

PF研究会 開発研究多機能ビームラインの建設と利用

Research ideas on using a 2-beam beamline for solid-state electron spectroscopies

固体分光の観点から見た2ビーム利用のアイデア

齋藤智彦（東理大：固体分光UG）

1. 固体分光UGの手法の紹介

「固体の分光」

| | | |
|------------------|---------------------------------------|---------|
| 光電子分光 | photon-in, electron-out | |
| X線吸収分光 | 軟X線：主に photon-in, electron-out | XAFS UG |
| | 硬X線：photon-in, photon-out | |
| X線発光分光 | photon-in, photon-out | X線発光UG |
| 共鳴非弾性X線散乱 (RIXS) | photon-in, photon-out | |



固体分光UG

BL 28A/B, 2A, 16A

光電子分光 (PES) ・ 軟X線吸収分光：photon-in, **electron-out**

- ☆ 超高真空が必要 (“VUV-SX”と“X”の大きな違い)
- ☆ bulk電子構造がターゲットだが**表面を通して測定**

表面科学UG

2.2 ビーム利用のアイデア

ご利用上の注意：

- ☆単なる思い付きが多々あります
- ☆物理的に正しいかどうか不明です
- ☆意味があるか否かも不明です

2-1. VUV/SX × HX光電子分光 (VUV/SX-HX)



表面科学UG提案

試料表面上の同一の位置で、表面近傍からbulkまでの電子構造を測定

☆ 分光方法の違いから、1ビームラインでは両立できなかった。

☆ VUV/SXで表面敏感測定、HX (5-8 keV) でbulk敏感測定。

☆ 試料深さ方向の情報量が増大。特に薄膜試料で角度依存測定をすれば格段にup。

☆ デバイス試料のような深さ方向に構造がある試料の電子構造測定。

2-2. 光電子分光 × X線回折 (SX-HX) その1

PF光電子分光G提案
(小澤氏)

構造相転移中の電子構造変化が測定可能

Kiryukhin *et al.*, Nature **386**, 813 (1997).

An X-ray-induced insulator-metal transition in a magnetoresistive manganite

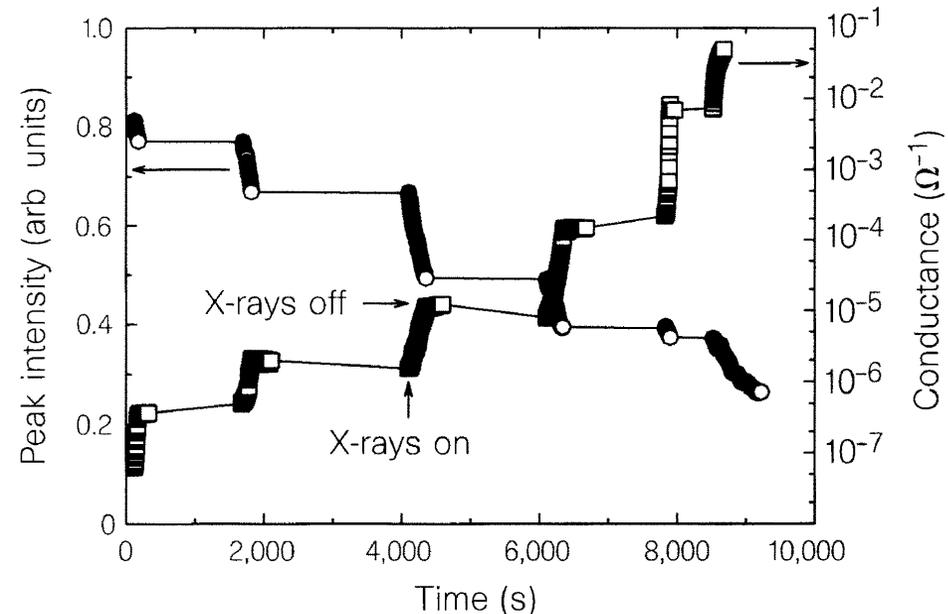
V. Kiryukhin*, **D. Casa***, **J. P. Hill†**, **B. Keimer***,
A. Vigliante†, **Y. Tomioka‡** & **Y. Tokura‡§**

* Department of Physics, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA

† Department of Physics, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973, USA

‡ Joint Research Center for Atom Technology (JRCAT), Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

§ Department of Applied Physics, University of Tokyo, Tokyo 113, Japan



Charge orderのピーク強度と伝導度

☆ 実際にはx-ray induced transitionでないといけない。⇒ 試料が限られる。

☆ 経時変化でも何でも、とにかく測定中の構造変化と電子構造変化を結び付けて測定する意義がある試料ならば、利用範囲はもっと広がる。

2-3. 光電子分光 × X線回折 (SX-HX) その2

作るたびに組成が微妙に違う試料の構造と電子構造の相関

☆例：IGZO 他にも例はたくさんある。

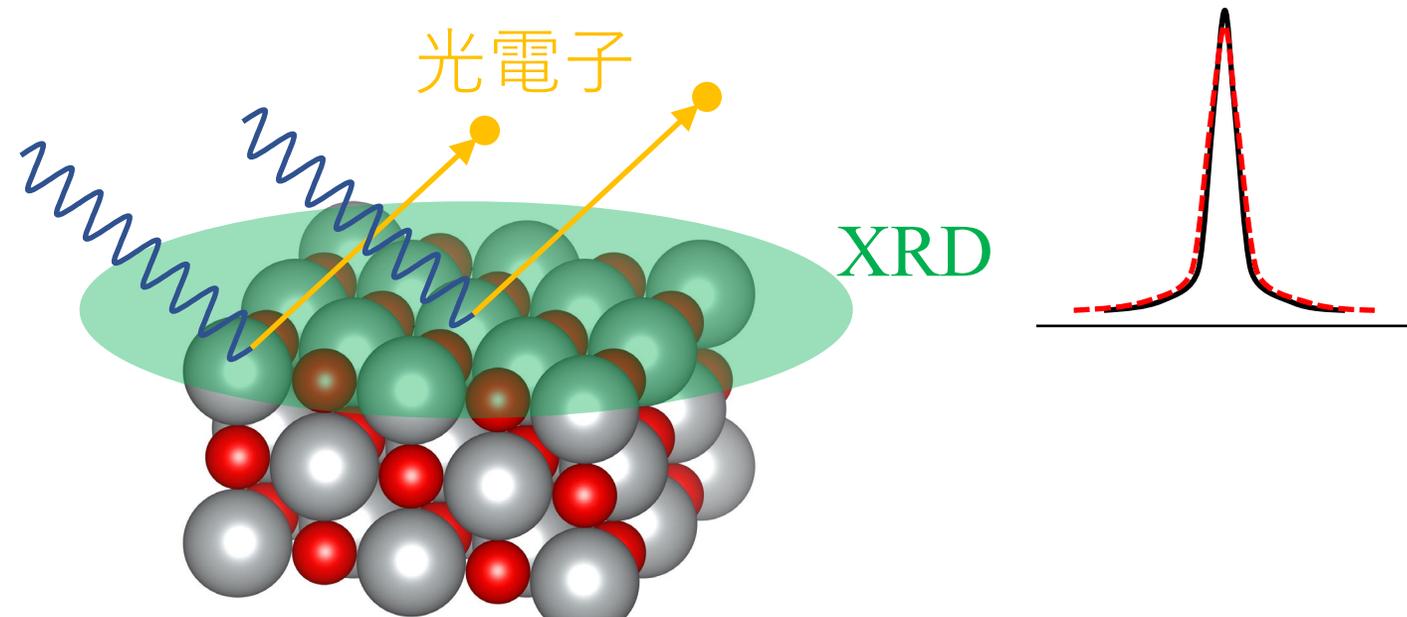
混晶系は場所ごとに組成が微妙に異なる。
その（局所）構造と電子構造の相関。
XRDだけでなくEXAFSも。

☆例： $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 他にも例はたくさんある。

2-4. 光電子分光 × X線回折 (SX-HX) その3

励起状態、例えば内殻光電子分光終状態の
結晶構造を見られないだろうか？

- ☆ 実際には全atomは励起しない → 平均的構造は不変 → 意味が無い？
- ☆ 共鳴内殻PESで特定の元素を主に励起 → 特定の回折ピークの幅が変化？
- ☆ 直線偏光のXRD → 回折ピーク幅の変化の方位角依存性？



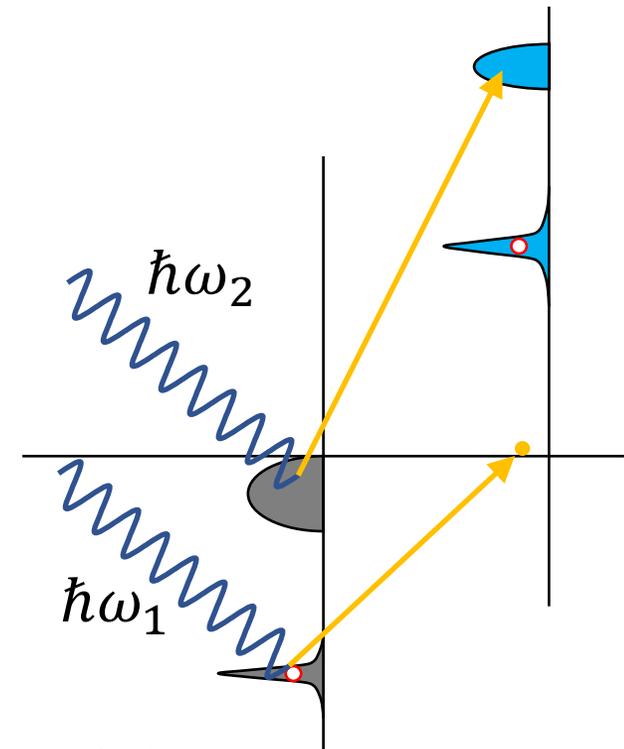
2-5. 光電子放出終状態の電子構造？（SX-SX, SX-HXも可能）

内殻光電子分光終状態の（価電子帯）電子構造を見られないだろうか？

- Two-photon photoemission (2PP)：3 eV程度×2 これまで無い測定（きっと）
→ 光励起後（=中性）の電子構造、非占有状態の電子構造
- 時間分解光電子分光（TR-PES）：Pump 2 eV程度、Probe 数～数十eV程度
→ やはり光励起後の電子構造

↓ SX以上の2ビーム利用

- ☆ $\hbar\omega_1$ で内殻励起、 $\hbar\omega_2$ でPES
- ☆ $\hbar\omega_1$ を内殻共鳴励起に合わせると面白い？
- ☆ Pump-probe？（内殻励起後のTR-PES）

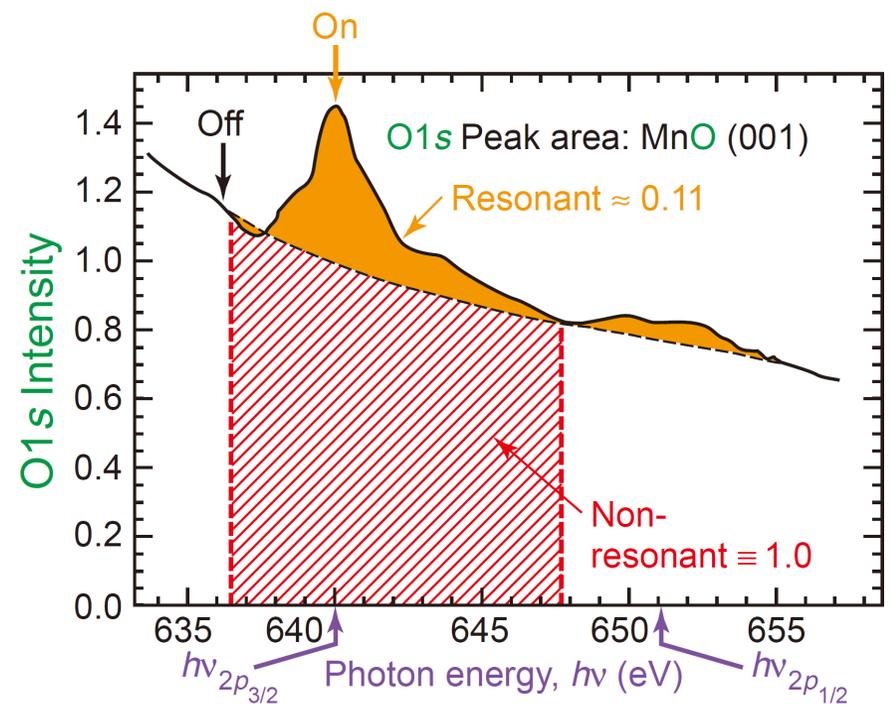
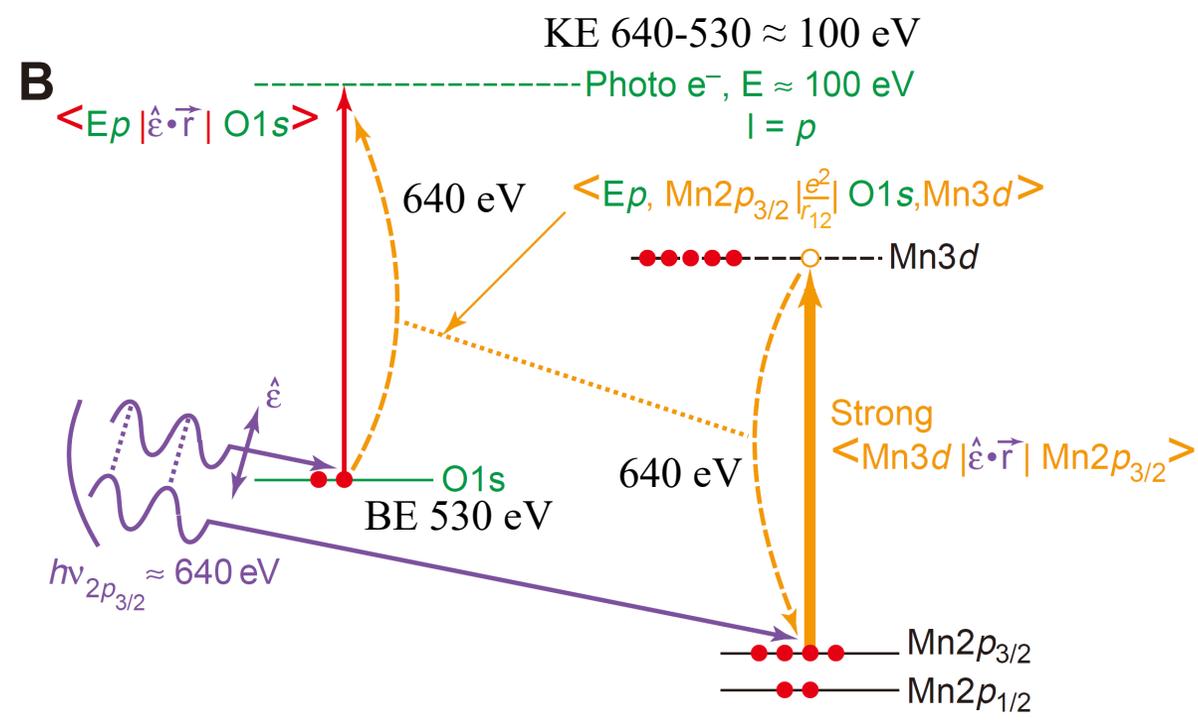


2-6. 隣接2原子共鳴光電子分光？ (SX-SX)

PF光電子分光G提案
(小澤氏)

Muti-atom resonant photoemission (MARPE) : TM 2p-3d共鳴がO 1s強度に影響

Kay *et al.*, Science **281**, 679 (1998).



※強度は後に修正されてもっと小さい：
Kay *et al.*, PRB **63**, 115119 (2001). なおNiO
でも観測という報告もある (Mannella *et al.*, PRB **74**, 165106 (2006).)

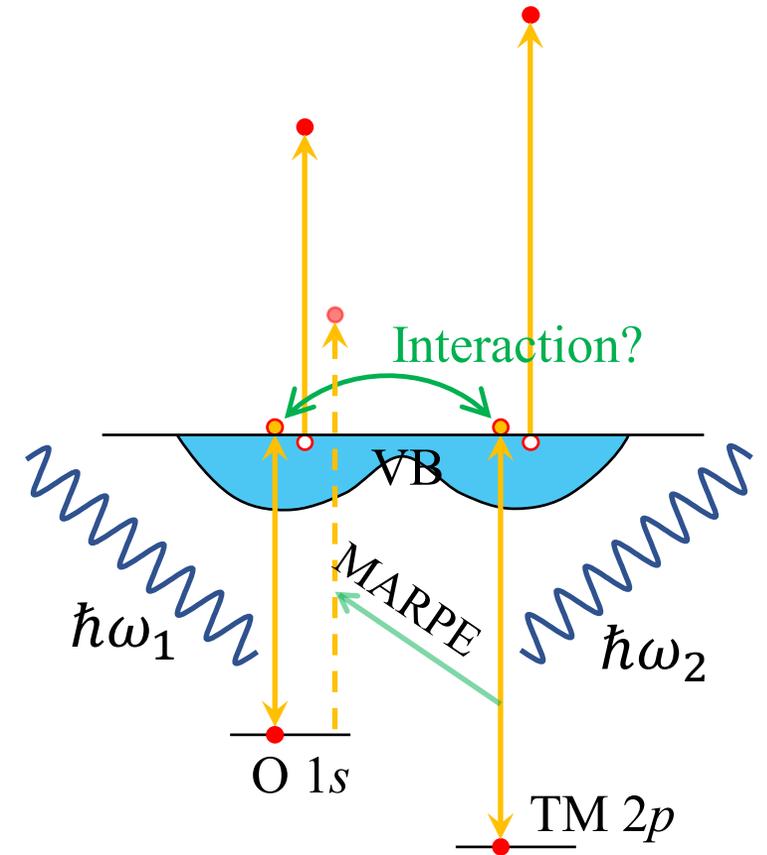
2-6. 隣接2原子共鳴光電子分光？（SX-SX, SX-HXもあり得る）

さらに荒唐無稽。何が分かりそうかも知れません。

Muti-atom resonant photoemission (MARPE)：TM $2p$ - $3d$ 共鳴がO $1s$ 強度に影響

↓ SX以上の2ビーム利用

- ☆ 単にSingle-atom RPES $\times 2$ となるだけかも。
- ☆ Single-atom RPES $\times 2$ + VBでの電荷移動／Coulomb相互作用等の相互作用の効果？
- ☆ 単結晶で隣接方向の直線偏光を入れると効果増大？



3. まとめ

- 2.1 SX-PES × HX-PES : 光電子分光で詳細な深さ方向分析
- 2.2, 2.3, 2.4 SX-PES × XRD : 結晶構造と電子構造の相関
- 2.5 SX-PES × S(H)X-PES : 内殻励起後の電子構造？
- 2.6 SX-PES × S(H)X-PES : 隣接2原子共鳴光電子分光？

- 😊結果が出そうな現実的な路線としては、2.1のSX-PES × HX-PES
😞しかし装置が据え置きでないと位置合わせは難しいかも。また、PESを2つは真空系×2なので予算が、、、。
- 😊他の利用法とも相性が良いのは2.2, 2.3, 2.4の光電子分光 × XRD/EXAFS
😞しかし2.2は適用範囲が狭いかも。また2.4で何かが見えるかは不明。
- 😊2.5, 2.6はPES × PESだが、個人的には興味あり（特に2.5）。
😞😞😞しかしPES × PESなので汎用性と予算に欠け、何よりもまず理論の裏付けが必要。
- 電子構造 × 構造を見る2ビーム活用のポイントは「微小領域・同一位置」
- いずれの案でも、「SX-HXの2ビーム集光 + 超高真空」という実験環境を実現することが課題か。