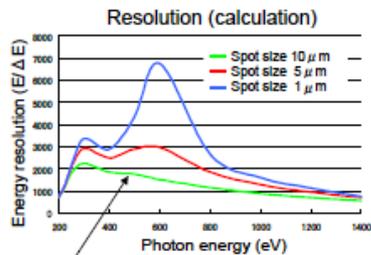


### Soft X-ray emission spectrometer



T. Tokushima et al.,  
Rev. Sci. Instrum. 77, 063107 (2006).

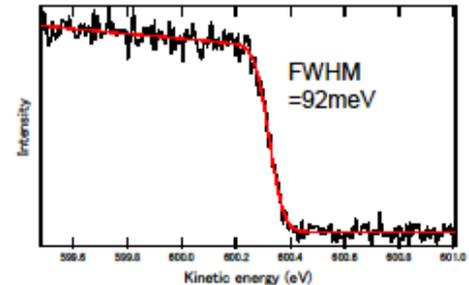
Expected resolution at BL27SU



## Performance

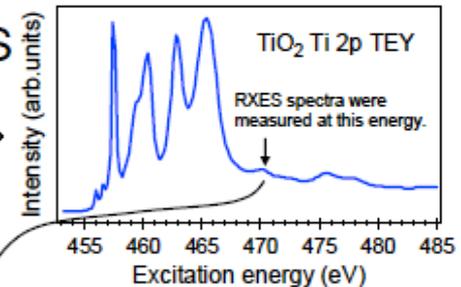
### Photoemission

Au Fermi edge  
FWHM = 92meV  
T = 103K  
 $h\nu \sim 600\text{eV}$   
( $E/\Delta E \sim 10,000$ )



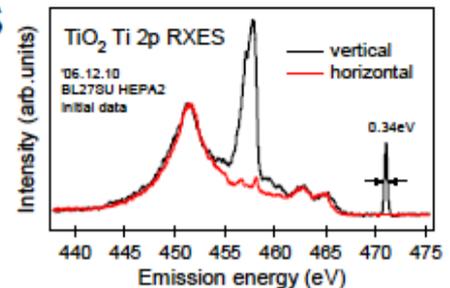
TiO<sub>2</sub>  
Ti 2p XAS

XAS



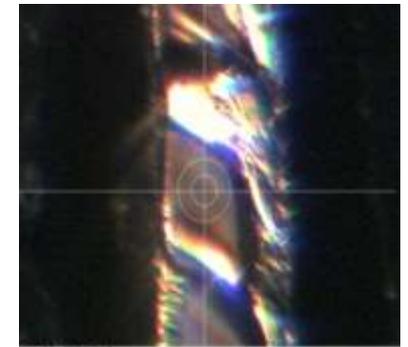
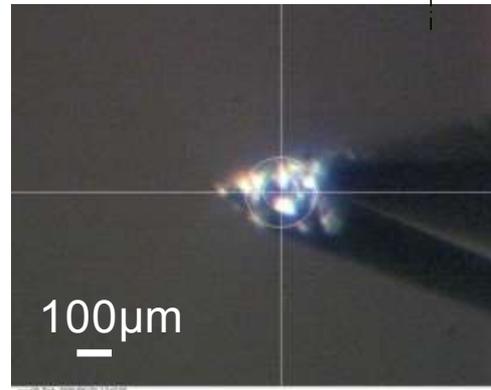
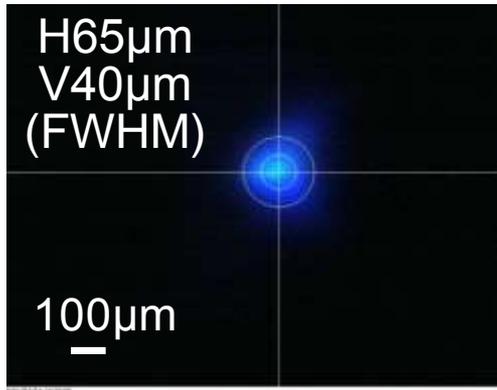
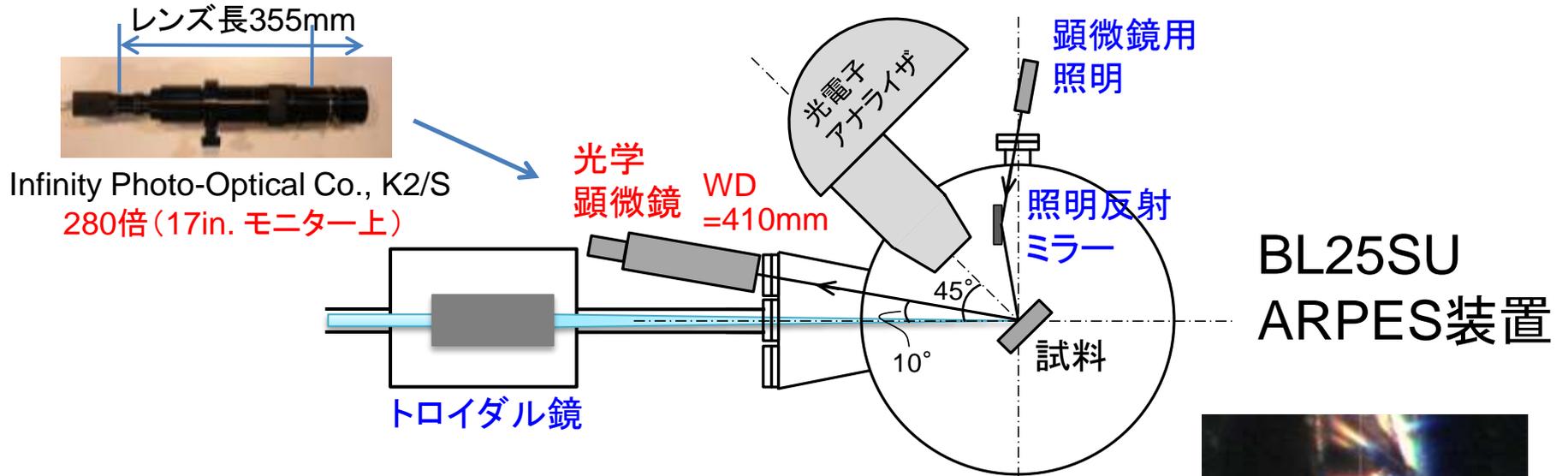
Estimated resolution  
 $E/\Delta E \sim 1,400$   
@ $h\nu=470\text{eV}$

XES



Expected resolution  
has been achieved.

# 光学顕微鏡による位置決めシステムを開発



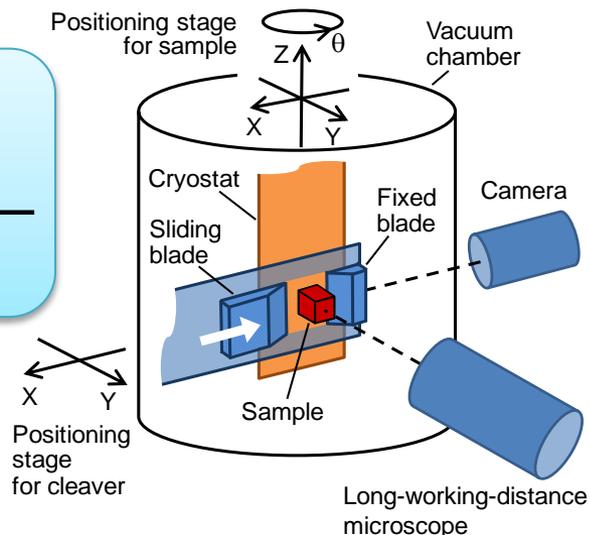
質の良い劈開領域を  
選択して測定

マークを基準に試料を  
光スポット位置に合わせる

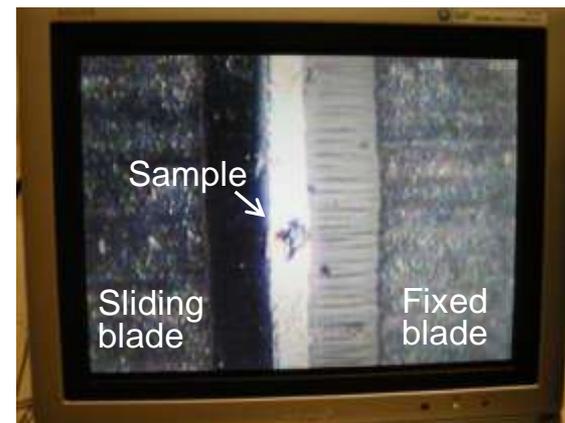
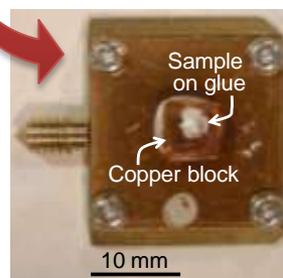
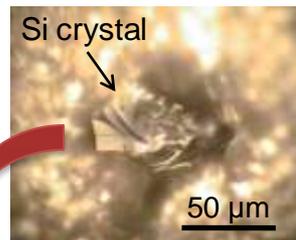
蛍光板で、光スポット位置を  
顕微鏡モニターにマーク

# パルスモーター精密駆動劈開器の開発 @BL27SU

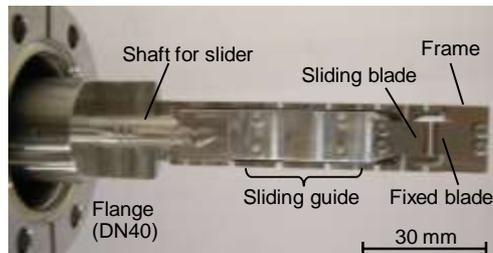
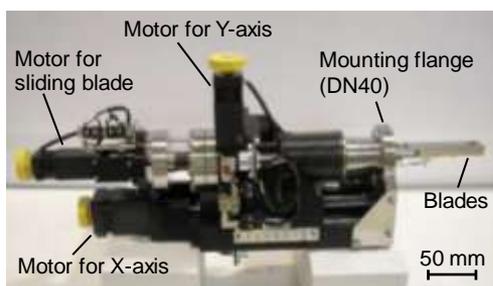
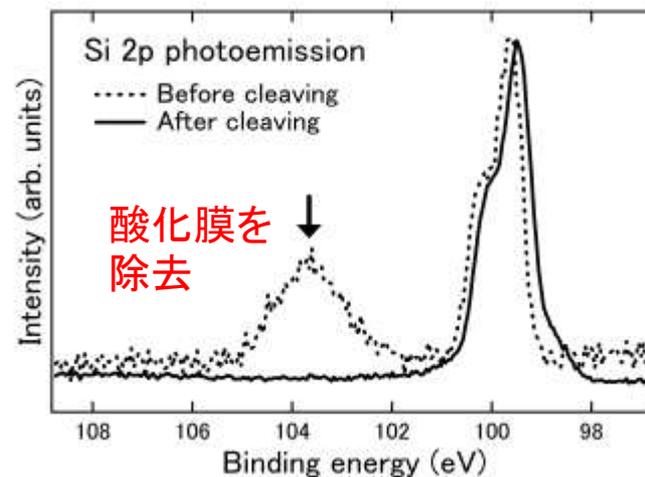
光学顕微鏡  
+  
パルスモーター  
劈開器



Si単結晶 (~80 $\mu$ m)  
の劈開テスト



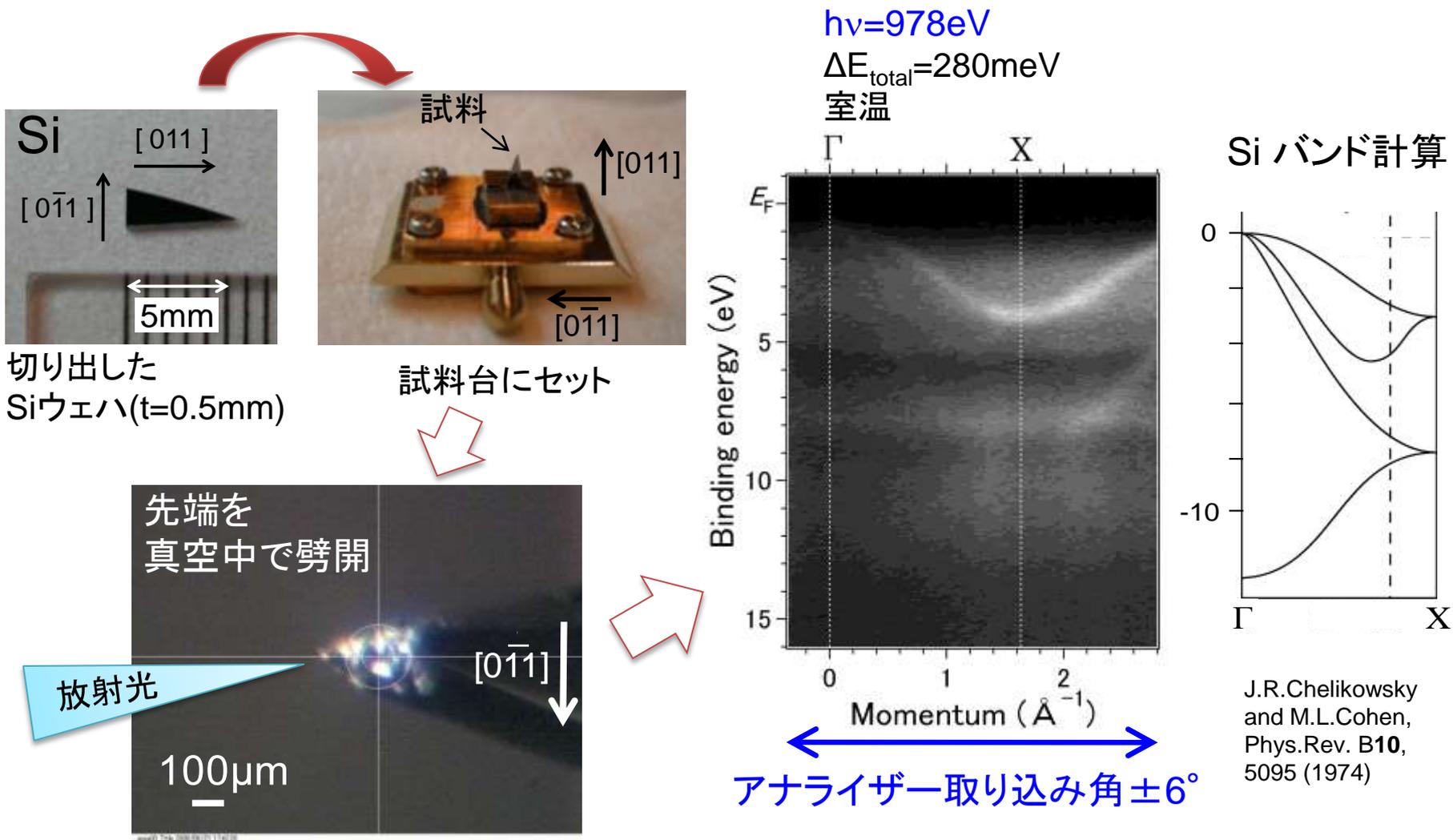
(b)



パルスモーター駆動精密劈開器

T. Muro, Y. Kato, T. Kinoshita, and Y. Watanabe  
Rev. Sci. Instrum. **81**, 043901 (2010)

# 光学顕微鏡システムを用いたARPES測定テスト



T. Muro *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **80**, 053901 (2009)

# 冷凍機振動ストッパーの導入(2010年8月)

※液体Heフロー冷凍機は使用しておりません  
SP8はHe回収ラインがない、  
液体He代がユーザー負担、のため

He循環式冷凍機

試料温度:

23K~室温

(8Kにupgrade予定)



## 今後の展望: 10 $\mu$ m結晶のARPES測定に向けて

**必要条件** 光スポット <  $\phi$  5 $\mu$ m

→ 試料マニピュレータのインターロック

光電子  
アナライザー

試料冷凍機

使用前

試料の振動  
(顕微鏡観察)

縦: ~10 $\mu$ m  
水平: ~30 $\mu$ m



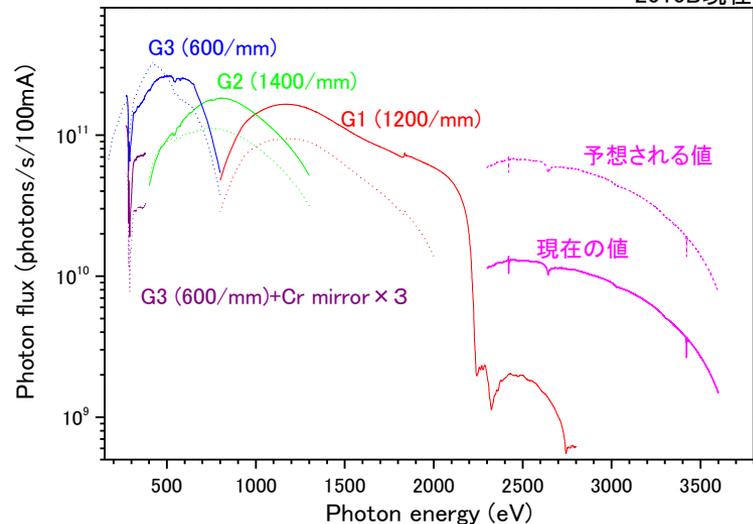
使用后

縦: ~10 $\mu$ m  
水平: 数 $\mu$ m以下

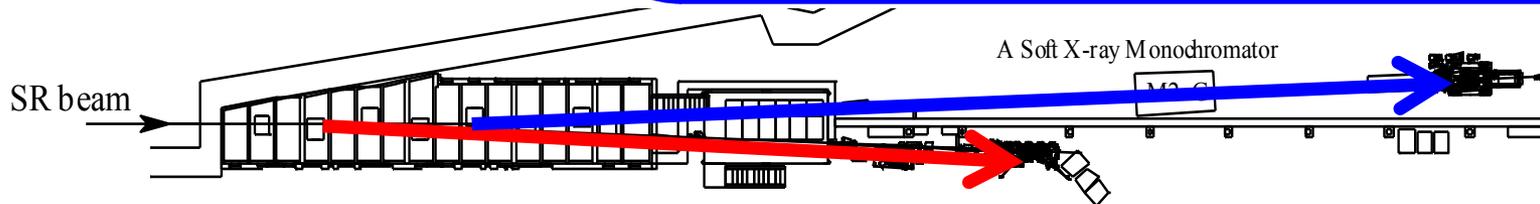
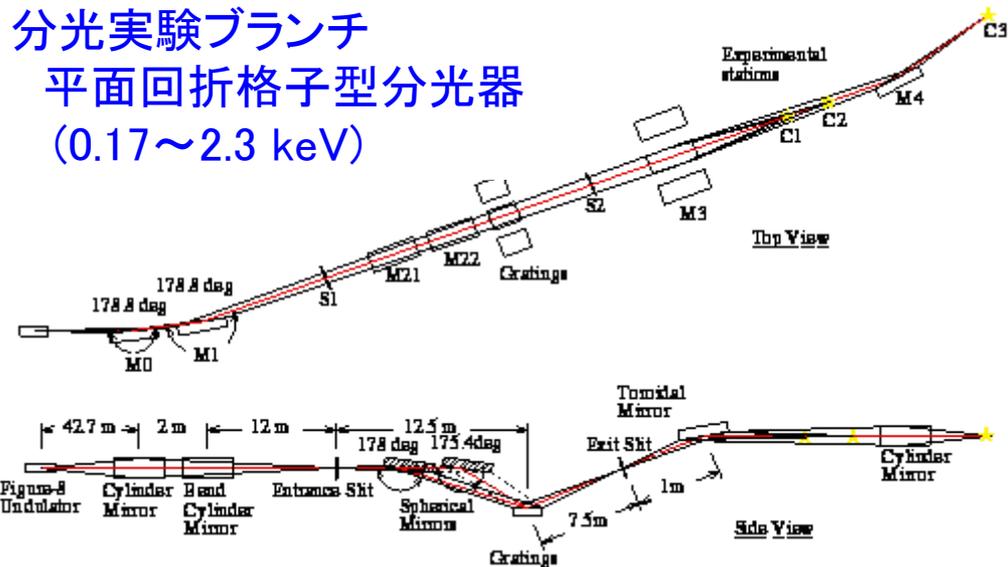
# BL27SU

為則

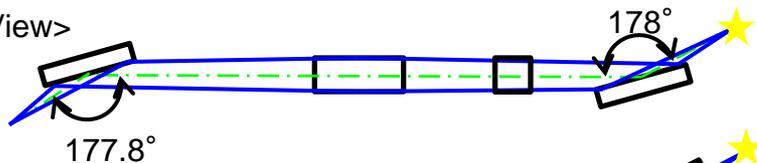
2010B現在



## 分光実験ブランチ 平面回折格子型分光器 (0.17~2.3 keV)

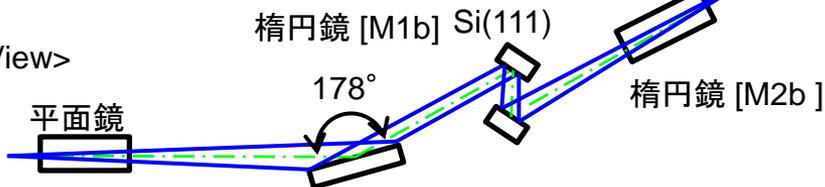


<Top View>



## 照射実験ブランチ下流 結晶分光器 [Si(111)]

<Side View>

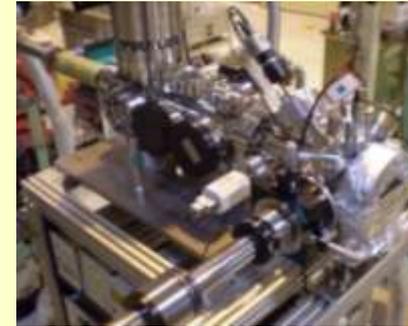
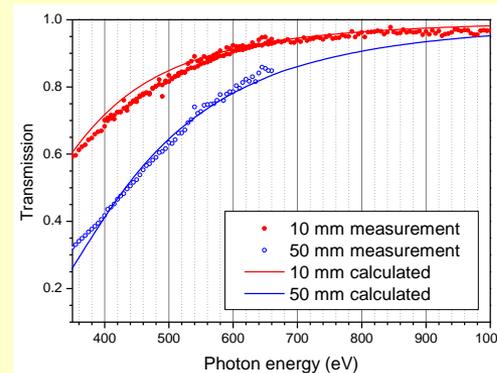


# XAFS利用環境の整備

## High performance differential pumping system

[J. Synchrotron rad. 17, 243–249 (2010)]

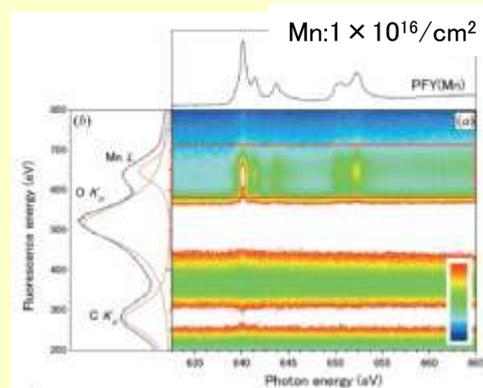
- ✓ windowless connection between helium path and beamline has been realized
- ✓ it open new research field that the soft X-ray spectroscopy under ambient atmospheric pressure



## High sensitive Soft X-ray fluorescence detector

[J. Synchrotron rad. 18, 747–752 (2011)]

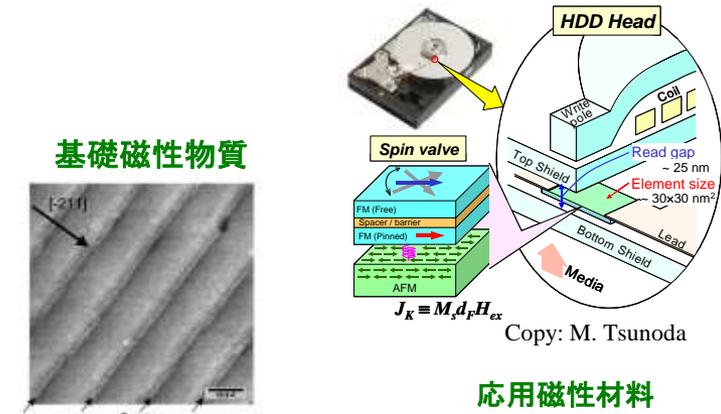
- ✓ Chemical state analysis (fluorescence XAFS) has been realized for the trace elements with concentrations lower than 100 ppm.



# 強磁場パルスMCD開発の背景と目的

中村、児玉、広野、  
鳴海、林、野尻(東北大)、金道(物性研)

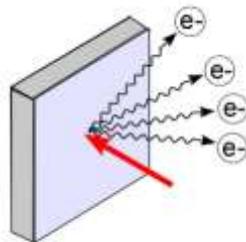
## 軟X線MCDによる元素選択磁化測定実験



S. Shiraki et al., PRL. 92 (2004) 96102.

これまで10 Tを超える磁場下での軟X線MCD技術は  
開発されていなかった

パルス強磁場軟X線MCDの開発(~30T)



全電子収量法

(境界条件)

対象試料は薄膜、粉末、バルク(多数)

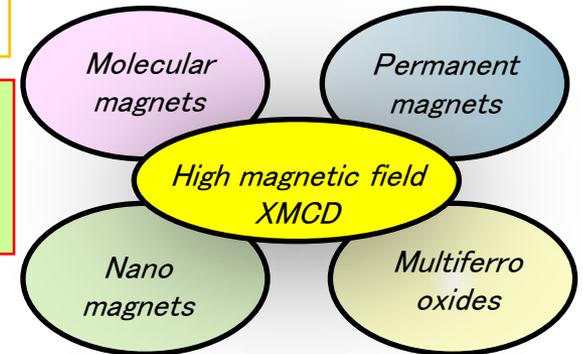
測定ツールとして発展させるための鍵

パルス強磁場下で1nA以下の電流を精度良く検出できるか？

磁性研究ツールとして発展

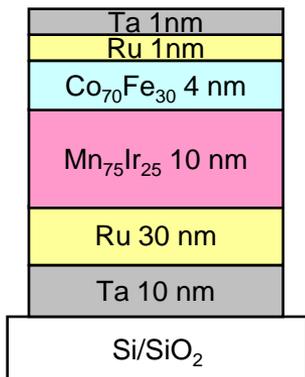
測定技術に対する要請

磁化測定と同等  
の外場環境

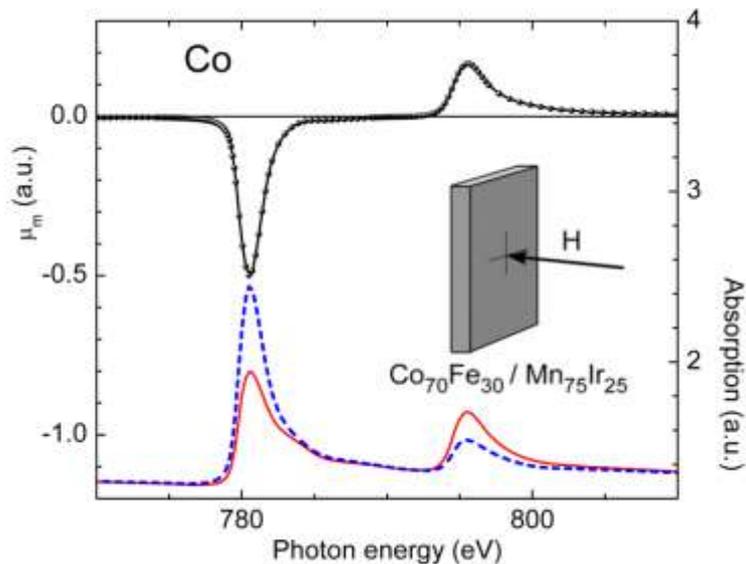


The developed technique has  
opened XMCD analysis of  
magnetic moments under  
ultra-high magnetic field.

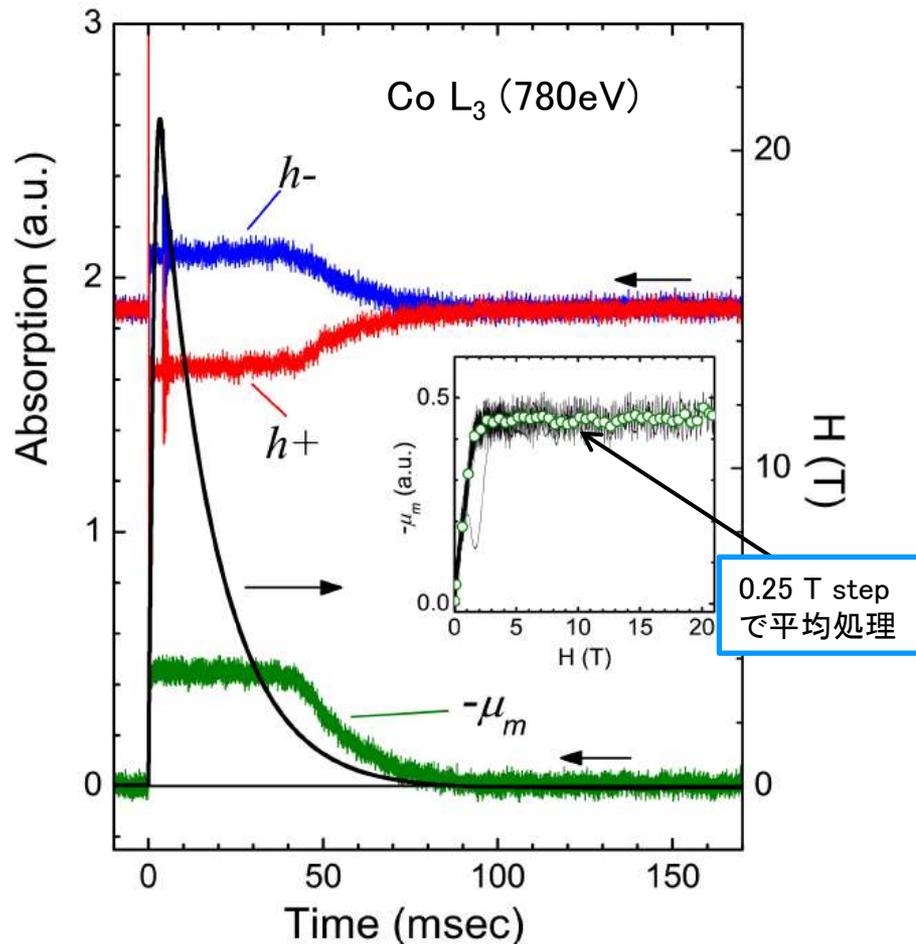
# XMCD: CoFe/MnIr exchange bias bilayers



Sample structure



H= 1.9 T (electromag.), T=300 K



H<sub>max.</sub> = 21 T (pulse mag.), T=300 K

$h_+$  と  $h_-$  に対し、各1回測定でOK!

# Laser setup



BL25SU

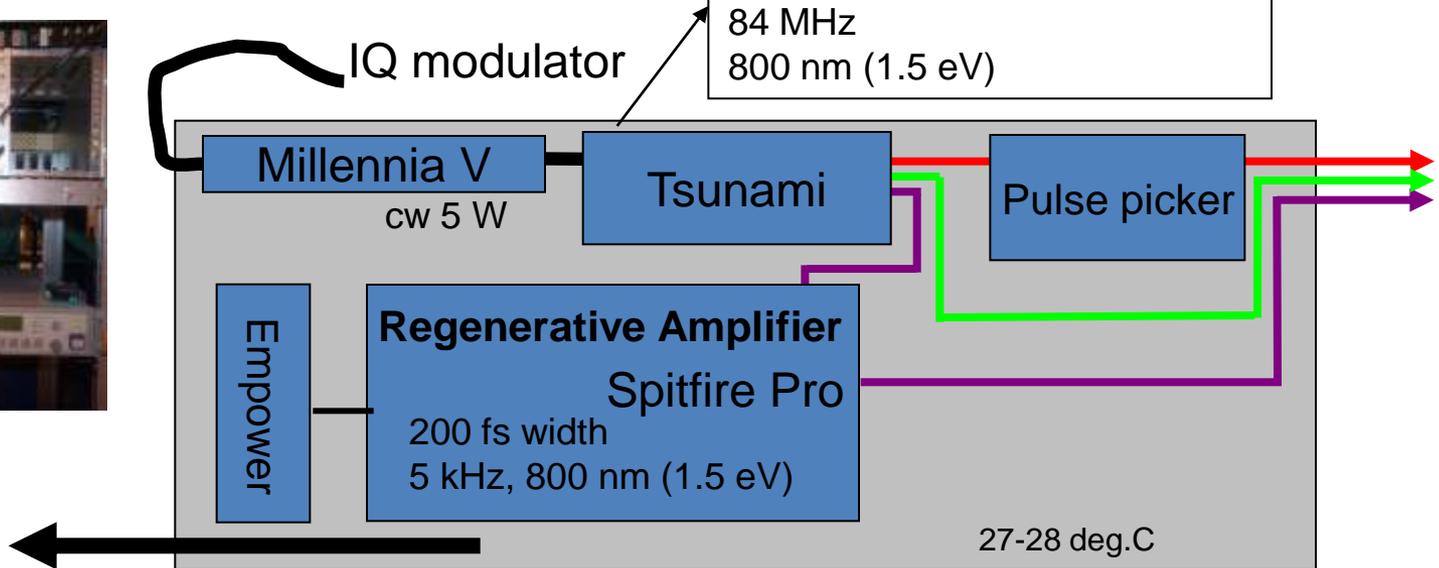


**Ti: sapphire mode-lock femtosecond laser**

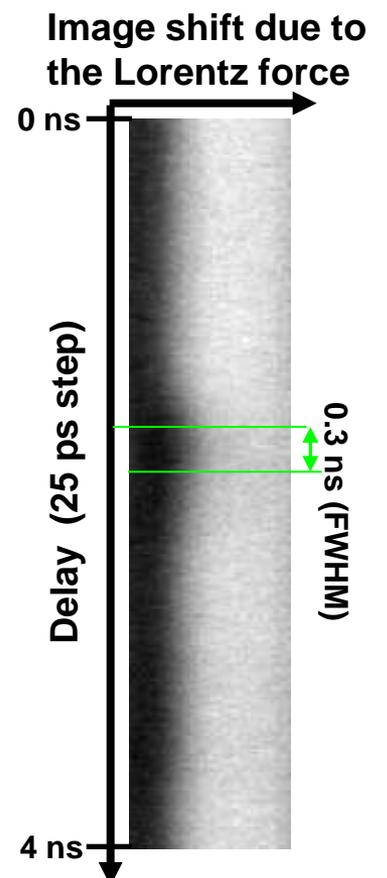
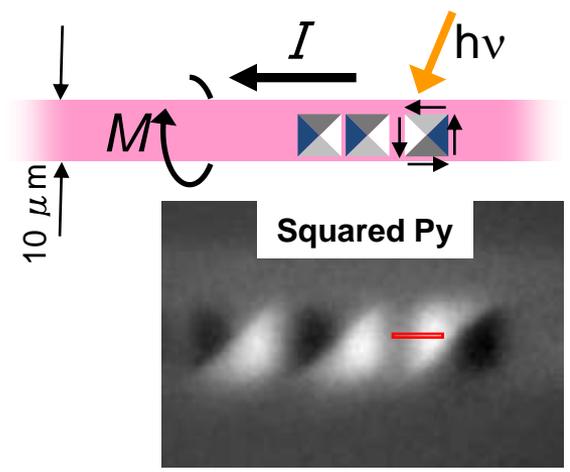
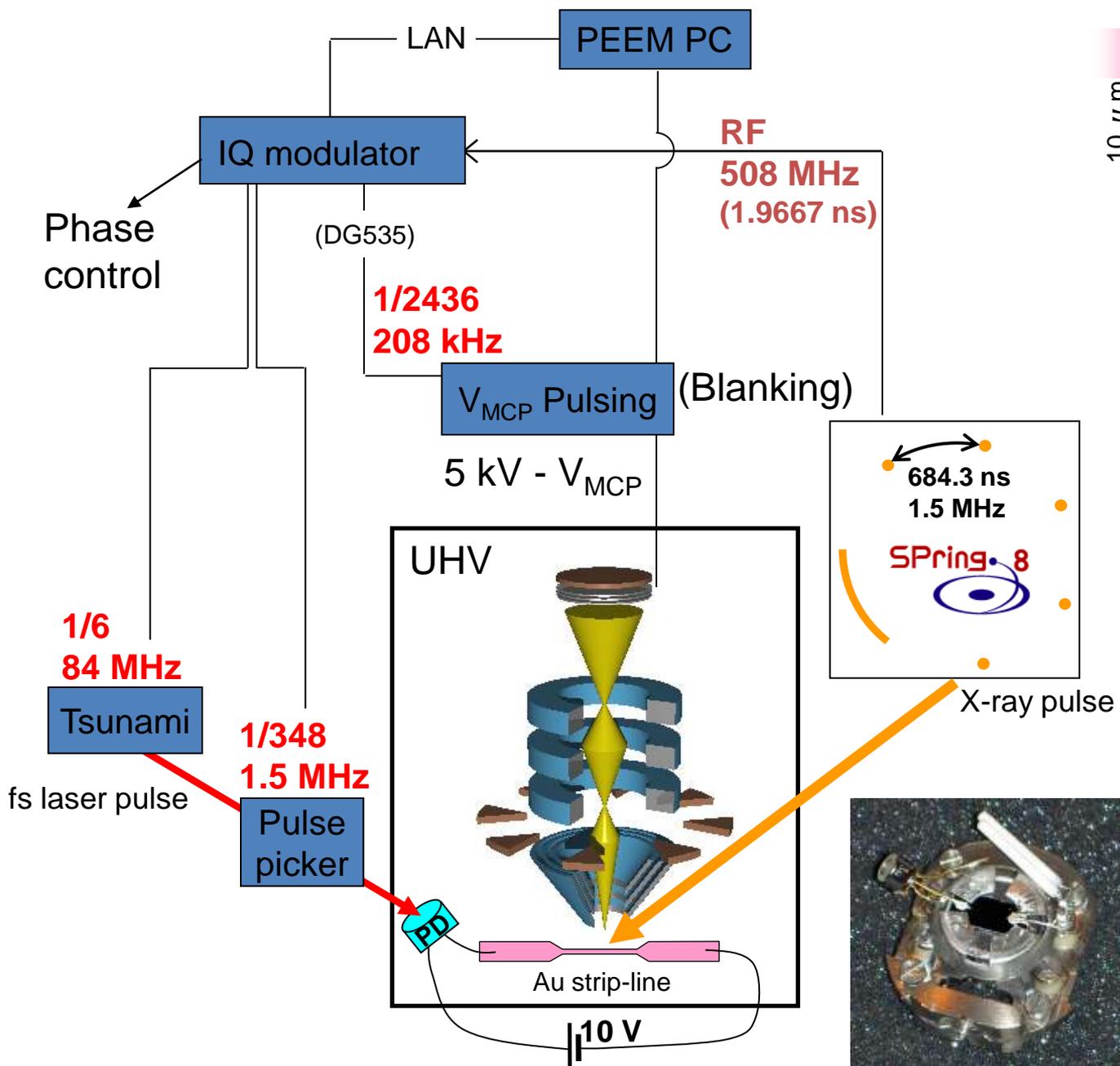
70 fs width  
84 MHz  
800 nm (1.5 eV)



Photo-induced phenomena



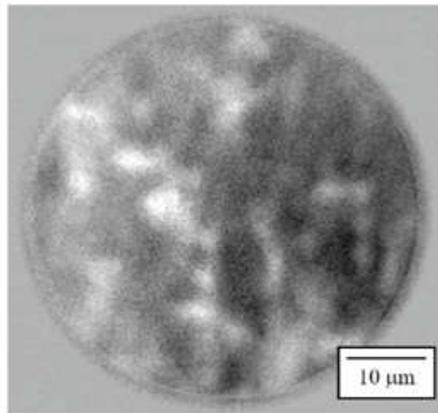
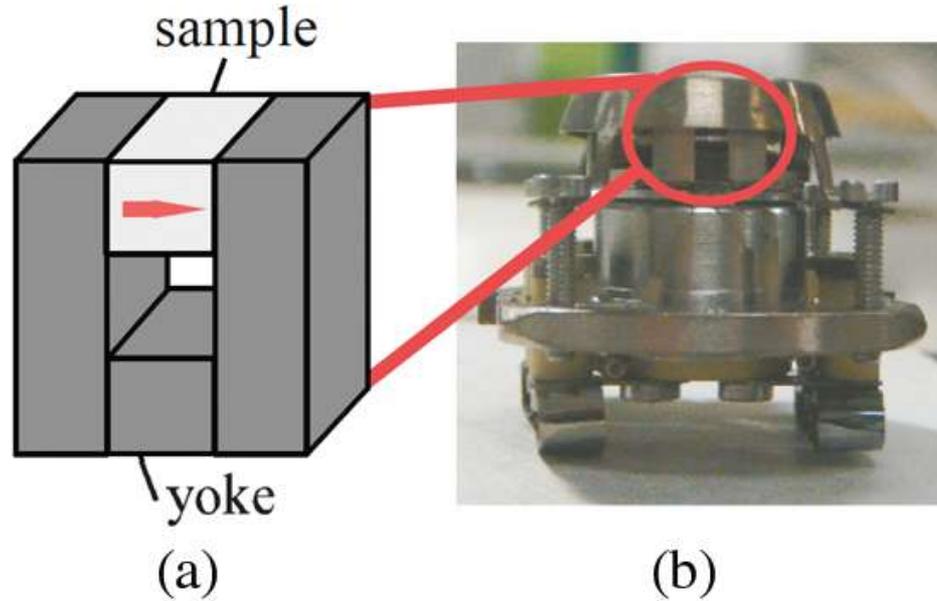
# Time-resolved XPEEM @ BL25SU



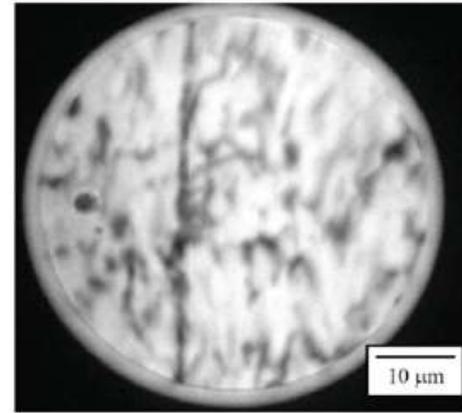
# Ne-Fe-B磁石

## 着磁状態(1.2T) での磁区観察

Dy richな領域での昇温  
時の反磁区構造の減少



(c)



(d)

R. Yamaguchi et al., IBM J. RES. & DEV. VOL. 55, 12 (2011).

# まとめ

- SPring-8軟X線ビームラインにおける研究開発
- 微小領域分光&時間分解測定  
ARPES, PEEM, etc
- いろいろな環境下での測定  
強磁場、光、電場印加、大気圧etc

利用、共同研究など興味のある方、ご連絡をお待ちしております。