

VUV/SX と HX の 2 ビームを有した 開発研究多機能ビームラインにおける 表面界面研究の展開

立教大^a、慶応大^b、筑波大^c、東大^d、
東工大^e、東理大^f、産総研^g、KEK物構研^h

枝元一之^a、近藤寛^b、櫻井岳暁^c、田中駿介^d、豊島遼^b、
○中辻寛^e、中山泰生^f、簀原誠人^g、山田洋一^c、吉信淳^d、
雨宮健太^h、小澤健一^h、北村未歩^h、間瀬一彦^h

表面科学UG

固体表面の電子状態，化学状態，ダイナミクスに関する研究

3B, 7A, 11A, 11B, 11D, 13A, 13B, 16A1, 16A2, 27A

BL-3B: ARPES, XPS (ARPES- II)

BL-13B :

ARPES, XPS, XAS, XAFS (SES200)

XPS (Phoibos)

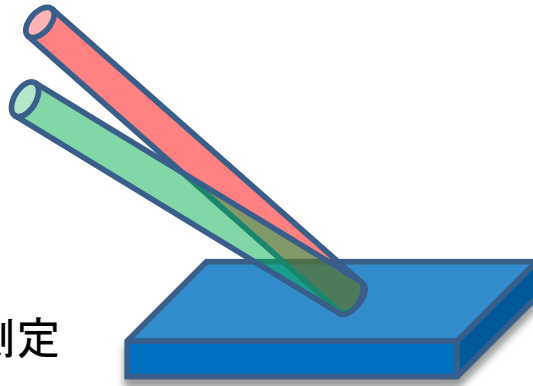
雰囲気XPS (AP-XPS)

- 金属，半導体，酸化物などの単結晶表面の角度分解光電子分光
- NEXAFSによる吸着分子の電子状態と反応の研究
- 高分解能内殻光電子分光による固体表面および吸着分子の研究
- コインシデンス分光を用いた表面ダイナミクス
- 表面局所電子状態の研究
- 雰囲気光電子分光を用いた表面反応の研究
- 内殻分光を用いた表面スピン，表面磁性の研究
- 原子層，単分子膜，有機薄膜、酸化物薄膜の電子状態と構造に関する研究
- 放射光STMによる局所元素分析の研究

VUV/SXとHXの2ビームを有した 開発研究多機能ビームラインにおける 表面界面研究の展開

不均一触媒

VUV/SX
HX



XPS + EXAFS, XAS

雰囲気中同一条件下での測定

➡ 反応追跡

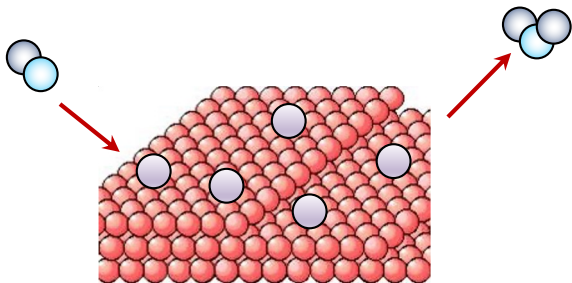
HXPES ならば常圧測定可能

電子収量XAS + 高感度蛍光XAS

単原子触媒(SAC)

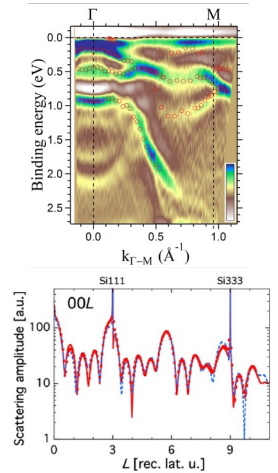
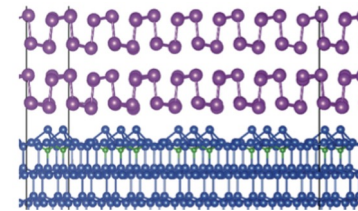
担体・表面反応種, 単原子触媒

➡ 反応場全体の化学種を一括把握



2次元原子層材料

ARPES + XRD



不均一材料における同一箇所での測定

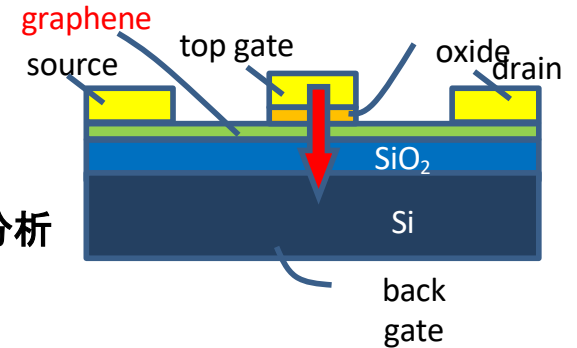
➡ 基板との格子整合、歪みと電子構造の相関

有機エレクトロニクス

XPS + HXPES

実デバイスの埋もれた界面

➡ sub-nm – 数10 nm 連続的な深さ分析



VL まで拡張すれば

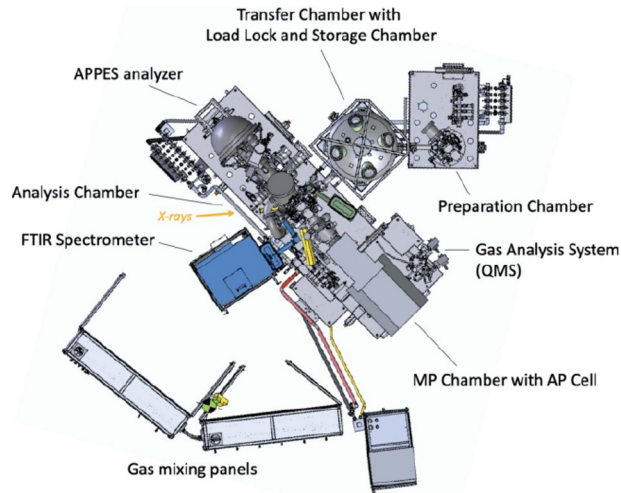
励起状態ダイナミクス

➡ スピン多重度の時間発展

不均一触媒

雰囲気中同一条件下(不可逆過程)での触媒反応追跡

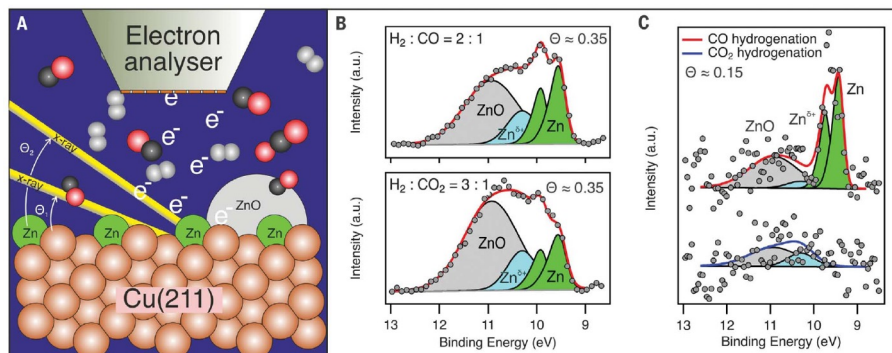
AP-XPS + EXAFS, XRD
IRRAS + AP-HXPES



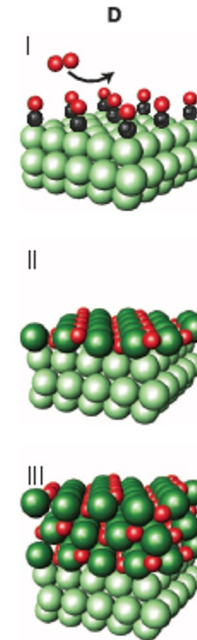
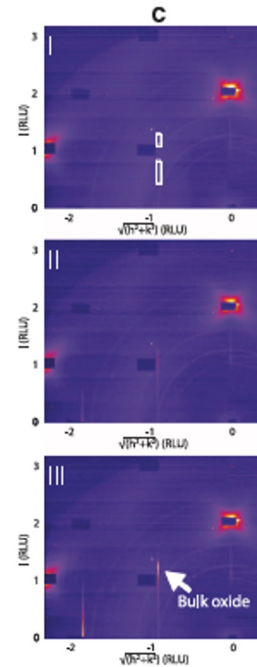
IRRAS+AP-XPS@MAX IV

S. Zhu et al., J. Sync. Rad. 28 (2021) 624.

HXPES @Petra III : 常圧での測定



P. Amann et al., Science 376 (2022) 603.



HESXRD @PETRAIII
hv=85 keV

CO+O₂ /Pd(001)

J. Gustafson et al.,
Science 343 (2014) 758.



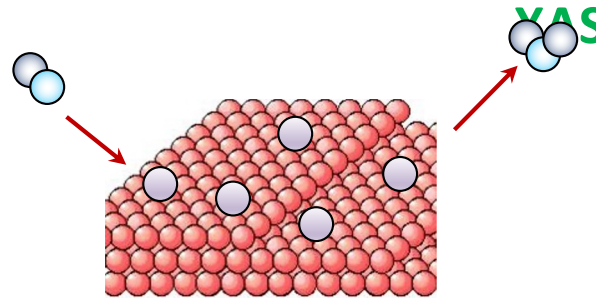
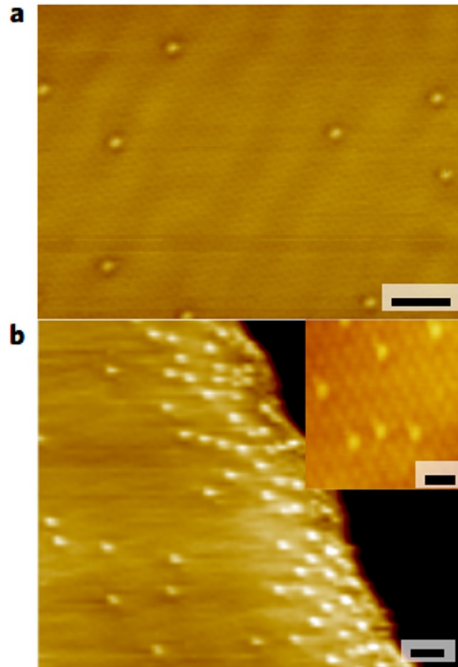
全く同一反応条件下での
化学種分析と構造解析

不均一触媒

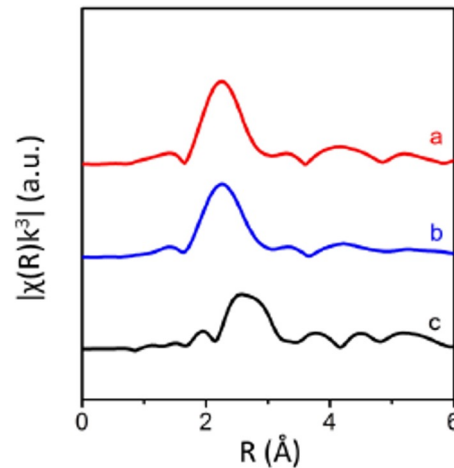
単原子触媒：反応場全体の化学種の一括把握 電子収量XAS
+ 高感度蛍光

Pt / Cu(111)

STM: Pt 0.01 ML



Pt L_{III} edge EXAFS



担体・表面反応種：

電子収量XAS

単原子触媒：

高感度蛍光XAS

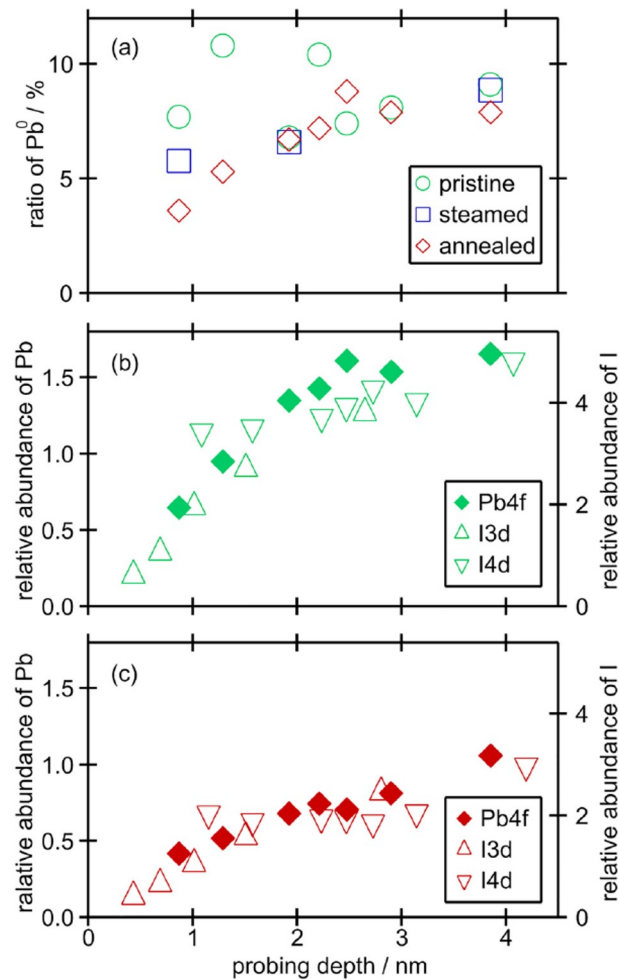


雰囲気中同一条件下での
単原子触媒反応追跡

M. D. Marcinkowski et al.,
Nature Chem. 10 (2018) 325.

実デバイスの埋もれた界面における組成分析 XPS + HXPES

CH₃NH₃PbI₃ 深さ分解XPS @BL13B



Probing depth (Pb 4f) :

0.87 nm @320 eV

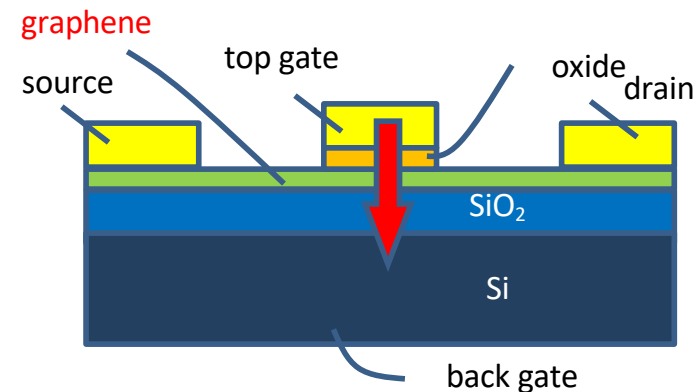
3.9 nm @1420 eV



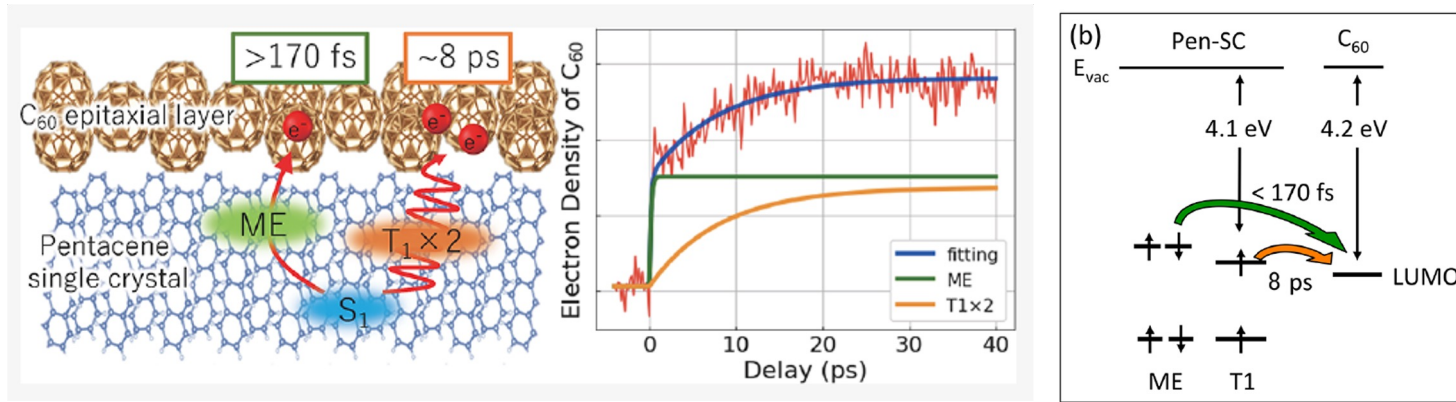
~20 nm @14 keV



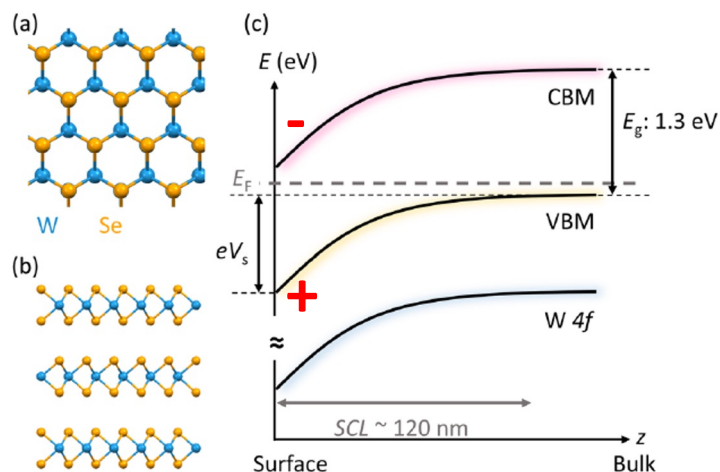
実デバイスの埋もれた界面
連続的な深さ分析



光励起後の界面における励起子緩和ダイナミクス **visible light + XPS** **pump - probe**

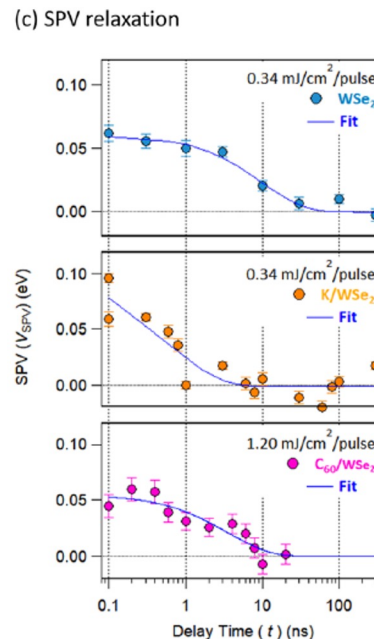


TR-PEEM: fs-laserでのpump-probe M. Iwasawa et al., JPC C 124 (2020) 13572.



SP-8 BL07LSU TR-PES
laser 1.55 eV, SR hv=253 eV

Ro-Ya Liu et al., APL 112 (2018) 211603.

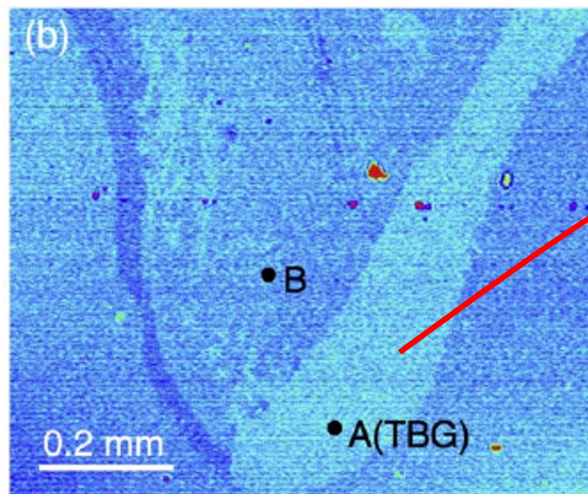
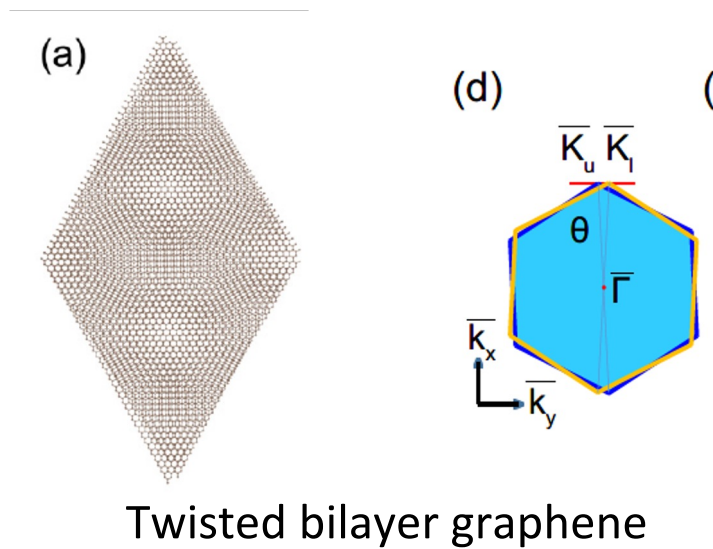


励起子>>電荷分離
のダイナミクスを
内殻準位の時間発展で評価

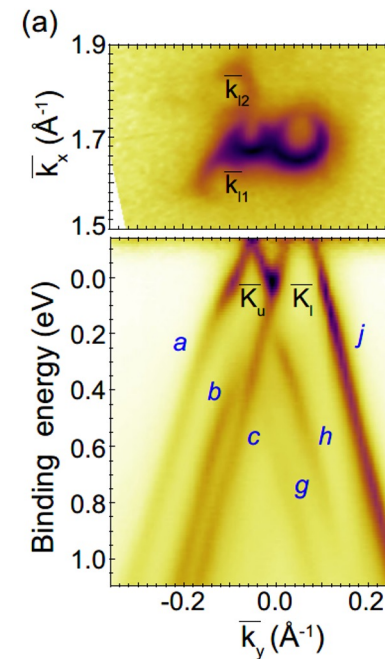
➡ **HXPES**で**界面**にアクセス

2次元原子層材料

グラフェン、遷移金属ダイカルコゲナイド、**ARPES, XPS + EXAFS, XRD**
etc.



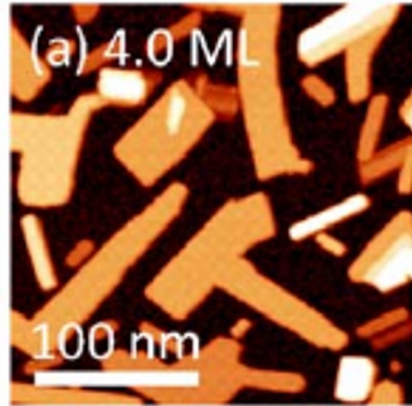
数100 μm 領域での電子状態と構造
同一領域での測定



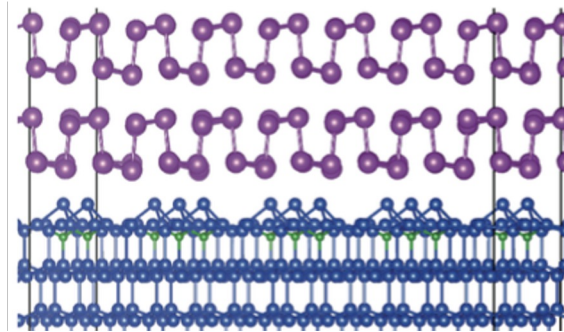
H. Imamura et al., APEX 13 (2020) 075004.
T. Iimori et al., PRM 5 (2021) L051001.

2次元原子層材料

基板上での結晶成長過程 **ARPES, XPS + XRD**

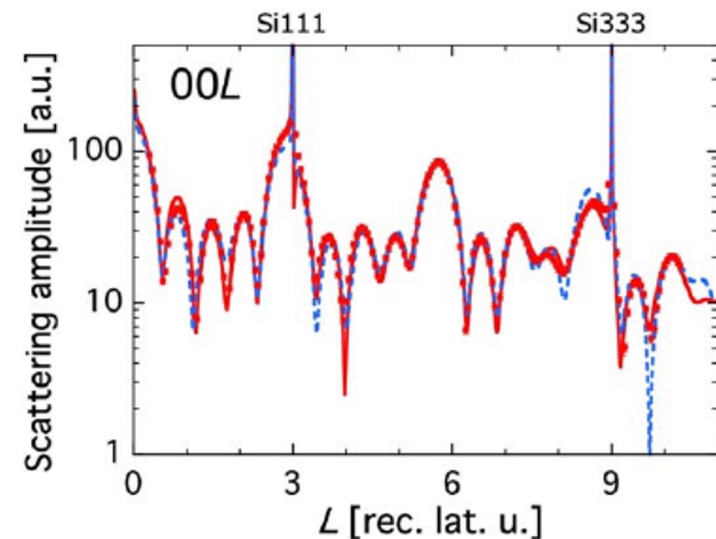


Bi(110) / Si(111)



不均一材料(膜厚)における
同一箇所の測定

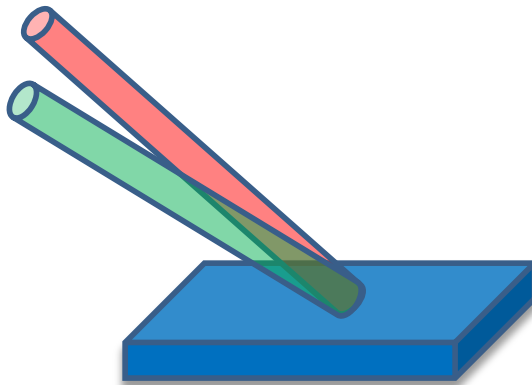
⇒ 基板との格子整合、歪みと
電子構造の相関



2ビームの同時利用により

VL/IR/VUV/SX

HX



⇒ 全く同一な試料, オペランド(雰囲気中)の
電子状態/化学種 + 構造
ARPES, XPS, AP-XPS + EXAFS, XRD

⇒ プローブ深さの広域化 : 実デバイスの界面分析
表面/バルク 敏感 XPS

⇒ エネルギー深さの広域化
軽元素 から **重元素** までの XPS, EXAFS

表面科学においては

全く同一な条件下での複合的なデータ取得が極めて重要

2ビーム利用により、質の高いデータのハイスループットが期待できる